



JILID 1

Agus Putranto, dkk.

Teknik Otomasi Industri

untuk
Sekolah Menengah Kejuruan



Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan
Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah
Departemen Pendidikan Nasional

Agus Putranto dkk

TEKNIK OTOMASI INDUSTRI

SMK

JILID 1



Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan
Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah
Departemen Pendidikan Nasional

Hak Cipta pada Departemen Pendidikan Nasional
Dilindungi Undang-undang

TEKNIK OTOMASI INDUSTRI

Untuk SMK

JILID 1

Penulis : Agus Putranto
Abdul Mukti
Djoko Sugiono
Syaiful Karim
Arie Eric Rawung
Sodikin Susa'at
Sugiono

Perancang Kulit : TIM

Ukuran Buku : 17,6 x 25 cm

PUT PUTRANTO, Agus

t

Teknik Otomasi Industri untuk SMK Jilid 1 /oleh Agus Putranto, Abdul Mukti, Djoko Sugiono, Syaiful Karim, Arie Eric Rawung, Sodikin Susa'at, Sugiono --- Jakarta : Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional, 2008.

xii, 330 hlm

Daftar Pustaka : LAMPIRAN A.

Glosarium : LAMPIRAN B.

ISBN : 978-979-060-089-8

ISBN : 978-979-060-090-4

Diterbitkan oleh

Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan

Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah
Departemen Pendidikan Nasional

Tahun 2008

KATA SAMBUTAN

Puji syukur kami panjatkan kehadiran Allah SWT, berkat rahmat dan karunia Nya, Pemerintah, dalam hal ini, Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah Departemen Pendidikan Nasional, telah melaksanakan kegiatan penulisan buku kejuruan sebagai bentuk dari kegiatan pembelian hak cipta buku teks pelajaran kejuruan bagi siswa SMK. Karena buku-buku pelajaran kejuruan sangat sulit di dapatkan di pasaran.

Buku teks pelajaran ini telah melalui proses penilaian oleh Badan Standar Nasional Pendidikan sebagai buku teks pelajaran untuk SMK dan telah dinyatakan memenuhi syarat kelayakan untuk digunakan dalam proses pembelajaran melalui Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 45 Tahun 2008 tanggal 15 Agustus 2008.

Kami menyampaikan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada seluruh penulis yang telah berkenan mengalihkan hak cipta karyanya kepada Departemen Pendidikan Nasional untuk digunakan secara luas oleh para pendidik dan peserta didik SMK. Buku teks pelajaran yang telah dialihkan hak ciptanya kepada Departemen Pendidikan Nasional ini, dapat diunduh (*download*), digandakan, dicetak, dialihmediakan, atau difotokopi oleh masyarakat. Namun untuk penggandaan yang bersifat komersial harga penjualannya harus memenuhi ketentuan yang ditetapkan oleh Pemerintah. Dengan ditayangkan *soft copy* ini diharapkan akan lebih memudahkan bagi masyarakat khususnya para pendidik dan peserta didik SMK di seluruh Indonesia maupun sekolah Indonesia yang berada di luar negeri untuk mengakses dan memanfaatkannya sebagai sumber belajar.

Kami berharap, semua pihak dapat mendukung kebijakan ini. Kepada para peserta didik kami ucapkan selamat belajar dan semoga dapat memanfaatkan buku ini sebaik-baiknya. Kami menyadari bahwa buku ini masih perlu ditingkatkan mutunya. Oleh karena itu, saran dan kritik sangat kami harapkan.

Jakarta, 17 Agustus 2008
Direktur Pembinaan SMK

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah, dengan tersusunnya buku Teknik Otomasi Industri ini semoga dapat menambah khasanah referensi khususnya di bidang teknologi industri yang akhir-akhir ini mulai berkembang di Indonesia.

Isi buku ini sengaja disajikan secara praktis dan lengkap sehingga dapat membantu para siswa Sekolah Menengah Kejuruan (SMK), mahasiswa, guru serta para praktisi industri. Teknik Otomasi Industri yang selama ini dideskripsikan secara variatif dan adaptif terhadap perkembangan serta kebutuhan berbagai kalangan praktisi industri. Penekanan dan cakupan bidang yang dibahas dalam buku ini sangat membantu dan berperan sebagai sumbangsih pemikiran dalam mendukung pemecahan permasalahan yang selalu muncul didalam disain, pengendalian / pemgontrolan suatu sistem.

Oleh karena itu, buku ini disusun secara integratif antar disiplin ilmu yaitu teknik elektronika analog, elektronika daya, teknik digital, pemrograman dan elektronika daya yang saling mendukung sehingga skill yang diperlukan terkait satu dengan lainnya. Secara tuntas, kualitas maupun manajemen proses control standar yang berlaku di tingkat internasional termasuk didalam wilayah pembahasan.

Tim penulis mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu materi naskah serta dorongan semangat dalam penyelesaian buku ini. Kami sangat berharap dan terbuka untuk masukan serta kritik konstruktif dari para pembaca sehingga dimasa datang buku ini lebih sempurna dan implementatif.

Tim Penulis



iOS segera hadir

Unduh buku lainnya melalui aplikasi. Gratis.

Buku BSE dilengkapi dengan daftar isi untuk memudahkan navigasi. Tersedia juga majalah, tabloid, buku dan koran yang lebih hemat hingga 80% dibanding edisi cetak.

Unduh aplikasi myedisi reader gratis
myedisi.com/reader

myedisi 

Buku BSE terbaru belum tersedia di myedisi? Sampaikan melalui email bse@myedisi.com

DAFTAR ISI

KATA SAMBUTAN	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1	1
1.2	4
1.3	5
1.4	8
1.5	8
BAB II PENGETAHUAN DASAR OTOMASI INDUSTRI	
2.1	11
2.1.1	11
2.1.1.1.	11
2.1.1.2.	11
2.1.1.3.	11
2.1.1.4.	12
2.1.1.5.	13
2.1.1.6.	13
2.1.1.7.	13
2.1.1.8.	14
2.1.2.	16
2.1.2.1.	16
2.1.2.2.	16
2.1.2.3.	17
2.1.2.4.	18
2.1.2.5.	18
2.1.2.6.	20
2.1.2.7.	20
2.1.2.8.	21
2.1.2.9.	21
2.1.3.	22
2.1.3.1.	22
2.1.3.2.	23
2.1.3.3.	24
2.1.4.	26
2.1.4.1.	26
2.1.4.2.	26
2.1.4.3.	27
2.1.4.4.	27
2.1.4.5.	27
2.1.5.	28
2.1.5.1.	28
2.1.5.2.	28

2.1.5.3.	USAHA ARUS LISTRIK	30
2.1.6.	ELEKTROLISA	31
2.1.6.1.	PERISTIWA KIMIA LISTRIK	31
2.1.6.2.	PELAPISAN BAHAN	31
2.1.6.3.	USAHA LISTRIK DALAM PROSES ELEKTROLISA	32
2.1.6.4.	DAYA MEKANIK DALAM PROSES ELEKTROLISA	34
2.1.6.5.	KONVERSI DAYA MEKANIK	34
2.1.6.6.	PROSES PENYEPUHAN LOGAM	36
2.1.6.7.	TUJUAN PENYEPUHAN	36
2.1.6.8.	CARA MENDAPATKAN LOGAM MURNI	36
2.1.6.9.	DAYA LARUTAN	38
2.1.6.10.	URUTAN TEGANGAN KIMIA LISTRIK	38
2.1.6.11.	POLARISASI ELEKTROLISA	40
2.1.7.	ELEMEN GALVANIS	41
2.1.7.1.	PASANGAN GALVANIS	41
2.1.7.2.	SISTIM ELEKTROKIMIA	44
2.1.7.3.	PERBANDINGAN SIFAT	44
2.1.7.4.	PENGISIAN DAN PENGOSONGAN LISTRIK	45
2.1.7.5.	DAYA GUNA AKKUMULATOR	46
2.1.7.6.	KOROSI	46
2.1.8.	TAHANAN LISTRIK (R)	47
2.1.8.1.	TAHANAN DAN NILAI HANTAR	47
2.1.8.2.	TAHAN JENIS ρ	48
2.1.8.3.	KODE WARNA TAHANAN	49
2.1.8.4.	TAHANAN STANDAR IEC	51
2.1.8.5.	JENIS TAHANAN	52
2.1.8.6.	TAHANAN FUNGSI SUHU DAN FUNGSI CAHAYA	54
2.1.8.7.	PERUBAHAN TAHANAN	56
2.1.8.8.	FAKTOR PERUBAHAN TAHANAN	57
2.1.8.9.	TOLERANSI TAHANAN	58
2.1.9.	PEMBAGI ARUS DAN TEGANGAN	59
2.1.9.1.	HUKUM OHM	59
2.1.9.2.	HUKUM KIRCHOFF	63
2.1.9.3.	HUKUM KIRCHOF II	66
2.1.9.4.	ANALISA PERCABANGAN ARUS	68
2.1.9.5.	ANALISA ARUS LOOP	69
2.1.9.6.	HUBUNGAN SERI	69
2.1.9.7.	PEMBAGIAN TEGANGAN	70
2.1.9.8.	RUGI TEGANGAN DALAM PENGHANTAR	73
2.1.9.9.	PEMBEBANAN SUMBER	74
2.1.9.10.	HUBUNGAN JAJAR.	75
2.1.10.	PENGUKURAN RANGKAIAN	78
2.1.10.1.	HUBUNGAN JEMBATAN	79
2.1.10.2.	HUBUNGAN CAMPURAN	80
2.1.10.3.	HUBUNGAN JEMBATAN ARUS SEARAH	81
2.1.10.4.	JEMBATAN BERSETIMBANG	82
2.1.10.5.	PEMBAGI TEGANGAN BERBEBAN	83
2.1.10.6.	HUBUNGAN CAMPURAN BERBEBAN	83
2.1.10.7.	HUBUNGAN DENGAN POTENSIOMETER	85
2.1.10.8.	PARAREL SUMBER BERBEBAN	86

2.1.10.9.	RANGKAIAN SUMBER CAMPURAN	86
2.1.10.10.	DAYA LISTRIK	88
2.1.11.11.	DAYA GUNA(EFISIENSI)	90
2.1.11.	PANAS LISTRIK	91
2.1.11.1.	TEMPERATUR	91
2.1.11.2.	PENGUKURAN TEMPERATUR	92
2.1.11.3.	SKALA TERMOMETER	92
2.1.11.4.	KWALITAS DAN KAPASITAS PANAS	93
2.1.11.5.	KONVERSI BESARAN DAN SATUAN USAHA	97
2.1.11.6.	KONVERSI BESARAN DAN SATUAN DAYA	97
2.1.11.7.	DAYA GUNA EFISIENSI	99
2.1.11.8.	PERPINDAHAN PANAS	100

2.2 KOMPONEN LISTRIK DAN ELEKTRONIKA

2.2.1.	KONDENSATOR	104
2.2.1.1.	KUAT MEDAN LISTRIK	105
2.2.1.2.	DIELEKTRIKUM	106
2.2.1.3.	PERMITIFITAS LISTRIK	107
2.2.1.4.	PENGARUH ELEKTROSTATIK	111
2.2.1.5.	KAPASITAS KONDENSATOR / KAPASITOR	114
2.2.1.6.	ENERGI TERSIMPAN PADA KONDENSATOR	115
2.2.1.7.	SIFAT HUBUNGAN KONDENSATOR	117
2.2.1.8.	RANGKAIAN PARAREL :	118
2.2.1.9.	RANGKAIAN SERI (DERET)	118
2.2.2	KEMAGNETAN	119
2.2.2.1.	KEKUATAN MAGNET	119
2.2.2.2.	TEORI WEBER.	120
2.2.2.3.	TEORI AMPERE.	120
2.2.2.4.	SIFAT MEDAN MAGNET	121
2.2.2.5.	RANGKAIAN MAGNET	121
2.2.2.6.	BESARAN MAGNET	124
2.2.2.7.	FLUKSI MAGNET	126
2.2.3	DIODA	141
2.2.3.1.	DASAR PEMBENTUKAN DIODA	141
2.2.3.2.	DIODA ZENNER	142
2.2.3.3.	SIFAT DASAR ZENNER	144
2.2.3.4.	KARAKTERISTIK ZENNER	146
2.2.4.	DIODA VARACTOR	156
2.2.4.1.	BIAS BALIK, KAPASITANSI PERSAMBUNGAN	156
2.2.4.2.	BIAS MAJU , KAPASITANSI PENYIMPANAN	158
2.2.5.	DIODA SCHOTTKY	159
2.2.6.	DIODA TUNNEL	162
2.2.7	TRANSISTOR	164
2.2.7.1.	PROSES PEMBUATAN	165
2.2.7.2.	PENGARUH TEMPERATUR	167
2.2.7.3.	KURVA KARAKTERISTIK	167
2.2.7.4.	PENENTUAN RUGI	170
2.2.7.5.	HUBUNGAN DASAR TRANSISTOR	178
2.2.8	TRANSISTOR EFEK MEDAN (FET)	183

2.2.8.1.	PARAMETER JFET	191
2.2.8.2.	ANALISA RANGKAIAN FET	196
2.2.8.3.	KONFIGURASI-KONFIGURASI RANGKAIAN JFET	199
2.2.8.4.	FET SEBAGAI PENGUAT	201
2.2.8.5.	FET SEBAGAI SAKLAR DAN MULTIVIBRATOR	201
2.2.8.6.	BIAS MOSFET	203
2.2.8.7.	D-MOSFET	204
2.2.8.8.	E MOSFET	207
2.2.9.	UNI JUNCTION TRANSISTOR	225
2.2.9.1.	SIFAT DASAR UJT	226
2.2.9.2.	PRINSIP KERJA UJT SEBAGAI OSCILATOR	230
2.2.10.	DIODA AC	231
2.2.11	OPERASIONAL AMPLIFIER	235
2.2.11.1	PENGENALAN OP-AMP	235
2.2.11.2	PENGUAT BEDA DAN KASKADE	250
2.2.11.3	INTERPRETASI DATA DAN KARAKTERISTIK OPAMP	289
2.2.11.4	RANGKAIAN APLIKASI OPAMP	288

BAB III DASAR TEKNIK DIGITAL

3.1	ALJABAR BOOLEAN	313
3.2	OPERASI LOGIKA DASAR AND, OR DAN NOT	313
3.3	OPERASI LOGIKA KOMBINASI NAND, NOR DAN EXCLUSIVE OR	315
3.4	MULTIPLEKSER	317
3.5	DEKODER	318
3.6	FLIP-FLOP	318
3.7	MEMORY	323
3.8	REGISTER GESER	325
3.9	COUNTER	331

BAB IV DASAR ELEKTRONIKA DAYA

4.1	SEJARAH ELEKTRONIKA DAYA	335
4.2	PENGERTIAN DAN PRINSIP KERJA	335
4.3	KOMPONEN ELEKTRONIKA DAYA	339
4.4.	CONTOH RANGKAIAN ELEKTRONIKA DAYA	348

BAB V PENGUKURAN, PENGENDALI (KONTROL) DAN PENGATURAN

5.1	DEFENISI	359
5.2	SENSOR	360
5.3	PERANCANGAN KONTROLER	372
5.4	KONTROLER LOGIKA FUZZY	384
5.5	AKTUATOR	414

BAB VI SISTIM MIKROKOMPUTER

6.1	ARITMATIKA KOMPUTER	439
6.2	MODE OPERASI KOMPUTER	453

BAB VII MIKROPROSESOR Z-80

7.1	MIKROPROSESOR Z-80	475
-----	--------------------	-----

BAB VIII MIKROKONTROLER

8.1	MIKROKONTROLLER 68HC11F1	563
8.2	MODE OPERASI DAN DESKRIPSI SINYAL	564
8.3	MEMORY, KONTROL DAN REGISTER STATUS	573
8.4	PORT INPUT/OUTPUT	577
8.5	CHIP SELECTS	581
8.6	RESET, INTERRUPTS DAN LOW POWER MODES	583
8.7	PROGRAMMABLE TIMER	587
8.8	EEPROM	591
8.9	SERIAL COMMUNICATION INTERFACE (SCI)	593
8.10	SERIAL PERIPHERAL INTERFACE (SPI)	596
8.11	ANALOG TO DIGITAL CONVERTER	597
8.12	INFORMASI PEMROGRAMAN	600
8.13	MODUL MIKROKONTROLLER VEDCLEMPS	613
8.14	SOFTWARE VEDCLEMPWIN	625
8.15	PERMODELAN FUZZY	650

BAB IX KONTROL BERBASIS KOMPUTER

9.1	MENGENAL INTEGRATED DEVELOPMENT ENVIRONMENT (IDE) VISUAL BASIC 6	659
9.2	PERALATAN INPUT OUTPUT	717
9.3	MENGAkses PORT SERIAL	719
9.4	IMPLEMENTASI PEMROGRAMAN UNTUK APLIKASI KONTROL MELALUI PORT SERIAL	734
9.5	MENGAkses PORT PARALEL	773
9.6	IMPLEMENTASI PEMROGRAMAN UNTUK APLIKASI KONTROL MELALUI PORT PARALEL LPT	779

LAMPIRAN A. DAFTAR PUSTAKA**LAMPIRAN B. GLOSARIUM**

BAB I. PENDAHULUAN

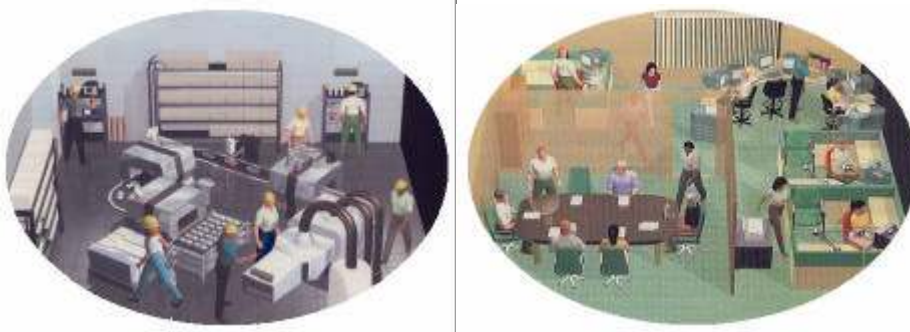
1.1 Pengantar Otomasi

Otomasi (bahasa Greek berarti belajar sendiri), robotisasi atau otomasi industri atau kontrol numerik merupakan pemanfaatan sistem kontrol seperti halnya komputer yang digunakan untuk mengendalikan mesin-mesin industri dan kontrol proses untuk menggantikan operator tenaga manusia. Industrialisasi itu sendiri merupakan tahapan dalam pelaksanaan mekanisasi, dimana konsep mekanisasi tetap mesin-mesin industri dilakukan manusia sebagai operator dengan menempatkan mesin sebagai pembantunya sesuai dengan permintaan kerja secara fisik, yang jelas terjadi penurunan besar-besaran kebutuhan manusia sebagai sensor begitu juga berkaitan dengan mental kerja.

Otomasi mampu meningkatkan aturan main dalam era ekonomi global dan meningkatkan pengalaman kerja sehari-hari, misal seorang insinyur dapat mengembangkan penggabungan berbagai ragam devais secara otomatis dan dengan bantuan model matematika dan peralatan pengorganisasi untuk membangun sistem yang sangat kompleks sehingga mempercepat pengembangan aplikasi dan kegiatan manusia. Walaupun demikian masih banyak pekerjaan yang harus ditangani oleh manusia, bahkan dengan berkembangnya teknologi otomasi memberikan banyak peluang kerja bagi manusia, yang cocok dengan pemanfaat mata manusia untuk pekerjaan presisi dan akurasi, pemanfaatan telinga manusia, bahkan kebutuhan mutlak tenaga manusia untuk mengidentifikasi dan mencium wewangian yang tidak mungkin dilakukan oleh mesin otomatis. Pengenalan patem manusia, pengenalan bahasa dan kemampuan produksi memang seyogyanya dilakukan oleh insinyur di bidang otomasi.

Seorang spesialis hardware komputer, pengguna *programmable logic controllers* (PLCs), sering menerapkan sistem sinkronisasi aliran input dari sensor dan disesuaikan dengan keadaan aliran output untuk menentukan kondisi aktuator. Hal ini berfungsi untuk keperluan aksi kontrol secara presisi, yang memang menjadi keharusan terkait dengan kontrol hampir di semua proses industri. Pengalaman nyata yang sangat menakutkan dunia adalah saat datangnya *Y2K bug* dimana komputer diprediksi akan mengalami kekacauan, akan tetapi hal itu berjalan terus bahkan banyak temuan baru di bidang komputer sebagai alat kontrol otomasi industri.

Human-machine interfaces (HMI) atau *computer human interfaces* (CHI), yang lebih dikenal dengan *man-machine interfaces*, biasanya digunakan untuk berkomunikasi dengan PLC dan komputer lainnya, seperti *entering* dan *monitoring* temperatur atau tekanan untuk kontrol otomatis atau untuk kebutuhan respon terhadap kondisi emergensi. Orang yang bertugas dalam pelayanan monitor dan kontrol interface tersebut sering disebut dengan operator stasiun. Bentuk lain pemanfaatan komputer dalam bidang otomasi adalah pada peralatan tes otomatis, dimana otomatis kontrol komputer yang digunakan pada peralatan tes diprogram untuk mensimulasikan pekerjaan manusia sebagai penguji dalam tes manual biasanya dalam bentuk aplikasi.



Gambar 1.1. Otomasi Kontrol Industri

Hal ini sering merupakan bentuk penyelesaian melalui penggunaan peralatan tes otomatis untuk menentukan urutan secara khusus (biasanya ditulis dalam program komputer), dan sekaligus langsung mengendalikan peralatan tes untuk menyelesaikan tugas tes. Sebagai bentuk akhir otomasi adalah dalam bentuk otomasi software, yaitu pemanfaatan komputer sebagai pencatat makro kegiatan harian pekerja (mouse dan keyboard) sebagai makro pemutaraan balik pada waktu yang akan datang.



Gambar 1.2. Penggunaan robot dalam otomasi proses (pembuatan mobil)

Dalam operasional otomasi industri tidak jarang ditemui kegagalan, kerusakan atau gangguan yang harus diantisipasi dalam bentuk perawatan dan pemeliharaan disamping layanan prima dalam instalasi dan setup awal penerapan otomasi industri. Dilihat secara hardware dan software sistem otomasi banyak berhubungan dengan komponen elektronik, program komputer, pengukuran, sensor, aktuator dan sistem pengaturan, oleh karena itu seorang pekerja yang memberikan layanan dan penjaminan kualitas terhadap operasional sistem industri harus memiliki kompetensi di bidang tersebut di atas dilandasi teori dasar dan sikap yang profesional.

1.2 Sistem Otomasi

Kemajuan dibidang teknologi terutama pada bidang Elektronika dan teknologi ICT sangat pesat dan ini sangat mempengaruhi kemajuan pada proses produksi di industri, ada tuntutan bagi industri yaitu bekerja cepat, optimnal, jumlah produksi banyak dan ketelitian serta akurasi produk sebagai tuntutan kualitas harus dipenuhi. Untuk memnuhi tuntutan tersebut tidak mungkin dipenuhi apabila masih mengandalkan kemampuan manual dan menggantungkan produksi dari kerja sumber daya manusia yang memiliki keterbatasan ketahanan bekerja dalam waktu yang lama, kerja malam hari, ketelitian dan kesamaan karakteristik hasil produk. Oleh karena itu sistem otomasi elektronika saat ini berkembang sangat pesat baik dari sisi teknologi, konfigurasi, maupun kapasitas dan kemampuannya. Sistem ini sangat universal dan fleksibel sehingga dapat dimanfaatkan oleh industri kecil sampai dengan industri besar di segala bidang dengan cakupan pemakaiannya sangat luas dan beragam.

Sistem Otomasi Industri dapat diartikan sebagai sistem dengan mekanisme kerja dikendalikan oleh peralatan elektronik (*electronic hardware*) berdasarkan urutan-urutan perintah dalam bentuk program perangkat lunak (*electronic software*) yang disimpan di dalam unit memori kontroler elektronik. Dalam membangun sistem otomasi industri antara hardware, software harus menjadi satu kesatuan dan merupakan sekuensial (urutan) pekerjaan atau sering disebut dengan tahapan, yang meliputi pekerjaan tahap pembangunan yaitu suatu industri dipersiapkan sejak awal yang meliputi perencanaan, persiapan, perakitan , instalasi, pemrograman, inspeksi, komisioning. Selanjutnya pekerjaan tahap operasional dimana sistem otomasi industri sudah siap dioperasikan, sehingga perlu pemeliharaan dan jika terjadi kerusakan perlu dilakukan perbaikan. Oleh karena sistem otomasi industri perkembangan berdasarkan tuntutan kebutuhan sangat tinggi maka sisem otomasi harus senantiasa dikembangkan, sehingga diperlukan pekerjaan tahap pengembangan meliputi perencanaan, persiapan, perakitan, instalasi, pemrograman, inspeksi, komisioning. Otomasi: dapat didefinisikan sebagai teknologi yang berlandaskan pada aplikasi sistem mekanik, elektronik dan komputer. Sering aplikasi otomasi industri dibuat dalam bentuk robot industri, dan robot merupakan komponen utama dalam teknologi otomasi berfungsi sebagai pelaksana pekerjaan yang biasanya dikerjakan oleh buruh, pekerja manusia. Oleh karena robot merupakan mesin yang dibuat dalam pabrik maka ia memiliki kemampuan dan daya tahan bekerja secara terus-menerus tanpa mengenal lelah. Penempatan robot dalam aplikasi otomasi industri hingga saat ini selalu berkembang, dalam aplikasinya robot industri dibuat mulai dari yang sederhana seperti belt konveyer, mesin pengisi minuman, mesin las otomatis sampai aplikasi robot modern untuk pembuatan mobil, pesawat terbang dan pusat tenaga nuklir. Dengan demikian robot dapat diciptakan untuk

menggantikan posisi-posisi pekerja baik dalam bagian produksi dengan program keahlian rendah maupun sebagai pengganti teknisi profesional dengan program keahlian lebih kompleks.

Ditinjau dari aplikasinya otomasi dapat dibedakan berdasarkan obyek yang harus diselesaikan, yaitu:

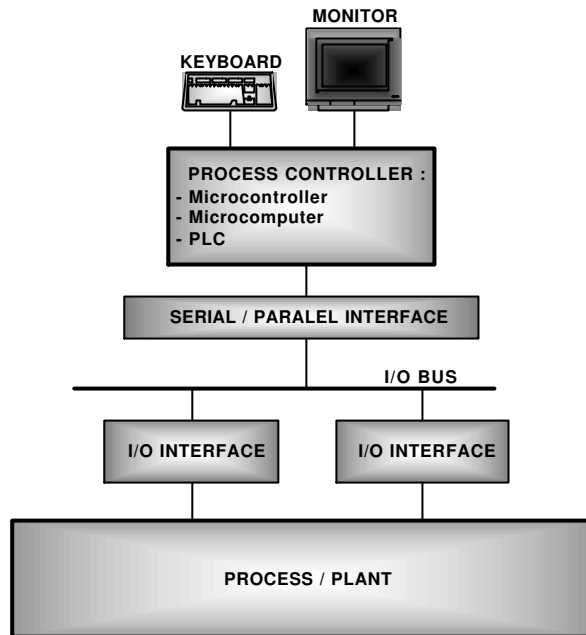
1. Tipe tetap yaitu mesin otomatis dibuat khusus untuk menyelesaikan pekerjaan produksi tertentu saja, dan tidak dirancang untuk menyelesaikan produk lainnya. Pada umumnya mesin otomasi jenis ini digunakan untuk produksi dalam jumlah banyak dan dibutuhkan waktu produksi yang cepat akan tetapi sangat ekonomis biaya produksinya dengan efisiensi yang cukup tinggi.
2. Tipe semi tetap: mesin dibuat untuk memproduksi atau menangani satu macam produk atau tugas, namun dalam beberapa parameter (ukuran, bentuk dan bagian produk) dapat diatur secara terbatas. Investasi awal termasuk cukup tinggi, karena mesin masih bersifat khusus. Robot yang mandiri termasuk dalam kategori ini.
3. Tipe fleksibel, mesin dibuat agar dapat digunakan untuk banyak ragam produknya, sistem otomasi lebih bersifat menyeluruh, bagianbagian produk dapat diproduksi pada waktu yang bersamaan. Yang termasuk dalam kategori ini misalnya FMS (Flexible Automation System) dan CIM (Computer Integrated Manufacturing). Robot adalah salah satu pendukung dalam kelompok otomasi ini.

Sistem otomasi tidak bisa lepas dengan sistem pengaturan ataupun sistem pengendalian, dan dalam sistem pengaturan utamanya adalah mengatur dan mengendalikan nilai output tertentu dari sebuah peralatan sehingga mencapai nilai yang dikehendaki. Peralatan yang dikendalikan disebut dengan Plan, peralatan yang mengatur atau mengendalikan disebut dengan kontroler dan nilai yang ingin dicapai disebut dengan *input* atau *setting point*. Besaran yang dikendalikan pada sistem pengaturan diantaranya suhu (temperatur), kecepatan, arus dan tegangan listrik, tekanan dst.

1.3 Arsitektur Sistem

Arsitektur sistem otomasi elektronika yang dimaksud adalah DDC (*Direct Digital Control*) dan DCS (*Distributed Control System*) yang diperlihatkan pada gambar 1-3 dan 1-4. Sistem akan semakin kompleks dengan semakin besarnya jumlah variabel proses dan jumlah input /

output (I/O) yang digunakan dalam melayani kebutuhan produksi dalam industri.



Gambar 1-3: Sistem Otomasi *Direct Digital Control* (DDC) [1]

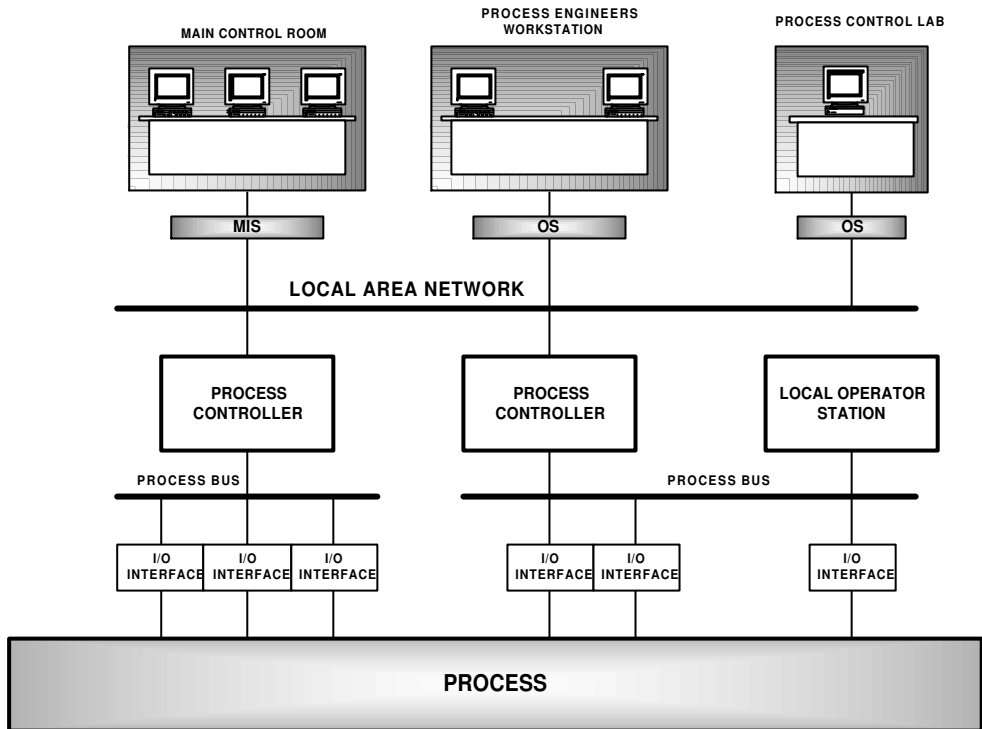
[1] Karl J. Astrom : *Computer Controlled Systems*, 2nd Ed., Prentice-Hall, NJ, 1990.

Unit yang ada pada DDC merupakan unit peralatan elektronik meliputi :

- Peralatan Kontrol Proses (analog dan diskrit)
- Peralatan Input dan Output (sensor, aktuator)
- Peralatan Instrumentasi
- Peralatan Komunikasi Data

Disamping itu pada DDC juga dilengkapi dengan unit perangkat lunak :

- *Operating System Software*
- *Communication Protocol*
- *DDC Application Software*



Gambar 1-4 : *Distributed Control System (DCS)* [2]

[2] Karl J. Astrom : *Computer Controlled Systems*, 2nd Ed., Prentice-Hall, NJ, 1990].

DCS dilengkapi dengan unit Sistem DCS, yaitu,
Unit Peralatan Elektronik :

- Peralatan Kontrol Proses
- Peralatan Input dan Output
- Peralatan Akuisisi Data
- Peralatan Instrumentasi
- Peralatan Interkoneksi

Unit Peralatan Jaringan Komputer (LAN):

- *Client & Server Computer*
- Peralatan Interkoneksi (NIC, Konektor, Saluran Transmisi, HUB, Modem)

Unit Perangkat Lunak :

- *Operating System Software (Computer & LAN)*
- *Communication Protocol*
- *DCS Application Software*
- *Database & Information System*

1.4 Industri Pemakai

Pengelompokan industri yang menggunakan sistem DDC dan DCS diperlihatkan pada tabel 1-1, berikut ini:

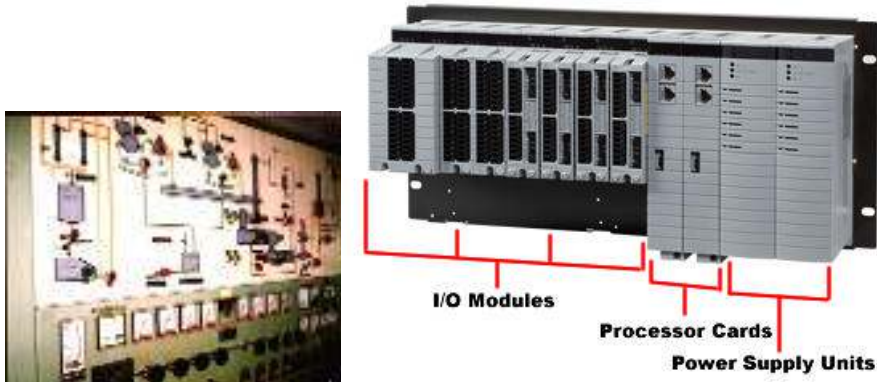
Tabel 1-1 : Kelompok Industri Pemakai

SISTEM OTOMASI DCS	SISTEM OTOMASI DDC
Industri Logam Dasar	Industri Obat
Industri Konstruksi Logam	Industri Pengolahan Makanan
Industri Minyak dan Gas	Industri Pengolahan Minuman
Industri Kimia	Industri Kosmetik
Industri Peralatan Elektronika	Industri Pengolahan Kayu
Industri Peralatan Listrik	Industri Taman Hiburan
Industri Otomotif	Gedung Bertingkat
Industri Peralatan dan Mesin Produksi	
Industri Pipa	
Industri Pesawat Terbang	
Industri Kapal Laut	
Industri Telekomunikasi	
Industri Pengolahan Biji Plastik	
Industri Gelas dan Keramik	
Industri Plastik	
Industri Kertas	

1.5 Sistem Kontrol Otomasi Industri

Unsur penghubung pengukuran dan elemen kendali paling akhir (output) adalah pengontrol, sebelum adanya penggunaan komputer, pengontrol pada umumnya berupa pengontrol single-loop PID. Hal ini menyebabkan banyaknya produksi pengontrol berupa pengontrol PID dan hanya bisa melaksanakan fungsi kontrol PID, saat ini sebuah pengontrol dapat melakukan banyak hal bagaimanapun permasalahan yang harus diselesaikan, perkembangan terakhir 80 sampai 90% pengontrol PID masih banyak digunakan. Sekarang sudah banyak sistem yang menggunakan diskrit yang dalam implementasinya menggunakan komputer, melalui bahasa pemrograman dapat dibangun sistem kontrol Fuzzy logic, Neural Network, Knowledge base dll. Sudah tentu bahwa sangat sukar untuk katakan pengontrol analog lebih baik daripada pengontrol digital, yang jelas kedua pengontrol dapat bekerja sesuai dengan fungsinya untuk mencapai pekerjaan yang diberikan. Pengontrol

analog didasarkan pada perubahan yang diakibatkan oleh komponen elektrik/mekanik dan menyebabkan perubahan pada proses yaitu dari elemen kendali yang paling akhir. Pada elemen kendali akhir inilah merupakan bagian yang bergerak terus menerus tidak ada batasan waktu selalu memberikarikan tanggapan pada proses, sehingga ada sedikit perubahan selalu pasti ada perubahan pada proses. Berikut beberapa contoh gambar industri yang telah menggunakan sistem kontrol dalam melaksanakan proses produksinya.



Gambar 1 -5 Sistem kontrol menggunakan PLC berikut panel kontrol otomatis



Gambar 1-6 Operator konsol



Gambar 1-7 Ruang Kontrol Otomasi



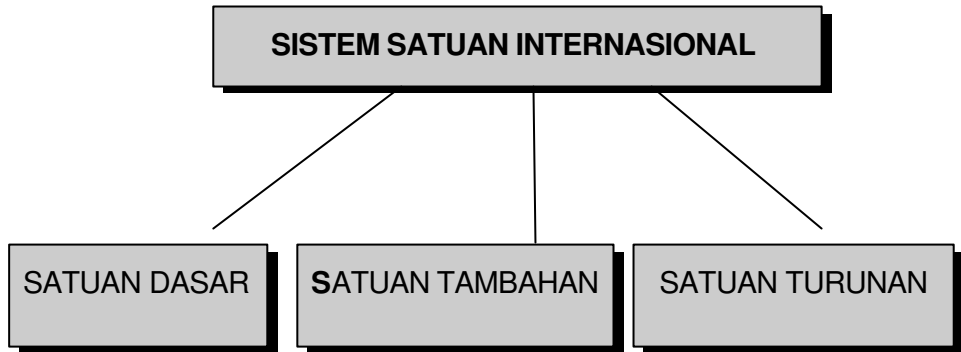
Gambar 1-8 Sistem Master Kontrol (ABB)

BAB II KOMPONEN ELEKTRONIKA

2.1. PENGETAHUAN LISTRIK DAN ELEKTRONIKA

2.1.1. BESARAN DAN SATUAN

2.1.1.1. SISTIM SATUAN



– Panjang	m	– Sudut ruang	Sr	– Luas	m^2
– Massa	kg	– Luas	m^2	– Isi	m^3
– Waktu	s	– Isi	m^3	–Kecepatan	$\frac{m}{s}$
– Arus listrik	A	– Kecepatan	$\frac{m}{s}$	–Percepatan	$\frac{m}{s^2}$
– Suhu	K	–Percepatan	$\frac{m}{s^2}$		
– Kuat cahaya	cd				
– Jumlah unsur	mol				
– Sudut bidang Datar	rad				

2.1.1.2. SATUAN - SATUAN

–:

–amper	–siemens	–Coulomb	–tesla
–volt	–watt	–farad	–henry
–ohm	–joule	–weber	–hertz

2.1.1.3. AWALAN SATUAN :

exa	10^{18}	penta	10^{15}	dezi	10^{-1}	centi	10^{-2}
tera	10^{12}	giga	10^9	milli	10^{-3}	mikro	10^{-6}
mega	10^6	kilo	10^3	nano	10^{-9}	piko	10^{-12}
hekto	10^2	deka	10^1	femto	10^{-15}	atto	10^{-18}

2.1.1.4. DAFTAR AWALAN SATUAN

Tabel 2.1 Awalan Satuan

KELIPATAN	AWALAN	LAMBANG
= 1	mega	M
	kilo	k
	—	—
	milli	m
	mikro	μ
	nano	n
	piko	p

$$1 \text{ kA} = 1 \text{ kilo ampere} = 1000 \text{ A} = 10^3 \text{ A}$$

$$1 \text{ mA} = 1 \text{ milli ampere} = \frac{1}{1000} \text{ A} = 10^{-3} \text{ A}$$

$$1 \mu\text{A} = 1 \text{ mikro ampere} = \frac{1}{1000000} \text{ A} = 10^{-6} \text{ A}$$

$$1 \text{ MV} = 1 \text{ megavolt} = 1000000 \text{ V} = 10^6 \text{ V}$$

$$1 \text{ kV} = 1 \text{ kilovolt} = 1000 \text{ V} = 10^3 \text{ V}$$

$$1 \text{ mV} = 1 \text{ millivolt} = \frac{1}{1000} \text{ V} = 10^{-3} \text{ V}$$

$$1 \mu\text{V} = 1 \text{ mikrovolt} = \frac{1}{1000000} \text{ V} = 10^{-6} \text{ V}$$

$$1 \text{ M}\Omega = 1 \text{ mega ohm} = 1\,000\,000 \Omega = 10^6 \Omega$$

$$1 \text{ k}\Omega = 1 \text{ kilo ohm} = 1000 \Omega = 10^3 \Omega$$

$$1 \text{ m}\Omega = 1 \text{ milli ohm} = \frac{1}{1000} \Omega = 10^{-3} \Omega$$

Contoh :

Besaran	Tanda	Satuan	Pernyataan
Kuat Arus Listrik	I	ampere	A
Tegangan Listrik	U	volt	V
Daya (tenaga)	P	watt	W
Tahanan Listrik	R	ohm	Ω

2.1.1.5. SATUAN DASAR :

Tabel 2.2 Satuan Dasar

Besaran Dasar	Tanda	Satuan	Pernyataan
Panjang	l	meter	m
Massa	m	kilogram	kg
Waktu	t	detik	s
Arus Listrik	I	ampere	A
Suhu	T	kelvin	K
Kuat cahaya	lv	candela	cd
Jumlah unsur	N	mol	mol

2.1.1.6. SATUAN TAMBAHAN

Tabel 2.3 Satuan Tambahan

Besaran	Tanda	Satuan	Pernyataan
Sudut Bidang datar	$\alpha, \beta, \chi,$	radian	rad
Sudut Ruang	ω, Ω	steradian	Sr

2.1.1.7. SATUAN TURUNAN

Tabel 2.4 Satuan Turunan

Besaran Turunan	Tanda	Satuan	Pernyataan
Luas	A	meter persegi	m^2
Isi (Volume)	V	meter kubik	m^3
Kecepatan	v	meter perdetik	ms^{-1} atau $\frac{m}{s}$
Percepatan	a	meter perdetik kwadrat	ms^{-2} atau $\frac{m}{s^2}$

2.1.1.8. SATUAN-SATUAN DALAM TEKNIK LISTRIK

Tabel 2.5 Satuan dan Besaran Listrik

Satuan / Besaran	Satuan Dasar Turunan
amper (A) Satuan dari kuat arus listrik (I) .	$1 \text{ A} = 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{V} \cdot \text{s}^3}$
volt (V) Satuan dari tegangan listrik (U) $V = \frac{W}{A}$	$1 \text{ V} = 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^3 \cdot \text{A}}$
ohm (Ω) Satuan dari tahanan listrik (R) $\Omega = \frac{V}{A}$	$1 \Omega = 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^3 \cdot \text{A}^2}$
siemen (S) Satuan dari daya hantar (G) $S = \frac{1}{\Omega} = \frac{A}{V}$	$1 \text{ S} = 1 \frac{\text{s}^3 \cdot \text{A}^2}{\text{kg} \cdot \text{m}^2}$
watt (W) Satuan dari daya listrik (P) $W = V \times A = \frac{J}{s}$	$1 \text{ W} = 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^3}$
joule (J) Satuan dari usaha listrik (W) $1 \text{ J} = 1 \text{ Nm} = 1 \text{ Ws} = 1 \text{ VAs}$	$1 \text{ J} = 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2}$
Coulomb (C) Satuan kapasitasi listrik (C) $C = \text{As}$	$1 \text{ C} = 1 \text{ As}$

Satuan / Besaran	Satuan Turunan	Dasar
farad (F) Satuan dari kapasitas listrik (C) $F = \frac{C}{V} = \frac{As}{V}$	$1 F = 1 \frac{s^4 A^2}{kg m^2}$	
weber (WB) Satuan dari fluks magnet (Q), Wb = vs	$1 Wb = 1 \frac{kg m^2}{s^2 A}$	
Tesla (T) Satuan dari kerapatan fluks magnet (B) $T = \frac{Vs}{m^2} = \frac{Wb}{m^2}$	$1 T = 1 \frac{kg}{s^2 A}$	
ampere per meter (A/m) Satuan kuat medan magnet (H) $\frac{A}{m}$	$\frac{A}{m}$	
henry (H) Satuan dari induktansi (L) $H = \frac{Vs}{A} = \frac{Wb}{A} = \Omega s$	$1 H = 1 \frac{kg m^2}{s^2 A^2}$	
hertz (Hz) Satuan dari frekuensi (f) Hz	$1 Hz = 1 \frac{1}{s}$	

Contoh soal :

1. Rumus $U = I \cdot R (A \times \Omega)$

Jawab : $U = I \cdot R (A \cdot \Omega)$

$$U = A \cdot \frac{kg \cdot m^2}{s^3 \cdot A^2}$$

$$U = \frac{kg \cdot m^2}{s^3 \cdot A}$$

2. Rumus $P = I^2 \cdot R (A^2 \cdot \Omega)$

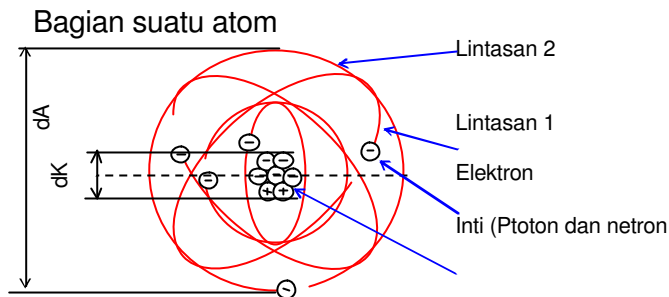
Pindahkan kedalam satuan dasar .

Jawab : $P = I^2 \cdot R$

$$P = A^2 \cdot \frac{kg \cdot m^2}{s^3 \cdot A^2} = \frac{kg m^2}{s^3}$$

2.1.2. STRUKTUR BAHAN

2.1.2.1. ATOM DAN MUATAN LISTRIK Q



Gambar 2.1 Bagian Suatu Atom

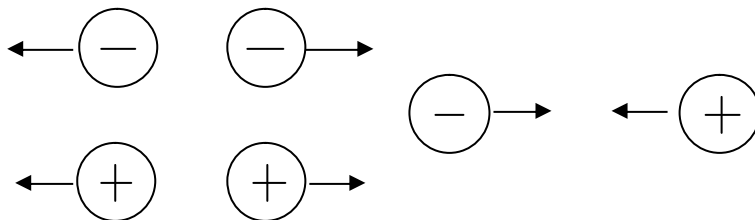
Tabel 2.6 Proton dan elektron adalah muatan listrik

Keterangan	ϕ dalam mm	Massa dalam g	Jenis muatan listrik
<u>Atom lengkap</u> d_A	10^{-12}		
<u>Inti atom</u> d_K	10^{-12}		
<u>Proton</u>	10^{-12}	$1,7 \cdot 10^{-24}$	<u>Positif</u>
<u>Neutron</u>	10^{-12}	$1,7 \cdot 10^{-24}$	<u>Netral</u>
<u>Elektron</u>	10^{-12}	$9,1 \cdot 10^{-28}$	<u>Negatif</u>

2.1.2.2. MUATAN ELEKTRON

Atom terdiri dari dua bagian yaitu bagian dalam berupa inti bermuatan positif dan pada bagian luar adalah elektron yang bermuatan negatif, dan mengitari inti. Sedangkan inti terdiri dari proton dan neutron. Satu atom ada yang mempunyai jumlah proton sama dengan elektron, maka pada bagian luar bekerja listrik yang netral.

Muatan elektron yang sama jenis saling tolak menolak, muatan yang berlawanan saling tarik menarik.

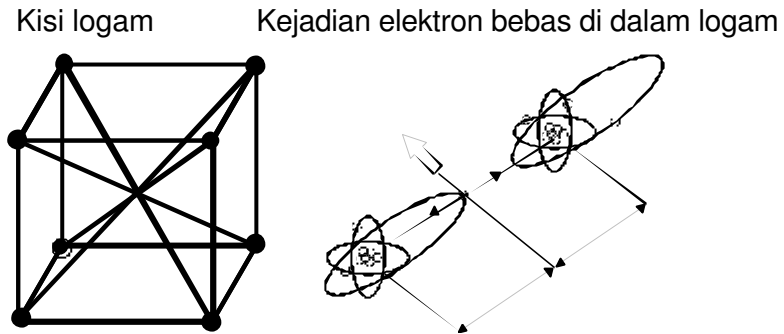


Gambar 2.2 Tarik – Menarik Antar Muatan Elektron

Satuan dari muatan listrik : 1 coulomb (IC) atau
 1 amper sekon (1 As) $C = 1 \text{ As}$ $1 \text{ As} \triangleq 6,24 \cdot 10^{18}$ elektron.

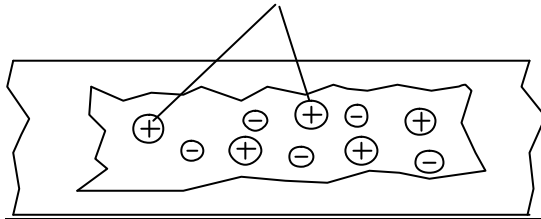
2.1.2.3. PENGHANTAR ARUS DALAM LOGAM

Atom-atom di dalam logam tersusun menurut suatu ikatan geometris yang sempurna (kisi logam)



Gambar 2.3 Pergerakan Elektron Bebas dalam Logam

Elektron bebas dan muatan positif suatu penghantar
Muatan (ion) positif yang tidak bergerak



Gambar 2.4 Elektron Bebas dan Muatan Positif dalam Suatu Penghantar
 Pada penghantar yang baik, perak atau tembaga, jumlah elektron bebas sama dengan jumlah atom.

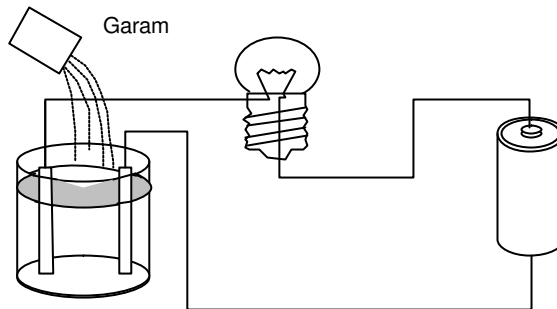
Contoh :

Kawat tembaga : panjang = 1 m, luas penampang = 1 mm^2 berisi kira-kira $85 \cdot 10^{21}$ atom. mempunyai elektron bebas. Benda lain seperti kayu, porselen dsb, memiliki elektron bebas sedikit. Bahan ini bukan penghantar listrik, melainkan penyekat listrik. Logam mempunyai elektron-elektron bebas, mereka di dalam penghantar bergerak bebas. Elektron bebas ini berlaku sebagai penghantar listrik.

2.1.2.4. PENGHANTAR ARUS DALAM ZAT CAIR

Pada zat cair tiap-tiap atom atau molekul dapat bergerak bebas

Percobaan :



Gambar 2.5 Percobaan Penghantar Arus dalam Zat Cair

Ketentuan :

Air destilasi (air suling) adalah bukan penghantar, Dia tidak mengalirkan arus.

Dengan menambahkan garam dapur, air destilasi menjadi penghantar dan mengalirkan arus.

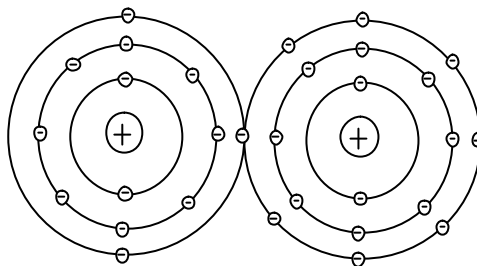
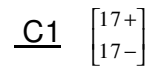
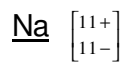
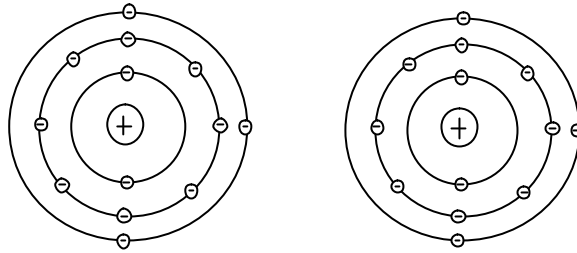
2.1.2.5. PERISTIWA ATOM:

Molekul garam akan terurai dari air "Elektron - bersama" suatu molekul Na ϕ tinggal pada atom ϕ ; *Oleh karena itu terjadi* 1 Atom NA dengan kekurangan 1 elektron (Ion Na positif) 1 Atom CL dengan kelebihan 1 elektron (ion X negatif)

Sifat kelistrikan atom yang tidak sama dinamakan ION (berpindah)Dia didalam zat cair bertindak sebagai penghantar listrik.

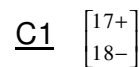
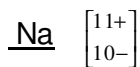
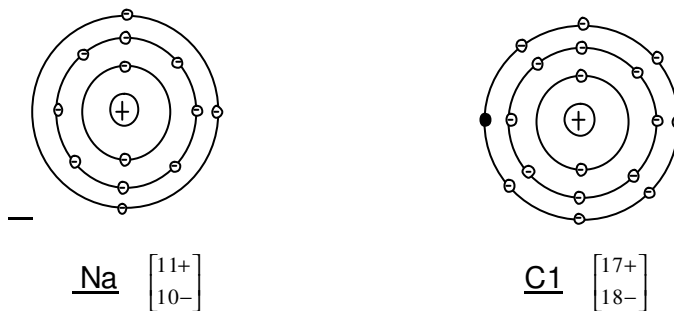
Garam dapur : Natrium + Chlor

Natriumchlorida



Gambar 2.6 NaCl (molekul garam dapur)

Ikatan kimia melalui kerjasama elektron (elektron valensi)



Gambar 2.7 Ikatan kimia elektron (elektron valensi) NaCl

Penghantaran arus dalam zat cair dinamakan elektrolit

Tabel 2.7 Perbedaan Cairan Elektrolit dan Non-Elektrolit

Elektrolit	Bukan Elektrolit
-Larutan asam -larutan alkali (Basa) -larutan garam toh : -Asam belerang -Natron basa -Air sumur	- air murni(destilasi) - Hidrokarbon - alkohol Contoh --Minyak isolasi --Aseton
Elektrolit adalah bahan, dalam bentuk larutan menghantarkan arus listrik, tetapi dalam bentuk padat bukan penghantar (ini berbeda dengan logam, yang mana juga sebagai penghantar padat) Elektrolit didalam air ter belah menjadi ion positif dan negatif (diisolasi)	Bukan elektrolit adalah bahan, larutan encernya tidak menghantarkan arus listrik. Bukan elektrolit didalam air atau media yang lain sebagai molekul tersendiri, bermuatan netral.

2.1.2.6. PEMBENTUKAN ION DALAM LARUTAN ENGER

Pada asam	ion hidrogen positif	ion sisa asam negatif
Contoh : HCl	H^+	+ Cl^-
H_2SO_4	$2H^+$	+ SO_4^{--}
Pada basa :	ion sisa basa positif	ion hidroksida negatif
Contoh : NaOH	Na^+	+ OH^-
$Ca(OH)_2$	Ca^{++}	+ $2OH^-$
Pada garam :	ion sisa basa positif	ion sisa basa negatif
Contoh : Na ϕ	Na^+	+ Cl^-
$CuSO_4$	Cu^{++}	+ SO_4^{--}

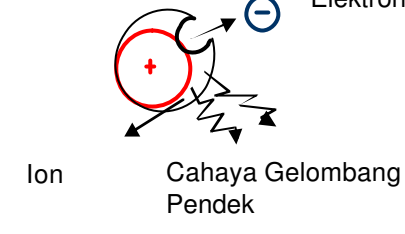
2.1.2.7. PENGHANTAR ARUS DALAM GAS

Gas pada suhu normal dan kuat medan listrik kecil adalah bukan penghantar, oleh karena gas bermuatan netral.

Untuk mendapatkan sifat hantar listrik, atom gas harus dionisir bersamaan dengan itu (terutama) terbentuk ion positif. Ionisasi gas dinamakan plasma.

2.1.2.8. IONISASI

Ionisasi memerlukan TENAGA dalam bentuk

	<p>Panas</p> <p><u>Cahaya</u></p> <p>Gelombang pendek, (contoh : Sinar kosmik yang terang, radioaktif)</p> <p><u>Medan listrik</u></p> <p><u>Tenaga tumbuk</u></p>
---	--

Pada gas sebagai penghantar listrik adalah ion dan elektron.

Peristiwa terjadinya penghantaran arus dalam gas dinyatakan sebagai pelepasan gas.

2.1.2.9. PELEPASAN GAS

Macam-macam pelepasan gas :

Pelepasan korona

(Terjadi pada medan listrik tinggi)

Contoh :

Saat terjadi petir timbul pelepasan muatan diikuti pancaran sinar pada benda logam yang runcing (Penangkap petir)

Pelepasan tidak dengan sendirinya

(Gas hanya akan menghantarkan, selama diberi tenaga)

Contoh :

Tanda kebakaran otomatis,

Pelepasan dengan sendirinya

(Gas tetap menghambat tanpa penam bahan tenaga lebih lanjut dari luar)

Contoh :

Lampu pelepasan gas

Pelepasan busur

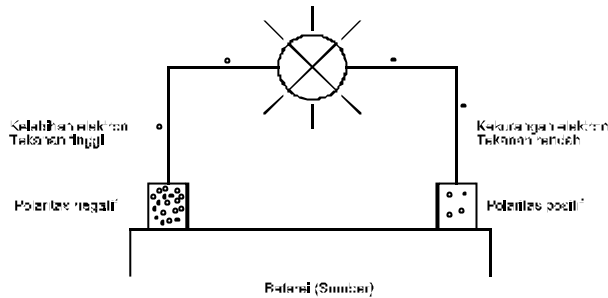
(Busur cahaya)

Contoh : Tungku busur, las busur, lampu busur.

2.1.3. SUMBER LISTRIK

2.1.3.1. TEGANGAN LISTRIK

Penyebab gerakan pada elektron bebas dan ion Untuk menimbulkan tenaga listrik, muatan positif dan negatif pada semua bahan dipisahkan satu sama lain. Muatan yang terpisah ini berusaha menyeimbangkan diri. Kecenderungan untuk seimbang antara muatan yang berbeda dinamakan tegangan listrik.



Gambar 2.8 Tegangan Listrik Dari Sumber Listrik Baterai

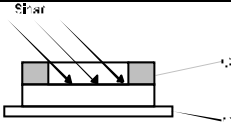

Tegangan listrik yang berhubungan dengan tekanan elektron bebas merupakan penyebab Bergeraknya elektron tersebut.

Tegangan listrik itu terjadi :

- Antara bagian yang kelebihan dan kekurangan elektron.
- Antara bagian yang kelebihan elektron banyak dan sedikit.
- Antara bagian yang kekurangan elektron banyak dan sedikit.

Tabel 2.8 Pembangkitan tegangan

Keterangan	Gambar (percobaan)	Contoh
<u>Induksi</u>		- <u>Generator dalam kerja tenaga</u> - <u>Mesin penerangan mobil</u> - <u>Dinamo sepeda</u>
<u>Pembangkitan - tegangan secara kimia</u>		<u>Baterai (elemen galvanis, akumulator).</u> <u>Korosi elektronika</u>
<u>Pembangkitan titik sambungan dua logam yang berbeda</u>		<u>Elemen panas (Thermo elemen)</u>

<u>Sinar yang mengenai foto elemen</u>		<u>Foto cell</u> <u>Sinar filem</u>
<u>Pengaruh (Muatan elektro statis)</u>	Pemisahan gesekan atau bahan isolasi	<u>Muatan statik pada bahan plastik</u>
<u>Tekanan pada kristal</u>		<u>Mengukur tekanan,</u> <u>Piringan hitam kristal</u> <u>Mikrofon kristal</u>
<u>Otot dan saraf</u>	Gerakan otot karena tegangan listrik, pembang kitan tegangan listrik.	<u>Elektro kardiogram</u> <u>Pemanggil ikan (getaran)</u>

2.1.3.2. ARUS LISTRIK

Listrik sebagai energi dapat dibangkitkan dari energi yang lain . Energi mekanik, energi kimia dan energi panas dapat membangkitkan energi listrik dapat mengalir melalui bahan penghantar, tetapi tidak semua bahan dapat mengalirkan listrik . Bahan yang memiliki elektron-elektron bebas didalamnya, seperti logam, dapat mengalirkan listrik tetapi kayu yang tidak memiliki elektron-elektron bebas tidak dapat mengalirkan . Karena listrik merupakan bentuk energi yang amat luas penggunaannya, maka perlu sekali dipahami sifat-sifatnya .

Penghantar yang menghubungkan kutub-kutub sebuah sumber listrik terletak didalam medan listrik . Karena medan listrik inilah elektron-elektron bebas di dalam penghantar bergerak dan terjadilah aliran listrik . Aliran listrik yang berasal dari elemen mempunyai arah yang tetap, yaitu dari kutub berpotensi tinggi ke kutub berpotensi rendah, sedang yang berasal dari dinamo arahnya dapat tetap atau tidak . Aliran listrik yang arahnya tetap disebut aliran listrik searah (DC = direct current) dan yang tetap sering disebut aliran listrik bolak-balik (AC = alternatif current) .

Ada dua macam jenis arus

- a. Arus searah
- b. Arus bolak-balik

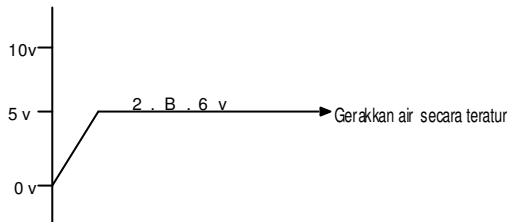
Yang dimaksud dengan arus searah bilamana elektron yang bergerak maju secara teratur. Arus bolak balik ini suatu masa elektron yang bergerak maju secara tidak teratur dimana saling terjadi penggantian arah aliran maju atau mundur, selama elektron bergerak maju tegangan akan naik X Volt dan akan berada dalam posisi positif, dalam keadaan

diam, tegangan akan menunjukkan 0 Volt dan apabila elektron bergerak mundur tegangan akan turun dan akan berada dalam posisi negatif lihat gambar grafik tegangan.

Biasanya penggunaan arus searah untuk peralatan elektronika .

Contohnya : Radio , TV , Komputer , mesin hitung dsb.

Lain halnya dengan arus bolak balik terutama digunakan dirumah rumah, pabrik pabrik, untuk menjalankan alat - alat rumah tangga dan lain sebagainya.



Gambar 2.9 Grafik tegangan

2.1.3.3. KESEIMBANGAN MUATAN LISTRIK

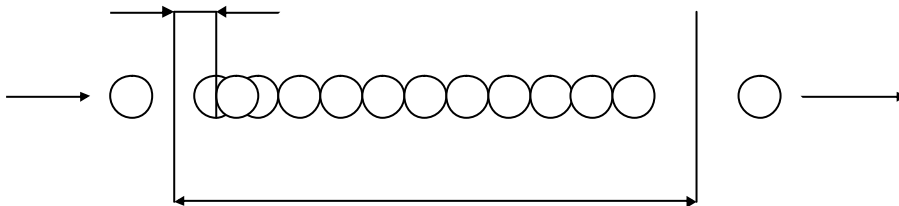
Keseimbangan muatan listrik dinamakan Arus Listrik

(misalnya di dalam logam : Aliran Elektron)

$I = \frac{Q}{t} (\frac{AS}{S}) = A$	Satuan : 1 Ampere (1A) : $A = \frac{1As}{1s}$
--------------------------------------	--

Perbandingan aliran elektron dengan bola peluru :

$S_B =$ Lintasan sebuah bola



Gambar 2.10 Lintasan Sebuah Bola

$V \text{ Impuls} = \frac{SR}{t} = \text{besar}$ $V \text{ Bola} = \frac{SR}{t} = \text{kecil}$

Impuls benturan elketron bebas $\approx 300.000 \text{ km/s}$

Kecepatan sesungguhnya elektron bebas $\approx 0,4 \text{ mm/s}$

Rapat Arus S

$$\underline{S} = \frac{I}{A} \left[\frac{\text{A}}{\text{mm}^2} \right]$$

Contoh :

A Kawat = 1,5 mm²

$$S_K = \frac{0,3\text{A}}{1,5\text{mm}^2} = 0,2 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$$

Hampir tidak menimbulkan pemanasan pada penghantar

$$S_f = \frac{0,3\text{A}}{0,0006\text{mm}^2} = 500 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$$

Muatan yang tertentu pada kawat tembaga yang diisolasi menurut PUIL

Tabel 2.9 Muat Arus, Luas Penampang dan Kerapatan Arus

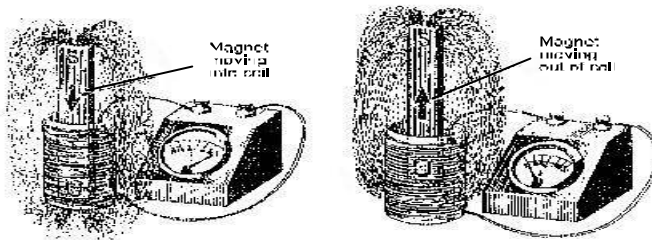
I (A)	A (mm ²)	S (A / mm ²)	I (A)	A (mm ²)	S (A / mm ²)
6	1	<u>6</u>	60	16	3,75
10	1,5	<u>6,67</u>	80	25	3,2
15	2,5	<u>6</u>	100	35	2,86
20	4	<u>5</u>	125	50	2,5
25	6	<u>4,17</u>	150	70	2,14
40	10	<u>4</u>	200	95	2,11

Kerapatan arus yang diijinkan pada penghantar disesuaikan menurut bahan penghantar dan menurut kemungkinann pendinginannya.

2.1.4. PEMBANGKIT TEGANGAN

2.1.4.1. PEMBANGKIT TEGANGAN DENGAN INDUKSI

Apabila lilitan kawat digerakan didalam medan magnet (medan magnet ialah ruang yang berada di antara kutub utara dan kutub selatan magnet), atau batang magnet digerakan di dalam lilitan kawat, maka timbul tegangan listrik induksi atau imbas; berikut dibawah ini.

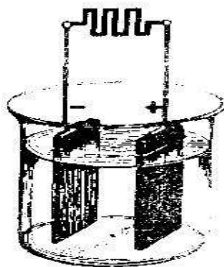


Gambar 2.11 Pembangkit Tegangan dengan Induksi

Magnet batang digerakkan bolak-balik di dalam kumparan (lilitan kawat). Di dalam kumparan itu diinduksikan tegangan (ggl) bolak-balik. Cara ini digunakan di dalam generator untuk membangkitkan tegangan (membangkitkan ggl).

2.1.4.2. PEMBANGKIT TEGANGAN DENGAN TENAGA KIMIA

Dua logam yang berlainan, misalnya tembaga dan seng, kita rendam di dalam suatu larutan asam belerang di dalam air. Kedua logam itu yang satu bersifat positif dan yang lain bersifat negatif, jadi antara keduanya terdapat beda potensial. Dapat disebut juga, bahwa di dalam alat ini, yang disebut sel volta, terdapat ggl. Lihat gambar

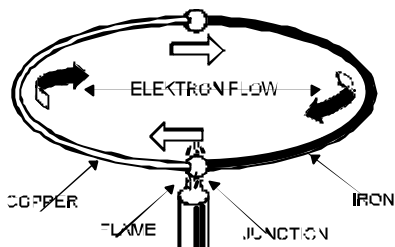


Gambar 2.12 Pembangkit Tegangan dengan Tenaga Kimia

Batang tembaga dan batang seng direndam di dalam larutan asam belerang. Antara kedua logam itu terjadi beda tegangan listrik.

2.1.4.3. PEMBANGKIT TEGANGAN DENGAN TENAGA PANAS

Apabila kedua ujung dua potong kawat logam yang berlainan misalnya tembaga dan besi, kita ikatkan satu sama lain dan kita panasi, maka terjadi penekanan elektron ke bagian kawat tembaga yang dingin. Jadi di ikatan yang panas itu terjadi penarikan elektron dari besi ke tembaga. Sehingga terjadi beda tegangan antara ujung besi dan ujung tembaga yang bebas.



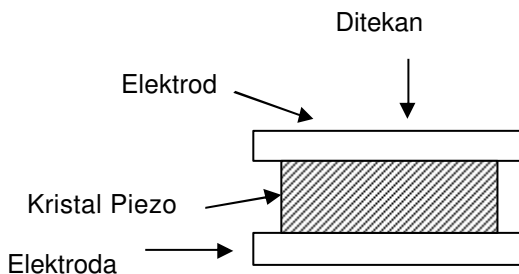
Gambar 2.13 Pembangkit Tegangan dengan Tenaga Panas

2.1.4.4. PEMBANGKIT TEGANGAN DENGAN TENAGA CAHAYA

Beberapa bahan, seperti sodium (Na), selenium (Se), potassium (K), apabila kena cahaya akan melepaskan sedikit elektron. Sifat ini dimanfaatkan orang untuk membuat sel-foto (photo cell) sebagai pembangkit tegangan listrik .Pembangkit tenaga listrik yang dipakai disatelit Telstar, menggunakan cara ini. sel itu disebut sel matahari (solar cell), karena menerima cahaya matahari dan mengubahnya menjadi tenaga listrik.

2.1.4.5. PEMBANGKIT TEGANGAN DENGAN PIEZO ELEKTRIK

Beberapa kristal dapat membangkitkan arus listrik jika diberi tekanan mekanis. Atomnya tersusun begitu rupa hingga bila mendapat tekanan pada permukaannya, terjadi pergerakan elektron yang arahnya lebih mudah ke satu arah daripada arah yang lain. Hal ini menyebabkan terjadinya muatan positif pada satu permukaan dan muatan negatif pada permukaan lain (lihat gambar di bawah.).



Gejala listrik piezo.

kristal ditekan menimbulkan gerakan elektron, menjadikan satu elektroda positif dan yang lain negatif, yang dapat membangkitkan arus

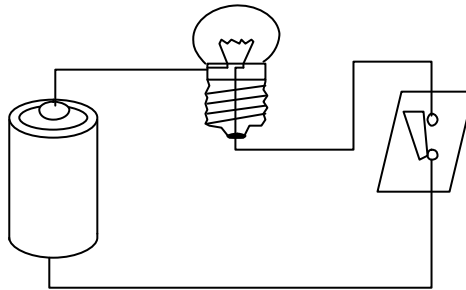
Gambar 2.13 Pembangkit Tegangan dengan Tenaga Panas

2.1.5. RANGKAIAN LISTRIK

2.1.5.1. TENAGA LISTRIK

- Listrik adalah suatu bentuk *tenaga*, seperti *tenaga panas, cahaya, mekanik dan kimia*.
- Pembangkit : misalnya generator (tenaga mekanik)
baterai (tenaga kimia)
solar sel (*tenaga cahaya*)
- Pemakai : misalnya *Kompore* (panas)
Lampu (cahaya)
(tenaga mekanik) Motor
- Keuntungan : *Baik dalam hal transportasi tidak ada yang terbuang dapat diubah kedalam bentuk tenaga yang lain.*
- Kerugian: Tidak ekonomis dalam penyimpanannya Tidak terlihat *gerakannya*. Pembangkitannya *berakibat tidak menyenangkan bagi lingkungan*

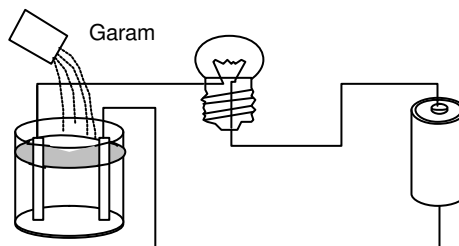
2.1.5.2. LISTRIK DALAM RANGKAIAN TERTUTUP



Gambar 2.15 Rangkaian Listrik Tertutup

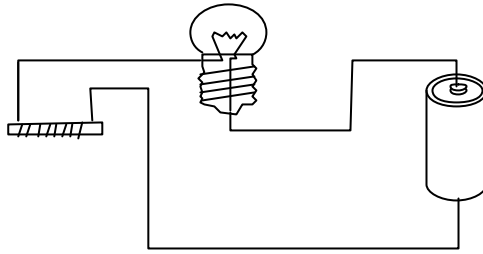
Arus listrik mengalir hanya dalam rangkaian **tertutup**

Penghantar, semi penghantar dan bukan penghantar Percobaan 1 :



Gambar 2.16 Rangkaian Listrik Melalui Semi Penghantar

Penghantar : **elektrolit, Logam, arang**



Gambar 2.17 Rangkaian Listrik Melalui Penghantar

Semi penghantar: **germanium, silizium, selenium**

Bukan penghantar: **porselein, gelas, udara** (bahan solasi)

Daya hantar jenis bahan isolasi, semi penghantar dan logam dimana daya hantar jenis :

γ (baca gamma)

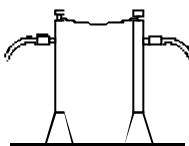
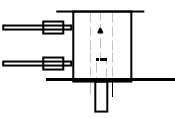
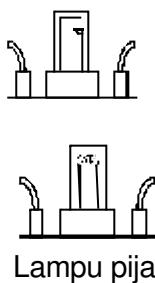
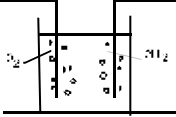
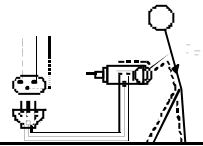
$$\gamma = \frac{1}{\rho} \text{ dengan satuan } \frac{\text{m}}{\Omega \text{ mm}^2}$$

Tabel 2.10 Simbol Normalisasi Internasional IEC (*International Elektrotechnical Comission*)

Keterangan	Gambar	Simbol
<i>Penghantar</i>		
<i>Persilangan hantaran</i>		
<i>Percabangan hantaran</i>		
<i>Baterai</i>		
<i>Lampu pijar</i>		
<i>Saklar</i>		

2.1.5.3. USAHA ARUS LISTRIK

Tabel 2.10 Percobaan Usaha Arus Listrik

Penunjukan	G a m b a r	Peristiwa	C o n t o h
Perubahan menjadi panas (Heat effect)		Terus menerus	Pemanas,sekring,kompor, solder tungku pelebur, pelepa-san bimetal bencana kebakaran
Perubahan menjadi magnet		Terus menerus	Magnet listrik Motor listrik Instrumen ukur
Perubahan menjadi cahaya	 Lampu pijar	Arus dalam gas melalui panas	Lampu gas, neon (TL) Lampu uap sodium , Lampu mercury Lampu pijar
Perubahan menjadi proses kimia		Arus di dalam Zat Cair	Elektrolisa untuk memperoleh bahan logam dan bahan logam dan bahan kimia Galvanisir
Akibat pada manusia dan binatang	 Penghantar Aman terputus	Arus melewati benda hidup	Kecelakaan listrik, Pengobatan listrik, Pagar listrik

Orang mengenal listrik hanya dari **Akibat yang timbul**

2.1.6. ELEKTROLISA

2.1.6.1. PERISTIWA KIMIA LISTRIK

Arus searah mengalir melalui suatu elektrolit, maka kita dapat mengamati perubahan bahan yang terjadi pada elektroda elektroda. Sedangkan elektrolit *diuraikan secara kimia* (elektrolisa). Pada elektrolisa *ion-ion positif* (kation) ditarik oleh elektroda negatif (katoda), *ion-ion negatif* (anion) berjalan menuju elektroda positif (anoda).

Penggunaan elektrolisa di atas yaitu pada proses :

- Galvanisasi (*melapisi suatu logam lain yang berbentuk elektrolit*)
Contoh : Melapisi dengan tembaga, melapisi dengan nickel.
- Menghasilkan logam yang lebih bersih.
Contoh : Tembaga elektrolit / tembaga katoda, seng elektrolit, aluminium elektrolit (electrolysis in the dry way).
- Oksidasi anoda aluminium (*Pembentukan lapisan oksida pada aluminium dengan bantuan arus listrik di dalam suatu elektrolit*)
- Penguraian air (*Menghasilkan oksigen dan hidrogen*)

2.1.6.2. PELAPISAN BAHAN

Penentuan Jumlah Bahan Yang Terpisah(Lapisan Endapan)
Jumlah bahan logam yang terpisah dan menempel pada elektroda negatif besar.sebanding dengan *arus* dan *waktu*.

$$m = I \cdot t \cdot c \quad (\text{Hukum Faraday I})$$

$$m = \text{Jumlah bahan yang terpisah dalam} = \text{mg} \cdot g$$

$$I = \text{arus} \quad \text{dalam} = \text{mA} \cdot A$$

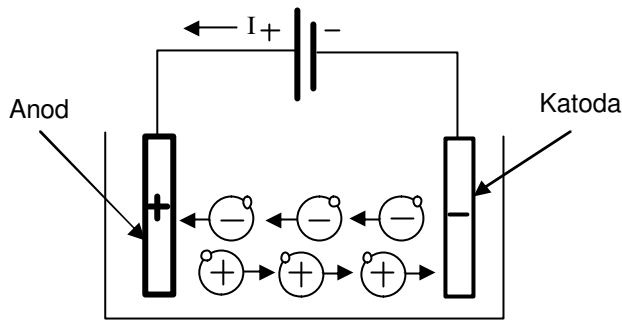
$$T = \text{Waktu} \quad \text{dalam} = \text{det} (\text{jam})$$

$$C = \text{Ekivalen kimia listrik} \quad \text{dalam} = \text{mg} / A \text{ det}, g / A \text{ jam}$$

Tabel 2.11 Ekivalen Kimia listrik.

c \ Logam	Perak	Seng	Tembaga	Nikel	Krom
c (mg / A det)	1,118	0,399	0,329	0,304	0,18
c (g / A jam)	4,02	1,22	1,185	1,094	0,648

Contoh :



Pada pembuatan tembaga elektrolit, arus yang biasanya mengalir dalam sel elektrolisis ditentukan sebesar 8 kA.

Berapa banyak tembaga yang disisihkan selama 24 jam ?.

Penyelesaian : $m = I \cdot t \cdot c$
 $m = 8000A \cdot 24 \text{ jam} \cdot 1,185 \text{ g / A jam}$
 $m = 227500 \text{ g} = 227,5 \text{ kg}$

2.1.6.3. USAHA LISTRIK DALAM PROSES ELEKTROLISA

Sebuah setrika listrik dihubungkan dengan sumber tegangan listrik. Elemen pemanas akan membara karena dialiri arus listrik (muatan listrik) dari sumber tegangan menuju ke elemen pemanas. Untuk memindahkan muatan listrik diperlukan usaha listrik sebesar :

$$w = U \cdot Q$$

w = usaha listrik Wdt (joule)

U = tegangan listrik Volt (V)

Q = jumlah muatan listrik Coulomb (C)

$$Q = I \cdot t$$

$$w = U \cdot I \cdot t$$

I = kuat arus listrik Amper (A)

t = waktu Detik (dt)

$$P = U \cdot I \longrightarrow w = P \cdot t$$

P = daya listrik Watt (w)

$$U = I \cdot R$$

R = hambatan listrik Ohm (Ω) Sehingga :

$$w = I \cdot R \cdot I \cdot T \longrightarrow w = I^2 \cdot R \cdot T$$

Satuan usaha listrik yang lain :

$$1 \text{ kWh} = 1000 \text{ Wh} = 1000 \cdot 3600 \text{ Wdt} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ j}$$

Konversi usaha listrik terhadap usaha panas dan usaha mekanik :

$$1 \text{ Wdt} = 1 \text{ joule} = 0,24 \text{ kal} = 0,102 \text{ kgm}$$

$$1 \text{ Wh} = 3600 \text{ j} = 864 \text{ kal} = 267,2 \text{ kgm}$$

$$1 \text{ kWh} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ j} = 864 \cdot 10^3 \text{ kal} = 367200 \text{ kgm}$$

Untuk menghitung biaya energi yang harus dibayar yaitu mengalikan usaha listrik terpakai dengan tarif listrik.

$$B = w \cdot T$$

B = biaya

W = usaha listrik kWh

T = tarif Rp / kWh

Contoh :

Sebuah motor listrik mengambil daya 500 watt, digunakan untuk memindahkan benda seberat 100 kg selama 20 jam. Jika tarif listrik Rp. 150,- / kWh.

- Hitung :
- Usaha listrik terpakai
 - Usaha mekanis
 - Biaya yang harus dibayar

Jawab :

a. $w = p \cdot t = 500 \cdot 20 = 10000 \text{ Wh}$

$$w = 10 \text{ kWh}$$

b. $1 \text{ kWh} = 367200 \text{ kgm}$

$$w = 10 \text{ kWh} = 10 \cdot 367200 = 3672 \cdot 10^3 \text{ kgm}$$

$$w = 3677 \cdot 10^3 \text{ kgm}$$

c. $B = w \cdot t = 10 \cdot \text{Rp. } 150,-$

$$B = \text{Rp. } 150,-$$

2.1.6.4. DAYA MEKANIK DALAM PROSES ELEKTROLISA

Untuk memindahkan suatu benda dari tempat satu ke tempat lainnya memerlukan suatu usaha mekanik. Besarnya usaha mekanik tergantung pada berat/massa benda dan jarak pemindahan.

$$W = m \cdot s$$

W = usaha mekanik kgm.

M = massa kg.

S = jarak m.

Usaha mekanik tiap satuan waktu disebut daya mekanik. Artinya semakin besar dayanya, untuk usaha yang sama, dapat dilakukan lebih cepat.

$$P = \frac{w}{t}$$

p = daya mekanik kgm/detik.

W = usaha mekanik kgm.

T = waktu detik.

Satuan usaha mekanik yang lain :

1 tenaga kuda = 1 Horse power = 1 Hp = 75 kgm/det.

Pada pembuatan tembaga elektrolit, arus yang biasanya mengalir dalam sel elektrolitis ditentukan sebesar 8 kA.

Berapa banyaknya tembaga yang disisihkan selama 24 jam ?

Penyelesaian : $m = I \cdot t \cdot c$

$$m = 8000A \cdot 24 \text{ jam} \cdot 1,185 \text{ g / A jam}$$

$$m = 227500 \text{ g} = 227,5 \text{ kg}$$

2.1.6.5. KONVERSI DAYA MEKANIK

Yang dimaksudkan adalah konversi daya mekanik menjadi daya lain yang sering digunakan dalam teknik kelistrikan.

1 Hp = 746 W.

75 kgm/det = 746 W.

75 kgm = 746 W det.

75 kgm = 746 joule. 1 joule = $\frac{75}{746}$ kgm = 0,102 kgm.

1 joule = 0,24 kalori.

$$0,24 \text{ kalori} = 0,102 \text{ kgm.}$$

$$1 \text{ kgm} = \frac{0,24}{0,102} \text{ kalori} = 2,3 \text{ kalori.}$$

$$\text{Jadi } 1 \text{ kgm} = 9,81 \text{ joule} = 2,34 \text{ kalori.}$$

dan

$$1 \text{ kgm/det} = 9,81/\text{det} = 2,34 \text{ kal/det.}$$

Contoh :

Pada plat nama motor tertulis 0,5 Hp. Motor tersebut digunakan untuk memindahkan benda seberat 100 kg sejauh 15 meter. Hitung waktu yang diperlukan !

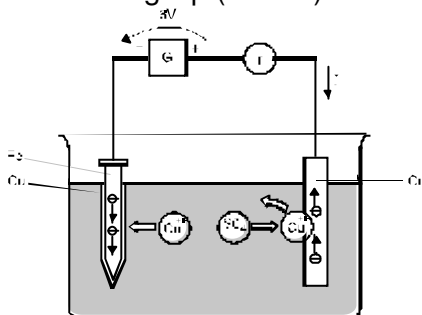
Jawab :

$$W = m \cdot s \quad p = \frac{W}{t} = \frac{m \cdot s}{t}$$

$$t = \frac{m \cdot s}{p} = \frac{100 \cdot 15}{0,5 \text{ Hp}} = 40$$

$$t = 40 \text{ detik.}$$

Elektrolisa → Berpindahnya ion-ion positif (kation) ke katoda serta berpindahnya ion-ion negatif (anion) ke anoda.



Gambar 2.18 Proses perjalanan arus yang melalui Cu SO_4 (Cupri Sulfat)

Melalui penambahan keasaman, alkali atau garam maka air akan menjadi penghantar listrik dan menguraikan larutan.

Cairan penghantar listrik disebut elektrolit. Kandungan pokok dari elektrolit adalah ion - ion.

2.1.6.6. PROSES PENYEPUHAN LOGAM

Dengan elektrolisa, menggunakan suatu logam :

1. Tembaga
2. Nikel
3. Krom
4. Perak
5. Emas

Dan larutan logam itu sebagai elektrolitnya, yaitu kita dapat melapisi logam dengan logam itu.

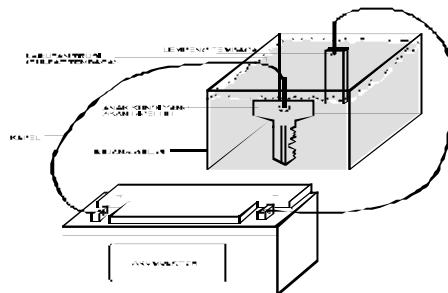
Misalnya :

1. Cincin, gelang disepuh dengan emas atau perak.
2. Bingkai sepeda disepuh dengan krom.
3. Piala disepuh dengan perak dan benda-benda logam lain yang disepuh.

2.1.6.7. TUJUAN PENYEPUHAN

Agar logam tidak mudah berkarat dan menambah keindahan.

Untuk lebih jelasnya lihat gambar 2.19, menyepuh dengan tembaga.



Gambar 2.19 Penyepuhan Tembaga

Galvano Plastik

Benda yang bukan logam dapat dilapisi dengan cara elektrolisa.

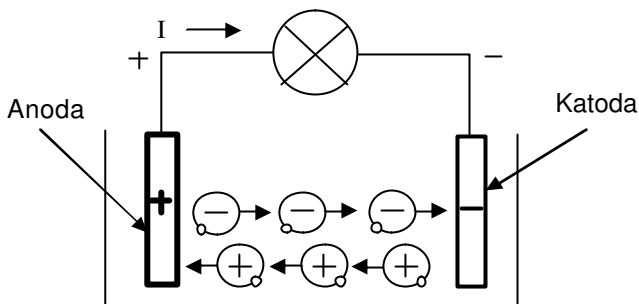
Contoh :

Pembuatan matres (matrijs) untuk percetakan piringan hitam dari benda itu dibuat cetakan gips. Lalu diberi grafit supaya dapat menghantarkan arus. Dengan cara elektrolisa benda cetakan itu disepuh dengan tembaga setelah benda cetakan disepuh baru dibuat matres yang sesungguhnya.

2.1.6.8. CARA MENDAPATKAN LOGAM MURNI

Dalam Elektrolisa dengan larutan trusi (sulfat tembaga), untuk mendapatkan tembaga elektrolisa yang murni sebagai anodanya adalah tembaga kasar (yang akan dimurnikan) dan sebagai katoda nya adalah sepotong tembaga murni tipis.

Dengan mengalirnya arus ion-ion tembaga menuju ke katoda, maka kotoran-kotoran yang tidak dapat hancur akan mengendap didasar. Dengan cara endapan kita dapat menghasilkan logam-logam mulia.

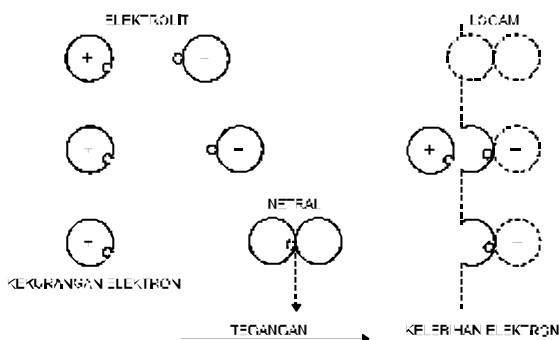


Gambar 2.20 Prinsip Kerja Elemen Galvanis

Ketentuan : Kita celupkan dua logam yang **berbeda** didalam suatu elektrolit maka antara kedua logam terdapat **tegangan listrik**..

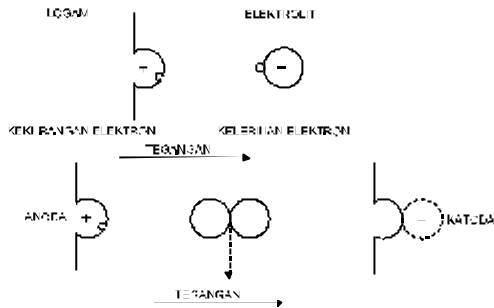
Proses :

- a) Suatu logam larut/terurai elektrolit. Proses ini tergantung pada tingkat kekuatan elektrolitnya, artinya ion-ion logam positif menuju ke dalam larutan, akhirnya tinggalah logam yang bermuatan negatif.



Gambar 2.21 Penguraian Elektrolit

- b) Pada elektrolit-elektrolit lemah, maka logam **terlapisi** dengan ion-ion logam bermuatan positif yang berasal dari elektrolit.



Gambar 2.22

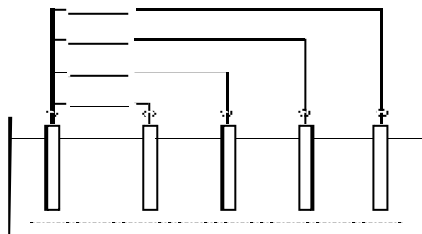
Penyepuhan Logam dengan Ion-ion Elektrolit

2.1.6.9. DAYA LARUTAN

Tabel 2.12 Daya Larutan

Pelarut	Logam
Air.	K, Na, Ca
Air keras encer (Hydrochlorid acid) dingin.	Mg, Al, Mn, Be, Zn, Cr, Fe, Cd
Air keras encer (Hydrochlorid acid) panas.	Co, Ni, Pb, Sn
Asam sendawa (Nitric acid) atau asam sulfat dengan konsentrasi panas.	Sb, Bi, As, Cu, Hg, Ag
Air raja (Nitrohydrochlorid acid) (3 bagian idrochlorida + 1 bagian asam nitrat).	Pt, Au

2.1.6.10. URUTAN TEGANGAN KIMIA LISTRIK



Gambar 2.23 Urutan Tegangan Kimia Listrik berdasar Bahan Elektroda

Tinggi rendahnya tegangan suatu elemen galvanis tergantung pada *bahan elektroda-elektrodanya*.

Polaritas-polaritas elektroda ditentukan oleh *urutan tegangan*.

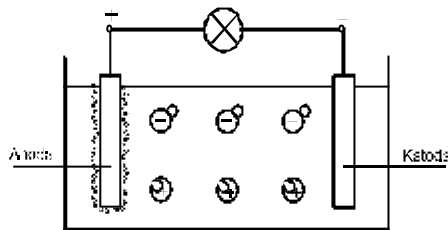
Elektrolit : Misalnya H_2SO_4

Tabel 2.13 Urutan tegangan diukur berlawanan dengan Elektroda Hidrogen normal pada 25°C .

	Tegangan	Simbol	
M	+ 1, 50 V	Emas	Au
U	+ 0, 86 V	Platina	Pt
L	+ 0, 80 V	Perak	Ag
I	+ 0, 79 V	Air raksa	Hg
A	+ 0, 74 V	Karbon	C
	+ 0, 34 V	Tembaga	Cu
	+ 0, 28 V	Bismut	Bi
	+ 0, 14 V	Antimon	Sb
	0	(Hidrogen)	H
	* 0, 13 V	Timbel	Pb
	* 0, 14 V	Timah	Sn
	* 0, 23 V	Nikel	Ni
	* 0, 29 V	Kobalt	Co
	* 0, 40 V	Kadmium	Cd
T	* 0, 44 V	Besi	Fe
A	* 0, 56 V	Chrom	Cr
K	* 0, 76 V	Seng	Zn
	* 0, 10 V	Mangan	Mn

M	*	1, 67	Aluminium	Al
	V			
U	*	2, 40	Magnesium	Mg
	V			
L	*	2, 71	Natrium	Na
	V			
I	*	2, 92	Kalium	K
	V			
A	*	2, 96	Litium	Li
	V			

2.1.6.11. POLARISASI ELEKTROLISA



Gambar 2.24 Polarisasi Elektrolisa Elemen Galvanis pada Cairan Elektrolit

Dengan mengalirnya arus listrik pada elemen galvanis maka pada anoda akan terlampiri dengan Hidrogen, dia menghambat pembangkitan tegangan dan membentuk suatu isolasi.

Kejadian seperti ini dinamakan polarisasi.

Untuk mencegah menempelnya hidrogen maka pada anode, maka dibutuhkan suatu bahan cairan kimia yang dapat mengikat, bahan itu dinamakan "depolarisator".

Tabel 2.14 Bahan Percobaan Polarisasi Elektrolisa

Elemen	Uo	Kutub +	Kutub -	Elektrolit	Depolarisator
arang +Zn	1,5 V	arang	Zn	bubur salmiak	Batu coklat (Mn O ₂)
oksida air raksa	1,3 V	Hg O	Zn	K O H	Hg O
alkali dan Mn O ₂	1,5 V	Mn	Zn	K O H	Mn O ₂

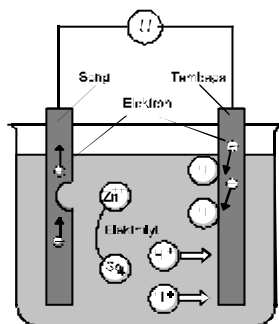
Tabel 2.15 Sistim kimia listrik elemen primer

Elektroda Positif	Mangan dioksida	Mangan dioksida	Mercur dioksida	Perakoksida	Perak cromat
Elektroda Negatif	Seng	Seng (bulat)	Seng (bubuk)	Seng (bubuk)	Lithium
Elektrolit	Asam lemah (Larutan chlorida)	alkali (Kaium hidroksida)	alkalis	alkalis	organis
Tegangan tiap sel	1,5 V	1,5 V	1,35 V	1,55 V	3 V
Rapat energi	0,1 Wh / cm ³	0,3 Wh / cm ³	0,5 Wh / cm ³	0,4Wh / cm ³	4 Wh / cm ³

2.1.7. ELEMEN GALVANIS

2.1.7.1. PASANGAN GALVANIS

Dua buah logam yang berbeda berada dalam elektrolit maka akan terbentuk sebuah sumber tegangan, hal demikian ini disebut elemen galvanis.

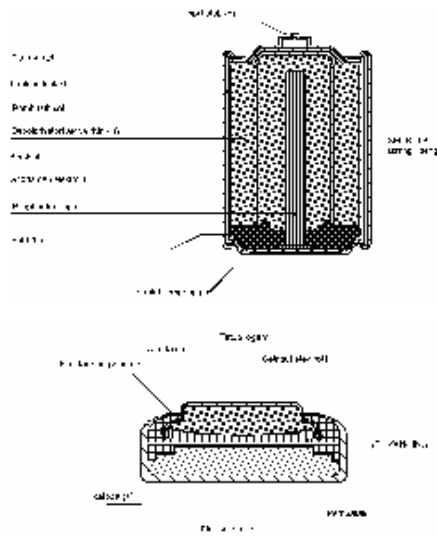


Gambar 2.25 Elemen Galvanis

Bila kedua logam (Cu dan Zn) dihubungkan dengan voltmeter maka terjadi perbedaan tegangan sebesar -1,1 V. Flektron akan mengalir dari Seng (Zn) melalui rangkaian luar. Dengan mengalirnya elektron dari anoda, seng akan teroksidir seng akan terkorosi. Elektron yang mengalir ke katoda melebihi elektron yang dilepaskan. Elektron ini akan bereaksi dengan ion tembaga yang terdapat dalam elektrolit. Korosi hanya terdapat dalam satu elektroda pasangan galvanis yaitu anoda.

Elemen galvanis disebut juga elemen primer.

BENTUK DASAR DARI ELEMEN PRIMER KERING



Gambar 2.26 Elemen Primer Kering

Bila memasang jangan langsung ! Bila rusak jangan dibuang berbahaya.

Tabel 2.16 Potensial elektroda (25°C ; larutan mol)

Reaksi setengah-sel Potensial Potensial elektroda yg
 anoda (arah) panah elektroda yg digunakan oleh ahli
 terbalik untuk reaksi gunakan ahlikima - fisika dan ahli
 setengah-sel katoda elektrokimia termodinamika
 dan ahli korosi
 volt.

Au	→	Au ³⁺ + 3 e ⁻	+ 1.50		- 1.50	
2H ₂ O	→	O ₂ + 4H ⁺ + 4e ⁻	+ 1.23	Katoda	- 1.23	
Pt	→	Pt ⁴⁺ + 4 e ⁻	+ 1.20	↑	- 1.20	
Ag	→	Ag ⁺ + e ⁻	+ 0.80		- 0.80	
Fe ²⁺	→	Fe ³⁺ + e ⁻	+ 0.77		- 0.77	
4(OH)	→	O ₂ + 2H ₂ O + 4e ⁻	+ 0.40		- 0.40	
Cu	→	Cu ²⁺ + 2e ⁻	+ 0.34		- 0.34	
H ₂	→	2H ⁺ + 2 e ⁻	0.000		Referensi	0.000
Pb	→	Pb ²⁺ + 2 e	- 0.13			+ 0.13
Sn	→	Sn ²⁺ + 2 e ⁻	- 0.14			+ 0.14
Ni	→	Ni ²⁺ + 2 e ⁻	- 0.25			+ 0.25
Fe	→	Fe ²⁺ + 2 e ⁻	- 0.44			+ 0.44
Cr	→	Cr ²⁺ + 2 e ⁻	- 0.74		+ 0.74	
Zn	→	Zn ²⁺ + 2 e ⁻	- 0.76		+ 0.76	
Al	→	Al ³⁺ + 3 e ⁻	- 1.66		+ 1.66	
Mg	→	Mg ²⁺ + 2 e ⁻	- 2.36		+ 2.36	
Na	→	Na ⁺ + e ⁻	- 2.71		+ 2.71	
K	→	K ⁺ + e ⁻	- 2.92		+ 2.92	
Li	→	Li ⁺ + e ⁻	- 2.96		+ 2.96	

2.1.7.2. SISTIM ELEKTROKIMIA

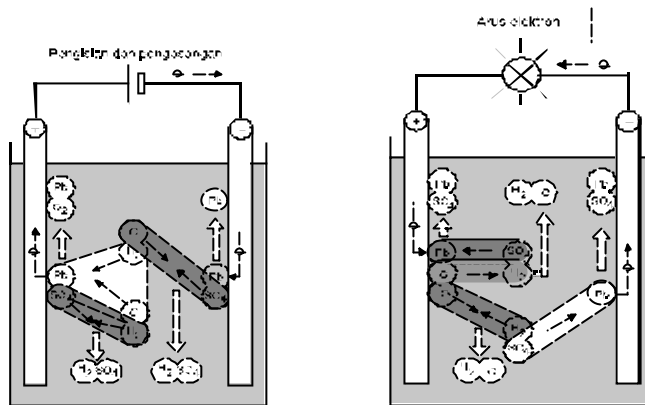
Tabel 2.17 sistem elektrokimia dari elemen primer

Elektroda positif	Mangan dioxid	Mangan dioxid	Ai raksa	Perak oxid	Perak chrom
	Seng	Seng	Seng	Seng	Lithium
Elektro	(Larutan clorid)	Alkali	Alkali	Alkali	Organis
Tegangan antar sel	1,5 V	1,35 V	1,55 V	1,55 V	3 V
Rapat energi	0,1 Wh /Cm ³	0,5 Wh /Cm ³	0,5 Wh/ Cm ³	0,4 Wh / Cm ³	4 Wh / Cm ³

2.1.7.3. PERBANDINGAN SIFAT

Tabel 2.18 Perbandingan sifat antara bermacam-macam Akkumulator.

		Akumulator-timbel	Akumulator besi	Akumulator Perak - Seng
Elektrolit		asam bele-rang encer		Larutan Alkali
Tegangan stabil	(V)	2,0	1,4	1,85
Tegangan pada akhir pesian	(V)	2,75	1,8	2,0
Tegangan pd akhir pengosongan.	(V)	1,8	1,0	1,3
η Ah, η Wh	%	90 75	70 50	95 85
Energi per satuan berat	Wh / Kg	22	22	100
Energi persatuan volume	Wh / dm ³	54	55	200
Penambahan dg		Air Suling	Air Suling	Cairan alkali = 1,4
Pemakaian air suling		Sedikit	Banyak	Sedikit
Tahanan dalam	M Ω / Ah	80	200	Sedikit



Gambar 2.27 Arus Elektron Akkumulatur pada Proses Pengisian-Pengosongan dan Pemakaian

2.1.7.4. PENGISIAN DAN PENGOSONGAN LISTRIK

Tabel 2.18 Proses Pengisian dan Pengosongan

Jenis Akumulator	Elektroda negatif	Elektroda Asam Positif	Proses	Elektroda negatif	Caira ⁿ (air)	Elektroda Positif
Timah Hitam	Pb + PbO ₂	2H ₂ SO ₄ +	Pengosongan	PbSO ₄ + PbSO ₄	+ 2H ₂ O +	
	Elektroda positif	Elektroda air negatif		Elektroda positif	Elektroda negatif	
Nikel Besi	2Ni O (OH) + Fe + 2H ₂ O		Pengisian	2Ni (OH) ₂ + Fe (OH) ₂		
Nikel Cadmium	2Ni O (OH) + Cd + 2 H ₂ O			2 Ni (OH) ₂ + Cd (OH) ₂		

2.1.7.5. DAYA GUNA AKKUMULATOR

Tabel 2.19 Daya guna akumulator

$Q_L = I_L \cdot t_L$	QL = Kapasitas Pengisian	η_{AH} = daya guna ampere jam
$Q_E = I_E \cdot t_E$	QE = Kapasitas Pengosongan	η_{WH} = daya guna watt jam
$Ah = \frac{I_E \cdot t_E}{I_L \cdot t_L}$	IL = Arus Pengisian IE = Arus Pengosongan	
$Wh = \frac{U_E \cdot I_E \cdot t_E}{U_L \cdot I_E \cdot t_L}$	tL = Waktu Pengisian tE = Waktu Pengosongan	

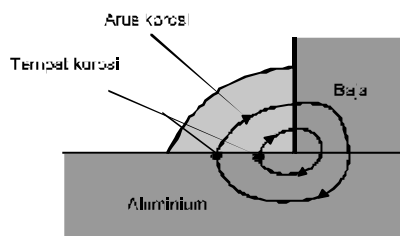
2.1.7.6. KOROSI

Korosi Kimia Listrik Melalui Pembentukan Elemen

Saling bersentuhannya dua logam yang BERBEDA dan padanya terdapat suatu elektrolit, dengan demikian maka terbentuklah suatu elemen galvanis yang terhubung singkat. (elemen korosi).

Kemudian didalam elemen mengalir suatu arus. Arus ini dapat menyebabkan korosi.

- Pada pijakan tempat keluarnya arus terjadi korosi.
- Tempat masuknya arus bebas korosi :



Gambar 2.28 Korosi Kimia Listrik

Terjadinya korosi makin lebih besar bilamana :

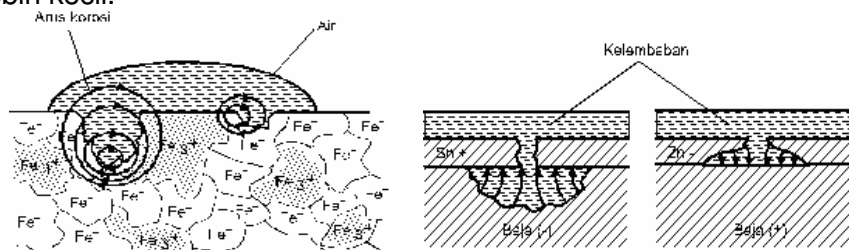
- Kedudukan kedua logam didalam urutan tegangan terletak semakin jauh satu sama lain.
- Elektrolitnya semakin kuat/efektif.
- Udara didalam elektrolit terpisah dengan lebih baik.

Usaha mengatasi terjadinya korosi kimia listrik :

- Memutuskan arus korosi.

Contoh :

- Mengisolasi antara kedua loga,.
- Menggunakan logam yang sama.
- Perlindungan korosi secara listrik (menggunakan arus pelindung).
- Pemilihan logam yang lebih tepat dengan perebedaan tegangan yang lebih kecil.



Gambar 2.29 Perambatan korosi antar plat/ logam

2.1.8. TAHANAN LISTRIK (R)

2.1.8.1. TAHANAN DAN NILAI HANTAR

- Tahanan R

Tahanan suatu kawat penghantar listrik adalah penghambat bagi elektron-elektron pada saat pemindahannya. Tahanan ini bergantung pada beban (susunan atom, elektron bebas), panjang, luas penampang dan temperatur dari suatu kawat penghantar listrik.

Satuan 1 ohm (1 Ω) omega

- Nilai hantar G

Suatu kawat penghantar dengan tahanan kecil, maka kawat tersebut akan menghantar arus listrik dengan baik kawat tersebut memiliki nilai hantar yang besar.

$$\text{Nilai hantar} = \frac{1}{\text{Tahanan}} \quad G = \frac{1}{R}$$

<p>TAHANAN</p> <p><i>Akan bertambah besar</i></p> <p>Makin panjang suatu penghantar dan makin kecil luas penampangnya, maka material tersebut akan semakin buruk sebagai penghantar</p>	<p>TAHANAN</p> <p><i>Akan bertambah kecil</i></p> <p>Makin berkurangnya panjang suatu penghantar dan makin besar luas penampangnya maka material tersebut semakin baik sebagai penghantar</p>
---	---

Tahanan suatu penghantar tergantung kepada tahanan jenis suatu material, panjang dan luas penampang.

$$R = \frac{\rho \ell}{A}$$

2.1.8.2. TAHAN JENIS ρ

Tahanan jenis adalah tahanan suatu penghantar pada panjang penghantar 1 m dan luas penampang 1 mm² dan pada keadaan temperatur 200.

$$\text{Satuan} = \frac{1 \Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$$

Perhatikan nilai ρ pada tabel :

ρ dapat bervariasi di dalam hal berikut :

Dalam jenis pengerjaan (Giling, tarik, tuang)

Dalam keadaan murni, Dalam keadaan panas, sebelum dan sesudah pemakaian.

Hantar jenis (χ)

$$\text{Hantar jenis} = \frac{1}{\text{Tahanan}} \quad \chi = \frac{1}{\rho}$$

$$\text{Satuan} : \frac{\text{S} \cdot \text{m}}{\text{mm}^2} = \frac{\text{m}}{\Omega \text{mm}^2}$$

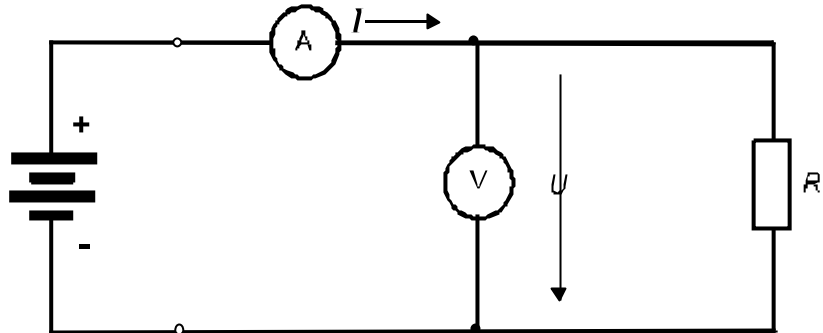
Menghitung tahanan dan nilai hantar

$$R = \frac{1}{\chi \cdot A}$$

$$G = \frac{\chi \cdot A}{1}$$

Tahanan Listrik suatu penghantar

Hubungan tahanan dengan : Panjang, luas penampang dan material dengan keadaan : temperatur konstan mis : 20⁰ C.



Gambar 2.30 Rangkaian Listrik

Jenis tahanan

Tahanan tertentu :
Tahanan dengan lapisan karbon.
Tahanan dengan lapisan metaloxid.
Tahanan dengan lapisan metal.
Tahanan kawat.

2.1.8.3. KODE WARNA TAHANAN

Simbol warna pada permukaan tahanan

Warna	Gelang 1	Gelang 2	Gelang 3	Gelang 4
Polos	—	—	—	± 20
Perak	—	—	10^{-2}	%
Emas	—	—	10^{-1}	± 10
Hitam	—	0	10^0	%
Coklat	1	1	10^1	± 5
Merah	2	2	10^2	%
Oranye	3	3	10^3	—
Kuning	4	4	10^4	± 1 %
Hijau	5	5	10^5	± 2 %
Biru	6	6	10^6	—
Ungu	7	7	10^7	—
Abu-abu	8	8	10^8	± 0,5
Putih	9	9	10^9	%
				—

Keterangan :

Gelang 1 = 1 angka nilai tahanan

Gelang 2 = 2 angka nilai tahanan

Gelang 3 = 3 Bilangan pengali dikalikan dengan angka bilangan dari gelang 1 dan 2

Gelang 4 = Toleransi tahanan dalam %

Contoh:

Suatu tahanan dengan lapisan karbon dengan warna dari kiri ke kanan :
Kuning – Ungu – Coklat – Emas.

Berapakah Tahanan dan Toleransinya ?

Jawab : Kuning, Ungu, Coklat, Emas.

$$47 \cdot 10 + 5 \%$$

$$R = 470 \Omega + 5$$

2.1.8.4. TAHANAN STANDARD IEC

Tabel berikut adalah harga-harga standar IEC.

Nilai tahanan yang ada dalam pasaran (yang diproduksi pabrik) adalah :

kelipatan 10 dari angka yang ditunjukkan dalam tabel.

Namun harga terkecil dimulai dari nilai satuan (**1,0**)

Sebagai contoh : E6, hanya tahanannya dimulai dari :

1.0 ; 1.5 ; 2.2 ; 3.3 ; 4.7 ; 6.8 Ω

Nilai tahanan berikutnya adalah perkalian nilai tahanan dasar diatas dengan 10^n , dengan n sama dengan ***bilangan 0 sampai dengan 8.***

Berikut adalah cara mengetahui urutan tahanan bila kita tidak mengingatnya.

Nilai tahanan kelompok E 12

inilah yang banyak terdapat di pasaran bebas dan harus dihafal.

Tabel 2.20 Resistor Standard IEC E6,E12 dan E 24

E6	1,0		1,5		2,2		3,3		4,7		6,8													
E12	1,0	1,2	1,5	1,8	2,2	2,7	3,3	3,9	4,7	5,6	6,8	8,2												
E24	1,0	1,1	1,2	1,3	1,5	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,7	3,0	3,3	3,6	3,9	4,3	4,7	5,1	5,6	6,2	6,8	7,5	8,2	9,1

Urutan berlaku O,kO dan MO

Contoh : Carilah urutan tahanan pada kelompok E 12.

<i>Caranya</i> :	1. nilai awal adalah	1Ω	$1,0 \Omega$
	2. nilai berikut adalah	$1,2\sqrt{10} = 1,21$	$1,2 \Omega$
	3. $1,2 \times 1,2 = 1,44$	_____	$1,5 \Omega$
	4. $1,2 \times 1,5 = 1,8$	_____	$1,8 \Omega$
	5. $1,2 \times 1,8 = 2,16$	_____	$2,2 \Omega$
	6. $1,2 \times 2,2 = 2,64$	_____	$2,7 \Omega$
	7. $1,2 \times 2,7 = 3,24$	_____	$3,3 \Omega$
	8. $1,2 \times 3,3 = 3,96$	_____	$3,9 \Omega$
	9. $1,2 \times 3,9 = 4,68$	_____	$4,7 \Omega$
	10. $1,2 \times 4,7 = 5,64$	_____	$5,6 \Omega$
	11. $1,2 \times 5,6 = 6,72$		$6,8 \Omega$
	12. $1,2 \times 6,8 = 8,16$		$8,2 \Omega$

2.1.8.5. JENIS TAHANAN

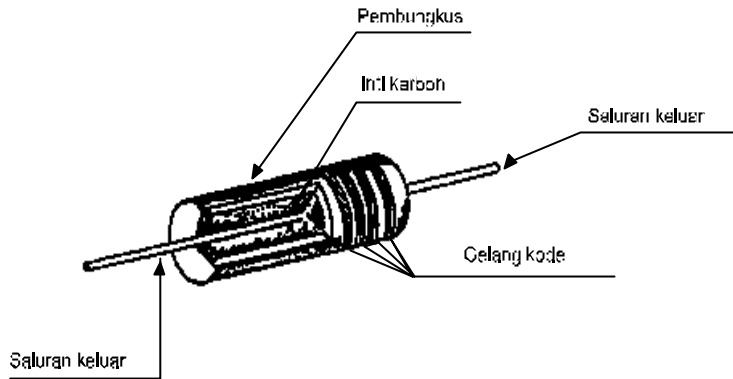
MACAM-MACAM TAHANAN, BENTUK DAN BAHANNYA

Sebagaimana kita ketahui bahwa setiap benda mempunyai nilai hambat terhadap aliran listrik, yang besarnya tergantung pada jenis, penampang dan kondisi temperatur.

Dengan demikian tahanan besar nilai hambat listrik tergantung dari jenis bahannya.

Jenis tahanan yang mempunyai komposisi bahan dasar yang berbeda.

1. Tahanan karbon arang



Gambar 2.31. Tahanan karbon arang.

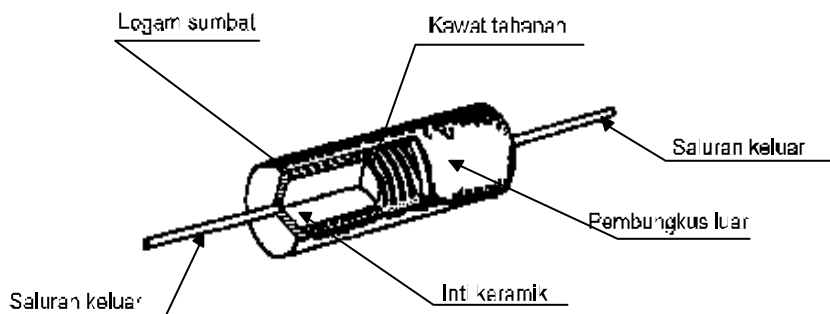
Gambar 2.31 Tahanan Karbon Arang

Tahanan ini banyak dijumpai dipasaran, umumnya mempunyai nilai kepekaan yang relative rendah , mempunyai toleransi dan batasan daya (rating daya) kecil.

Tahanan ini digunakan pada pesawat yang kurang memerlukan ketelitian yang canggih.

Tahanan jembatan kawat metal film

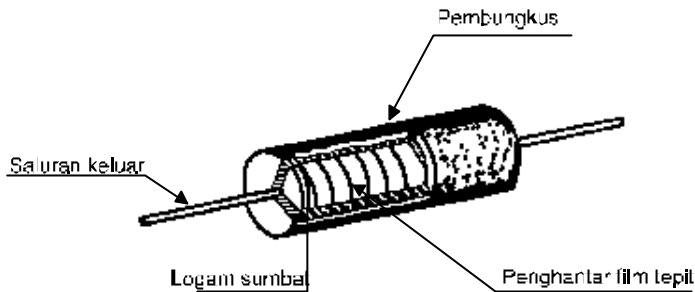
Sebagai contoh, adalah tahanan hantaran kawat dengan dasar



Gambar 3. Tahanan gulungan kawat.

Gambar 2.32 Tahana Gulungan Kawat

Tahanan gulungan kawat



Gambar 2. Tahanan kawat metal film..

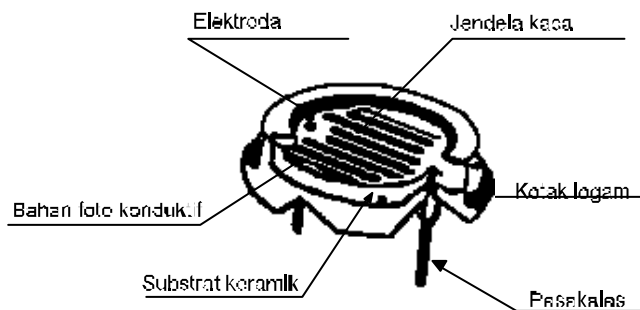
Gambar 2.33 Tahanan Kawat Metal Film

2.1.8.6. TAHANAN FUNGSI SUHU DAN FUNGSI CAHAYA

Contohnya : LDR (cahaya), termistor (suhu)

- * LDR dibuat dari cadmium sulfida, yaitu bahan semi konduktor yang nilai tahanannya berubah-ubah menurut intensitas cahaya yang jatuh padanya.
- * R. LDR sekitar 10Ω M di tempat gelap dan menjadi 150Ω ditempat yang terang.
- * Termistor atau tahanan termal adalah alat semi konduktor yang berkelakuan sebagai tahanan dengan koefisien tahanan temperatur yang tinggi biasanya negatif.
- * Termistor ini dibuat dari campuran oksida-oksida logam yang diendapkan, seperti : mangan, nikel, kobalt, tembaga, besi, dan uranium.
- * Tahanan sebuah termistor pada temperatur ruang dapat berkurang sebanyak 6 persen untuk kenaikan temperatur 1°C .

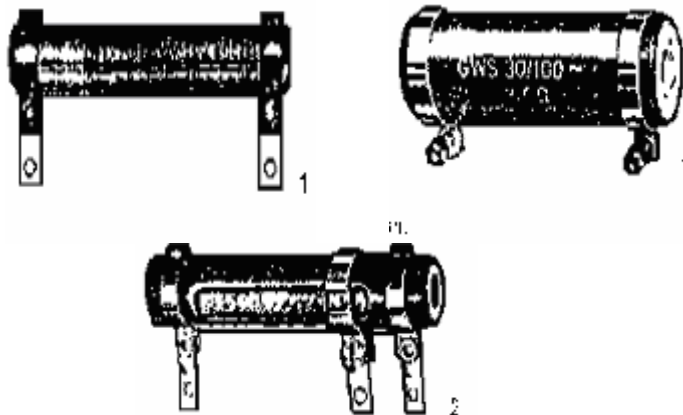
*



Gambar 4 . Tahanan fungsi cahaya (LDR)

Gambar 2.34 Elemen dasar LDR

- Substrat keramik (bahan yang dikerjakan melalui peragian / enzim).
- Lapisan bahan foto konduktif.
- Elektroda metalik.



Gambar 2.35 Thermistor

Koefisiensi temperatur (α)

Segala sesuatu akan mengalami perubahan bentuk, nilai dan kemampuannya jika ada perubahan temperatur terjadi pada suatu zat/benda yang dipergunakan untuk teknologi rekayasa, demikian pula terhadap nilai tahanan listriknya.

Koefisien temperatur pada perubahan tahanan diberikan dalam Ω (ohm), jika temperatur suatu tahanan pada 1°C berubah $1\ \Omega$ (satu ohm).

$$\text{Satuan : } \frac{1\Omega}{\Omega^{\circ}\text{C}} = \frac{1}{^{\circ}\text{C}} = \frac{1}{\text{K}}$$

Contoh :

Jika lilitan motor pada suhu kamar 27°C mempunyai nilai tahanan 18 , maka jika di gunakan motor akan panas, misal temperaturnya menjadi 75°C , maka nilai tahananya akan tidak lagi sebesar.

Perubahan nilai tahanan bisa naik dan bisa juga turun, tergantung dari jenis bahan tahanan.

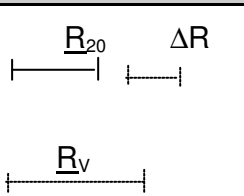
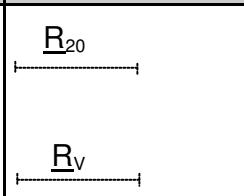
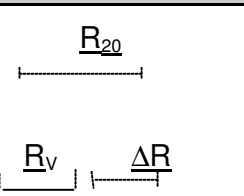
Pengaruh temperatur pada tahanan penghantar listrik

Tabel 2.21 Keadaan berbagai macam golongan bahan :

Macam Penghantar	
Penghantar dingin <u>Seperti halnya dengan Cu, Al, Fe dsb (Metale)</u> <u>Semi Konduktor (PTC) terdiri dari Fe dan Keramik</u> <u>(Mis : Bariumtitanat)</u>	<u>Penghantar, gulungan</u> <u>Untuk penggerak-mengatur</u> <u>mengarahkan</u>
Penghantar tidak tergantung pada "temperatur" <u>Tahanan dari bahan, tetap konstant seperti halnya</u> <u>Nikel, Manhan (Campuran Cu-Ni-Mn).</u>	<u>Untuk alat-alat ukur yang sangat teliti</u>
Penghantar panas <u>Semi Konduktor (NTC) seperti metaloxid, arang.</u> <u>Bahan isolasi (perhatian pada temperatur yang tinggi akan dapat menjadi penghantar elektrolit.</u>	<u>Untuk penggerak, dan pengatur mengarahkan</u> <u>Dioda.</u> <u>Transistor untuk tujuan pengisolasian</u>

2.1.8.7. PERUBAHAN TAHANAN

Tabel 2.22 Perhitungan dalam menentukan perubahan Tahanan

Penghantar dingin	Penghantar tidak tergantung tempat	Penghantar panas
		
$\underline{R}_V = R_{20} + \Delta R$ $\Delta R = R_{20} \cdot \Delta V \cdot \alpha$	$RV \approx R_{20}$ $\Delta R = R_{20} \cdot \Delta V \cdot \alpha = 0$	$RV = R_{20} - \Delta R$ $-\Delta R = R_{20} \cdot \Delta R \cdot \alpha$
$\rightarrow \alpha$ harus selalu positif (Tahanan - PTC)	$\rightarrow \alpha$ harus selalu kecil	$\rightarrow \alpha$ harus selalu negatif (Tahanan NTC)

Berlaku untuk umum

$$\begin{aligned} R_V &= R_{20} + \Delta R \\ \Delta R &= R_{20} \cdot \Delta V \end{aligned}$$

Diperoleh :

$$R_V = R_{20} + R_{20} \cdot \Delta V$$

$$R_V = R \cdot (1 + \Delta V \cdot \alpha)$$

Keterangan :

R_{20} = Tahanan mula pada 20°C

R_V = Tahanan akhir

ΔR = Perubahan tahanan

ΔV = Perubahan temperatur

α = Koeffisien temperatur

(Tergantung pada faktor bahan)

Perhatian :

Besaran perubahan tahanan metal sebanding dengan perhitungannya. Pada bahan semi konduktor hal ini tidak akan terjadi. Perubahan tahanan adalah merupakan diagram garis.

2.1.8.8. FAKTOR PERUBAHAN TAHANAN

Faktor-faktor yang mempengaruhi besarnya tahanan

Besar kecilnya tahanan listrik suatu bahan tergantung pada besar kecilnya hantaran jenis bahan tersebut. Semakin tinggi hantaran jenisnya, maka semakin tinggi daya hantarnya, atau semakin kecil nilai tahanan bahan tersebut.

Hal ini dapat dilihat dalam rumusan :

$$R = \frac{1}{\rho \cdot A} (\Omega)$$

hantar jenis dengan satuan $\frac{1}{\Omega \cdot m}$

Faktor-faktor yang mempengaruhi besarnya tahanan adalah :

- Jarak antar atom.
 - Pengaruh suhu.
 - Pengaruh larutan padat dalam bahan.
 - Pengaruh pita energi (energi band).
- Setiap bahan selalu mempunyai nilai tahanan.

2.1.8.9. TOLERANSI TAHANAN

Nilai toleransi, daya, dan tegangan

a). *Nilai toleransi*

Nilai toleransi tahanan adalah : 0, 5 %, 1 %, 2 %, 5 %, 10 %, dan 20 %.

Untuk keperluan yang sangat khusus, ada tahanan yang toleransinya 0,001 %.

b). *Nilai daya*

Nilai daya yang ada pada tahanan-tahanan berkisar 1/20 Watt sampai 50 Watt.

Namun nilai umum yang biasa dipakai adalah 0,5 – 0,1 – 0,25 – 0,5 – 1 – 2 – 3 – 6 – 10 – 20.

c). *Nilai tegangan*

Nilai tegangan maksimum suatu tahanan didapatkan dengan rumus :

$$U_{\max} = \sqrt{P.R}$$

RESISTIVITY DARI BAHAN KONDUKTOR YANG UMUM DIPAKAI

Tabel 2.23 Resistivity Konduktor

CONDUKTOR MATERIAL	RESISTIVITY (Ohm meter pada 20 ⁰ C)
Silver	1,64 x 10 ⁻⁸
Copper (annealed)	1,72 x 10 ⁻⁸
ALuminium	2,83 x 10 ⁻⁸
Tungsten	5,5 x 10 ⁻⁸
Nickel	7,8 x 10 ⁻⁸
Iron (pure)	12,0 x 10 ⁻⁸
Constantan	49 x 10 ⁻⁸
Nichrome	110 x 10 ⁻⁸

Kalau daftar diatas dikonversikan ke satuan $\Omega \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$

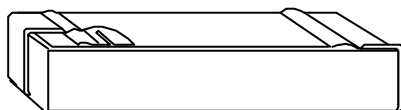
$$\text{maka } \Omega \frac{\text{mm}^2}{\text{m}} = \Omega \frac{10^{-6} \cdot \text{mm}^2}{\text{m}} = \Omega 10^{-6} \text{ m}$$

KOEFISIEN TEMPERATUR

Tabel 2.24 Koefisien Temperatur

CONDUKTOR MATERIAL	α 20 ⁰
Silver	0,0038
Copper (annealed)	0,00393
ALuminium	0,0039
Tungsten	0,0045
Nickel	0,006
Iron (pure)	0,0055
Nichrome II	0,00016
Constantan	0,000008
Carbon	0,0005

Tabel koefisien temperature α (1/K)			
Tembaga	$3,9 \cdot 10^{-3}$	Nikelin	$0,15 \cdot 10^{-3}$
Aluminium	$3,8 \cdot 10^{-3}$	Manganin	$0,02 \cdot 10^{-3}$
Ketentuan dalam suhu 20°C			



2.1.9. PEMBAGI ARUS DAN TEGANGAN

2.1.9.1. HUKUM OHM

Bila diantara dua titik kita hubungkan dengan sepotong penghantar maka arus listrik mengalir lewat penghantar itu. Arus ini akan mendapatkan didalam penghantar yang disebut tahanan (R) dan diukur dalam satuan ohm.

Hal ini menimbulkan pemikiran mengenai hubungan antara tegangan ; arus dan tahanan. Telah ditentukan bahwa antara kedua titik diatas 1 volt dan tahanan penghantar 1 ohm, maka kuat arus yang mengalir 1 ampere. Jadi tegangan 1 volt itu ialah tinggi tegangan yang dapat mengalirkan arus 1 ampere melalui

tahanan 1 ohm. Hukum ohm memperlihatkan hubungan antara tegangan arus dan tahanan listrik.

Pada setiap rangkaian listrik hukum ohm selalu berlaku.

Bunyi hukum ohm

Pada setiap rangkaian listrik, tegangan adalah perkalian dari kuat arus dengan tahanan.

dapat ditulis dengan rumus sbb :

$$\boxed{U = I \cdot R} \quad \text{atau} \quad \boxed{I = \frac{U}{R}} \quad \text{atau} \quad \boxed{R = \frac{U}{I}}$$

Dimana : I adalah arus dengan satuan Ampere (A)

U adalah tegangan dengan satuan Volt (V)

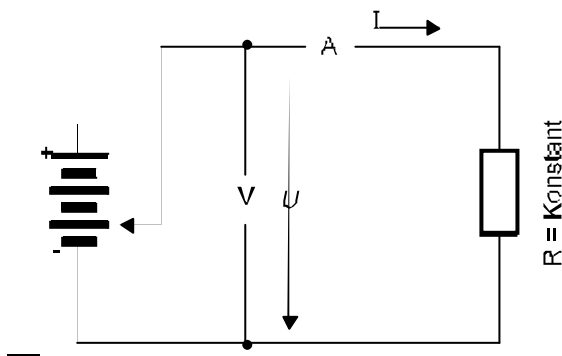
R adalah tahanan dengan satuan Ohm (Ω)

Jadi besarnya arus :

- a. Arus berbanding lurus dengan tegangan.
- b. Arus berbanding terbalik dengan tahanan.

Percobaan 1

Keadaan arus, dengan berubahnya tegangan pada tahanan tetap.

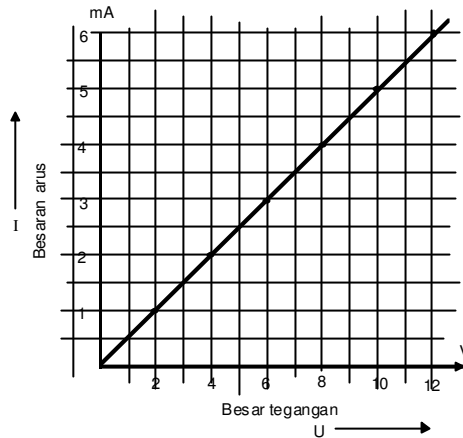


Kesimpulan :

Perubahan keadaan arus sebanding dengan perubahan keadaan tegangan

Kesimpulan :

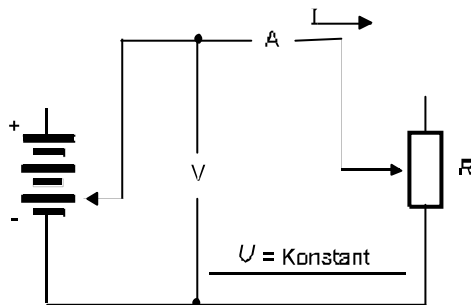
Perubahan keadaan arus sebanding
dengan perubahan keadaan tegangan



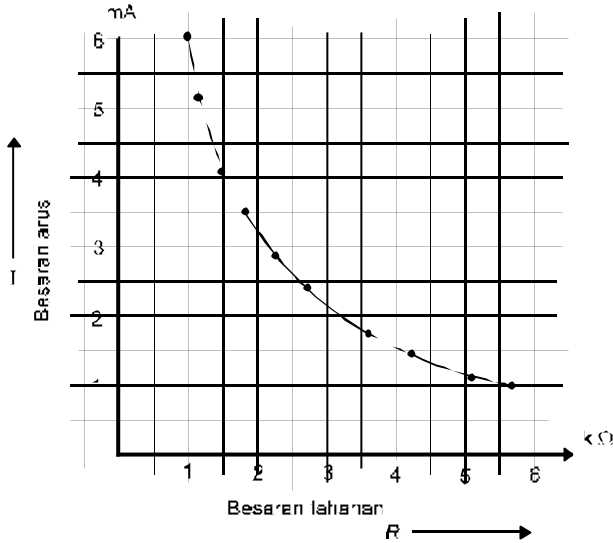
Gambar 2.36 Grafik Linear Tegangan terhadap Arus

Percobaan 2

Keadaan arus, dengan berubahnya tahanan pada tegangan yang tetap.

**Kesimpulan :**

Perubahan keadaan arus berbanding terbalik dengan perubahan keadaan tahanan.



Gambar 2.37 Grafik Non-Linear Tegangan terhadap Arus

Kalau kita perhatikan hasil percobaan 1 dan 2

1. $I =$ Sebanding dengan U .2. $I =$ Berbanding terbalik dengan R
 $=$ sebanding dengan $\frac{I}{R}$ $=$ sebanding dengan G

Maka diperoleh $I = \frac{U}{R}$ Hukum ohm

Dari hukum ohm ditentukan : $1 \text{ A} = \frac{1 \text{ V}}{1 \Omega}$

Contoh :

Sebuah relai dengan tahanan $40 \text{ K}\Omega$, dihubungkan tegangan 48 V , Tentukan besar arus yang mengalir pada relai !.

$$\underline{\text{Jawab}} : I = \frac{U}{R} = \frac{48 \text{ V}}{40000 \Omega} = 0,0012 \text{ A} = \underline{\underline{1,2 \text{ mA}}}$$

Sebuah coil dengan tegangan 110 V dialiri dengan arus 25 mA .

Hitunglah tahanan coil tersebut !.

$$\underline{\text{Jawab}} : I = \frac{U}{R} \rightarrow R = \frac{U}{I} = \frac{110 \text{ V}}{0,025 \text{ A}} = 4400\Omega$$

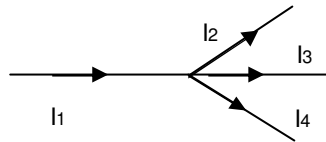
$$= 4,4 \text{ K}\Omega,$$

2.1.9.2. HUKUM KIRCHHOFF

Hukum Kirchhoff I (Mengenai arus)

Jumlah arus dalam suatu titik percabangan dalam suatu rangkaian adalah sama dengan nol, arus yang masuk dalam titik percabangan sama dengan arus yang meninggalkannya. Jadi jumlah listrik yang masuk, harus sama dengan jumlah listrik yang keluar.

1. Contoh Percabangan pada titik A



Gambar 2.38 Hk Khirchoff I

$$I_1 = I_2 + I_3 + I_4 \quad \text{atau} \quad I_1 - I_2 - I_3 - I_4 = 0$$

Jadi rumus hukum Kirchhoff I :

$$\sum I = 0$$

Dengan perkataan hukum Kirchhoff berbunyi :

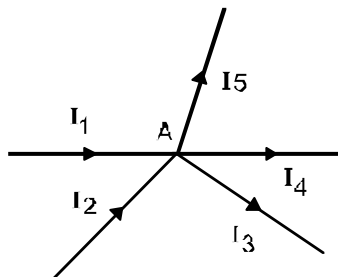
Jumlah aljabar semua arus dalam titik percabangan itu sama dengan nol.

2. Contoh :

1. Perhatikan gambar dibawah, arus masuk ke titik percabangan A lewat dua kawat I1 dan I2.

Dari titik A arus mengalir ke 3 lampu yaitu : I3 ; I4 ; dan I5. Maka bila $I_1 = 3 \text{ A}$; $I_2 = 4 \text{ A}$;

Menurut hukum Kirchhoff I : $\sum I = 0$



Jadi : $I_1 + I_2 - I_3 - I_4 - I_5 = 0$

$$3 + 4 - 2 - 3 - I_5 = 0$$

[Arus yang masuk ke titik A kita sebut positif dan yang meninggalkannya kita sebut negatif 0]

Perhitungan di atas dapat dilakukan sebagai berikut :

[Arus yang masuk = arus yang keluar]

$$I_1 + I_2 - I_4 - I_5$$

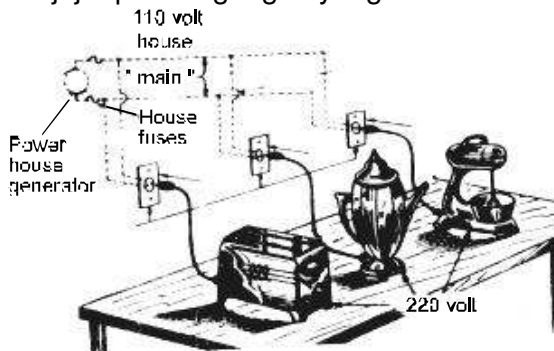
$$3 + 4 = 2 + 3 + I_5$$

$$7 = I_5 + 5$$

$$I_5 = 7 - 5 = 2A, \text{ meninggalkan titik percabangan}$$

Dari rangkaian listrik di bawah ini berlaku hukum Kirchhoff I.

Apakah beberapa alat/pemakai bersama-sama dihubungkan pada satu tegangan, maka tegangan alat-alat itu semua sama, hubungan semacam ini di sebut " Hubungan Jajar" Semua alat listrik pada umumnya dihubungkan jajar pada tegangan yang tersedia.



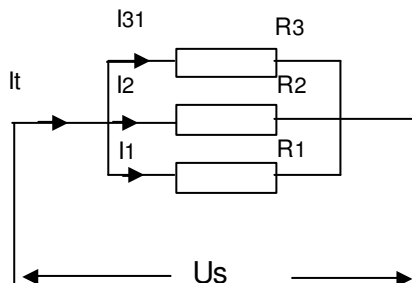
Gambar 2.39 Hubungan Jajar Alat Listrik

Sesuai dengan hukum Kirchhoff I, dalam titik percabangan A, jumlah angka aljabar arus sama dengan nol.

$$I_{\text{total}} - I_1 - I_2 - I_3 = 0$$

$$I_{\text{total}} = I_1 + I_2 + I_3$$

I



Menurut hukum ohm : Arus dalam masing-masing cabang :

$$I_1 = \frac{U}{R_1} ; I_2 = \frac{U}{R_2} ; I_3 = \frac{U}{R_3}$$

$$\text{Jadi : } I_J = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3}$$

Harga ketiga tahanan R_1 ; R_2 ; dan R_3 dapat kita ganti dengan satu tahanan pengganti : “ R_p ”, yang dapat memenuhi persamaan terakhir di atas.

$$\text{Jadi : } I_J = \frac{U}{R_p}$$

Dengan masukan ini ke dalam persamaan terakhir di atas, kita hasilkan :

$$\frac{U}{R_p} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3}$$

Kalau kedua ruas persamaan ini kita bagi dengan U akan didapatkan :

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

atau dapat ditulis :

$$\frac{1}{R_p} = \Sigma \frac{1}{R}$$

Dengan kata-kata :

Dalam satuan rangkaian jajar nilai kebalikan tahanan pengganti sama dengan jumlah nilai kebalikan tahanan-tahanan yang dihubungkan jajar. Karena $G = \frac{1}{R}$, yang disebut daya antar maka rumus diatas hal 1-4 sebagai berikut :

$$G_p = G_1 + G_2 + G_3 \text{ atau}$$

$$G_p = \Sigma G \text{ atau dengan perkataan :}$$

Daya antar pengganti dalam rangkaian jajar itu sama dengan jumlah daya antar masing masing cabang.

Contoh :

Bila harga tahanan dalam cabang-cabang dalam gambar diatas adalah :

$R_1 = 4 \text{ ohm} ; R_2 = 1,5 \text{ ohm} ; R_3 = 2,4 \text{ ohm}$ maka :

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{4} + \frac{1}{1,5} + \frac{1}{2,4}$$

$$\frac{1}{R_p} = \frac{3}{12} + \frac{8}{12} + \frac{5}{12}$$

$$\frac{1}{R_p} = \frac{16}{12} \longrightarrow \frac{R_p}{1} = \frac{12}{16} = 0,75 \text{ ohm}$$

Dari uraian diatas dapat kita simpulkan :

Dalam rangkaian jajar tegangan tiap-tiap alat listrik yang dihubungkan sama.

Arus jumlah sama dengan jumlah arus cabang.

Nilai tahanan jumlah (tahanan pengganti) lebih kecil daripada harga tahanan cabang yang terkecil.

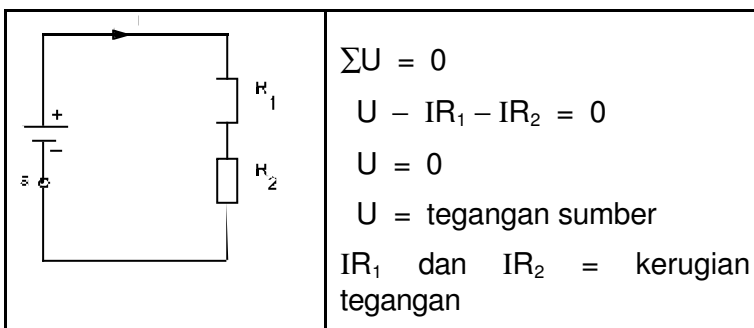
2.1.9.3. HUKUM KIRCHOF II

Hukum Kirchhoff II (Mengenai tegangan)

Arus yang digunakan dalam rangkaian atau jalan-jalan, tersusun dari beberapa unsur yang mempunyai ggl yang tidak sama, begitu pula tahanan dalamnya.

Dalam jala-jala yang rumit (complex) kita tak dapat begitu saja menggunakan peraturan hubungan deret dan hubungan jajar, untuk menyelesaikan persoalan-persoalan. Untuk keperluan ini kita pakai : HUKUM KIRCHHOFF II

Dalam rangkaian tertutup :Jumlah aljabar dari sumber tegangan dan kerugian tegangan pada suatu rangkaian tertutup sama dengan nol atau $\Sigma U = 0$ "



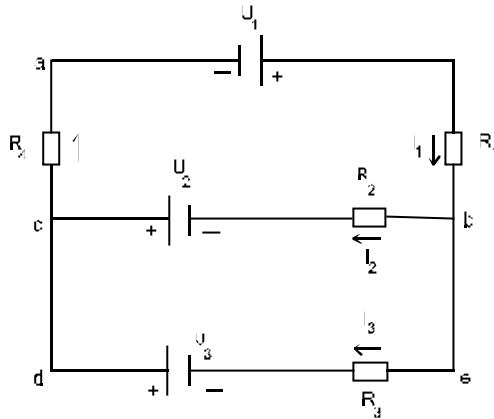
Pedoman untuk menentukan persamaan-persamaan dari suatu rangkaian tertutup menurut Hukum Kirchhoff's II adalah :

- * Pada sumber tegangan arah arus dari potensial rendah ke potensial tinggi (- ke +) diberi nilai atau tanda positif (+).
- * Pada sumber tegangan arah arus dari potensial tinggi ke rendah (+ ke -) diberi tanda negatif (-)

* Arah arus dapat dimisalkan sembarang, dan apabila didapat hasil bertanda negatif berarti arah arus salah.

Contoh 1

Tentukan persamaan dari rangkaian di bawah ini :



Jawab : $\sum U = 0$

Pada bagian abca : $U_1 - I_1 R_1 - I_2 R_2 + U_2 - I_1 R_4 = 0$

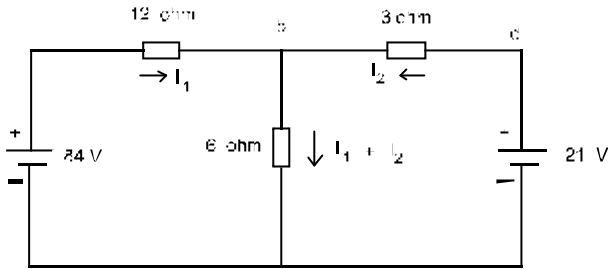
Pada bagian debcd : $-U_3 + I_3 R_3 - I_2 R_2 + U_2 = 0$

Catatan :

Dari sumber debcd kita anggap arah arus pada U_3 dari (+) ke (-) sehingga diberi tanda negatif. Sehingga diberi tanda negatif. Kemudian $I_3 R_3$ diberi tanda (+) karena seharusnya arah arus menuju e sesuai dengan sumber (U_3). Kemudian pada titik b berlaku hukum Kirchhoff's II yaitu : $I_1 - I_2 - I_3 = 0$

2.1.9.4. ANALISA PERCABANGAN ARUS

Metode arus cabang



Pada bagian abca :

$$84 - 12I_1 - 6 (I_1 + I_2) = 0$$

$$3I_1 + I_2 = 14 \dots\dots\dots (1)$$

Pada bagian cdbc :

$$21 - 3I_2 - 6I_2 = 0$$

$$2I_1 + 3I_2 = 7 \dots\dots\dots (2)$$

Dari persamaan (1) dan (2) didapat : $I_1 = 5 \text{ A}$ dan

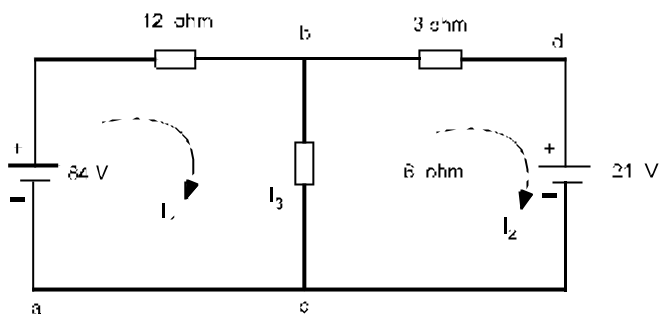
Tanda (-) pada arus I_2 menyatakan arah I_2 terbalik. Dengan demikian arah arus I_2 yang betul adalah seperti gambar berikut :

$$I_2 = -1 \text{ A}$$

	<p>Besar arus yang mengalir pada :</p> <p>R_1 (12ohm) adalah 5 A</p> <p>R_2 (16 ohm) adalah $I_1 - I_2 = 4 \text{ A}$ dan</p> <p>R_3 (3 ohm) adalah 1 A</p>
--	---

2.1.9.5. ANALISA ARUS LOOP

Metode Arus Loop



Pada Loop baca :

$$84 - 12I_1 - 6I_1 + 6I_2 = 0$$

$$18I_1 + 6I_2 = -84 \text{ atau } 3I_1 - I_2 = 14 \dots\dots\dots (1)$$

Pada Loop cdbc :

$$21 + 3I_2 + 6I_1 - 6I_1 = 0$$

$$2I_1 - 3I_2 = 14 \dots\dots\dots (2)$$

Dari persamaan (1) dan (2) didapat $I_2 = 1A$ dan $I_1 = 5A$

Jadi arus yang mengalir pada tahanan

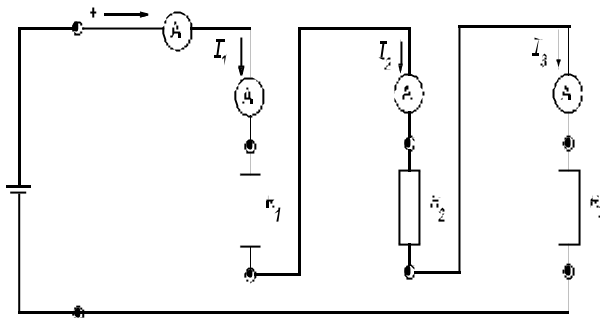
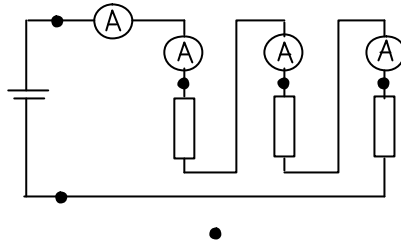
$$\left. \begin{array}{l} R_1 (12 \text{ ohm}) \text{ adalah } 5A \\ R_2 (6 \text{ ohm}) \text{ adalah } 4A \\ R_3 (3 \text{ ohm}) \text{ adalah } 1A \end{array} \right\} \text{ arah arus sudah benar}$$

2.1.9.6. HUBUNGAN SERI

Apabila tiga buah tahanan kita hubungkan berturut-turut seperti didalam gambar percobaan 1 dan 2, lalu kita hubungkan dengan tegangan baterai, maka arus mengalir dari baterai melalui tiga tahanan itu. Tiga buah tahanan yang dihubungkan seperti tersebut disebut : **DIHUBUNGGKAN DERET.**

Kuat arus diseluruh bagian rangkaian deret itu sama besarnya, tidak hanya tiga tahanan saja yang dapat dihubungkan deret, tetapi rangkaian deret dapat terdiri dari dua, tiga, dan empat tahanan atau lebih.

Kalau kita ukur tegangan pada tahanan pertama ialah : U_1 ; tegangan kedua ialah : U_2 ; dan tegangan ketiga ialah : U_3 , maka ternyata bahwa jumlah ketiga tegangan itu sama dengan tegangan baterai. Jadi dalam rangkaian deret **TEGANGAN JUMLAH**



Gambar 2.40 Rangkaian Seri

Kesimpulan :

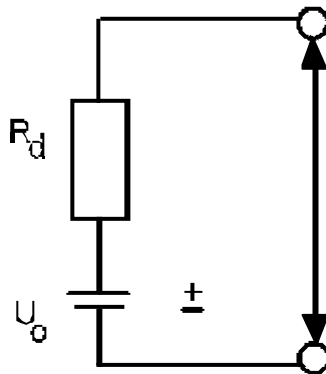
Pada tahanan yang terbesar terletak tegangan yang terbesar .
Masing-masing tahanan memiliki besaran tegangan sendiri.

Pemakaian :

Tahanan depan untuk pemakaian tegangan yang kecil, tahanan depan untuk alat ukur.

2.1.9.7. PEMBAGIAN TEGANGAN

Pembagian tegangan didalam rangkaian listrik



Gambar 2.41 Sumber Tegangan Dalam Keadaan Kosong

E : Gaya gerak listrik (GGL) adalah tegangan untuk menghantarkan elektron, atau biasa dikenal tegangan tidak kerja U_0 satuan Volt.

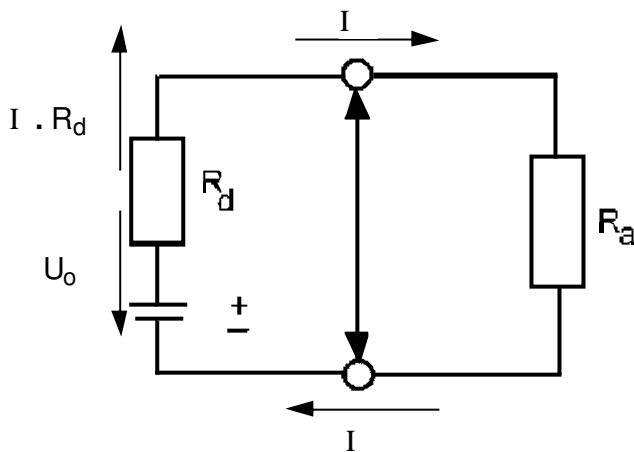
U : Tegangan klem atau tegangan setelah melewati tahanan dalam dari sumber tegangan satuan Volt.

R_1 : Tahanan dalam dari sumber tegangan dalam satuan ohm.

Persamaan arus : $I = 0$

Persamaan tegangan : $U = E$ atau U_0

SUMBER TEGANGAN DALAM KEADAAN BERBEBAN



Gambar 2.42 Rangkaian Sumber Tegangan Berbeban

Arus listrik mengalir dari titik positif ke titik negatif.

Andaikata dua titik itu netral, jadi tidak ada tegangan antara kedua titik itu, maka tak akan ada arus yang mengalir lewat kabel yang menghubungkan kedua titik itu, karena tidak ada perpindahan elektron, jadi :

Arus listrik mengalir hanya bila ada tegangan dan hanya dalam rangkaian tertutup.

Besarnya tegangan jepit (klem) menurut hukum ohm, sama dengan kuat arus dikalikan dengan tahanan, maka disebut tahanan luar.

Jadi dapat ditulis :

$$U = I \cdot R_a$$

Demikian pula didalam baterai juga terdapat tahanan.

Tahanan didalam baterai disebut tahanan dalam sumber arus, karena terdapat didalamnya, maka :

$$\Delta U = I \cdot R_d$$

dimana : ΔU = kerugian tegangan di dalam sumber arus.

R_d = tahanan dalam sumber arus.

I = arus yang dikeluarkan.

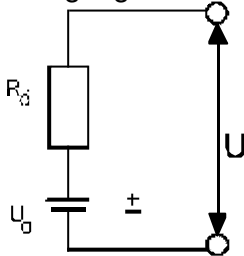
Jadi besarnya ggl :

$$\begin{aligned} U_o &= I (R_a + R_d) \\ &= I R_a + I \cdot R_d \\ &= U + I \cdot R_d \\ &= U + \Delta U \end{aligned}$$

dari persamaan diatas dapat ditulis :

$$I = \frac{U_o}{R_d + R_a}$$

Sumber tegangan dalam keadaan hubung singkat



Gambar 2.43 Rangkaian Sumber Tegangan Keadaan Hubung Singkat

Jika suatu baterai hubung singkat maka : $U = 0$

Karena tidak ada tahanan luar atau tahanan luar relatif kecil sekali (diabaikan) maka didapat rumus :

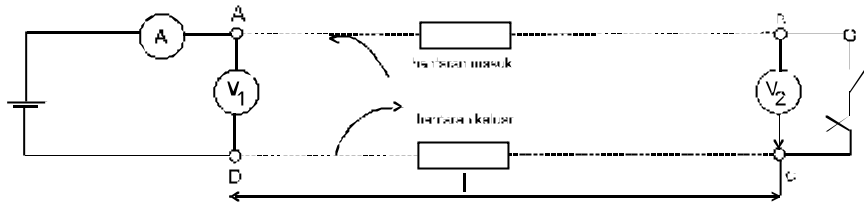
$$I_R = \frac{U_o}{R}$$

Kesimpulan :

- Semakin besar arus, maka tegangan klem semakin kecil.
- Semakin kecil tahanan dalam, maka semakin berkurang tegangan klem yang tergantung dari arus beban.

2.1.9.8. RUGI TEGANGAN DALAM PENGHANTAR

Yang dimaksud kerugian tegangan dalam penghantar ialah tegangan yang hilang, atau tegangan yang tak dapat dimanfaatkan :



Gambar 2.44 Rugi Tegangan Dalam Penghantar

Dalam rangkaian arus :

$$I = \frac{U}{R_p}$$

$$R_p = R_{A-B} + R_{BC} + R_{CD}$$

dari titik A ke B terjadi turun tegangan

$$\begin{aligned} U_{AB} &= I \cdot R_{AB} \\ &= I \cdot \text{Tahanan penghantar masuk} \end{aligned}$$

dari titik C – D = terjadi turun tegangan

$$\begin{aligned} U_{CD} &= I \cdot R_{CD} \\ &= I \text{ Tahanan penghantar keluar} \end{aligned}$$

$$\Delta U = U - U_{BC} \text{ atau}$$

$$\Delta U = U_{AB} + U_{CD}$$

Panjang dan penampang kedua penghantar itu sama, jadi tahananannya sama. Tahanan penghantar

$$R = \frac{\rho \ell}{q}$$

Tahanan dua kontrol :

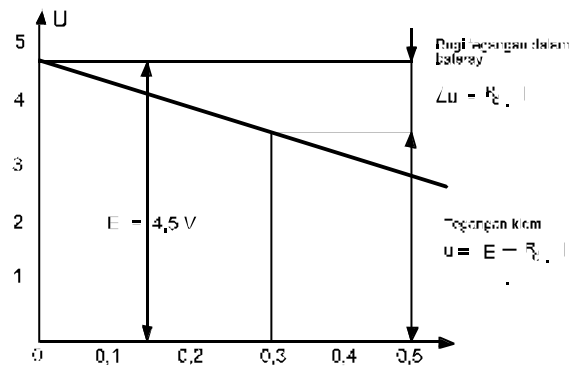
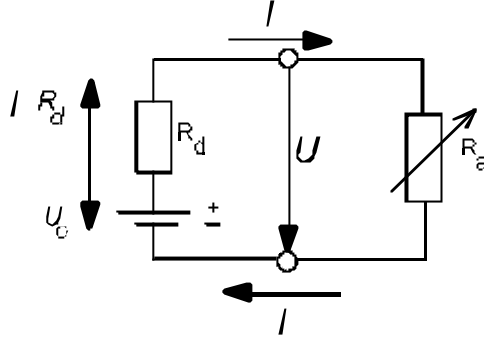
$$2R = \frac{2 \rho \ell}{q}$$

Turunan tegangan dinyatakan dalam % dari tegangan yang diberikan

$$\begin{aligned}\Delta U &= \sum \% \cdot U \\ &= \frac{\Sigma}{100} \cdot U\end{aligned}$$

2.1.9.9. PEMBEBANAN SUMBER

Sumber tegangan dalam keadaan berbeban yang dapat diatur



Grafik 2.45 Grafik Pembebanan Sumber

Kesimpulan :

Semakin besar tahanan beban yang diukur maka besarnya tegangan klem akan semakin kecil. (lihat grafik).

Contoh Soal :

- * Sebuah sumber tegangan memberikan 1,5 V dihubungkan pada tahanan 2,5 Ω sedangkan tahanan dalam baterai 0,5 Ω .

Hitunglah :

- Arus yang mengalir.
- Tegangan klem (tegangan pada tahanan luar).

Jawab :

Diketahui : $U_0 = 1,5 \text{ V}$

$$R_i = 0,5 \Omega$$

$$R_a = 2,5 \Omega$$

$$I = ?$$

$$u = ?$$

Jawab :

$$\begin{aligned} \text{a). } I &= \frac{U}{R_d + R_a} = \frac{1,5 \text{ V}}{0,5 + 2,5} \\ &= \frac{1,5}{3} = 0,5 \text{ A} \end{aligned}$$

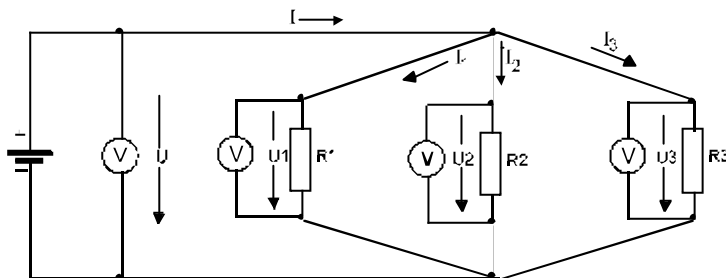
$$\begin{aligned} \text{b). } &= U_0 - I \cdot R_d \\ &= 1,5 \text{ V} - (0,5 \cdot 0,5) \\ &= 1,5 \text{ V} - 0,25 \\ &= 1,25 \text{ V} \end{aligned}$$

2.1.9.10. HUBUNGAN JAJAR.

Beberapa pemakai alat listrik bersama-sama dihubungkan pada satu tegangan. Hubungan semacam ini disebut : HUBUNGAN JAJAR.

Semua alat listrik pada umumnya dihubungkan jajar pada tegangan yang tersedia.

Contoh perhatikan percobaan dibawah :



Gambar 2.46 Rangkaian Pararel

Perhitungan tahanan total (tahanan pengganti)

$$\begin{aligned} R &= \frac{U}{I} = \frac{U}{I_1 + I_2 + I_3} \\ &= \frac{U}{\frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3}} R = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \end{aligned}$$

$$G = G_1 + G_2 + G_3$$

Contoh 1

Dua buah tahanan masing-masing $R_1 = 10$, $R_2 = 40$, dihubungkan secara paralel dengan 200 V, Tentukan tahanan total dan arus yang mengalir pada masing-masing tahanan serta perbandingan $I_1 : I_2$ dan $R_2 : R_1$

Jawab :

$$R = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} = \frac{1}{\frac{1}{10} + \frac{1}{40}} = \frac{1}{0,1 + 0,025}$$

$$I = \frac{U}{R} = \frac{200 \text{ V}}{8 \Omega} = 25 \text{ A}$$

$$I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{200 \text{ V}}{8 \Omega} = 20 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{U}{R_2} = \frac{200 \text{ V}}{40 \Omega} = 5 \text{ A}$$

$$\text{Kontrol : } I = I_1 + I_2 = 25 \text{ A}$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{20 \text{ A}}{5 \text{ A}} = 4$$

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{40 \Omega}{10 \Omega} = 4$$

Kesimpulan :

Tahanan total adalah lebih kecil dari tahanan yang terkecil dari tahanan cabang. Keadaan arus pada tiap cabang berbanding terbalik dengan tahanan cabang.

Pemakaian :

Hubungan paralel (shunt) untuk mengukur arus dan untuk pemakaian stop kontak yang lebih banyak dalam suatu rangkaian.

Contoh 2

Diketahui : Dua buah tahanan $R_1 = 20$, $R_2 = 30$, dihubungkan secara paralel.

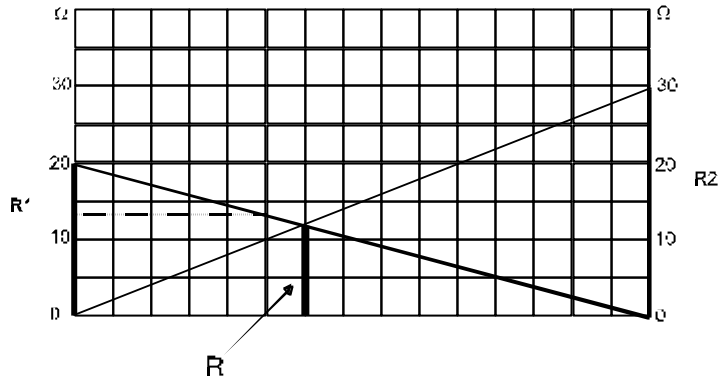
Ditanyakan : Tahanan total

a). Jawaban secara perhitungan

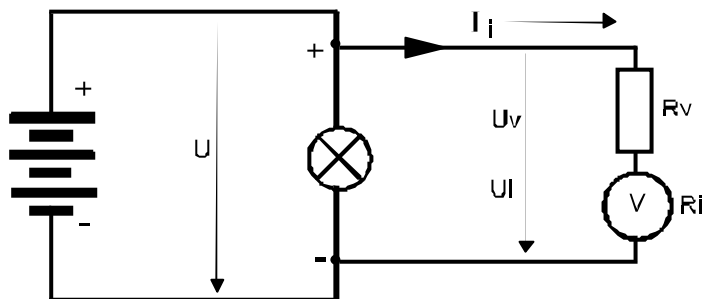
$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{R_2 + R_1}{R_1 \cdot R_2} \rightarrow R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

$$R = \frac{20 \Omega \cdot 30 \Omega}{20 \Omega + 30 \Omega} = \frac{20 \Omega \cdot 30 \Omega}{50 \Omega} = 12 \Omega$$

b). Jawaban secara grafik



Terapan hubungan campuran pada Perluasan batas ukur

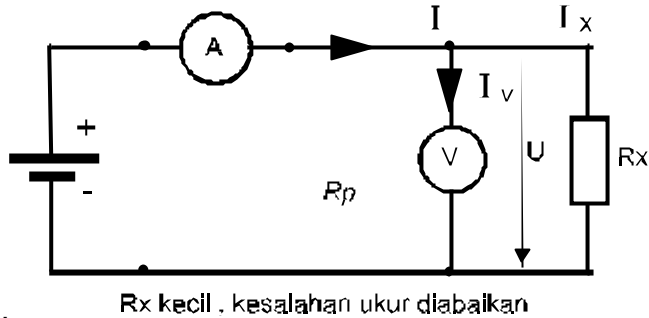


Dengan adanya tahanan seri (tahanan depan) , batas ukur dapat diperluas .

2.1.10. PENGUKURAN RANGKAIAN

Pengukuran Tahanan tak langsung (Pengukuran arus & tegangan) .

Kesalahan rangkaian dalam mengukur arus



Gambar 2.47 Kesalahan Pengukuran Arus

$$U_X = U \quad I_X = I - I_V$$

Rumus

$$R_x = \frac{U}{I - I_V} \quad R_x = \frac{U}{I - \frac{U}{R_V}}$$

Kesalahan ukur diabaikan

Pada tahanan yang kecil .

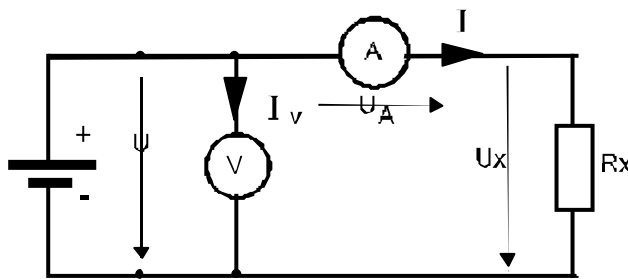
Keterangan :

U = Tegangan terukur

I = Arus terukur

I_V = Arus volt meter

R_V = Tahanan volt meter



Gambar 2.48 Kesalahan Pengukuran Tegangan

$$U_X = U \times U_A \quad I_X = I$$

$$R_X = \frac{U - U_A}{I} = \frac{U - R_A \times I}{I}$$

Tahanan yang besar

Keterangan :

U = Tegangan teratur

I = Arus terukur

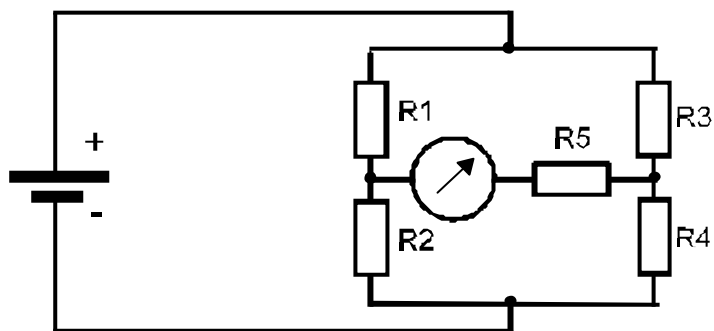
U_A = Tegangan Amperemeter

R_A = Tahanan Amperemeter .

Pengukuran Tahanan Langsung dengan :

- Pengukur tahanan (ohm meter)
- Pengukur isolasi (contoh induktor)
- Jembatan pengukur tahanan

2.1.10.1. HUBUNGAN JEMBATAN



Gambar 2.49

Rangkaian Jembatan

Syarat tahanan untuk jembatan tak berarus ($I_5 = 0$)

Syarat untuk jembatan tak berarus :

$$I_5 = 0 \quad U_5 = 0$$

$$U_1 = U_3 \quad U_2 = U_4$$

$$I_1 = I_2 \quad I_3 = I_4$$

$$U_1 = I_1 \times R_1 = I_3 \times R_3$$

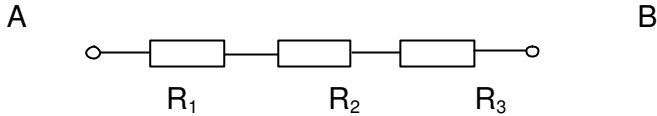
$$U_2 = I_1 \times R_2 = I_3 \times R_4$$

$$\frac{I_1}{I_3} = \frac{R_3}{R_1} = \frac{R_4}{R_2} \quad \frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$$

2.1.10.2. HUBUNGAN CAMPURAN

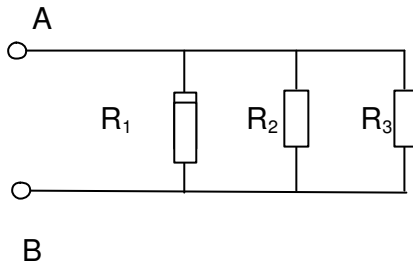
Pada rangkaian tahanan-tahanan yang di sambung seri, besar tahanan total adalah jumlah nilai tahanan yang disambung seri tersebut.

misal



Pada rangkaian tahanan-tahanan yang di sambung paralel

misal :



Maka:

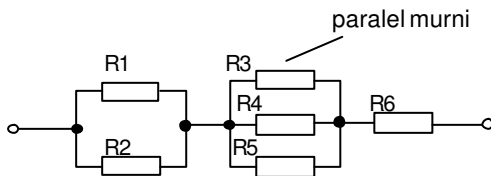
$$R_{A-B} = R_1 + R_2 + R_3$$

$$\text{maka : } R_{A-B} = \frac{I}{R_{AB}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

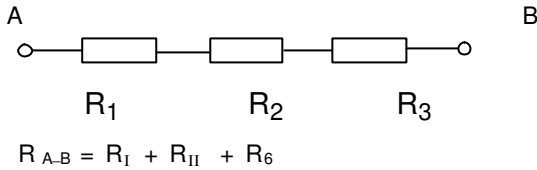
Untuk rangkaian-rangkaian seri-paralel (campuran), tahanan-tahanan paralel harus dilihat sebagai sebuah kelompok tunggal yang seri dengan tahanan-tahanan lainnya.

Berikut ini adalah cara penyelesaian rangkaian campuran

Rangkaian campuran 1 (seri-paralel).



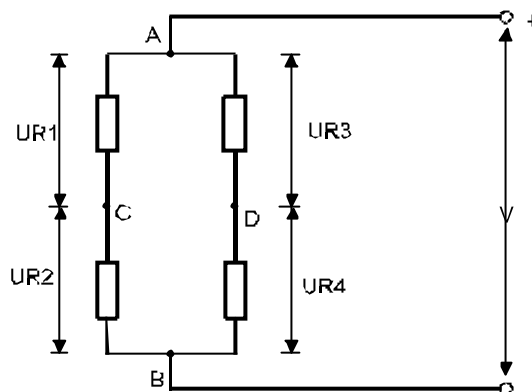
$$R_I = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2} \quad R_{II} = \frac{1}{\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5}}$$



2.1.10.3. Hubungan jembatan arus searah

Jembatan adalah rangkaian yang terdiri atas empat komponen yang dirangkai seperti gambar dibawah ini.

Komponen-komponennya boleh jadi berupa tahanan atau juga piranti-piranti lain..



Gambar 2.50 Rangkaian Jembatan Arus Searah

Deretan R_1 dan R_2 juga deretan R_3 dan R_4 disebut lengan atau cabang jembatan semacam ini dinamai jembatan Wheatstone.

Dalam jembatan dapat ditetapkan titik C dan D jika dihubungkan, maka tidak ada arus mengalir .

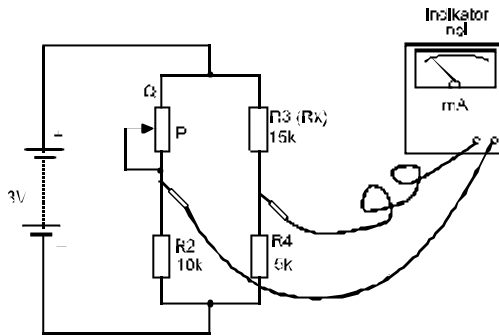
Hal ini dapat terjadi kalau tegangan antara C-B adalah sama dengan yang di antara D-B, dan ini dapat diperoleh $R_1 : R_2 = R_3 : R_4$

Kalau persyaratan-persyaratan diatas dipenuhi, maka dikatakan bahwa jembatan bersetimbang.

Rangkaian jembatan wheatstone banyak dipakai dalam piranti ukur cermat dan juga dalam industri.

2.1.10.4. JEMBATAN BERSETIMBANG

Gambar dibawah adalah cara untuk mengukur tahanan yang belum diketahui :



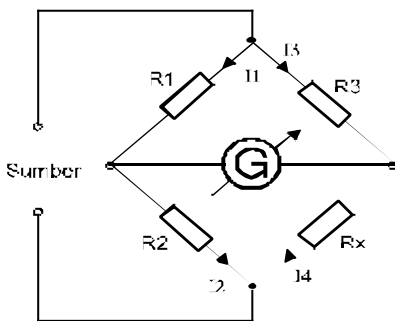
Gambar 2.51 Pengukuran Jembatan Setimbang

Prinsip Kerja :

- Potensiometer P adalah untuk mengatur supaya alat ukurnya menunjukkan 0. jembatapun bersetimbang.
- Mengukur hanya tahanan nya (diantara titik-titik P-Q) dengan alat ukur Ohm meter.
- Dengan menerapkan rumus : $R_1 : R_2 = R_3 : R_4$

Guna mengukur tahanan yang tak diketahui, R_x , maka R_x ini ditaruh sebagai pengganti R_3 . R_2 Pun dipilih yang seharga R_4 . Dengan demikian, kalau jembatan bersetimbang berlaku $R_x = P$.

Cara lain dapat dilakukan seperti pada gambar :



$$I_1 \cdot R_1 = I_2 \cdot R_2 \dots\dots\dots \text{I}$$

$$I_3 \cdot R_3 = I_4 \cdot R_x \dots\dots\dots \text{II}$$

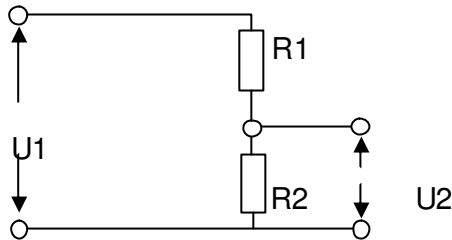
$$\frac{\text{I}}{\text{II}} = \frac{I_1 \cdot R_1}{I_2 \cdot R_2} = \frac{I_3 \cdot R_2}{I_4 \cdot R_x} \text{ atau}$$

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_X}$$

$$R_X = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_1}$$

2.1.10.5. PEMBAGI TEGANGAN BERBEBAN

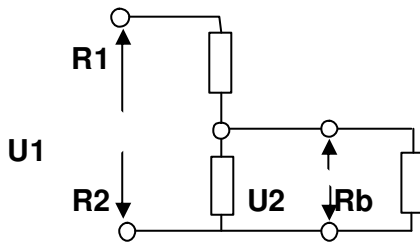
a. Hubungan seri



$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

$$U_1 = \frac{R_2 \cdot U_1}{R_2} \quad \text{untuk mencari} \quad U_2 = \frac{U_1 \cdot R_2}{R_1} \quad U_1 = U \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2} \quad \text{untuk mencari}$$

2.1.10.6. HUBUNGAN CAMPURAN BERBEBAN



$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_p}$$

$$U_1 = \frac{R_1 \cdot U_2}{R_p} \quad \text{untuk mencari} \quad U_2 = U \cdot \frac{R_p}{R_p + R_1}$$

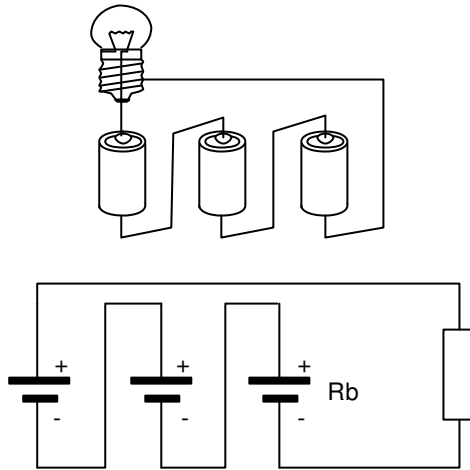
$$U_1 = U \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_p} \quad \text{untuk mencari} \quad U_2 = U \cdot \frac{R_p}{R_1 + R_p}$$

$$\text{Catatan } R_p = \frac{R_2 \cdot R_b}{R_2 + R_b} \quad \text{atau} \quad \frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_b}$$

Tahanan di dalam baterai, disebut tahanan dalam baterai

Misalkan : Jumlah unsur yang dideret = d ggl tiap unsur = e
 Tahanan dalam tiap unsur = rd Tahanan luar = RI
 Maka : arus baterai (I_{bat}) dapat dihitung.
 Sesuai dengan rumus sumber arus :

$$I = \frac{E}{rd + RI} \quad \text{Maka untuk baterai ini : } I = \frac{E_{bat}}{rd_{bat} + RI}$$



Gambar 2.52 Rangkaian Seri Baterai Berbeban

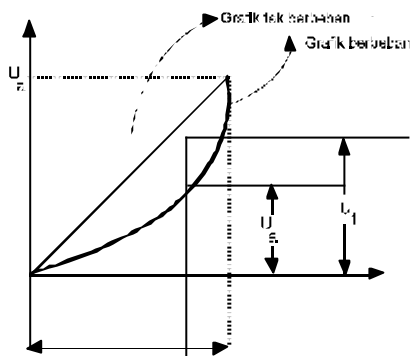
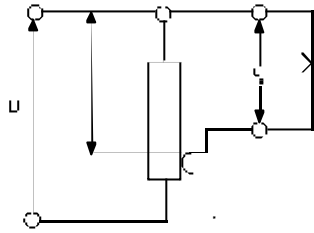
$$E_{bat} = d \times e$$

$Rd = d \times rd$, sehingga rumus untuk hubungan deret :

$$I = \frac{d \times e}{d \times rd + RI} \text{ Ampere}$$

- d = Jumlah unsur dalam hubungan deret.
- e = ggl tiap unsur dalam volt.
- rd = Tahanan dalam tiap unsur, dalam ohm.
- RI = Tahanan luar, dalam ohm.

2.1.10.7. HUBUNGAN DENGAN POTENSIOMETER



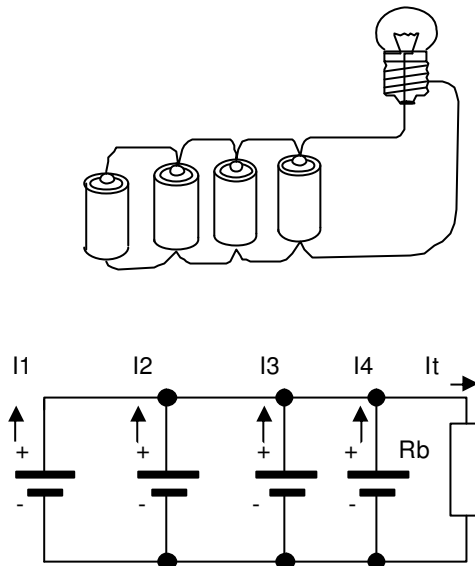
Gambar 2.53 Grafik Hubungan Dengan Potensiometer

U_1 = tegangan sepanjang kumparan

I_1 = panjang kumparan

2.1.10.8. PARAREL SUMBER BERBEBAN

Rangkaian Paralel



Gambar 2.54 Rangkaian Pararel Baterai Berbeban

Ggl baterai = ggl unsur = e , karena hubungan jajar.

Tahanan dalam baterai : $R_d = rd/j$

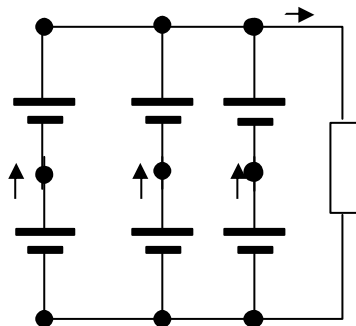
j = jumlah unsur yang dihubungkan jajar.

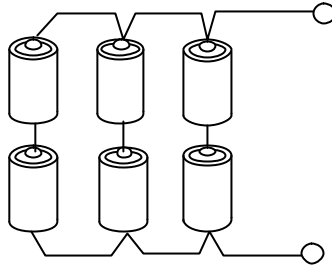
rd = Tahanan dalam tiap unsur, sehingga arus baterai

$$I = \frac{e}{(1/j \times rd) + RI}$$

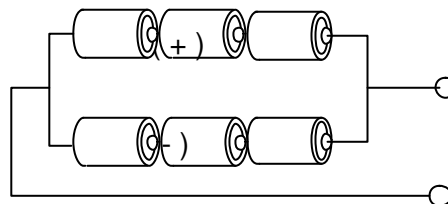
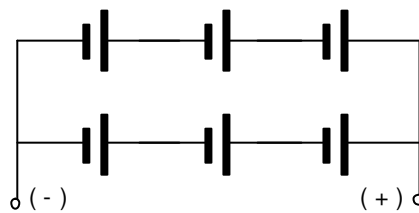
2.1.10.9. RANGKAIAN SUMBER CAMPURAN

Rangkaian Campuran (seri - Jajar)





Gambar 2.55a Rangkaian Seri-Pararel Baterai Berbeban A



Gambar 2.55b Rangkaian Seri-Pararel Baterai Berbeban B

Untuk mendapatkan arus maupun tegangan yang cukup, maka penyambungan sumber arus (unsur) dibuat campuran atau dikenal dengan sambungan deret-jajar, seperti dalam gambar

Rumus yang dipakai untuk hubungan ini, tidak meninggalkan rumus-rumus dasar deret dan jajar.

Jumlah unsur yang dihubungkan deret = d

Jumlah deretan (rangkaian deret) yang dijejerkan = j

Jumlah unsur seluruhnya = d X j = n

Ggl baterai = d X ggl unsur.

Tahanan dalam baterai = $\frac{d}{j}$ tahanan dalam unsur.

Sehingga arus baterai :

$$I = \frac{d \times e}{(d/j \times rd) + RI} = \frac{d \times e}{(d/1 \times rd) + RI} = \frac{d \times e}{(d \times rd) + RI}$$

Jika d = 1 , maka rumus ini menjadi rumus untuk baterai dengan hubungan jajar, seperti dibawah ini :

$$I = \frac{d \times e}{(d/j \times rd) + RI} = \frac{d \times e}{(1/j \times rd)rd}$$

2.1.10.10. DAYA LISTRIK

Jika sebuah lampu pijar dihubungkan pada sumber tegangan, lampu tersebut akan menyala karena dialiri arus listrik. Untuk memindahkan arus listrik / muatan listrik diperlukan usaha listrik sebesar :

$$w = U \cdot Q$$

w = usaha listrikjoule = watt detik

U = tegangan listrikvolt (v)

Q = jumlah muatan listrik ...coulomb (C)

$$Q = I \cdot t$$

$$w = U \cdot I \cdot t$$

Daya listrik adalah usaha listrik tiap satuan waktu :

$$w = U \cdot I \cdot t \longrightarrow U \cdot I = P = \frac{w}{t}$$

$$\longrightarrow P = U \cdot I$$

P = daya listrik watt

$$P = U \cdot I \longrightarrow U = I \cdot R$$

$$P = I \cdot R \cdot I = I^2 \cdot R$$

$$P = I^2 \cdot R$$

R = tahanan / hambatan listrik ohm (Ω)

$$P = U \cdot I \quad I = \frac{U}{R}$$

$$= U \cdot \frac{U}{R} = \frac{U^2}{R} \rightarrow P = \frac{U^2}{R}$$

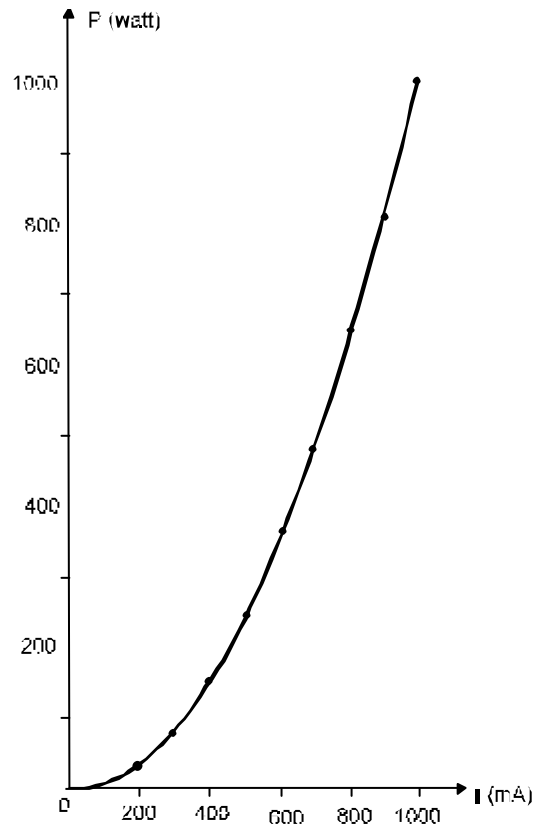
Dari persamaan :

$$P = I^2 \cdot R$$

Jika R adalah konstan, maka grafik $P = f(I)$ dapat digambarkan sebagai berikut :

Contoh : R = 1000

I (ma)	P (w)
100	100
200	200
300	300
400	400
500	500
600	600
700	700
800	800
900	900
1000	1000



Satuan daya listrik yang lain :

$$1 \text{ mili watt} = 1 \text{ mw} = 10^{-3} \text{ w}$$

$$1 \text{ kilo watt} = 1 \text{ kw} = 10^3 \text{ w}$$

$$1 \text{ mega watt} = 1 \text{ Mw} = 10^6 \text{ w}$$

$$1 \text{ daya kuda} = 1 \text{ Hp} = 746 \text{ w}$$

Konversi daya listrik terhadap daya panas dan daya mekanik :

$$1 \text{ watt} = 0,102 \text{ kgm/det} = 0,00136 \text{ Hp} = 0,24 \text{ kal/det}$$

Contoh :

Sebuah setrika listrik dayanya 330 w, dihubungkan pada tegangan 220 V.

Hitung : a. arus yang mengalir.

- b. Hambatan setrika dalam keadaan bekerja.
(anggap harganya konstan)

Jawab :

$$\text{a) } P = U \cdot I \quad I = \frac{P}{U} = \frac{330}{220} = 1,5 \text{ A}$$

$$\text{Jadi : } I = 1,5 \text{ A}$$

$$\text{b) } R = \frac{U}{I} = \frac{220}{1,5} = 146,67 \Omega$$

$$\text{atau } P = \frac{U^2}{R} \quad R = \frac{U^2}{P} = \frac{220^2}{330} = \frac{48400}{330}$$

$$R = 146,67 \Omega$$

2.1.10.11. DAYA GUNA (EFISIENSI)

Daya guna disebut juga efisiensi adalah perbandingan antara daya keluaran (out put) dengan daya masukan (input). Daya keluaran selalu lebih kecil dari daya masukan, karena selalu timbul kerugian-kerugian. Contoh kerugian-kerugian pada motor listrik :

Jadi jelas terlihat bahwa daya masukan (input) selalu lebih besar dari daya keluaran (out put).

Daya guna atau efisiensi dinyatakan dalam persamaan :

$$\eta = \frac{P \text{ output}}{P \text{ input}} \quad \text{atau} \quad \boxed{\eta = \frac{P_2}{P_1}}$$

Jika dinyatakan dalam persentase :

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100 \%$$

$\eta =$ efisiensi = daya guna %

P_2 = daya keluaran

P_1 = daya masukan

Catatan :

- Dalam menghitung daya guna/efisiensi, Satuan daya keluaran harus dalam satuan yang sama.

Jawab :

$$P_1 = 100 \text{ watt}$$

$$P_1 = 1 \text{ HP} = 746 \text{ watt}$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100 \% = \frac{746}{1000} \times 100 \%$$

$$\eta = 74,6 \%$$

2.1.11. PANAS LISTRIK

2.1.11.1. TEMPERATUR

Kandungan panas suatu bahan atau benda tergantung pada :

- (a). temperatur
- (b). berat bahan, dan
- (c). jenis bahan

Jadi temperatur dan panas tidaklah sama. Tidak ada kandungan panas yang dapat diukur dengan sebuah termometer. Temperatur menunjukkan tingkat panas, yakni suatu ukuran pada sebuah skala yang telah disetujui dengan kemampuan panas untuk beralih dari satu zat ke yang lain, atau dari satu bagian bahan ke bagian lain dalam bahan yang sama.

Dengan demikian dapat disimpulkan :

2.1.11.2. PENGUKURAN TEMPERATUR

Pengukuran derajat panas atau temperatur atau suhu dari suatu zat diukur dengan suatu alat yang disebut termometer. Alat ukur ini mempunyai berbagai macam skala, tergantung dari pembuatnya. Adapun macam-macam skala dalam pengukuran temperatur ini yaitu :

Celcius.

Fahrenheit.

Reamur.

Kelvin.

Celcius:Termometer yang dibuat oleh Celcius Mempunyai batas skala pengukuran 0° – 10° dimana batas ini adalah 0° untuk temperatur air saat membeku dengan tekanan udara (P) = 1 atm, skala 100° untuk air mendidih dengan P = 1 atm.

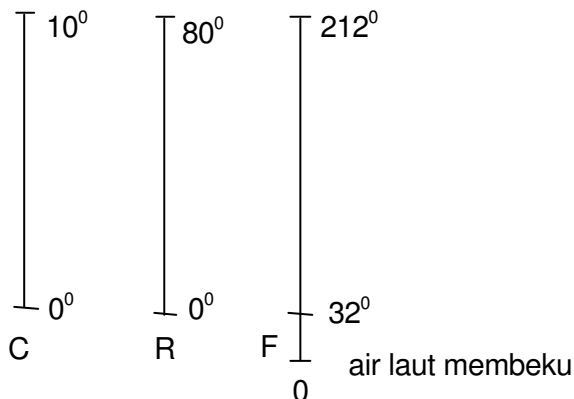
Fahrenheit :Termometer yang dibuat oleh fahrenheit mempunyai nilai skala 32° untuk air membeku dan 0° untuk air asin (air laut membeku, sedang untuk air mendidih 212° C.

Reamur : Termometer yang dibuat oleh reamur mempunyai nilai skala 0° untuk air membeku dan 80° untuk air mendidih.

Kelvin :Termometer yang dibuat oleh Kelvin mempunyai nilai skala 273 untuk air membeku, sedangkan untuk mendidih 333° .

2.1.11.3. SKALA TERMOMETER

Dari penjelasan tentang skala yang di pakai oleh masing Termometer dapat kita bandingkan :



Gambar 2.56 Skala Thermometer

$$t^{\circ} \text{C} = (9/5 \times t) + 32^{\circ} \text{F} = 4/5 \times t^{\circ} \text{R}$$

$$t^{\circ} \text{R} = (9/4 \times t) + 32^{\circ} \text{F} = 5/4 \times t^{\circ} \text{C}$$

$$t^{\circ} \text{F} = (t - 32) \times 5/9^{\circ} \text{C} = (t - 32) \times 4/9^{\circ} \text{R}$$

Pada termometer kelvin nilai perbandingannya sama dengan celcius, sehingga pengukuran untuk kelvin dan celcius nilai derajat panasnya adalah sama, berarti untuk kelvin besarnya nilai pengukuran sama dengan $(t^{\circ} \text{C} + 273)^{\circ} \text{K}$ atau sebaliknya untuk celcius $(t^{\circ} \text{K} - 273)^{\circ} \text{C}$.

2.1.11.4. KWALITAS DAN KAPASITAS PANAS

Setiap benda untuk bisa menaikkan suhunya lebih tinggi dari suhu semula, maka benda itu memerlukan tenaga, tenaga ini berasal dari gaya luar yang mengenai suhunya. Kalau gaya itu berasal dari benda itu sendiri biasanya merupakan reaksi inti atom atau maka dapatlah disimpulkan bahwa :

Kapasitas panas (C) adalah tenaga yang harus ditambahkan (berupa panas) untuk menaikkan temperatur benda sebanyak satu derajat celcius.

- **Menentukan nilai kapasitas panas**

Berdasarkan rumus pada :

$$1 \quad \boxed{Q = m \cdot C \cdot \Delta t} \quad \dots\dots\dots$$

maka besarnya nilai kapasitas adalah :

Q = jumlah panas Joule

m = massa benda Kilogram (Kg)

C = kapasitas panas..... Joule/derajat celcius (j / $^{\circ} \text{C}$)

Δt = perubahan suhu..... $^{\circ} \text{C}$ atau $^{\circ} \text{K}$

C = kapasitas panas jenis.. Joule/kilogram derajat celcius (j / Kg $^{\circ} \text{C}$)

- **Pengertian kuantitas panas :**

Seperti yang telah dijelaskan tentang kapasitas panas.

Maka kuantitas panas (jumlah panas) merupakan besar panas yang diperlukan / dipakai secara total, ini berarti berhubungan dengan waktu. Untuk menentukan besarnya kuantitas panas digunakan rumus

$$Q = m \cdot C \cdot \Delta t \dots\dots\dots \text{joule}$$

- **Pengertian panas jenis**

Pada pengertian panas jenis bisa disebut sebagai kalor jenis dan dalam pengertian rumus 2 dinamakan kapasitas panas jenis dengan satuan joule/kilogram derajat celcius (j / Kg⁰C).

Maka dapat disimpulkan bahwa : Panas jenis adalah bilangan yang menunjukkan berapa kalori panas yang diperlukan untuk menaikkan suhu tiap satuan massa zat tersebut satu derajat celcius.

$$C = \frac{Q}{m \cdot \Delta t} \text{ j / Kg} \dots\dots\dots 3 \quad \bigcirc$$

C = kapasitas panas jenis (kalor jenis, panas jenis)

Q = kuantitas panas

m = massa

Δt = perubahan suhu

Tabel2.25 Kapasitas panas jenis beberapa zat

B a h a n	$C \left[\frac{J}{Kg \cdot ^0 C} \right]$	$C \left[\frac{kWh}{Kg \cdot ^0 C} \right]$
Aluminium	912	$0,256 \cdot 10^{-3}$
Tembaga	385	$0,107 \cdot 10^{-3}$
Baja	460	$0,128 \cdot 10^{-3}$
PVC	880	$0,243 \cdot 10^{-3}$
Air	4187	$1,16 \cdot 10^{-3}$

2.1.11.5. KONVERSI BESARAN DAN SATUAN USAHA

Besaran usaha Q besarnya adalah kalori (cal) atau kilo kalori (Kcal)
 Besaran usaha W satuannya adalah Joule, (J), erg, Watt detik (Ws)
 dan kilo Watt jam (kWh)

Satuan = Joule = Newton meter = kilogram meter / detik² . meter
 erg = dyne sentimeter = gram . centimeter/detik² . cm
 Joule = kg m² / dt²

$$\text{Erg} = \text{gr cm}^2 / \text{dt}^2$$

$$\begin{aligned} \text{jadi : } 1 \text{ kg m}^2 / \text{dt}^2 &= 1000 \text{ gr} \cdot (100)^2 \text{ cm}^2 / \text{dt}^2 \\ &= 1000 \text{ gr} \cdot 10000 \text{ cm}^2 / \text{dt}^2 \\ &= 10^7 \text{ gr} \cdot \text{cm}^2 / \text{dt}^2 \end{aligned}$$

Kesimpulan : 1 Joule = 10⁷ erg

$$1 \text{ erg} = 10^{-7} \text{ joule}$$

$$1 \text{ kalori} = 4,19 \text{ Joule}$$

$$1 \text{ W} = 1 \text{ Joule/detik (J/s)}$$

$$1 \text{ Ws} = 1 \text{ J}$$

$$1 \text{ kWh} = 1000 \times 3600 \text{ J}$$

$$= 3,6 \times 10^6 \text{ J}$$

$$= 3,6 \text{ Mega Joule}$$

$$= 3,6 \text{ MJ}$$

Dari perhitungan diatas maka didapatkan suatu tabel konversi besaran satuan dari usaha seperti berikut:

Tabel 2.26 KONVERSI USAHA LISTRIK

Satuan SI		J (Joule) Nm (Newton meter)			
Satuan SI (umum)		Ws (Watt sekon) kWh (kilo Watt jam)			
Satuan lainnya		kcal (kilo kalori) = cal . 10 ³			
1 Ws	= 1 J	= 1 Nm	= 107 erg		
1 Ws	= 278 . 10 ⁻⁹ kWh	= 1 Nm	= 1 J	= 0,102 kpm	= 0,239 cal
1 kWh	= 3,6 . 10 ⁶ Ws	= 3,6 . 10 ⁶ Nm	= 3,6 . 10 ⁶ J	= 367 . 10 ³ kpm	= 860 kcal
1 Nm	= 1 Ws	= 278 . 10 ⁻⁹ kWh	= 1 J	= 0,102 kpm	= 0,239 cal
1 J	= 1 Ws	= 278 . 10 ⁻⁹ kWh	= 1 Nm	= 0,102 kpm	= 0,239 cal
1 kpm	= 9,81 Ws	= 2,72 . 10 ⁻⁶ kWh	= 9,81 Nm	= 9,81 J	= 2,34 cal
1 kcal	= 4,19 . 10 ³ Ws	= 1,16 . 10 ⁻³ kWh	= 4,19 . 10 ³ Nm	= 4,18 . 10 ³ J	= 427 kpm

2.1.11.6. KONVERSI BESARAN DAN SATUAN DAYA

Dibawah ini adalah tabel konversi daya ke satuan lain.

Tabel 2.27 Konversi Daya

Satuan SI	J (Joule) Nm (Newton meter)				
Satuan SI (umum)	W (Watt) kW (kilo Watt)				
Satuan lainnya	kcal/s (kilo kalori/sek) = cal / s . 10 ³ kcal/h (kilo kalori/jam) = cal / h . 10 ³ kcp/s (kilo pond meter/sek) PS = HP (Daya kuda)				
1 W	= 1 J/s	= 1 Nm/s			
1 W	= 10 ⁻⁹ kW	= 0,102 kpm/s	= 1,36 . 10 ⁻³ PS	= 860 cal/h	= 0,239 cal/s
1 kW	= 10 ³ W	= 102 kpm//s	= 1,36 PS	= 860 . 10 ³ cal/h	= 239 cal/s
1 kpm/s	= 9,81 W	= 9,81 . 10 ⁻³ kW	= 13,3 . 10 ⁻³ PS	= 8,43 . 10 ³ cal/h	= 2,34 cal/s
1 PS	= 736 W	= 0,736 kW	= 75 kpm/s	= 632 . 10 ³ cal/h	= 1,76 cal/sl
1 kcal/h	= 1,16 W	= 1,16 . 10 ⁻³ kW	= 119 . 10 ⁻³ kpm/s	= 1,58 . 10 ⁻³ PS	= 277,8 . 10 ⁻³ cal/s
1 cal/s	= 4,19W	= 4,19 . 10 ⁻³ kW	= 0,427 kpm/s	= 5,69 . 10 ⁻³ PS	= 3,6 kcal/h

Daya adalah besarnya usaha yang dilakukan tiap satuan waktu

$$\begin{aligned} \text{Daya} &:= \frac{\text{Nm}}{\text{S}} && \text{atau daya} = \text{Joule/sekon} \\ &= \frac{\text{Kg m} / \text{dt}^2 \cdot \text{m}}{\text{Sekon}} && = \text{Watt sekon/sekon} \\ &= \frac{\text{Kg m} \cdot \text{m}}{\text{Sekon}^3} && = \text{Watt} \\ &= \text{kg m}^2 / \text{dt}^3 \end{aligned}$$

Jadi :

Besaran daya adalah P

Satuan daya adalah Watt atau kilo Watt. Seperti juga usaha daya juga dapat di konversikan menjadi satuan-satuan lain, terutama yang ada hubungannya dengan panas (kalori atau cal).

Contoh

Dalam konversi satuan usaha listrik pada tabel terdapat lajur :

$$1 \text{ kpm} = 9,81 \text{ Ws} = 2,72 \cdot 10^{-6} \text{ kWh} = 9,81 \text{ Nm} = 9,81 \text{ J} = 2,34 \text{ cal}$$

Coba jelaskan bagaimana di peroleh data tersebut !

Jawab :

1 kpm adalah 1 kilo pond meter

$$1 \text{ Nm} = 0,102 \text{ kpm} \text{ berarti } 1 \text{ kpm} = \frac{1}{0,102} = 9,81 \text{ Nm}$$

$$\text{a). } 1 \text{ kpm} = 9,81 \text{ Nm} \quad 1 \text{ Nm} = 1 \text{ J} = 1 \text{ Ws}$$

$$\begin{aligned} \text{b). } 1 \text{ kpm} &= 9,81 \text{ J} \\ 1 \text{ Nm} &= 278 \cdot 10^{-9} \text{ kWh} \\ 9,81 \text{ Nm} &= 9,81 \times 278 \cdot 10^{-9} \text{ kWh} \\ &= 2,72 \cdot 10^{-9} \text{ kWh} \\ &= 2,72 \cdot 10^{-9} \text{ kWh} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{c). } 1 \text{ kpm} &= 2,72 \cdot 10 \text{ kWh} \\ 1 \text{ Nm} &= 0,239 \text{ cal} \\ 9,81 \text{ Nm} &= 9,81 \cdot 0,239 \text{ cal} \\ &= 2,34 \text{ cal} \end{aligned}$$

$$\text{d). } 1 \text{ kpm} = 2,34 \text{ cal}$$

Jadi terbukti bahwa :

$$\begin{aligned} 1 \text{ kpm} &= 9,81 \text{ Ws} = 2,72 \cdot 10^{-6} \text{ kWh} \\ &= 9,81 \text{ Nm} = 9,81 \text{ J} = 2,34 \text{ cal} \end{aligned}$$

2.1.11.7. DAYA GUNA Efisiensi

- **Panas Sumber dari Sumber Listrik**

Segala sesuatu yang diberikan dari suatu sumber tidak semua dapat di manfaatkan atau dui gunakan dalam pemakaiannya. Karena pada transfer (pemberian) yang dilakukan melalui Media / alat / penghantar tertentu yang juga mengambil bagian dari Sumber.

Demikian yang juga mengambil panas, dimana Sumber yang berupa tempat asal mula energi terjadi tidak dapat memberikan panas / energinya tanpa mengalami kerugian - kerugian. Sumber listrik sebagai energi yang belum diubah menjadi panas untuk memanaskan sesuatu juga mengalami kerugian. Kerugian ini disebabkan oleh beberapa hal, diantaranya adalah rugi pada alat pemanas itu sendiri dan rugi dari media transfernya, yaitu udara (radiasi) ataumungkin bantalan atau komponen alat.

Besarnya panas dari sumber listrik adalah perubahan usaha listrik menjadi panas seusai dengan rumus :

$$W1 = 0,24 . U . I . t \dots\dots\dots \text{kalori}$$

- dimana : W = Usaha listrik kalori
 I = Arus listrik yang mengalir amper
 R = Tahanan Ohm
 t = Waktu detik
 0,24 adalah perubahan dari Joule ke kalori

atau =
$$W1 = U . I . t \dots\dots\dots \text{Joule}$$

- **Panas Bergema (Out put)**

Panas yang betul-betul termanfaatkan oleh yang memerlukan dinamakan panas yang berguna. Biasanya panas ini sudah tidak lagi sebesar yang diberikan oleh sumber karena adanya rugi - rugi sebagaimana yang dijelaskan didepan.

Besarnya panas yang termanfaatkan (berguna) ini ditentukan oleh rumus:

W2 sebanding dengan
$$Q = m . c . \Delta t \dots\dots \text{kalori}$$

Dimana = Q = jumlah / kuantitas panas kalori

M = Massa benda yang dipanaskan .. kg

Δt = Perubahan temperatur (suhu) ... $^{\circ}\text{C}$

atau

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t \text{ Joule}$$

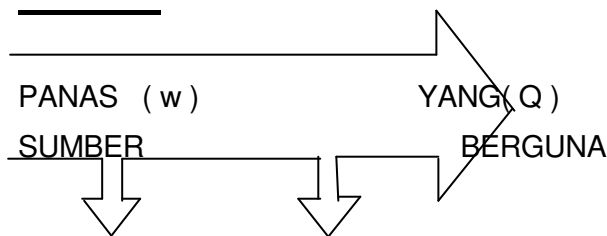
Untuk menentukan satuan yang dipakai harus seragam, misal :

- Jika Q dan W yang dipakai kalori, maka kapasitas panas jenis yang dipakai adalah dengan satuan kalori / $\text{kg}^{\circ}\text{C}$.
- Jika Q dan W yang dipakai joule, maka kapasitas panas jenis yang dipakai adalah dengan satuan joule / $\text{kg}^{\circ}\text{C}$.
- Efisiensi Panas

Efisiensi panas adalah Perbandingan antara pasang yang termanfaatkan (pergunakan) dengan panas sumber.

Besarnya efisiensi panas, ditentukan oleh rumus :

$$\eta = \frac{Q}{W_1} \times 100\%$$



RUGI PANAS AKIBAT RADIASI RUGI PANAS AKIBAT
RAMBATAN KE BENDA LAIN

2.1.11.8. PERPINDAHAN PANAS

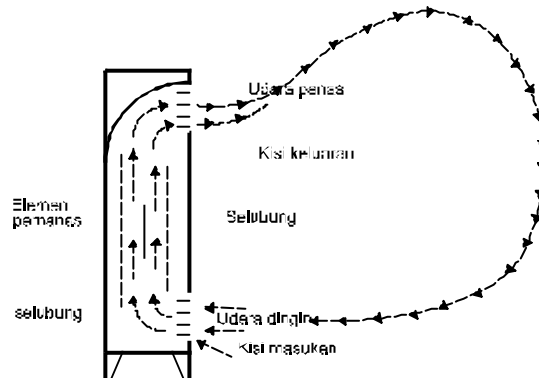
Panas dapat dikatakan mengalir dari sebuah benda panas ke benda dingin. Sebuah zat yang dipanasi mengeluarkan panas ke zat lain melalui (a) hantaran (konduksi), (b) konverksi, (c) radiasi. Berbagai jenis pemanas listrik bekerja menurut salah satu atau lebih dari prinsip tersebut.

A. HANTARAN (KONDUKSI). Dalam hantaran, panas dipindahkan melalui suatu zat dari satu titik ke titik lainnya. Misalnya, di dalam sebuah batang yang dipanasi, energi panas dipancarkan dari molekul melalui kontak langsung, walaupun tidak ada gerakan molekul - molekul itu sendiri. Atom - atom dalam setiap bahan berada pada getaran yang konstan. Getaran ini diperbesar oleh setiap kenaikan temperatur.

Kebanyakan zat nampaknya mengikuti pola ini. Tembaga adalah penghantar panas dan listrik yang baik ; sedang kertas adalah isolator panas dan isolator listrik yang baik.

B. KONVERSI.

Pemakaian arus konversi mungkin adalah cara yang paling pokok untuk memancarkan energi panas untuk mendapatkan keduanya, pemanasan ruang dan air. Udara sendiri bukanlah suatu penghantar yang baik tetapi lapisan udara yang bersentuhan dengan sebuah elemen yang dipanasi diberi energi panas dan karenanya memuai. Sehubungan dengan pemuaian ini, massa jenis udara berkurang sehingga akan menjadi lebih ringan dan naik. Lapisan udara yang segar mengisi tempatnya dan pada gilirannya naik. Dengan cara ini sirkulasi kontinu dari udara yang dipanasi dapat diperoleh, dan prinsip ini dilukiskan pada Gambar 2.57 Udara dingin ditarik ke dalam alat konversi listrik pada permukaan tanah, dihangati oleh panas dan dibuang keluar melalui sebuah lapisan logam bagian atas. Dengan bekerja pada panas hitam, umur elemen nikel-chrome bertambah dibandingkan dengan radiator-radiator di mana mereka menjalankan panas merah. Pemanasan konverksi yang mungkin dibantu oleh kipas angin memberi kemungkinan untuk mengontrol termostatik ; tetapi bila dipasang termostat sebaiknya ditempatkan agar memberi tanggapan terhadap temperatur aliran udara masuk.

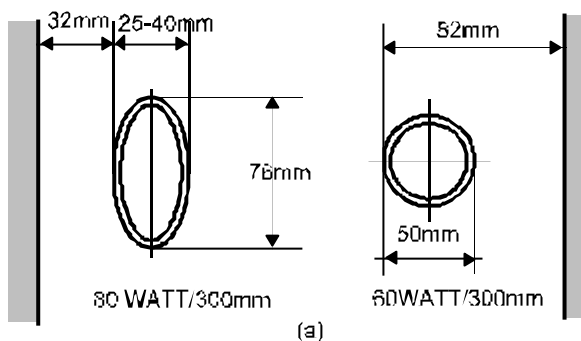


Gambar 2.57 Prinsip alat konveksi listrik

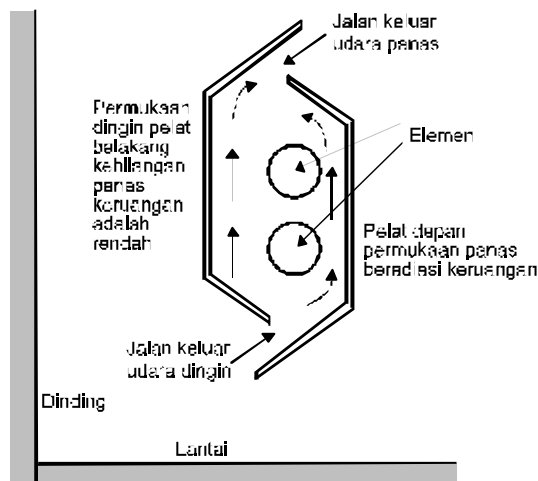
Pemanas berbentuk tabung juga bekerja sebagai konvektor. Pemanas tersebut adalah lempengan baja terselubung dari penampang berbentuk lingkaran (diameter 50 mm) atau oval yang mengandung sebuah elemen dan panjangnya dari 0,61 m sampai 5,2 m.(Gambar (a)). Kurungan mempertahankan suatu jarak-antara ke dinding sebesar 33 mm. Hubungan-hubungan bagian-dalam antara pemanas-pemanas dapat diperoleh dan untuk melengkapi pembebanan yang kompak, pemanas-

pemanas tersebut sering dipasang di dalam deretan bertingkat. Fleksibilitas yang ditawarkan oleh rangkumam ukurannya membuat pemanas sangat efektif untuk pemeriksaan aliran udara. Aliran udara dingin yang turun dari udara dari jendela loteng dan jendela-jendela, bisa dipanasi dengan memasang pemanas-pemanas berbentuk tabung yang sesuai di bawah saluran gas.

Sebagai pendekatan yang lebih modern, unit-unit dapat dimodifikasi atau dimasukkan di dalam pemanas-pemanas pembalut yakni yang disempurnakan dengan warna-warna menarik yang akan bergabung dengan dekorasi rumah model sekarang atau kantor. Salah satu bentuk diperhatikan pada Gambar 2.58 (a) dan 2.58 (b).



Gambar 2.58a. Dimensi Pemanas berbentuk tabung



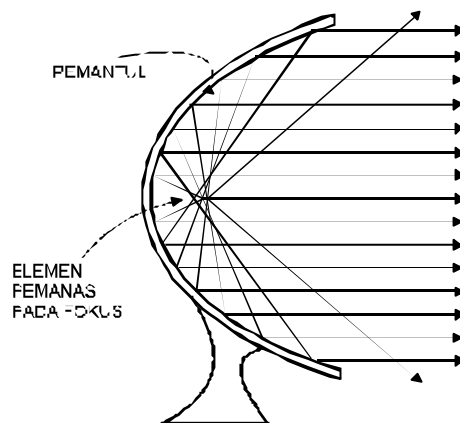
Gambar 2.58b Pemanas-pemanas berbentuk tabung tercakup didalam pemanas-pemanas bermantel.

C. RADIASI.

Matahari memanasi bumi melalui radiasi yang merambat pada kecepatan cahaya. Dalam radiator listrik (Gambar 3), sinar-sinar panas dari sebuah elemen pada panas merah yang terang lewat dengan cepat melalui udara tanpa memanasi atmosfer tetapi menaikkan temperatur zat padat dalam daerahnya. Berarti tembok, mebel dan badan manusia menyerap panas dan menjadi lebih panas. Sebagaimana dapat dilihat melalui bagan, sinar-sinar panas merambat dalam garis lurus dan dipantulkan oleh permukaan-permukaan mengkilap dengan cara yang sama seperti cahaya ; tetapi diserap oleh permukaan-permukaan hitam. Pemanas-pemanas radiator pemantul *tidak* cocok untuk mengontrol panas statik (termostatik).

Juga adalah menarik untuk memperhatikan bahwa bagian panas lewat melalui pemantul karena hantaran yang pada gilirannya memanasi lapisan-lapisan udara sekeliling untuk menghasilkan sejumlah konveksi panas tertentu.

Untuk mencegah oksidasi, elemen-elemen digulungkan dengan kawat nikel-chrome (80 % nikel dan 20 % chrome) dengan koefisien temperatur yang kecil. Paduan ini memiliki keuntungan tambahan yakni tahanan yang tinggi setiap satuan panjang sehingga diperoleh suatu sumber panas yang padat.



Gambar 2.59 Pemantul radiator parabolik.

Pemanas-pemanas sinar infra merah dapat dirancang agar memancarkan gelombang-gelombang elektromagnet yang panjang dalam daerah 3 mikron untuk menghasilkan kenyamanan tubuh. Elemen pemanas ditutupi di dalam sebuah tabung silika bersekering. Bahan ini adalah penghantar jelek tetapi sangat tembus pada cahaya radiasi infra merah. Selanjutnya tabung bekerja sebagai sebuah pelindung arus udara yang tidak teratur yang menabrak elemen-elemen tersebut dan

memperpendek umur elemen. Bahan tabung pembias juga memberikan tingkat keamanan dalam hal mencegah tersentuhnya kawat yang dipanasi.

Suatu variasi dapur api listrik yang hampir tak habis-habisnya, bekerja berdasarkan satu atau lebih dari prinsip-prinsip dasar pemindahan panas. Catatan dapat dibuat bagi *pemanas-pemanas unit industri* yang mempunyai daya sampai beberapa kW. Digulung bersama sebuah elemen kawat bergulung yang ditempatkan di depan sebuah kipas, dapat dipasang pada suatu ketinggian sekitar 2–3 m dan meniupkan udara panas di sekeliling suatu daerah lebar. Dalam cara ini suatu tingkat ventilasi yang dipaksakan juga tersedia.

Radiator berisi minyak adalah sebuah pemanas lain dengan kedua keluaran yang bersifat radiasi dan bersifat konveksi. Pada mulanya dirancang dalam bentuk radiator pemanasan sentral tipe kolom, sekarang ini pemanas tersebut sering dilesung dan memiliki selubung saluran kecil baja tekan yang rapi. Unit ini sebagian diisi dengan suatu minyak tingkat tinggi yang dipanasi dengan sebuah pemanas tipe celup. Minyak memuai dan secara merata memanasi selubung. Di sana terdapat sebuah pengontrol termostatik yang terpasang bersama sebuah pemutus beban lebih untuk ukuran-ukuran yang lebih besar, dan pemanas dapat dipasang tembok atau berdiri bebas.

Pemanas panel juga dihasilkan dalam berbagai jenis. Elemen-elemen yang datar ditanam di dalam berbagai bahan. Dalam satu jenis, sebuah elemen karbon disisipkan di antara panel-panel bahan batu tulis. Kebanyakan panas dikeluarkan sebagai radiasi temperatur rendah. Telah ditemukan bahwa proporsi yang besar dari pancaran panas (radiasi) dikeluarkan ketika panel-panel tersebut dipasang pada langit-langit.

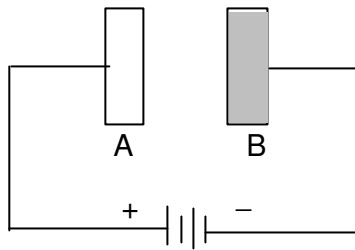
2.2. KOMPONEN LISTRIK DAN ELEKTRONIKA

2.2.1. KONDENSATOR

Kondensator atau disebut juga kapasitor adalah alat / perangkat untuk menyimpan muatan listrik untuk sementara waktu.

Sebuah kapasitor/kondensator sederhana tersusun dari dua buah lempeng logam paralel yang disekat satu sama lain oleh bahan isolator yang disebut dielektrikum.

Jenis kondensator diberi nama sesuai dengan dielektrikurnya, misal : kertas, mika, keramik dan sebagainya.



Gambar 2.59 Kondensator

Plat Logam

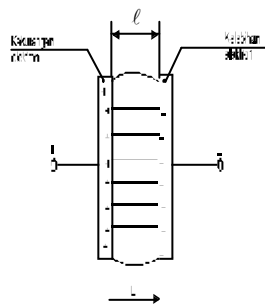
Jika lempeng kondensator/kapasitor dihubungkan pada sumber tegangan DC, terjadi perpindahan elektron dari kutub (-) lempeng B dan ke kutub (+) lempeng A.

Hal ini berlangsung sampai beda potensial antara lempeng A dan lempeng B dengan GGL sumber tegangan DC. Jika hal ini terjadi artinya kondensator sudah bermuatan penuh.

2.2.1.1. Kuat medan listrik

Kondensator pada dasarnya adalah :

Dua keping plat penghantar (logam) yang tersekat satu dengan yang lain . Dua keping tersebut bila dihubungkan dengan tegangan, di dalamnya akan menghasilkan atau mengakibatkan PENYIMPANAN MUATAN .



Gambar 2.61 Prinsip Kerja Kapasitor

Diantara dua keping plat yang bermuatan listrik itu mempunyai KONDISI PENGISIAN YANG BERBEDA, ini mengakibatkan terjadinya suatu medan listrik.

Medan listrik ini menghasilkan TENAGA (DAYA) dan bukan merupakan PENGHANTAR .

Sebabnya adalah dia hanya TEGANGAN yang bermuatan listrik. Setiap tegangan yang bermuatan listrik menghasilkan sebuah MEDAN LISTRIK.

Besarnya medan listrik di sebut KUAT MEDAN LISTRIK (E).

$$E = \frac{U}{\ell} \left(\frac{\text{Volt}}{\text{Meter}} \right)$$

$$E = \text{Kuat medan listrik} \left(\frac{\text{V}}{\text{M}} \right)$$

U = Tegangan pada kondesator (V)

ℓ = jarak antara plat (m)

2.2.1.2. DIELEKTRIKUM

Dielektrik medium atau disingkat saja “ dielektrik “ , adalah medium penyekat yang terdapat antara kedua bidang kapasitor .

Konstanta dielektrik (K) sesuatu medium ialah perbandingan kapasitas apabila bidang-bidangnya di sekat dengan medium itu dan apabila bidang - bidangnya di sekat oleh ruang hampa udara.

$$K = \frac{C \text{ Medium}}{C \text{ Hampa Udara}}$$

Untuk kapasitor bidang paralel yang di sekat oleh sesuatu medium, kapasitasnya dapat di nyatakan dengan rumus.

$$C = \frac{K A}{4 \pi k d}$$

Jika kedua bidang kapasitor itu tidak di sekat oleh ruang hampa udara , melainkan oleh zat penyekat lain ,maka kapasitasnya bertambah besar dengan suatu faktor Kyang bergantung kepada sifat kelistrikan medium penyekat itu yang di sebut konstanta dielektrik.

Konstanta dielektrik untuk :

Hampa udara	1
Udara kering 1 atom	1,0006
Air . . . . .	.80
Karbon tetrakhlosida	2,24
Bensena . . . . .	.2,28
Minyak kastor . . . . .	.4,67

Methyl alkohol	33 , 1
Gelas	4 - 7
Ambar	2,65
Lilin	2,25
Mika	2,5 - 7

Kekuatan dielektrik menunjukkan gradient potensial (Voltage / satuan tebal) yang dapat menyebabkan pelepasan muatan yang dapat menghancurkan zat penyekatnya.

Faktor ini adalah suatu ukuran kualitas zat penyekat .Kapasitor-kapasitor itu mempunyai ukuran tertentu supaya dapat dipakai dengan aman pada Voltage yang sudah di tentukan dan jangan di pakai untuk potensial-pontensial yang lebih tinggi.

Harga rata-rata kekuatan dielektrik untuk berbagai-bagai zat isolator yang umumnya dipakai dalam KV / cm.

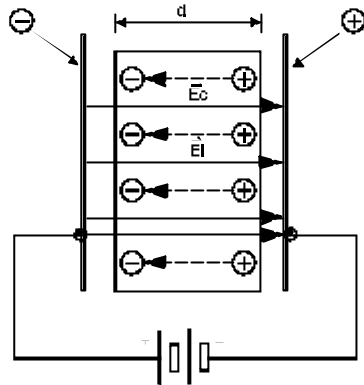
Udara . . . . .	..30
Minyak transformator . . . . .	.75
Tarpentim . . . . .	.110
Minyak parafin . . . . .	.160
Kerosin	160
Parafin padat . . . . .	.250 - 450
Kertas berparafin . . . . .	..300 - 500
Mika . . . . .	..300 - 700
Ebonit	300 - 1000
Gelas	300 - 1600

2.2.1.3. PERMITIFITAS LISTRIK

Misalkan ruang antara plat logam sejajar, kita isi dengan bahan dielektrik , kemudian

satu palt kiat hubungkan dengan kutub positif, sedang plat yang lain dengan kutub negatif

suatu baterai seperti pada gambar di bawah ini .



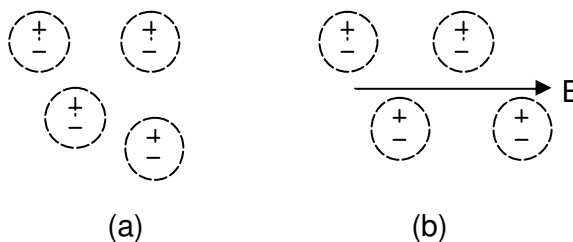
Gambar 2.62 Permittifitas Listrik

Ini juga terjadi di dalam logam, tetapi logam muatan induksi ini akan menghasilkan muatan listrik, sehingga kuat medan di dalam logam menjadi nol.

Dalam dielektrik, muatan induksi yang timbul pada permukaan dielektrik tak seberapa banyaknya, sehingga medan listrik induksi yang ditimbulkannya tidak terlalu besar.

Akibatnya medan listrik di dalam dielektrik menjadi lebih lemah daripada di luar dielektrik, atau bila tak ada di elektrik. Dipandang dari segi medan listrik dalam logam, dapat kita katakan logam bersifat dielektrik sempurna. Timbulnya muatan induksi dapat di terangkan sebagai berikut. Misalkan kita mempunyai sekumpulan molekul yang muatan positif dan negatif, pada tiap molekulnya terpusat pada tempat yang sama. Molekul seperti ini di katakan bersifat tak polos.

Bila di taruh dalam medan listrik gaya Coulomb akan meregangkan pusat muatan positif dan negatif seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.63a Molekul tak polar, Pusat muatan positif dan negatif ada di tempat yang sama

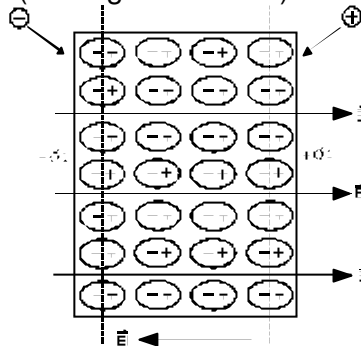
Gambar 2.63b Molekul mendapat momen dipol listrik dalam medan listrik.

Akibatnya molekul mendapat momen dipol listrik, yaitu momen dipol terinduksi. Dalam molekul tertentu, pusat distribusi muatan positif dan muatan negatif pada tiap molekul terpisah .

Molekul seperti ini mempunyai momen dipol listrik permanen, dan dikatakan bersifat polar .

Dalam bahan bermolekul polar, arah momen dipol adalah acak. Bila bahan ini di taruh dalam

medan listrik setiap molekul akan mendapat momen gaya karena medan Coulomb, sehingga dipol molekul akan terarah. Akibatnya , bila suatu bahan dielektrik di taruh dalam medan listrik akan terjadilah seperti gambar di bawah ini. Bila rapat muatan induksi kita nyatakan sebagai σ_i , kuat medan induksinya (Lihat gambar 2.64).



Gambar 2.64 Bahan dielektrik dalam medan listrik

$$E = i \frac{\sigma}{\Sigma O}$$

Medan induksi ini di hasilkan oleh muatan induksi yang berlaku sebagai sistem pelat sejajar. Perhatikan bahwa arah medan induksi melawan medan. Ini disebabkan oleh muatan pelat yaitu

$$E = i \frac{\sigma}{\Sigma O}$$

Medan dalam dielektrik adalah super posisi kedua medan listrik

$$E = E_0 + E_1 = \left(\frac{\sigma}{\Sigma O} - \frac{\sigma_i}{\Sigma O} \right)$$

Persamaan di atas menyatakan lebih lemahnya medan dalam dielektrik daripada medan listrik diluar . Rapat muatan induksi σ_i bergantung pada kuat medan listrik dalam dielektrik, yaitu E .

Bila kuat medan listrik tak terlalu besar, maka rapat muatan induksi σ_i sebanding dengan kuat

medan listrik dalam dielektrik. Kita tuliskan :

$$\sigma_i = \chi_e E$$

Tetapan χ_e disebut *suseptibilitas listrik* .

Dari persamaan 2 - 16 kita dapatkan

$$E = \frac{\sigma}{\Sigma_0} - \frac{\sigma_i}{\Sigma_0} = \frac{\sigma}{\Sigma_0} - \frac{Xe}{\Sigma_0} E$$

$$\text{atau } E = \frac{\sigma}{\Sigma_0 \left(1 + \frac{Xe}{\Sigma_0} \right)} = \frac{\sigma}{Ke \Sigma_0}$$

Tetapan $Ke = 1 + \frac{Xe}{\Sigma_0}$ disebut tetapan dielektrik.

Orang sering menggunakan besaran $\Sigma = Ke \Sigma_0$ yang disebut permitivitas listrik.

Dengan menggunakan permitivitas listrik, persamaan (2-18) menjadi $E = \sigma/\epsilon$

Nyatalah medan dalam dielektrik sama seperti medan tanpa dielektrik, hanya permitivitas vakum ϵ_0 diganti dengan permitivitas dielektrik ϵ .

Contoh

Jarak pelat dalam suatu kapasitor pelat sejajar adalah 2 mm. Luas pelat 200cm^2 . Pelat kapasitor diberi beda potensial 100 volt (kapasitor sudah terlepas dari sumber tegangan). Kemudian ruang antara kedua pelat diisi dengan dielektrik . Tetapan dielektrik 50.

Hitunglah :

- Kuat medan sebelum diberi dielektrik,
- Kuat medan setelah diberi dielektrik,
- Beda potensial pelat setelah diberi dielektrik,
- Muatan induksi yang terkumpul pada permukaan dielektrik.

Jawab:

(a) Kuat medan sebelum diberi dielektrik adalah

$$E = \frac{V_0}{d} = \frac{100 \text{ (V)}}{0,002 \text{ (m)}} = 5 \times 10^4 \text{ V m}^{-1}$$

(b) Kuat medan setelah diberi dielektrik ialah

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{\sigma}{Ke \epsilon_0} = \frac{E_0}{Ke}$$

Disini σ adalah rapat muatan pada pelat kapasitor, dan Ke tetapan dielektrik, yaitu $Ke = 50$.

$$\text{Jadi } E = \frac{5 \times 10^4}{50} \text{ V m}^{-1} = 10^3 \text{ V m}^{-1}$$

(c) Beda potensial setelah dielektrik dipasang ialah

$$V = E d = (10^3 \text{ V m}^{-1}) (0,002 \text{ m}) = 2 \text{ V}$$

(d) Muatan induksi yang timbul pada permukaan dielektrik

$$q_i = \sigma_i A.$$

q_i = adalah rapat muatan induksi . Kuat medan induksi

$$E_i = \frac{\sigma_i}{\epsilon_0} = E_0 - E = (50 \times 10^3 - 10^3) = 49 \times 10^3 \text{ V m}^{-1}$$

Rapat muatan induksi

$$\sigma_i = \epsilon_0 E_i = \epsilon_0 (49 \times 10^3) \text{ C m}^{-2}, \text{ sehingga}$$

$$\begin{aligned} \sigma_i &= \epsilon_0 A = \epsilon_0 (49 \times 10^3) (200 \times 10^{-4} \text{ m}^2) \\ &= \epsilon_0 (9,8 \times 10^2) \text{ C}. \end{aligned}$$

Kita juga dapat menghitung $\sigma_i = X_e e$.

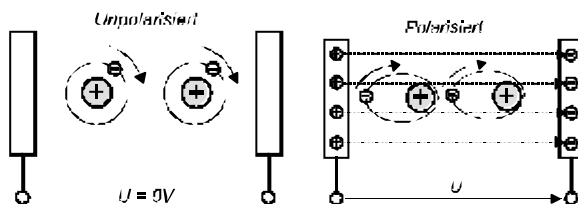
2.2.1.4. PENGARUH ELEKTROSTATIK

- ***Pengaruh Dielektrikum Polarisasi***

Pada dua plat penghantar yang terdapat isolator dielektrikum antara kedua plat tersebut terdapat atom - atom yang terikat pada ikatan molekulnya dengan bentuk orbitnya yang melingkar dengan posisi simetris, setelah dua keping plat logam diberi potensial (muatan listrik positif dan negatif) akan terjadi perubahan bentuk orbit dan terjadi perpindahan posisi muatan listrik, dimana yang semula muatan negatif (Netron) melingkar simetris menjadi bentuk oval (bulat telur) disamping itu atom tersebut dipengaruhi oleh medan potensial kedua plat, sehingga terjadi gaya tarik menarik antara muatan yang berbeda. Dengan demikian yang terdapat pada kedua plat bisa bertahan dengan waktu tertentu meskipun yang diberikan pada plat telah tiada.

Perpindahan posisi muatan elektron pada isolator dalam medan elektrostatis seperti tersebut diatas dinamakan **Dielektrikum Polarisasi**

Lihat gambar

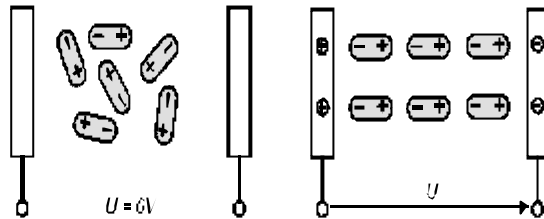


Gambar 2.65 Perpindahan posisi muatan elektron pada isolator

- *Pengaruh Elektrostatika Pada Polarisasi*

Dua buah plat logam jika diletakkan sejajar, maka diantara kedua plat tersebut terdapat medan elektrostatis, jika pada medan elektrostatis itu diletakkan dielektrikum akan timbul perpindahan posisi muatan yang akan menahan potensial kedua plat setelah aliran listrik tidak diberikan.

Jadi pengaruh elektrostatika pada polarisasi adalah untuk menimbulkan perpindahan posisi muatan listrik sebagai penahan potensial pada sisi yang berbeda muatannya.



Gambar 2.66 Pengaruh Elektrostatika pada polarisasi

Bentuk dasar		Kapasitansi	Tegangan	Faktor rugi Pada 1 KHz	Keuntungan dan Kerugian	
Kapastitor Gulungan	Kertas Folio – C	100 pF – 50 μ F	0,16 – 20 kV	0,001 – 0,01		
	Metal kertas – C	0,01 pF – 50 μ F	0,16 – 20 kV	0,001 – 0,01		
	Plastik C	Polystyrol – C	1 pF – 0,5 μ F	30 – 500 V	0,0001 – 0,0005	
		Polyester – C	1 pF – 100 μ F	30 – 1000 V	0,001 – 0,01	
		Poly Karbonat – C	1 pF – 50 μ F	30 – 1000 V	0,001 – 0,003	
	Elko	Atu – Elko	0,5 F – 0,15 μ F	3 – 500 V	0,05 – 0,5 pada 50 Hz	
Tantal – Elko		0,15 F – 580 μ F	3 – 450 V	0,05 – 0,5 dibawah 50 Hz		
Kapastitor Materialia	Keramik - C	Keramik C – kecil	1 pF – 0,1 μ F	30 – 700 V	0,01 – 0,025	
		Keramik C – Daya	1 – 10.000 pF	2 – 20 kV	0,0005 – 0,5	
		Kapasitor geser	2,5– 5000 μ F	0,4 – 16 kV	–	Untuk frekuensi tinggi Kapasitansi kecil
	Elko	Basah Tantalium Gips	0,9 – 2200 μ F	6 – 630 V	0,1 – 0,4	
		Kering Elko	1 n F – 680 μ F	3 – 125 V	0,01 – 0,1	
C Lapis	Mika – C	1 pF – 0,25 μ F	Sampai 10 kV	0,001 pada 1 MHz	Bisa pada temperatur tinggi pada teknik frekuensi tinggi	
	Lapisan Keramik	5 pF – 2 μ F	Sampai 25 kV	0,0005 pada 1 MHz		

Catatan : Untuk kapasitor yang berpolaritas, tidak dapat digunakan pada tegangan bolak-balik

2.2.1.5. KAPASITAS KONDENSATOR / KAPASITOR

Kapasitor kondensator yaitu besarnya muatan listrik yang dapat disimpan tiap satuan beda potensial antara bidang-bidangnya.

Dinyatakan dalam persamaan :

$$C = \frac{Q}{U}$$

C = kapasitas kapasitor farad (F).

Q=muatan listrik coulomb (C)

U=beda potensial volt (V)

Untuk kondensator plat sejajar, kapasitasnya tergantung pada luas dan jarak antara plat serta jenis / macam zat yang berada diantara dua plat tersebut. Dinyatakan dalam persamaan :



C = kapasitas kapasitor farad (F).

A = luas plat m²

L = jarak antar plat m

Σ = konstanta dielektrik mutlak

Satuan kapasitas kondensator kebanyakan dinyatakan dalam mikro farad = $\mu\text{F} = 10^{-6} \text{ F}$

$$\Sigma = \Sigma_0 \cdot \Sigma_r$$

Σ_0 = Konstanta dielektrik hampa udara
= $8,85 \cdot 10^{-12}$

Σ_r = konstanta dielektrik relatif (bahan tertentu)

Jadi jelas terlihat bahwa :

Konstanta dielektrik mutlak adalah konstanta dielektrik relatif.

Konstanta dielektrik relatif yaitu konstanta dielektrik tiap jenis bahan tertentu.

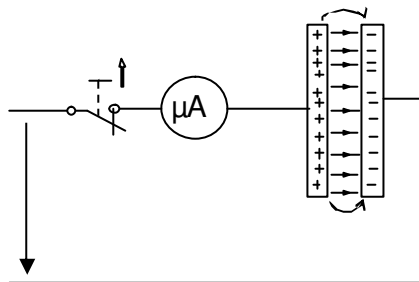
Tabel 2.28 Konstanta dielektrik relatif beberapa jenis bahan

No	Jenis bahan	Konstanta dielektrik (Σr)
1	Mika	2,5 – 7
2	Gelas	4 – 7
3	Air	80
4	Gambar	2,65
5	Lilin	2,25
6	Udara	1

2.2.1.6. ENERGI TERSIMPAN PADA KONDENSATOR

Untuk memberi muatan pada kondensator, harus dilakukan usaha dan kondensator yang bermuatan merupakan tempat energi tersimpan. Misalkan muatan positif dalam jumlah kecil berulang - ulang terambil dari salah satu platnya, hingga timbul lintasan sembarang dan berpindah ke plat yang satu lagi.

Pada tahap tertentu, ketika besar muatan netto pada salah satu plat sama dengan q , beda potensial n antara kedua plat ialah q / c . Besarnya usaha $d\omega$ untuk memindahkan muatan dq berikutnya ialah :



Gambar 2.66 Energi tersimpan pada Kondensator

$$dw = u \cdot dq = \frac{q \cdot dq}{C}$$

Jumlah total usaha :

$$\begin{aligned} w &= \int dw = \int \frac{q \cdot dq}{C} = \frac{1}{C} \int q \cdot dq \\ &= \frac{1}{C} \cdot \frac{1}{2} \cdot Q^2 = \frac{Q^2}{2C} \end{aligned}$$

karena : $u = \frac{Q}{C}$

$$w = \frac{1}{2} \frac{Q}{C} \cdot Q = u \cdot Q \quad Q = u \cdot C$$

$$w = \frac{1}{2} u \cdot Q = u \cdot u \cdot C = u^2 \cdot C$$

$$\therefore \boxed{w = \frac{1}{2} \cdot u^2 \cdot C}$$

w = usaha listrik joule (j)

u = beda potensial volt (v)

C = kapasitas kapasitor farad (F)

Contoh soal :

Sebuah kondensator 4,7 μF dihubungkan pada tegangan 100 V.
Hitunglah :

- muatan kondensator
- energi kondensator

Jawab :

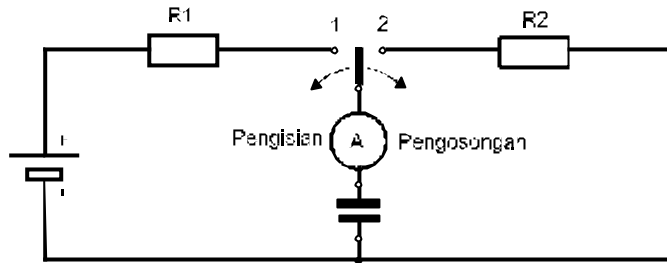
a $Q = u \cdot c = 100 \cdot 4,7 \cdot 10^{-6}$
 $Q = 470 \cdot 10^{-6} \text{ C}$

b $w = u \cdot Q$
 $= \frac{1}{2} \cdot 100 \cdot 470 \cdot 10^{-6}$

$$w = 2350 \cdot 10^{-6} \text{ Ws}$$

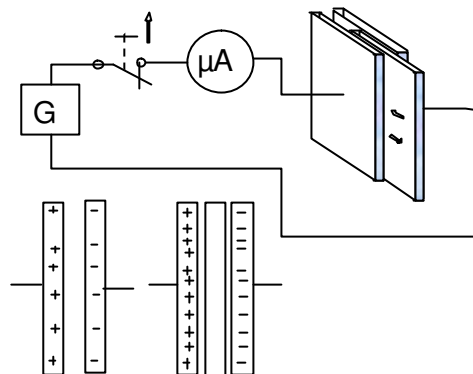
$$w = 2350 \cdot 10^{-6} \text{ Joule}$$

2.2.1.7. SIFAT HUBUNGAN KONDENSATOR



C1

C2



Gambar 2.67 Pemindahan muatan kondensator (Pengisian dan pengosongan)

Ketentuan-ketentuan pemindahan muatan

Pengisian : Pada pengisian suara, arus mengalir dengan waktu yang pendek, Hubungan arus diblokir kondensator.

Penyimpanan : Kondensator dapat menyimpan muatan listrik.

Pengosongan : Pada pengosongan muatan, arus mengalir dalam waktu yang pendek dengan arah berlawanan dari semula yaitu (pada waktu pengisian muatan)

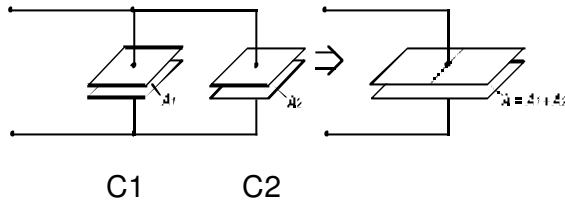
Keterangan :

Pada saat tidak ada pengisian kondensator bekerja sebagaimana sebuah rangkaian tertutup (hubung singkat : short).

Pada saat ada pengisian kondensator bekerja sebagaimana sebuah rangkaian terbuka (open).

Tidak ada arus yang mengalir melalui dielektrikum.

2.2.1.8. RANGKAIAN PARAREL :

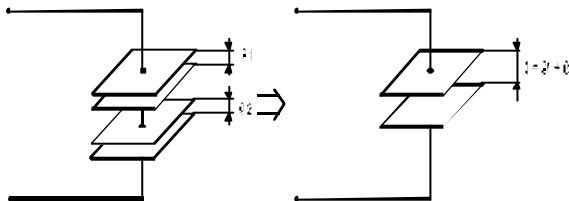


Gambar 2.68 Rangkaian Pararel Kondesator

Pada rangkaian paralel (jajar) dari kondensator) dihasilkan suatu plat-plat yang Luas permukaanya lebih besar akibatnya C menjadi lebih besar.

$$\begin{aligned} Q &= Q_1 + Q_2 \\ U \cdot C &= U \cdot C_1 + U \cdot C_2 \\ &= U (C_1 + C_2) \\ C &= C_1 + C_2 \end{aligned}$$

2.2.1.9. RANGKAIAN SERI (Deret)



Gambar 2.69 Rangkaian Seri Kapasitor

Pada rangkaian seri (deret) dari suatu kondensator plat-plat menjadi lebih lebar jaraknya.

akibatnya C menjadi lebih kecil

Dalam hal ini semua kondensator

sama besar yaitu : $C_1 = C_2$

$$\begin{aligned} Q &= Q_1 = Q_2 \\ U \cdot C &= U_1 \cdot C_1 = U_2 \cdot C_2 \end{aligned}$$

Maksudnya : Pada kondensator tsb dengan kapasitas yang paling kecil terletak pembagian.tegangan yang lebih besar daripada kondensator dengan kapasitas yang lebih besar.

- Perhatikan ketetapan tegangan

$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

$$\frac{Q}{C} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} = \left[\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \right]$$

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \rightarrow C = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}}$$

Kapasitas campuran adalah lebih kecil dari pada kapasitas satu persatu yang paling kecil.

$$Q = 0,455 \text{ C.}$$

2.2.2. KEMAGNETAN

Magnet sudah dikenal sejak 600 SM dengan pengenalan suatu zat yang dapat menarik magnet, dan zat tersebut akhirnya dikenal sebagai magnet, yang berbentuk sebagai zat padat. Para ahli membagi dua bagian terhadap benda yang berhubungan dengan magnet, yaitu benda magnet dan non magnet, kemudian benda magnet ini juga dibagi menjadi dua yaitu :

- 1) Magnet yang bersifat alami disebut magnet alam.
- 2) Magnet yang dapat dibuat disebut magnet buatan.

2.2.2.1. KEKUATAN MAGNET

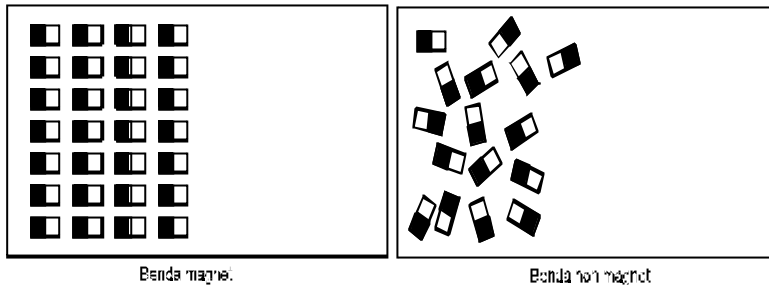
Kekuatan magnet alam didalam penggunaan teknologi dirasa masih kurang kuat jika dibanding dengan magnet buatan, sehingga jarang ditemui penggunaan magnet alam dalam penggunaan teknologi.

Menurut teori, molekul-molekul substansi magnetik dipandang sebagai magnet-magnet kecil yang masing-masing memiliki sebuah kutub utara dan selatan. Jika substansi tersebut tidak memiliki magnetisme luar, hal ini disebabkan molekul-molekul tersebut mengarah tidak teratur sehingga tidak terdapat medan luar yang efektif.

Untuk bisa memperjelas tentang teori molekul substansi magnetik kita bicarakan teori kemagnetan Weber dan Amper.

2.2.2.2. TEORI WEBER.

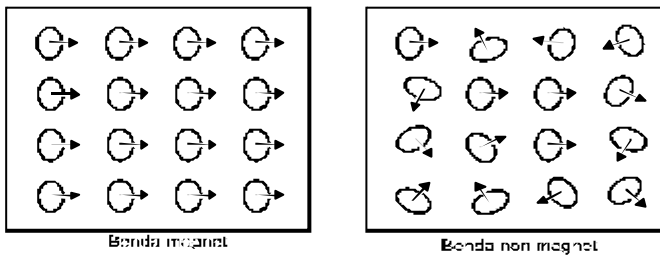
Menurut Weber, benda terdiri dari molekul-molekul yang bersifat magnet. Molekul-molekul ini sering disebut magnekul. Benda magnet mempunyai susunan magnekul yang teratur dan benda non magnetik mempunyai susunan magnet yang tak teratur. (Lihat gambar 2.70)



Gambar 2.70 : Kemagnetan menurut Weber

2.2.2.3. TEORI AMPERE.

Menurut Ampere, dari atom-atom yang dapat dianggap sebagai inti yang di kelilingi arus elementer. Atom-atom ini bersifat sebagai magnet. Benda magnet mempunyai susunan atom teratur terletak pada bidang-bidang sejajar dan arusnya searah. Sedang benda non magnet mempunyai susunan atom tak teratur. (Lihat gambar 2.71)



Gambar 2.72 Kemagnetan menurut Ampere

Walaupun kedua teori tersebut membicarakan tentang molekul substansi, namun tidak menjelaskan bagaimana medan-medan magnet tersebut timbul untuk pertama kalinya.

Untuk pengertian seperti ini kita harus meninjau atom dengan elektron-elektron yang berputar.

Disamping gerakan menurut orbitnya, masing-masing elektron mempunyai gerak memuntir atau berputar disekitar disekitar sumbunya, pada garis-garis sebuah puncak gerak putar.

Gerak rotasi elektron dapat disamakan dengan arus yang mengelilingi sebuah lintasan beserta polaritas magnet. Polaritas ini ditentukan oleh arah spin (putaran) dengan mengikuti aturan pencabut gabus.

Dari uraian-uraian tentang teori kemagnetan tersebut diatas dapat diaktakan bahwa antara medan listrik dan medan magnet mengandung suatu bagian yang tak terpisahkan dari semua zat.

2.2.2.4. SIFAT MEDAN MAGNET

Daerah disekitar magnet yang masih dapat dipengaruhi oleh magnet tersebut medan magnet. Karena medan magnet tidak dapat dilihat, maka medan magnet ini bisa dinyatakan "garis-garis gaya" atau "garis-garis flux magnet".

Meskipun garis-garis gaya tidak memiliki keberadaan yang nyata, tapi garis-garis gaya tersebut merupakan konsepsi yang sangat bermanfaat sebagaimana kekuatan atau kerapatan " (density). Suatu medan yang dinyatakan oleh jumlah garis tiap satuan luas.

Dapat disimpulkan secara umum bahwa :
"Arah suatu medan magnet pada sembarang tempat (titik) ditunjukkan oleh kutub utara dari sebuah jarum kompas bila ditempatkan pada posisi titik (tempat) tersebut".

Sifat-sifat medan magnet :

1. Garis-garis gaya tidak berpotongan.
2. Garis-garis gaya bekerja seakan-akan mereka dalam keadaan tarikan.
3. Garis-garis flux paralel yang berada dalam arah yang sama cenderung untuk tolak menolak.

2.2.2.5. RANGKAIAN MAGNET

Rangkaian-rangkaian magnet praktis memerlukan perhitungan jumlah amper gulungan guna menghasilkan flux tertentu. Lintasan-lintasan magnet adalah seri, maka amper gulungan total dapat dihitung. Jadi dengan demikian antara rangkaian magnet dengan rangkaian listrik terdapat suatu kesamaan. Adapun kesamaan tersebut adalah :

Listrik

GGL mengalirkan suatu arus melalui tahanan

$$Arus = \frac{GayaGerakListrik}{Tahanan}$$

$$I = \frac{E}{R}$$

Magnet

Gaya gerak magnet (GGM) menghasilkan

suatu flux yang melawan reluktansi magnet .

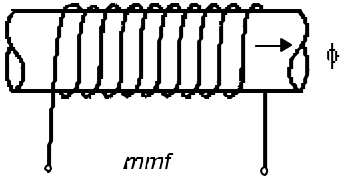
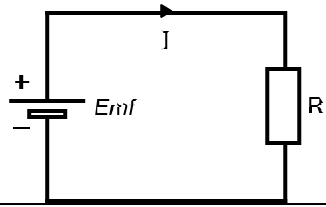

$$Flux = \frac{GayaGerakMagnet}{Reluktansi}$$

$$\phi = \frac{F}{S}$$

- Reluktansi dapat didefinisikan sebagai sifat sebuah rangkaian magnet yang melawan lintasan suatu flux magnet yang melaluinya .
- Sementara pada rangkaian listrik dikenal dengan suatu rumusan

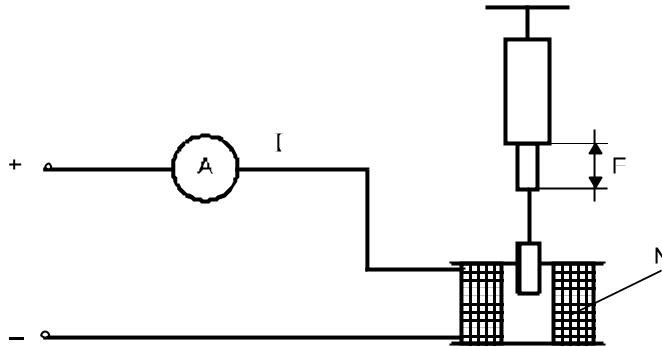
$$R = \frac{\rho \times \ell}{A}$$

Tabel 2.29 Perbandingan antara rangkaian listrik dengan rangkaian magnet

No.	Rangkaian Magnet	Rangkaian Listrik
1.		
2.	$flux = \frac{mmf}{reluktansi}$	$flux = \frac{emf}{resistansi}$
3.	mmf = amper lilit	emf = volt
4.	Flux dalam weber	Arus I = dalam ampere
5.	Kerapatan flux (wb/m ²)	Kerapatan arus (A/m ²)
6.	Reluktansi 	Resistansi $R = \rho \frac{\ell}{A} = \frac{1}{\alpha A}$
7.	$Permeabilitas = \frac{1}{Reluktansi}$	$Konduktivitas = \frac{1}{Resistansi}$
8.	$H = \frac{F}{\ell}$ At/m ℓ = Panjang rangkaian	$U = \frac{V}{d}$ volt/m d = Jarak antara dua elektroda .

2.2.2.6. BESARAN MAGNET

2.1. Potensial magnet . θ



Gambar 2.72 Percobaan Potensial Magnet

Gaya F	N		
Arus I			
Jumlah Kimbaran N			
$I \times N$			

Akibat dari **arus** dan **jumlah kumparan** yang terletak didalam kumparan yaitu terbangkitnya arus medan.

magnet yang biasa kita kenal **potensial magnet θ** (Theta).

$$\theta = I \times N$$

satuan : 1A

Potensial magnet itu **disebabkan** oleh **efek kemagnitan** juga dinamakan **tegangan magnet Um** .

2.2. Kuat medan magnet (H)

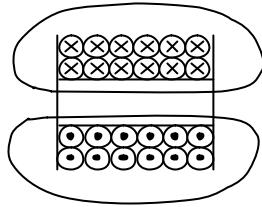
Perbandingan antara **potensial magnet** dengan **panjang lintasan medan magnet** dan hal ini dinamakan **kuat medan magnet H** .

$$H = \frac{\theta}{l} = \frac{I \times N}{l}$$

satuan A/1M

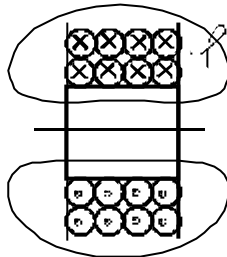
Kumparan dengan potensial magnet sama (arus kumparan sama **jumlah kumparan sama**)

Kumparan panjang :
(garis - garis gaya panjang)



Gambar 2.73a Penampang Kumparan Panjang

Kumparan pendek :
(garis - garis gaya pendek)



Gambar 2.73b Penampang kumparan pendek

Medan magnet pada distribusi ruang yang besar

Medan magnet pada ruang konsentrasi yang kecil

⇒ **medan lemah**

⇒ **medan kuat**

⇒ **H kecil**

⇒ **H. besar**

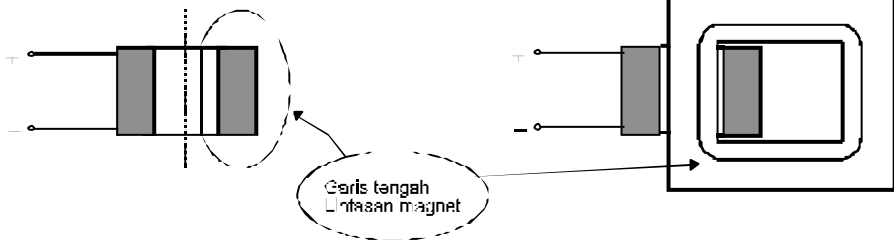
Kumparan tanpa Logam

Kumparan dengan Logam

Panjang dari lintasan magnet adalah :

Tidak tepat tertentu

tepat tertentu



Gambar 2.74a Kumparan logam

Gambar 2.74b Kumparan dengan Tanpa Gambar logam

2.2.2.7. FLUKSI MAGNET Φ

Jumlah seluruh garis - garis gaya suatu magnet (contoh suatu kumparan yang dialiri arus) hal yang demikian dinamakan :

Fluksi magnetik Φ (Phi)

Satuan : 1 weber (1 Wb) = 1 vVolt detik (1 Vs)

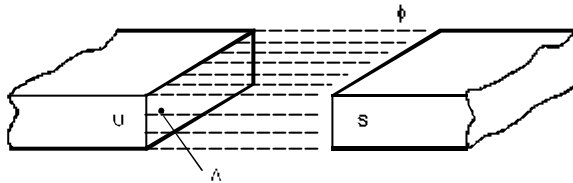
Satuan **Vs** banyak dipilih , karena **fluksi magnet** itu dibutuhkan untuk **pembangkitan tegangan** (melalui induksi) , maka untuk "fluksi magnetik " juga dipergunakan nama "**Fluks induksi** " .

Untuk tujuan perhitungan akan digunakan satuan **Vs** .

Kerapatan fluksi magnetik B .

Kerapatan dari garis - garis gaya itu merupakan aksi (contoh aksi gaya) dari suatu medan magnet . Kerapatan garis - garis magnet biasa kita namakan sebagai

Kerapatan fluksi magnetik B



Gambar 2.74. Kerapatan flux magnet pada suatu magnet .

$$B = \frac{\Phi}{A}$$

satuan : $1 \frac{Vs}{m^2} = \frac{Wb}{m^2} = 1 \text{Tesla} (1T)$

Kerapatan fluksi magnetik dan kuat medan magnet

Adanya medan magnet ini maka dapatlah **kerapatan garis - garis gaya** itu dialirkan melalui **suatu bahan yang mempunyai kemampuan hantar magnetik** .

Oleh karena itu muncul hubungan seperti berikut

$$B = \mu \times H$$

B = **Kerapatan fluksi magnetik**

dalam **Vs / m²**

H = **Kuat medan magnet**

dalam **A/m**

μ = **Hantar jenis magnetik**

dalam **$\Omega s / m$**

$$\mu = \mu_0 \times \mu_r$$

(permeabilitas absolut)

μ_0 = **Konstanta** medan magnet
(hantar jenis magnetik pada ruang hampa)

$$\mu_0 \approx 1,257 \times 10^{-6} \text{ } \Omega \text{s/m}$$

μ_r = **Hantar jenis magnetik relatif**.

Dalam perhitungan menunjukkan , kelipatan berapa kali bahan ferro magnetik mampu mengalirkan garis - garis gaya dibandingkan dengan udara atau hampa .

$$\mu_r \text{ untuk udara} = 1$$

CONTOH :

Kumparan tanpa logam

$$B = \mu \times H = \mu_0 \times \mu_r \times H$$

$$\xrightarrow{\mu_r = 1} \boxed{B = \mu_0 \times H}$$

Diketahui : H = 1.400 A/m

Ditanya : B

Penyelesaian :

$$B = \mu_0 \times H = 1,257 \times 10^{-6} \text{ } \Omega \text{s/m} \times 1.400 \text{ A/m}$$

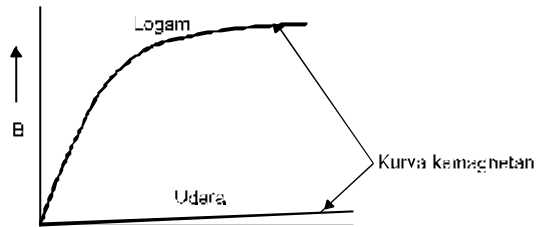
$$= 0,00176 \text{ Vs/m}^2$$

Kumparan dengan logam

$$B = \mu \times H = \mu_0 \times \mu_r \times H$$

μ_0 = Konstan

μ_r = Berubah untuk setiap jenis bahan dan besar kuat medan magnet



Gambar 2.75 Grafik Perbandingan Kemagnitan

Oleh karena itu kita menentukan dengan percobaan B merupakan fungsi langsung H ,selanjutnya nilainya dapat dilihat dengan kurva kemagnitan itu

Diketahui : H = 1.400 A/m ; Bahan : Lembar plat untuk industri listrik (pelipatan dingin)

Ditanya : B

Penyelesaian :

Dari kurve kemagnitan B = 1,92 Vs/ m²

Persamaan satuan Magnetik dalam sistem yang berbeda

Potensial magnit

$$1 \text{ A} = 1 \text{ AW} = 1,257 \text{ Gb.} \quad \theta \text{ AW} = \text{Ampere lilit}$$

$$1 \text{ Gb} = \underline{0,8 \text{ A}} \quad \text{Gb} = \text{Gilbert}$$

Kuat medan magnit (H)

$$\frac{1 \text{ A}}{\text{m}} = 0,001 \frac{\text{A}}{\text{Cm}} = 0,01257 \text{ Oe} = \text{orsted}$$

$$\frac{1 \text{ A}}{\text{Cm}} = 100 \frac{\text{A}}{\text{m}} = 1,257 \text{ Oe} \quad 1 \text{ Oe} = 1 \times \frac{\text{Gb}}{\text{Cm}} = 80 \frac{\text{A}}{\text{Cm}} = 0,8 \frac{\text{A}}{\text{m}}$$

Fluksi Magnetik : (ϕ)

$$1 \text{ Vs} = 1 \text{ Wb} = 10^8 \text{ Mx} \quad \text{Vs} = \text{Volt detik}$$

$$1 \text{ Mx} = 1 \text{ garis gaya} = 10^{-8} \text{ Vs} \quad \text{Wb} = \text{Weber}$$

$$\text{Mx} = \text{Maxwell}$$

Kerapatan fluksi magnetikB

$$\frac{1 \text{ Vs}}{\text{m}^2} = 1 \text{ T} = 10000 \text{ Gs}$$

$$1 \text{ T} = \underline{10.000 \text{ Gs.}}$$

$$1Gs = \frac{1 \text{ garis gaya}}{Cm^2} = 1 \frac{Mx}{Cm^2} = 1 \times 10^{-4} \frac{Vs}{m^2}$$

$T = \text{Tesla},$

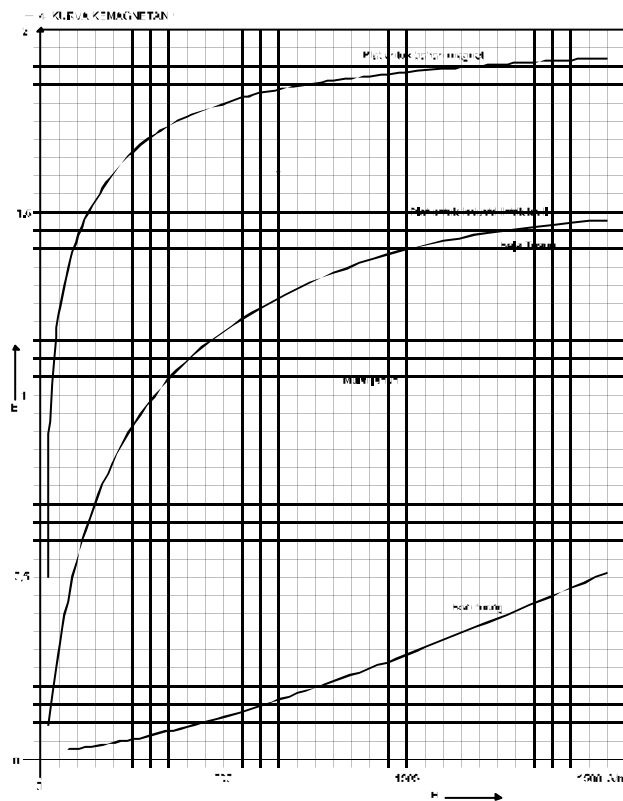
$Gs = \text{Gaus}$

Konstanta medan magnet μ_0

$$1\mu_0 = 1,257 \times 10^{-6} \frac{\Omega s}{m} \text{ atau } \frac{H}{P}$$

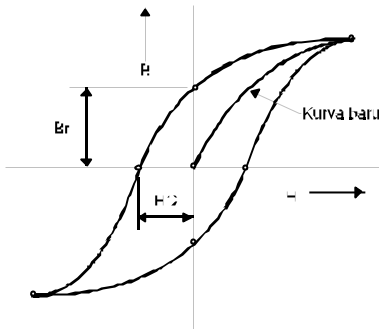
$\Omega s = \text{ohm ohm detik}$ $H = \text{Henry}.$

$$1\mu_0 = \frac{Gs}{Oe} = 1,257 \frac{Gs \times Cm}{A}$$



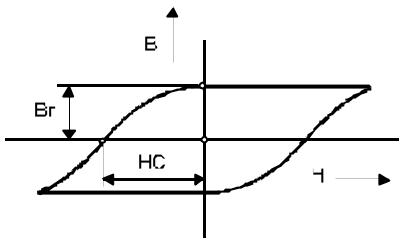
Gambar 2.76 Kurva Kemagnitan

Kurva histerisis (Kemagnetan lawan)



Br = induksi remanensi
 Hc = Kuat medan magnet kursoritif
 (Kuat medan itu penting ,
 pada
 penghilangan kemagnetan
 sisa)

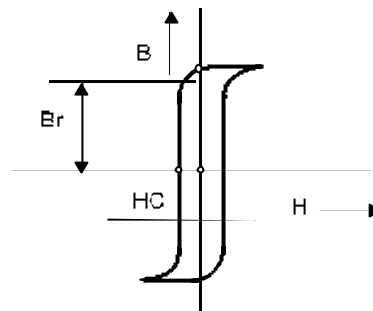
Bahan magnet kuat



Hanya satu kali saja pemagnetan

maka akan **terbentuk** remanensi ini tidak **hilang** walau dialiri medan lain , maka Hc **harus besar** .

Bahan magnet lunak



Membalik kemagnetan dengan mengalir kan arus bolak - balik , oleh karena itu Hc **harus kecil** .

Pada pembalikan kemagnetan maka terjadilah **kerugian histerisis Ph** (\Rightarrow **Pemanasan didalam benda kerja**) . Luas permukaan kurva histerisis merupakan satuan untuk **hilang usaha Wh** .

$$Wh = \frac{Vs}{m^2} \times \frac{A}{m} = \frac{Ws}{M_3}; \quad (Ph) = (Wh \div f) = \frac{Ws}{m^3} \times \frac{1}{s} = \frac{W}{m^3}$$

Pengosongan kemagnetan .

Kita dapat melakukannya dengan cara memasukkan batang magnet **kedalam** kumparan yang dialiri arus bolak - balik dan menarik keluar secara perlahan - lahan .

Bahan Magnet

Dari sifat-sifat logam terhadap kemagnetannya dapat dikatakan bahwa tidak semua logam dapat dijadikan benda magnet.

Adapun bahan - bahan logam berdasarkan sifat kemagnetannya dibagi menjadi 3 golongan yaitu :

1).Ferro magnetik :ialah jenis logam yang sangat mudah dibuat menjadi benda magnet dan sangat mudah dipengaruhi magnet.

Contoh : besi, baja, dan nikel.

2). Para magnetik : ialah jenis logam yang tidak dapat dibuat menjadi benda magnet tetapi masih dapat dipengaruhi magnet.

Contoh : platina dan mangan

3). Dia magnetik : ialah jenis logam yang tidak dapat dibuat magnet dan juga tidak dapat dipengaruhi oleh magnet.

Contoh : tembaga, aluminium dan fosfor.

Pembuatan magnet berdasarkan bahannya

Dari sifat-sifat bahan magnet maka kita dapat membuat benda magnet, contohnya besi. Besi merupakan benda ferro magnetik dimana besi mempunyai empat spin elektron dalam satu arah pada masing-masing atomnya (ingat teori kemagnetan).

Kelebihan elektron inilah menjadikan tidak seimbang dan akan menghasilkan medan luar.

Karena gerakan yang sangat tinggi, gerak orbital tiga dimensi sering disebut sebagai kulit (shell), yang pada gilirannya bisa membentuk kulit-kulit tambahan (sub-shell).

Didalam satu kulit yang lengkap spin-spin adalah seimbang, tetapi didalam kulit yang mengandung tiga lintasan (orbit), terdapat ketidakseimbangan yang membangkitkan magnetisme luar.

Selain dari pada besi bahan magnet yang lainnya yang memiliki kelebihan spin adalah :

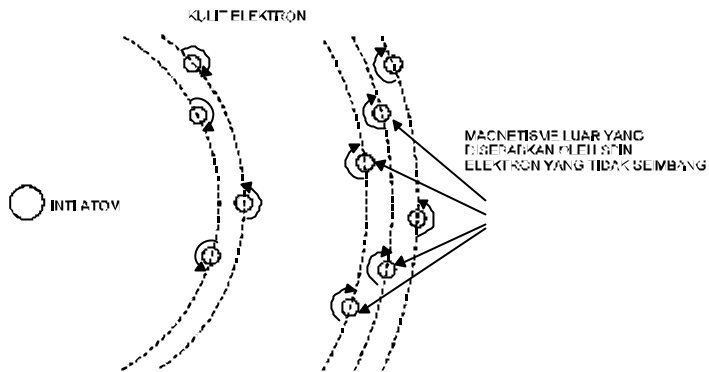
- a). Cobalt dengan kelebihan tiga spin.
- b). Nikel dengan kelebihan dua spin.

Dari adanya kelebihan spin inilah pembuatan bahan magnet yang menghasilkan magnet permanen dan kuat arus medan magnetnya dengan cara mencampurkan logam-logam ferro magnetik tersebut menjadi satu paduan bahan magnet dengan karakteristik lebih baik.

Misal : besi di campur dengan nikel.

besi di campur dengan cobalt.

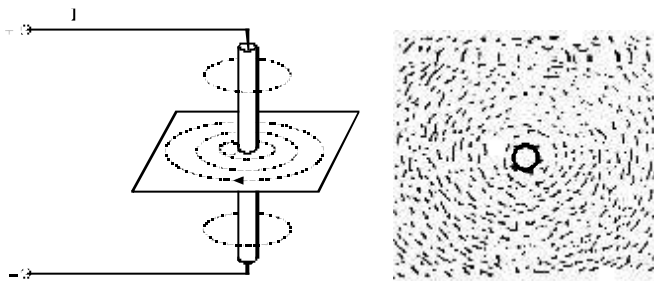
besi dicampur dengan tembaga atau wolfram.



Gambar 2.77 Bagian dari atom besi

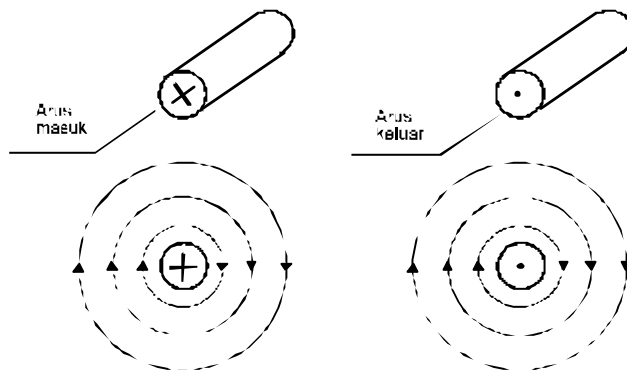
Elektro Magnet

Medan Magnet pada penghantar yang dilalui arus .



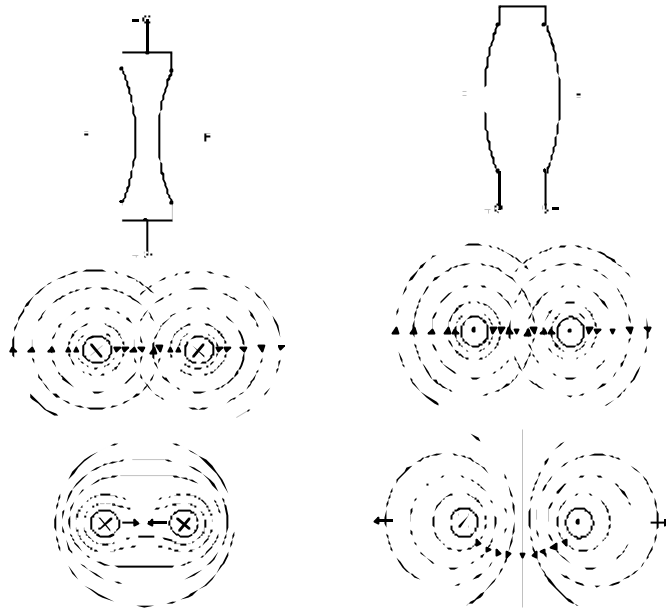
Gambar 2.78 Medan Magnet

Medan magnet pada penghantar lurus yang dilalui arus listrik adalah berbentuk lingkaran-lingkaran yang memusat



Gambar 2.79 Arah arus dan medan listrik

Aturan : Jika arah dalam kawat itu masuk atau meninggalkan kita maka arah garis-garis gaya searah putaran jarum jam dan jika arah arus keluar atau menuju kita maka arah garis-garis gaya berlawanan arah jarum jam .

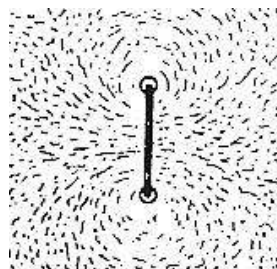
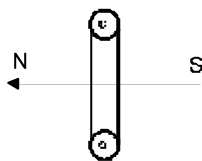


Jika arah arus dalam kedua penghantar sama maka keduanya akan saling tarik menarik .

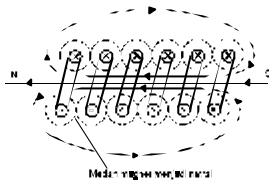
Jika arah arus dalam kedua penghantar berbeda maka keduanya akan saling tolak menolak .

3. Medan magnet pada kumparan yang dilalui arus

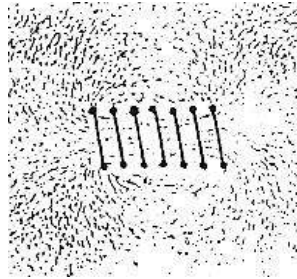
Satu kumparan



Beberapa kumparan



(saling menetralsisir)



Kuat atau lemahnya medan magnet itu dapat dikarenakan **jumlah** susunan kumparan .

Garis - garis gaya didalam kumparan itu **paralel dan mempunyai kerapatan yang sama** . Arah dari medan magnet itu tergantung dari **arah arus** .

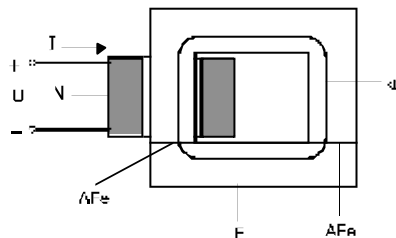
Gaya Elektro Magnetik

Gaya tarik pada Elektro Magnetik

Gaya tarik pada elektro magnetik dapat dihitung dengan rumus :

$$F = 4 \times 10^5 \times A \times B^2 \text{ (N) } B$$

$$= \sqrt{\frac{f}{4 \times 10^5 \times A}} \frac{\text{(VS)}}{\text{m}^2}$$



Gambar 2.80 Elektro Magnetik

I = Arus listrik

A fe = Celah udara

U = Listrik DC (baterai)

F e = Bahan ferro magnetik

φ = Flux magnet

PEMAKAIAN :Pengikat dengan magnet , Elektro magnet , Kopleng

Pengereman , pengkliman plat , sakelar (hubung singkat , relay)

Aksi gaya diantara penghantar yang dialiri arus (kumparan) dan medan magnet .

Gaya perpotongan : (N)

$$F = B \times I \times Z$$

Pemakaian : **Motor arus searah , kumparan putar untuk kerja pengukuran .**

Aksi gaya diantara beberapa penghantar yang dialiri arus .

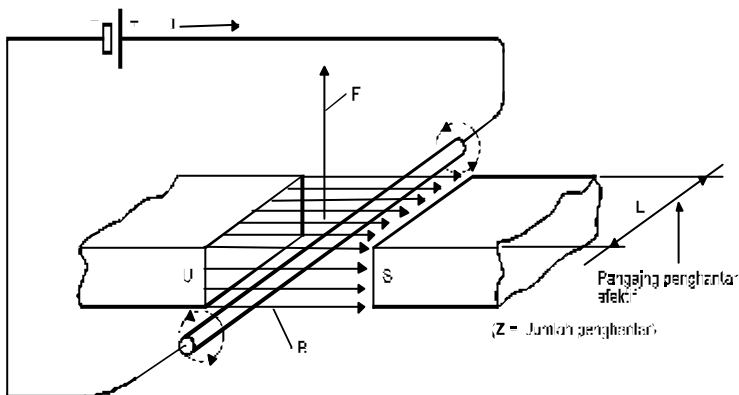
Gaya perpotongan ;
$$F = 2.10^{-7} I_1 . I_2 \frac{\ell}{a} \quad (N)$$

ℓ = Panjang **penghantar aktif**
 a = Jarak penghantar

Pemakaian : Menghitung gaya diantara kumpulan rel, gaya antar lilitan kumparan, pemadaman bunga api elektro magnetik .

Arus Dalam Medan Magnit :
Penghantar berarus listrik (Prinsip motor)

Suatu penghantar yang **dilalui** arus dan **memotong** diantara medan kutub maka pada penghantar akan bekerja gaya yang merupakan resultante gaya **pada penghantar dan medan kutub** .



Gambar 2.81

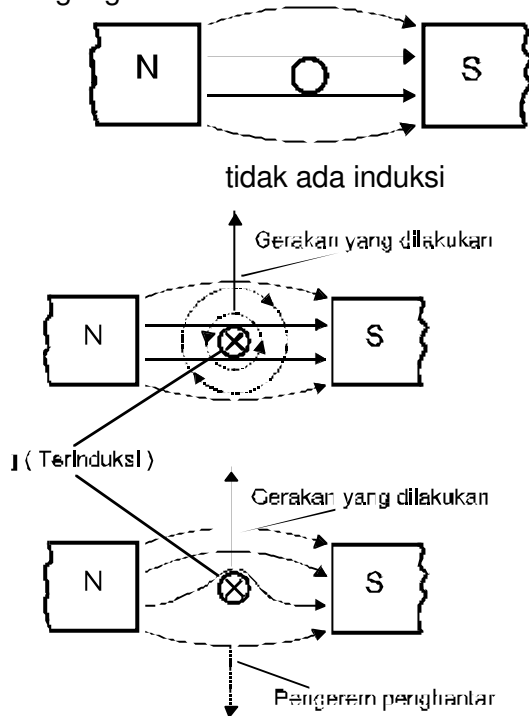
Arah Arus dalam Medan Listrik

Penentuan arah gerak

Kententuan : **Kumparan itu berputar demikian jauh , hingga medannya mempunyai arah yang sama sebagaimana kutub - kutub magnet .**

– **Suatu gerak putar yang terus - menerus itu dapat kita capai yaitu dengan cara mengalirkan arus pada kumparan melalui komutator .**

Pembangkitan tegangan melalui induksi :

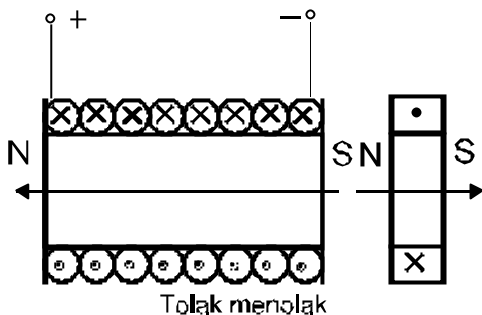


Gambar 2.82 Pembangkitan Tegangan Induksi

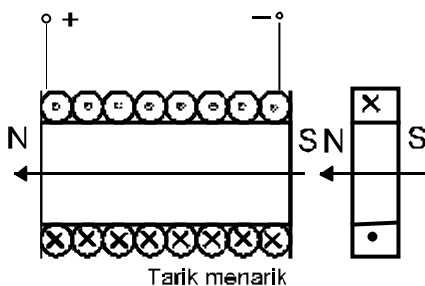
Dengan adanya tegangan induksi , mengakibatkan terbentuknya arus pada penghantar yang terletak pada medan magnet . **Medan magnet** Ini membentuk resultante dengan kutub medan .

medan di dalam penghantar terarah sedemikian rupa sehingga secara bersamaan medan itu **terkonsentrasi didepan penghantar . dan selanjutnya penghantar di rem .**

Pemakaian : **Generator arus searah dan bolak - balik , motor - motor**



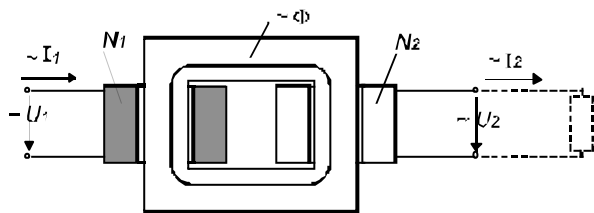
Gambar 2.83 Reaksi pada kumparan Kenaikan arus



Gambar 2.84 Reaksi pada kumparan penurunan arus

Pemakaian : **arus searah** : **batere pengapian (Ignition coil)**
arus bolak balik : **transformator , motor induksi , pemanas induksi.**

Contoh : **Prinsip transformator**



Kumparan masukan
 (Kumparan Primer)

$$\frac{N1}{N2} \approx \frac{U1}{U2} \approx \frac{I2}{I1}$$

Kumparan keluaran
 (Kumparan sekunder).

Hukum Lenz

Arah tegangan induksi yang ditimbulkan arus terus - menerus , berlawanan dengan induksi medan magnet yang menyebabkannya .

Pembangkitan tegangan melalui induksi .
Induksi karena gerakan (Prinsip generator)

Gerakan kawat penghantar , sedemikian rupa sehingga **memotong garis-garis gaya** .medan (yaitu perubahan jumlah garis - garis gaya aliran magnetik di dalam kawat penghantar), maka pada kawat penghantar akan terjadi pergeseran atau perpindahan muatan .di dalam kawat penghantar terjadi **tegangan induksi** .

Contoh : Penghantar angker dari generator arus searah, memotong suatu medan kutub dengan Kecepatan 40 m /s . Hitunglah tegangan induksi pada 148 penghantar, jika panjang penghantar dalam medan 200 mm dan induksi celah udara sebesar 0,8 Tesla .

$$\begin{aligned} \text{Jawab : } \quad U_o &= 0,8 \text{ Vs/m}^2 \times 40 \text{ m/s} \times 0,2 \text{ m} \times 148 \\ &= 947 \text{ Volt} \\ &= 950 \end{aligned}$$

Dengan adanya tegangan induksi, mengakibatkan terbentuknya **arus** pada penghantar yang terletak pada **medan magnet** . Medan magnet ini membentuk resultante dengan kutub medan medan didalam penghantar terarah sedemikian rupa sehingga secara bersamaan medan itu **terkonsentrasi di depan penghantar** . dan **selanjutnya penghantar direm** .

Pemakaian : Generator arus searah dan bolak balik. motor-motor .

Induksi tetap (Prinsip Transformator)

Setiap **perubahan arus**, mengakibatkan **perubahan** jumlah garis-garis gaya medan pada kedua kumparan (perubahan flux magnet) .

Pada kumparan terjadi perpindahan muatan di dalam kumparan :
 yaitu terjadi induksi tegangan.

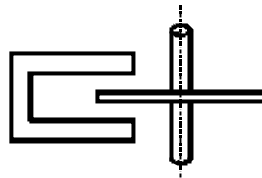
$\Delta \Phi$ = perubahan aliran

Δt = Waktu perubahan aliran

N = Jumlah lilitan

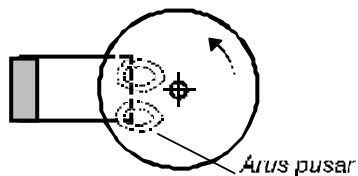
$$U_o = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \quad (V) \frac{V_s}{s} = V$$

Arus Pesar



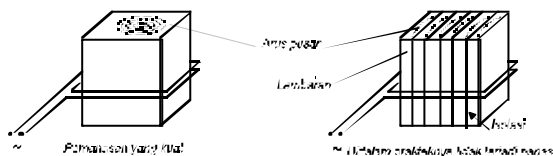
Gambar 2.85 Logam bergerak di dalam medan magnet (Prinsipgenerator)

Logam (benda penghantar) yang **digerakkan** memotong medan magnet maka di dalam benda logam tadi akan terjadi arus pesar Arus pesar ini **mengerem** gerakan benda logam tadi



Reduksi usaha pengereman : memakai bahan penghantar yang lebih jelek memutuskan lintasan arus dengan celah .

Pemakaian : Pengereman arus pesar, pada instrumen penghitung dan pengukur, pengukuran daya motor, dsb .



Gambar 2.86 Logam di dalam medan magnet bolak balik (Prinsip trafo)

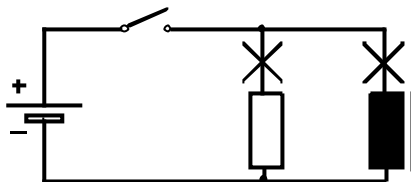
Sebuah lilitan pada logam yang dilalui arus bolak-balik maka pada logam terjadi arus pesar.

Arus pesar ini *memanasi* logam, dan merupakan rugi-rugi yang dikenal sebagai *rugi-rugi arus pesar* .

Reduksi rugi-rugi arus pesar : *memakai bahan penghantar yang lebih jelek, membuat inti magnet berlapis -lapis dan mengisolasi satu dengan yang lain .*

Pemakaian : *Memperkuat induksi, tungku tanpa inti .*

Induksi sendiri



Gambar 2.87 Putus dan hubung rangkaian arus dengan dan tanpa induksi sendiri

Ketentuan :

Setelah saklar dihubungkan maka lampu yang dihubungkan seperti seri dengan kumparan, menyala lambat .

Kesimpulan : Pada setiap *perubahan medan* maka di dalam kumparan akan terjadi tegangan induksi sendiri .

– Setelah saklar dimasukkan maka terbangkitlah U_o , oleh karena itu susunan

medan mengakibatkan kenaikan arus terlambat

– Setelah saklar dibuka maka terbentuklah U_o , oleh karena itu susunan *medan mengakibatkan penurunan arus terlambat* .

Catatan : *Induksi sendiri tertunda setiap perubahan arus !*

Induksi L

Kumparan dengan **beberapa lilitan** dan **inti logam** yang tertutup mempunyai **usaha induksi sendiri yang kuat** (kumparan impedansi) . Ketergantungan susunan kumparan ini dikenal sebagai **induktansi L**. Induktansi kumparan itu mempunyai sifat tumbuh kwadratis. Dia lebih banyak tergantung pada sifat-sifat fisik inti logam dan dari ukuran kumparan .

Satuan untuk L : **1 henry (1 H)**.

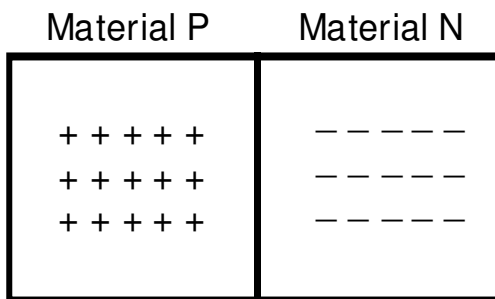
Suatu kumparan mempunyai induksi **1 H** pada perubahan arus homogen **1 A/S** dengan tegangan **1 V**

$$1H = \frac{1V}{1A/s} = \frac{1Vs}{A} = 1\Omega$$

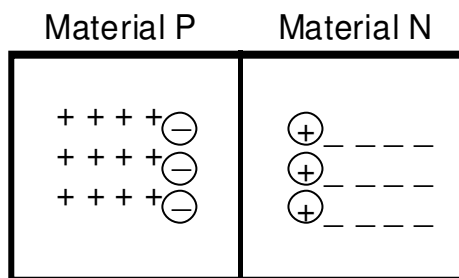
Untuk tujuan perhitungan digunakan satuan **Ωs** .

2.2.3. DIODA

2.2.3.1. Dasar Pembentukan Dioda



Gambar Dioda
Sebelum Difusi



Lapisan Pengosongan

Gambar Dioda
Sebelum Difusi



Gambar 2.88 Dioda

2.2.3.2. DIODA ZENNER

Semua dioda prinsip kerjanya adalah sebagai peyearah, tetapi karena proses pembuatan, bahan dan penerapannya yang berbeda beda, maka nama-namanya juga berbeda.

Secara garis besar komponen elektronika yang terbuat dari bahan semi konduktor adalah ringkas (kecil-kecil atau sangat kecil). Maka hampir-hampir kita tidak bisa membedakan satu sama lainnya. Hal ini sangat penting untuk mengetahui kode-kode atau tanda-tanda komponen tersebut.

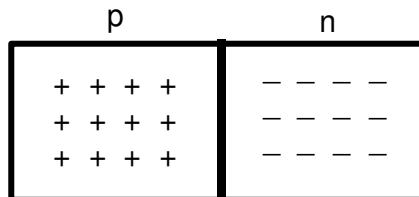
A. Bahan dasar

Bahan dasar pembuatan komponen dioda zener adalah silikon yang mempunyai sifat lebih tahan panas, oleh karena itu sering digunakan untuk komponen-komponen elektronika yang berdaya tinggi. Elektron-elektron yang terletak pada orbit paling luar (lintasan valensi) sangat kuat terikat dengan intinya (proton) sehingga sama sekali tidak mungkin elektron-elektron tersebut melepaskan diri dari intinya.

B. Pembentukan junction pn

Pembentukan dioda bisa dilaksanakan dengan cara point kontak dan junction. Namun dalam pembahasan ini fokus pembahasan materi diarahkan pada cara junction.

Pengertian junction (pertemuan) adalah daerah dimana tipe p dan tipe n bertemu, dan dioda junction adalah nama lain untuk kristal pn (kata dioda adalah pendekan dari dua elektroda dimana di berarti dua). Untuk lebih jelasnya lihat gambar dibawah ini.

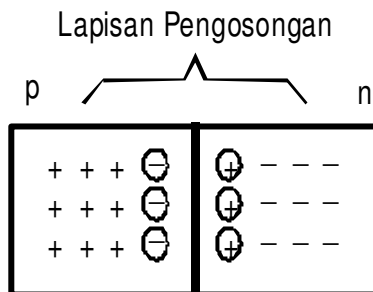


Gambar 2.89 Dioda Junction

Sisi p mempunyai banyak hole dan sisi n banyak elektron pita konduksi. Agar tidak membingungkan, pembawa minoritas tidak ditunjukkan, tetapi camkanlah bahwa ada beberapa elektron pita konduksi pada sisi p dan sedikit hole pada sisi n.

Elektron pada sisi n cenderung untuk berdifusi kesegala arah, beberapa berdifusi melalui junction. Jika elektron masuk daerah p, ia akan merupakan pembawa minoritas, dengan banyaknya hole disekitarnya, pembawa minoritas ini mempunyai umur hidup yang singkat, segera setelah memasuki daerah p, elektron akan jatuh kedalam hole. Jika ini terjadi, hole lenyap dan elektron pita konduksi menjadi elektron valensi.

Setiap kali elektron berdifusi melalui junction ia menciptakan sepasang ion, untuk lebih jelasnya lihat gambar dibawah ini :



Gambar 2.90 Perpindahan elektron pada dioda

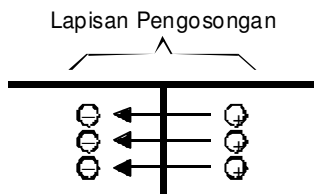
Tanda positif berlingkaran menandakan ion positif dan tanda negatif berlingkaran menandakan ion negatif. Ion tetap dalam struktur kristal karena ikatan kovalen dan tidak dapat berkeliling seperti elektron pita konduksi ataupun hole. Tiap pasang ion positif dan negatif disebut dipole, penciptaan dipole berarti satu elektron pita konduksi dan satu hole telah dikeluarkan dari sirkulasi.

Jika terbentuk sejumlah dipole, daerah dekat junction dikosongkan dari muatan-muatan yang bergerak, kita sebut daerah yang kosong muatan ini dengan lapisan pengosongan (depletion layer).

C.Potensial Barrier

Tiap dipole mempunyai medan listrik, anak panah menunjukkan arah gaya pada muatan positif. Oleh sebab itu jika elektron memasuki lapisan pengosongan, medan mencoba mendorong elektron kembali kedalam daerah n. Kekuatan medan bertambah dengan berpindahannya tiap elektron sampai akhirnya medan menghentikan difusi elektron yang melewati junction.

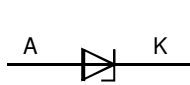
Untuk pendekatan kedua kita perlu memasukkan pembawa minoritas. Ingat sisi p mempunyai beberapa elektron pita konduksi yang dihasilkan secara thermal. Mereka yang didalam pengosongan didorong oleh medan kedalam daerah n. Hal ini sedikit mengurangi kekuatan medan dan membiarkan beberapa pembawa mayoritas berdifusi dari kanan ke kiri untuk mengembalikan medan pada kekuatannya semula. Inilah gambaran terakhir dari kesamaan pada junction :



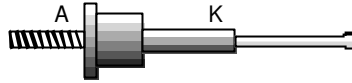
Gambar 2.91 Keseimbangan pada Junction dioda

1. Beberapa pembawa minoritas bergeser melewati junction, mereka akan mengurangi medan yang menerimanya.
2. Beberapa pembawa mayoritas berdifusi melewati junction dan mengembalikan medan pada harga semula.

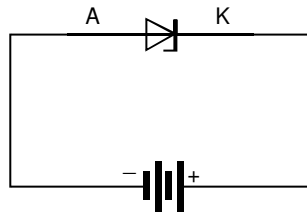
Adanya medan diantara ion adalah ekuivalen dengan perbedaan potensial yang disebut potensial barrier, potensial barrier kira-kira sama dengan 0,3 V untuk germanium dan 0,7 V untuk silikon.



Gambar 2.92a Simbol Zener



Gambar 2.92b Contoh Konstruksi



Gambar 2.92c Cara pemberian tegangan

2.2.3.3. SIFAT DASAR ZENNER

Dioda zener berbeda dengan dioda penyearah, dioda zener dirancang untuk beroperasi dengan tegangan muka terbalik (reverse bias) pada tegangan tembusnya, biasa disebut "break down diode". Jadi katoda-katoda selalu diberi tegangan yang lebih positif terhadap anoda dengan mengatur tingkat doping, pabrik dapat menghasilkan dioda zener dengan tegangan break down kira-kira dari 2V sampai 200V.

a) Dioda zener dalam kondisi forward bias.

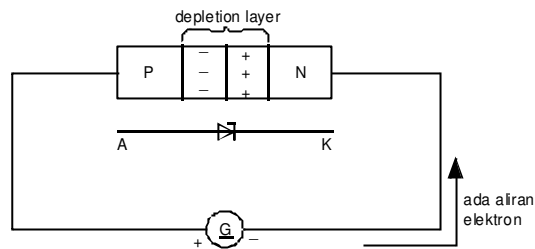
Dalam kondisi forward bias dioda zener akan dibias sebagai berikut: kaki katoda diberi tegangan lebih negatif terhadap anoda atau anoda diberi tegangan lebih positif terhadap katoda.

Dalam kondisi demikian dioda zener akan berfungsi sama halnya dioda penyearah dan mulai aktif setelah mencapai tegangan barrier yaitu 0,7V.

Disaat kondisi demikian tahanan dioda (R_z) kecil sekali.

Sedangkan konduktansi ($\frac{\Delta I}{\Delta U}$) besar sekali, karena tegangan maju akan menyempitkan depletion layer (daerah perpindahan muatan) sehingga

perlawanannya menjadi kecil dan mengakibatkan adanya aliran elektron. Untuk lebih jelasnya lihat gambar dibawah ini.



Gambar 2.93 Dioda zener dalam kondisi forward bias

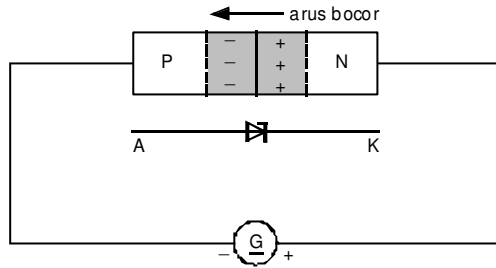
b) Dioda zener dalam kondisi Reverse bias.

Dalam kondisi reverse bias dioda zener kaki katoda selalu diberi tegangan yang lebih positif terhadap anoda.

Jika tegangan yang dikenakan mencapai nilai breakdown, pembawa minoritas lapisan pengosongan dipercepat sehingga mencapai kecepatan yang cukup tinggi untuk mengeluarkan elektron valensi dari orbit terluar. Elektron yang baru dibebaskan kemudian dapat menambah kecepatan cukup tinggi untuk membebaskan elektron valensi yang lain. Dengan cara ini kita memperoleh longsor elektron bebas. Longsor terjadi untuk tegangan reverse yang lebih besar dari 6V atau lebih.

Efek zener berbeda-beda bila dioda di-doping banyak, lapisan pengosongan amat sempit. Oleh karena itu medan listrik pada lapisan pengosongan amat kuat. Jika kuat medan mencapai kira-kira 300.000 V persentimeter, medan cukup kuat untuk menarik elektron keluar dari orbit valensi. Penciptaan elektron bebas dengan cara ini disebut breakdown zener.

Efek zener dominan pada tegangan breakdown kurang dari 4 V, efek longsor dominan pada tegangan breakdown yang lebih besar dari 6 V, dan kedua efek tersebut ada antara 4 dan 6 V. Pada mulanya orang mengira bahwa efek zener merupakan satu-satunya mekanisme breakdown dalam dioda. Oleh karenanya, nama "dioda zener" sangat luas digunakan sebelum efek longsor ditemukan. Semua dioda yang dioptimumkan bekerja pada daerah breakdown oleh karenanya tetap disebut dioda zener.



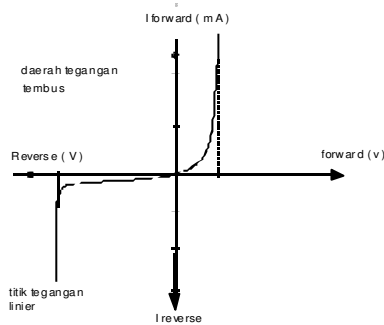
Gambar 2.94 Dioda zener dalam kondisi reverse bias

Didaerah reverse mulai aktif, bila tegangan dioda (negatif) sama dengan tegangan zener dioda, atau dapat

dikatakan bahwa didalam daerah aktif reverse ($\frac{\Delta I}{\Delta U}$) konduktansi besar sekali dan sebelum aktif ($\frac{\Delta I}{\Delta U}$) konduktansi kecil sekali.

2.2.3.4. KARAKTERISTIK ZENNER

Karakteristik Dioda zener. Jika digambarkan kurva karakteristik dioda zener dalam kondisi forward bias dan reverse bias adalah sebagai berikut.



Gambar 2.95 Grafik Karakteristik Dioda Zener

Harga Batas

Harga batas yang di maksud dalam pembahasan ini adalah suatu keterangan tentang data-data komponen dioda zener yang harus di penuhi dan tidak boleh dilampaui batas maximumnya dan tidak boleh berkurang jauh dari batas minimumnya.

Adapaun harga batas tersebut memuat antara lain keterangan tentang tegangan break down (U_z) arus maximumnya dioda zener (I_z) tahanan dalam dioda zener (R_d). Semua harga komponen yang terpasang pada dasarnya akan mempunyai 2 kondisi yaitu :

1. Kondisi normal , sesuai dengan ketentuannya
2. Kondisi tidak normal , tidak sesuai dengan ketentuannya.
 - a. Mungkin kurang dari ketentuannya
 - b. Mungkin melebihi ketentuannya

Untuk alasan itu semua, maka kita perlu sekali memperhatikan data-data yang ada untuk setiap jenis komponen agar komponen yang digunakan sesuai dengan yang diharapkan yaitu bisa bekerja baik dan tahan lama . Kondisi yang demikian dinamakan kondisi yang normal namun kondisi yang tidak normal adalah suatu kondisi yang perlu mendapatkan perhatian.

Oleh karena itu kita perlu mempelajari harga batas dioda zener , agar kita dapat mengoperasikan komponen sesuai dengan data yang dimiliki . Sebab kondisi yang tidak normal terutama kondisi dimana komponen diberi tegangan melebihi batas maximumnya , maka komponen tersebut dapat rusak maka hal ini perlu sekali di antisipasi sehingga tidak akan terjadi kerusakan komponen akibat kesalahan pemberian bias. Maka di sarankan setiap pemakai komponen sebelum merangkai harap melihat data karakteristiknya seperti yang terlampir pada lembar informasi.

Zenerdioden	Leistung	500 mW max
0,4 W	Non-repetitive	
PHILIPS	peak reverse power	
Typ BZK 79	dissipation	30 W max
Toleranz $\pm 5\%$	Junction temperature	200 °C max
Technische Daten	Thermal resistance from	
	Gehäuse	DO-35
	junction to tie-point	0,30 K / mW

Tabel 2.29 Data karakteristik dioda zener PHILIPS

Art.No	Typ	U_z (v)		r_{diff}		S_z		max
		at I_{ztest} min	= 5 mA max	(Ω) at I_{ztest} typ	= 5 mA max	(mV / °C) at I_{ztest} min	= 5 mA typ	
603278	BZX79-C2V4	2,2	2,6	70	100	-3,5	-	0
603279	BZX79-C2V7	2,5	2,9	75	100	-3,5	1,6	0
603277	BZX79-C3V0	2,8	3,2	80	95	-3,5	-	0
603243	BZX79-C3V3	3,1	3,5	85	95	-3,5	2,0	0
603244	BZX79-C3V6	3,4	3,8	85	90	-3,5	-	0
603245	BZX79-C3V9	3,7	4,1	85	90	-3,5	2,1	0
603247	BZX79-C4V3	4,0	4,6	80	90	-3,5	-	0
603247	BZX79-C4V7	4,4	5,0	50	80	-3,5	2,4	
603248	BZX79-C5V1	4,8	5,4	40	60	-2,7	-	0,2
603249	BZX79-C5V6	5,2	6,0	15	40	-2,0	2,4	

Catatan

U_z = Tegangan Break down Zener rdiff = Tahanan beda fasa arus
 test zener 5 A Sz = Daya hantar thermal

Diodes Zener

1 W

 MOTOROLA

Type 1 N 47...A

* Pour applications industrielles

Donnees techniques

Boîtier DO-41
 R_{th} 150 K/W
 T_{jmax} 200 °C
 Gamme de temperature ...+ 50 °C

Tabel 2.30 Data karakteristik dioda zener  MOTOROLA

Art. No	Typ	U_{zt}	I_{zt}	R_{zt}	$I_r \max$	U_r	$I_{z m}$
		nom	mA	max Ω	μA	V	mA
601100	1N4728A	3,3	76	10	100	1	276
601102	1N4730A	3,9	64	9	50	1	234
601103	1N4731A	4,3	58	9	10	1	217
601104	1N4732A	4,7	53	8	10	1	193
601105	1N4733A	5,1	49	7	10	1	178
601106	1N4734A	5,6	45	5	10	2	162
601107	1N4735A	6,2	41	2	10	3	146
601108	1N4736A	6,8	37	3,5	10	4	133
601109	1N4737A	7,5	34	4	10	5	121
601110	1N4738A	8,2	31	4,5	10	6	110
601111	1N4739A	9,1	28	5	10	7	100
601112	1N4740A	10	25	7	10	7,6	91
601113	1N4741A	11	23	8	5	8,4	83
601114	1N4742A	12	21	9	5	8,9	76
601115	1N4743A	13	19	10	5	9,9	69
601116	1N4744A	15	17	14	5	11,4	61
601117	1N4745A	16	15,5	16	5	12,2	57
601118	1N4746A	18	14	20	5	13,7	50
601119	1N4747A	20	12,5	22	5	15,2	45
601120	1N4748A	22	11,5	23	5	16,7	41
601121	1N4749A	24	10,5	25	5	18,2	38
601122	1N4750A	27	9,5	35	5	20,6	34
601123	1N4751A	30	8,5	40	5	22,8	30
601124	1N4752A	33	7,5	45	5	25,1	27
601125	1N4753A	36	7	50	5	27,4	25
601126	1N4754A	39	6,5	60	5	29,7	23
601129	1N4757A	51	5	95	5	38,8	18

Catatan

U_{zt} = tegangan Break down Zener I_{zt} = Arus Zener

R_{zt} =Tahanan Zener I_{\max} = Arus Reverse Maximum

V_r = Tegangan Reverse I_{zm} = Arus Zener Maximum

Tegangan Breakdown dan Rating Daya

Gambar 2.96 menunjukkan kurva tegangan dioda zener . Abaikan arus yang mengalir hingga kita mencapai tegangan breakdown U_z . Pada dioda zener , breakdown mempunyai lekukan yang sangat tajam, diikuti dengan kenaikan arus yang hampir vertikal. Perhatikanlah bahwa tegangan kira-kira konstan sama dengan U_z pada arus test I_{zT} tertentu di atas lekukan (lihat Gambar 1) .

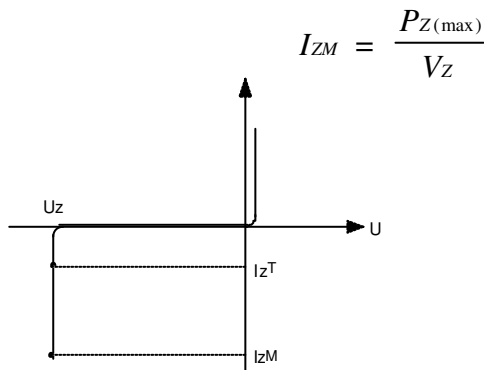
Dissipasi daya dioda zener sama dengan perkalian tegangan dan arusnya , yaitu : $P_z = U_z I_z$

Misalkan, jika $U_z = 12$ dan $I_z = 10$ mA,

$$P_z = 1,2 \times 0,01 = 0,12 \text{ W}$$

Selama P_z kurang daripada rating daya $P_{z(\max)}$, dioda zener tidak akan rusak. Dioda zener yang ada di pasaran mempunyai rating daya dari 1/4 W sampai lebih dari 50 W .

Lembar data kerap kali menspesifikasikan arus maksimum dioda zener yang dapat ditangani tanpa melampaui rating dayanya . Arus maksimum diberi tanda I_{zM} (lihat Gambar 1 . Hubungan antara I_{zM} dan rating daya adalah :



Gambar 2.96 Kurva Tegangan Dioda Zener

- **Impedansi Zener**

Jika dioda zener bekerja dalam daerah breakdown, dengan tambahan tegangan sedikit menghasilkan pertambahan arus yang besar. Ini menandakan bahwa dioda zener mempunyai impedansi yang kecil. Kita dapat menghitung impedansi dengan cara :

$$Z_z = \frac{\Delta u}{\Delta i}$$

Sebagai contoh, jika kurva menunjukkan perubahan 80 mV dan 20 mA, impedansi zener adalah :

$$Z_z = \frac{0,08}{0,02} = 4 \Omega$$

Lembar data menspesifikasikan impedansi zener pada arus tes yang sama di gunakan untuk U_z . Impedansi zener pada arus tes ini diberi tanda Z_{zT} . Misalnya, 1N3020 mempunyai U_z 10 V dan $Z_{zT} = 7\Omega$ untuk $I_{zT} = 25$ mA .

- **Koefisien Suhu**
- +

Koefisien suhu T_C adalah perubahan (dalam persen) tegangan zener per derajat Celcius.

Jika $U_z = 10$ V pada 25° C dan $T_C = 0,1\%$, maka

$$\begin{aligned} U_z &= 10 \text{ V} && (25^{\circ}\text{C}) \\ U_z &= 10,01 && (26^{\circ}\text{C}) \\ U_z &= 10,02 \text{ V} && (27^{\circ}\text{C}) \\ U_z &= 10,03 \text{ V} && (28^{\circ}\text{C}) \text{ dan seterusnya .} \end{aligned}$$

Dalam rumus, perubahan tegangan zener adalah :

$$\Delta U_z = T_C \times \Delta T \times U_z$$

Diketahui $T_C = 0,004\%$ dan $U = 15$ V pada 25°C , perubahan tegangan zener dari 25°C sampai 100°C adalah

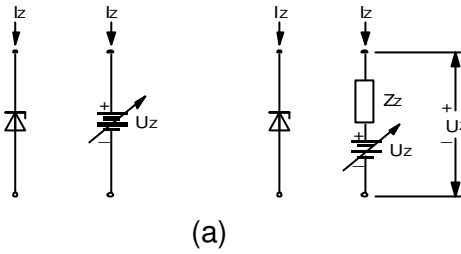
$$\Delta U_z = 0,004 (10^{-2}) (100 - 25) 15 = 0,045 \text{ V}$$

Oleh sebab itu, pada 100°C , $U_z = 15,045$ V

- **Pendekatan Zener**

Untuk semua analisa pendahuluan, kita dapat melakukan pendekatan daerah breakdown sebagai garis vertikal. Ini berarti tegangannya konstan walaupun arus berubah. Gambar 2

menunjukkan *pendekatan ideal* suatu dioda zener. Pada pendekatan pertama, dioda zener yang bekerja dalam daerah ekuivalen dengan batere U_z volt.



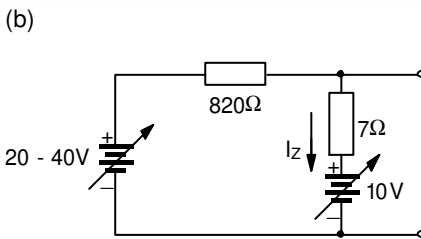
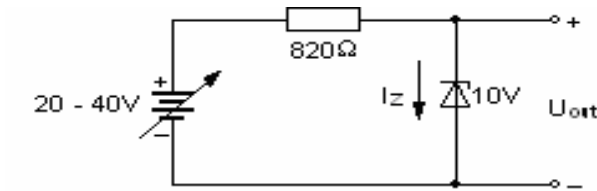
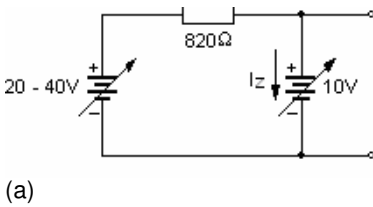
Gambar 2.97 Pendekatan zener dengan baterai

Untuk memperbaiki analisa, kita memperhitungkan kemiringan dari daerah breakdown. Daerah breakdown tidak benar-benar vertikal, tetapi ada impedansi zener yang kecil. Gambar 2 menunjukkan pendekatan kedua dari dioda zener. Karena impedansi zener, tegangan zener total U_z adalah :

$$\Delta U_z = U_z + I_z Z_z$$

CONTOH 1

Dioda zener pada Gambar 2.98 mempunyai $U_z = 10 \text{ V}$ dan $Z_{zT} = 7 \Omega$. Tentukan harga U_{out} dengan pendekatan ideal. Juga hitung minimum dan maksimum arus zener.



Gambar 2.98 Dioda zener dengan pendekatan ideal

• PENYELESAIAN

Tegangan yang dikenakan (20 sampai 40 V) selalu lebih besar dari tegangan breakdown dioda zener. Oleh sebab itu, kita dapat membayangkan dioda zener seperti batere dalam Gambar 3b. Tegangan outputnya adalah : $U_{out} = U_Z = 10 \text{ V}$

Tak peduli berapa harga tegangan sumber antara 20 dan 40 V, tegangan output selalu pada 10 V. Jika tegangan sumber 20 V, tegangan pada resistor pembatas-seri adalah 10 V, jika tegangan sumber 40 V, tegangan pada resistor pembatas-seri adalah 30 V. Oleh sebab itu, setiap perubahan tegangan sumber, muncul pada resistor pembatas-seri. Tegangan output secara ideal konstan.

Arus zener minimum $I_{Z(\min)}$ terjadi pada tegangan sumber minimum. Dengan hukum Ohm.

$$I_{Z(\min)} = \frac{U_{IN(\min)} - U_Z}{R} = \frac{20 - 10}{820} = 12,2 \text{ mA}$$

Arus zener maksimum terjadi jika tegangan sumber maksimum :

$$I_{Z(\max)} = \frac{U_{IN(\max)} - U_Z}{R} = \frac{40 - 10}{820} = 36,6 \text{ mA}$$

CONTOH 2

Gunakan pendekatan kedua untuk menghitung tegangan output minimum dan maksimum pada Gambar 3a

PENYELESAIAN

Contoh 2 memberikan $Z_{ZT} = 7 \Omega$. Walaupun hal ini hanya benar pada arus tertentu, Z_{ZT} merupakan pendekatan yang baik untuk ZZ di mana saja dalam breakdown.

Kita dapatkan $I_{Z(\min)} = 12,2 \text{ mA}$ dan $I_{Z(\max)} = 36,6 \text{ mA}$. Jika arus ini mengalir melalui dioda zener pada Gambar 3c, tegangan minimum dan maksimumnya adalah :

$$\begin{aligned} U_{OUT(\min)} &\cong U_Z + I_{Z(\min)} Z_Z \\ &= 10 + 0,0122(7) = 10,09 \text{ V} \end{aligned}$$

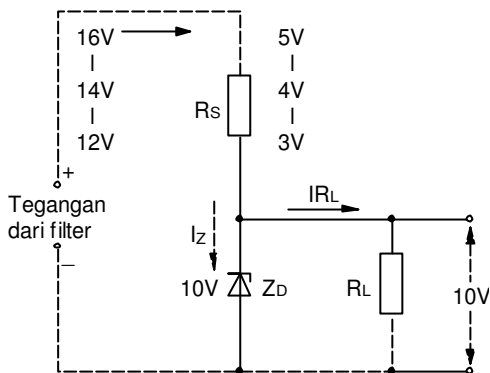
dan

$$\begin{aligned} U_{OUT} &\cong U_Z + I_{Z(\max)} Z_Z \\ &= 10 + 0,0366(7) = 10,26 \text{ V} \end{aligned}$$

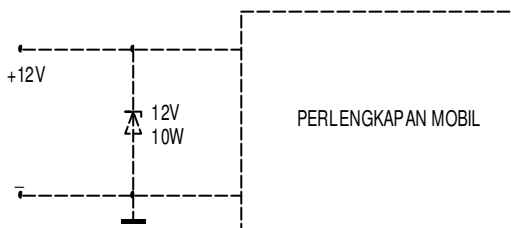
Yang penting dari contoh ini adalah untuk menggambarkan regulasi tegangan (menjaga tegangan output konstan). Di sini kita mempunyai sumber yang berubah dari 20 sampai 40 V, perubahan 100%. Tegangan output berubah dari 10,09 sampai 10,26 V, perubahan 1,7%. Dioda zener telah mengurangi perubahan input 100% menjadi perubahan output hanya 1,7%. Regulasi tegangan merupakan penggunaan utama dari dioda zener.

CONTOH PENERAPAN DIODA ZENER

Sesuai dengan sifat-sifat yang dimiliki, dioda zener dapat digunakan sebagai penstabil ataupun pembagi tegangan . Salah satu contoh adalah ditunjukkan gambar 2.99 .



Gambar 2.99 Penstabil tegangan pada output penyearah



Gambar 2.100 Penstabil tegangan pada sumberdaya perlengkapan mobil

Dioda Zener yang melindungi pemancar (transceiver) di dalam kendaraan mobil , terhadap loncatan-loncatan tegangan.

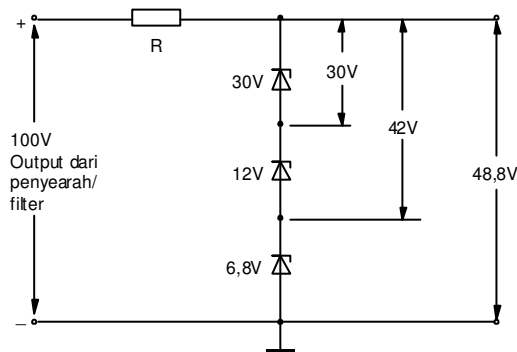
Adapun cara kerja rangkaian di atas adalah sebagai berikut :

1. Bila dioda Zener yang kita pilih memiliki tegangan tembus sebesar 10 Volt , lihat gambar di atas, berarti tegangan output yang diperlukan adalah sebesar 10 V satabil .
2. RS gunanya untuk membatasi tegangan yang masuk dalam rangkaian dan RL untuk beban atau output yang kita ambil tegangannya .
3. Seandainya tegangan input (tegangan dari filter) itu naik , misalkan 16 Volt maka tegangan yang didrop oleh RL juga akan naik misalkan sebesar 12 Volt . Maka dioda zener akan menghantar . Arus akan

terbagi dua , yaitu lewat RL dan ZD . Sedangkan dioda zener mempertahankan tegangan sebesar 10 Volt dan karena dioda ini di pasang paralel dengan RL maka dengan sendirinya tegangan output akan tetap sebesar 10 Volt .

4. Selanjutnya apabila tegangan input turun maka tegangan yang di drop oleh RS akan kurang dari 4 Volt dan tegangan yang di drop oleh RL pun akan kurang dari 10 Volt . Hal ini mengakibatkan dioda zener menyumbat dan arus hanya mengalir lewat RL saja . Dengan sendirinya tegangan output akan turun (tegangan input turun menjadi 12 Volt.
5. Kesimpulannya adalah bahwa tegangan output tidak akan melebihi dari 10 Volt tetapi dioda zener tidak menjamin tegangan tetap sebesar 10 Volt bila tegangan input dari filter itu turun .

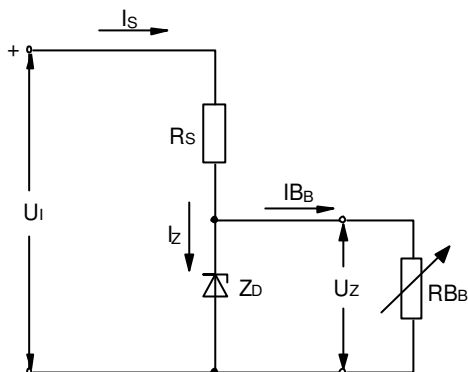
Contoh lain pemakaian dioda zener adalah seperti gambar 2.101 . Dengan cara tersebut kita akan mendapatkan beberapa macam tegangan yang diinginkan .



Gambar 2.101 Pembagi tegangan dengan dioda zener

Beberapa dioda zener dipasang berderet dan setiap dioda memiliki tegangan tersendiri (tegangan zener) . Dengan jalan seperti di atas maka kita akan mendapatkan tegangan-tegangan 30 V , 42 V dan 48,8 V .

Rumus untuk menyelesaikan rangkaian Stabilitas tegangan dengan Dioda Zener adalah sebagai berikut :



Gambar 2.102 Stabilitas tegangan dengan Dioda Zener

- Arus pada R_S : $I_S = \frac{U_i - U_Z}{R_S}$
- $I_Z = I_S - I_{B_B}$
- Tegangan-beban : $U_{R_B} = U_Z$
- Arus-beban : $I_{B_B} = \frac{U_Z}{R_{B_B}}$

2.2.4. DIODA VARACTOR

Dalam bagian ini kita akan menjelaskan pengaruh yang terjadi didalam dioda yang mengandung elemen kapasitansi .

Nilai kapasitansi ini bergantung pada besar polaritas tegangan yang di terapkan pada dioda dan type sambungan yang dibuat selama proses produksi .

Dalam praktek nilai kapasitansi tidak linier namun secara pendekatan (untuk mempermudah pemahaman) dapat dianggap sebagai elemen yang linier .

2.2.4.1. BIAS BALIK, KAPASITANSI PERSAMBUNGAN

Tujuan Dioda PN diberi bias balik seperti di tunjukkan pada gambar 1 . Bila dioda bekerja dalam cara ini lubang-lubang didalam daerah P dan elektron-elektron dalam daerah N bergerak menjauhi persambungan .

Karena itu membentuk daerah penipisan , dimana penumpukan pembawa-pembawa telah di hilangkan .

Panjang efektif L dari daerah depletion (penipisan) menjadi lebih besar dengan bertambahnya tegangan balik U_R , karena medan listrik bertambah sebanding dengan U_R .

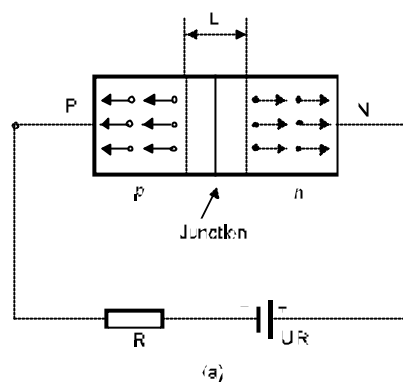
Karena elektron dan lubang menjauhi sambungan , daerah penipisan yang terbentuk akan bermuatan negatif pada bahan type P sementara

daerah penipisan yang terbentuk didalam bahan type N menjadi bermuatan positif.

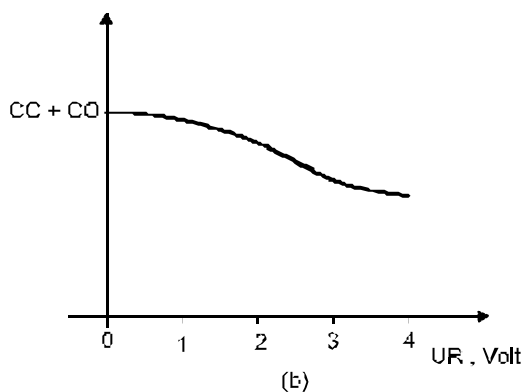
Karena itu persambungan dengan bias balik akan bertingkah seperti kapasitor yang kapasitansinya secara teori berubah berbanding terbalik dengan tegangan UNP dari N ke P

Dalam praktek kapasitansi CR berbanding terbalik dengan pangkat 1/2 atau 1/3 dari UNP , tergantung apakah elemen mempunyai sambungan paduan atau sambungan yang di tumbuhkan . Dalam kecepatan tinggi (frekuensi tinggi) kapasitansi dioda ini ebih kecil, biasanya urang dari 5 PF .

Pada arus yang besar dioda ini dapat sebesar 500 PF



Gambar 2.103 Kapasitansi dioda bias balik



Gambar 2.104 Karakteristik kapasitansi terhadap tegangan balik

Varicap atau dioda varactor dibuat khusus untuk beroperasi dalam mode bias balik . Dapat dibuat untuk kapasitansi sampai dengan beratus-ratus pico Farrad jika diinginkan. Pemanfaatan dioda seperti ini adalah pada

rangkaian Frekuensi Modulasi (FM) , dimana dioda yang dibias balik diletakkan secara paralel dengan suatu induktor.

Frekuensi resonansi dan rangkaian bertala dapat di rubah dengan cara merubah UR. Maka jika UR adalah suatu sinyal suara, frekuensi resonansi akan sebanding dengan amplitudo sinyal suara , yakni frekuensi akan termodulasi . Banyak sistem FM dibuat dengan prinsip ini. Persamaan yang berhubungan dengan kapasitansi lintas persambungan dioda yang di bias balik oleh tegangan UR adalah :

$$CR \approx CC + \frac{C_o}{(1 + 2 UR)^n}$$

Dimana : CC = Kapasitansi dioda

CO = Kapasitansi dioda bila UR = 0

n = Antara $1/3$ s/d $1/2$

Gambar kapasitansi dioda sebagai fungsi dari UR ditunjukkan pada gambar 1(b) . Sifat ketidak linieran dari CR biasanya diabaikan dan suatu nilai konstanta digunakan dalam perhitungan .

2.2.4.2. BIAS MAJU , KAPASITANSI PENYIMPANAN

Bila dioda dibias maju lebar daerah penipisan L berkurang dan kapasitansi persambungan bertambah . Namun dalam keadaan bias maju terjadi pengaruh kapasitansi yang lebih besar .

Yang di modelkan sebagai suatu elemen penyimpan atau difusi atau kapasitansi . Kita misalkan bahwa waktu rata-rata yang diperlukan oleh sebuah elektron untuk berpindah adalah + detik . (+ adalah waktu rata-rata dari elektron yang mengalir pada pita konduksi maupun pada pita valensi) .

maka arus rata-rata yang mengalir adalah

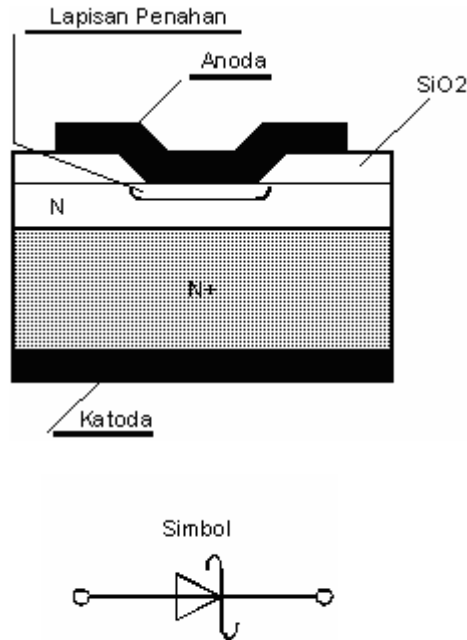
$I_D = \frac{2}{t} = I_o \cdot E^{V_D/VT}$ Jika kita mendefinisikan kapasitansi penyimpanan

CS sebagai $C_s = \frac{dQ}{dV_D}$ kita temukan dengan mudah bahan : $C_s = \frac{I_D \cdot t}{VT}$

Maka kapasitansi secara langsung sebanding dengan arus dioda maju dan dapat menjadi sangat besar . Misalnya jika $t = 1$ ns dan $I_D = 1$ mA , maka $C_s = 40$ PF . Kapasitansi ini yang membatasi kecepatan switching (pensaklaran) pada rangkaian-rangkaian logic penggunaan komponen persambungan.

2.2.5. DIODA SCHOTTKY

Dioda Schottky menggunakan logam EMAS, PERAK ATAU PLATINA pada SALAH SATU SISI (N) dan silikon yang di-dop (N^+) pada sisi lain. Sehingga dioda semacam ini adalah PIRANTI UNIPOLAR karena elektron merupakan PEMBAWA MAYORITAS. pada kedua sisi junction.

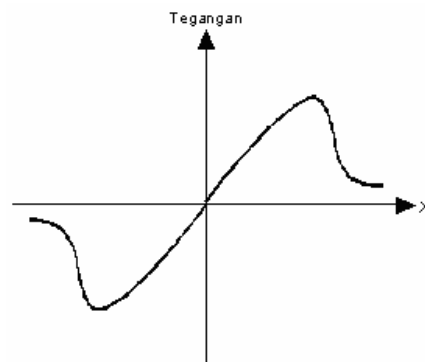
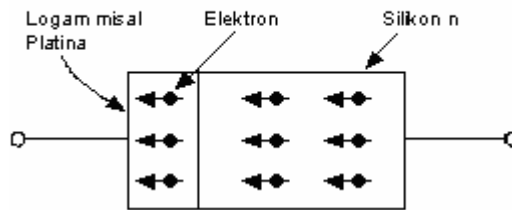


Gambar 2.105 Dioda Schottky

Dioda Schottky dibuat dengan cara menggabungkan suatu logam seperti **emas** , **perak** atau **platina** dengan **silikon jenis n**.

Alat ini mempunyai penyimpanan muatan yang sangat kecil dan banyak dijumpai dalam penerapan sebagai saklar kecepatan tinggi.

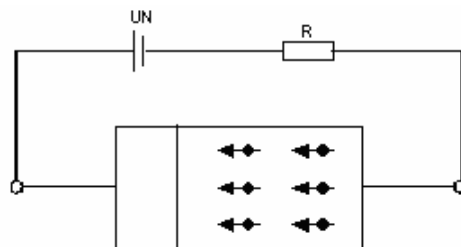
Suatu jenis logam itu berlaku sebagai acceptor bagi elektron bila digabungkan ke silikon type n. Selanjutnya elektron berdifusi dari silikon ke logam tadi. Pada kontak penyearah , arus yang sangat kecil mengalir hingga tegangan UN melampaui tegangan minimum tertentu . Uj adalah tegangan yang diperlukan untuk mencapai kurva tegangan datar seperti gambar 2.106

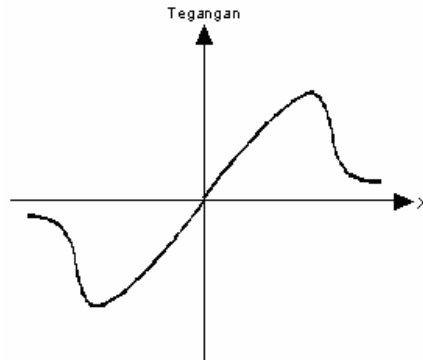


Gambar 2.106 Elektron berdifusi dari silikon ke logam

Difusi ini mengakibatkan terjadi penipisan elektron dekat sambungan pada bahan n dan cenderung bermuatan positif.

Bila daerah ini menjadi cukup lebar tegangan positif ini menghalangi difusi lebih lanjut. Dengan kata lain bila tegangan positif cukup besar dikenakan dari luar, seperti Gambar 2.107.



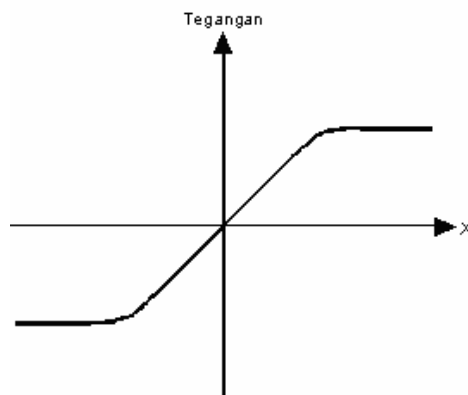
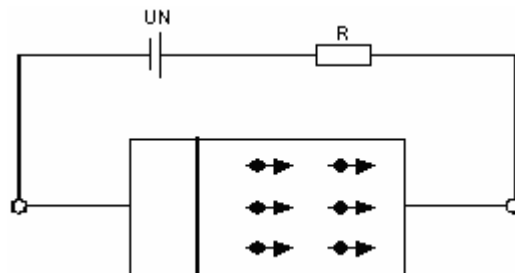


Gambar 2.107 Tegangan positif menghalangi difusi lebih lanjut

Elektron pada daerah n melihat tegangan positif pada sisi metal dan elektron mengalir. Pembaca harus mengerti tujuan dibuatnya kontak penyearah, seperti yang dijelaskan diatas dan kontak ohmic, yang dibuat untuk menghubungkan daerah atau ke rangkaian luar.

, (dalam suatu dioda PN silikon tegangan U_j sekitar 0,65 V).

Penambahan nilai kecil tegangan UN diatas U_j mengakibatkan perubahan arus yang besar. Bila tegangan yang diterapkan pada dioda dibalik sehingga bahan N dibuat positif terhadap platina (atau bahan P) , tegangan pada sisi N dari sambungan bertambah (Gambar 1 (c)).



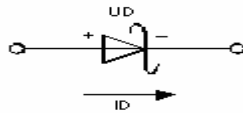
Gambar 2.108 Tegangan yang diterapkan pada dioda dibalik.

Bila dioda Schottky dioperasikan dalam mode maju , arus elektron bergerak dari silikon type N

Karena elektron bergerak melalui logam berimpedansi rendah waktu rekombinasi τ sangat kecil , bernilai sekitar 10 ps.

Ini beberapa kali lebih kecil dari yang didapati pada dioda silikon PN.

Simbol rangkaian untuk dioda Schottky adalah Gambar (d)



Gambar 2.109 Dioda Schottky dioperasikan dalam mode maju.

Dioda mempunyai karakteristik U_i seperti dioda PN biasa kecuali bahwa tegangan dadal maju dari dioda adalah $U_f \approx 0,3$ Volt.

Dioda Schottky \rightarrow Dioda yang tidak mempunyai LAPISAN PENGOSONGAN atau PENYIMPANAN MUATAN \rightarrow ia dapat dioperasikan NYALA DAN MATI lebih CEPAT dari pada dioda bipolar \rightarrow banyak digunakan sebagai RANGKAIAN SAKLAR . (SWITCHING)

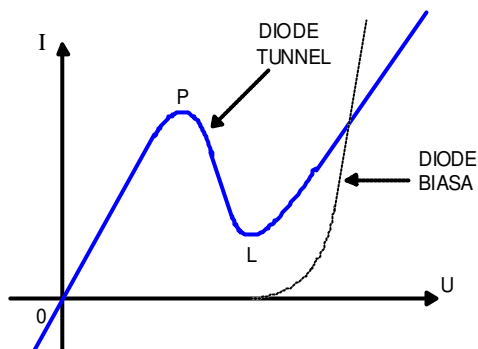
Dioda ini juga dapat digunakan untuk MENYEARAHKAN FREKUENSI DIATAS 300 MHz Dioda Schottky : biasanya mempunyai BATASAN TEGANGAN YANG RENDAH DAN WAKTU UNTUK OPERASI YANG CEPAT.

2.2.6. DIODA TUNNEL

Dioda Tunnel adalah dioda khusus yang di bentuk dari semikonduktor yang dapat membentuk daerah transisi menjadi sangat sempit .

Dioda Tunnel masih dalam kondisi normal apabila di gunakan pada gelombang micro , penguat , oscilator dan pembalik frekwensi .

Dioda Tunnel mempunyai karakteristik perlawanan negatif , yaitu pada pemberian tegangan muka maju, apabila tegangan muka maju ditambah secara perlahan-lahan, arus maju turut bertambah pula , lihat gambar 1 . Setelah sampai di titik penambahan tegangan muka maju tidak menyebabkan arus di titik L , baru kemudian arus maju naik lagi .



Gambar 2.110 Karakteristik $I = f (U)$ Dioda Tunnel

Karakteristik perlawanan negatif ini terjadi bila tegangan muka majunya antara 200 sampai 300 mili volt .

Dioda Tunnel ini dapat digunakan pada rangkaian osilator dengan karakteristik perlawanan negatifnya dapat mengembalikan tenaga yang hilang pada saat digunakan untuk berosilasi .

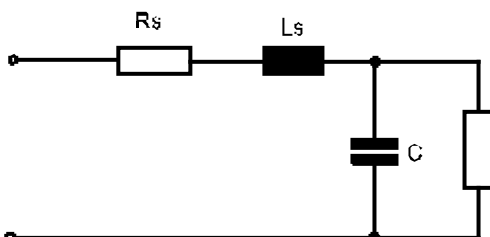
PEMAKAIAN DIODA TUNNEL

Salah satu pemakaian Dioda Tunnel adalah sebagai peralatan pensaklaran pada kecepatan yang sanga tinggi , dikarenakan proses penerowongan , yang pada dasarnya terjadi pada kecepatan cahaya .

Waktu respon dibatasi hanya kapasitansi dioda yang mana ada pada tingkat 1 sampai 10 pf, memungkinkan pensaklaran terjadi (dari suatu titik awal kesuatu titik dekat puncak) dengan waktu naik serendah 22 p second .(waktu naik adalah waktu yang diperlukan untuk berubah dari level 10% ke 90%)

Dioda Tunnel juga di gunakan sebagai alat penyimpan memori logik .

Rangkaian equivalent untuk sinyal kecil Dioda Tunnel ditunjukkan pada gambar 3.



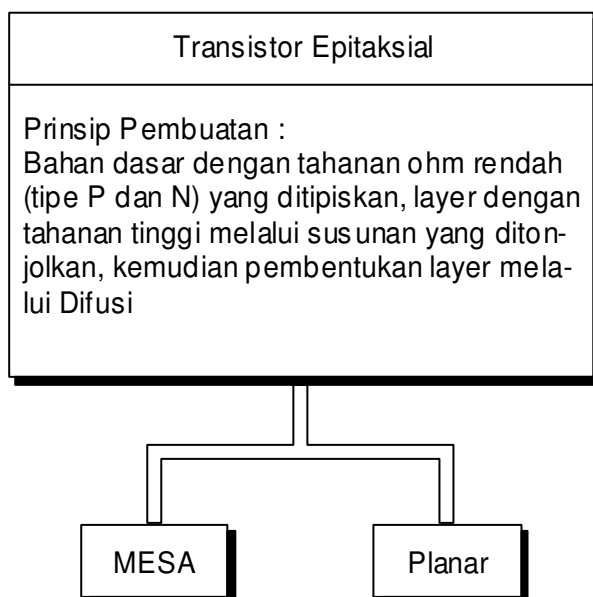
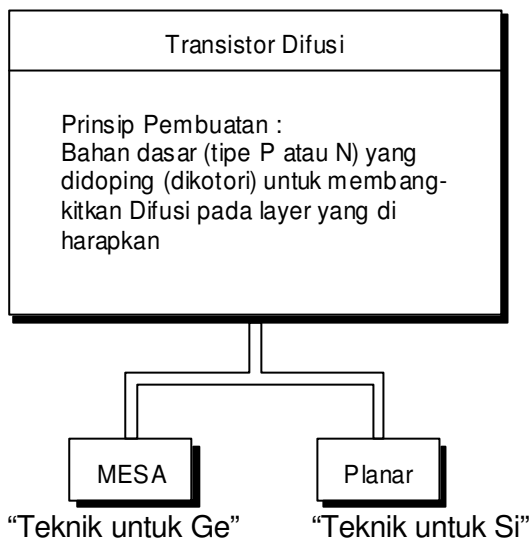
Gambar 2.111 Rangkaian equivalent sinyal kecil Dioda Tunnel

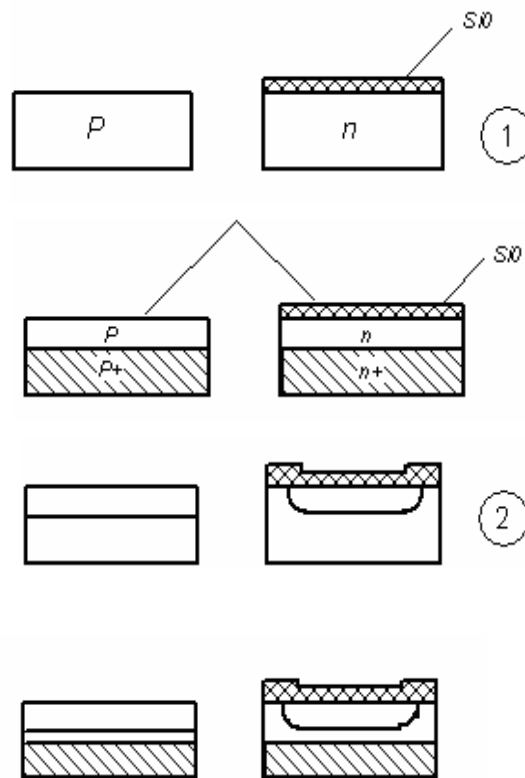
R_s biasanya 1 sampai dengan 5 ohm , L_s dari 0,1 sampai 4 nH, dan C dari 0,35 sampai 100pf .

Induktansi dan kapasitansi yang sangat rendah memungkinkan Dioda Tunnel di gunakan di dalam osilator microwave pada frekwensi didalam tingkat 10 GHz .

Resistansi negatif dari Dioda Tunnel memungkinkan Dioda Tunnel di gunakan didalam osilator relaksasi.

2.2.7. TRANSISTOR





Gambar 2.112 Prinsip pembuatan Transistor

2.2.7.1. PROSES PEMBUATAN

Contoh Langkah proses pembuatan

Transistor - epitaksial - planar .

1. Pada kristal N - Si dengan tahanan ohm rendah (dengan doping tinggi) ; selanjutnya di gunakan pada lapisan tipis layer N - epitaksial dengan tahanan ohm tinggi . Dengan demikian layer pengaman di tengah oksidasi (Si O)
2. Di buatan sebuah jendela (jendela basis) dalam layer Si O , dikotori dengan B (Valensi 3 → tipe P pada layer penghantar basis) , kemudian di tumbuhi / ditutupi layernya dengan Si O .
3. Jendela emiter ditentukan dahulu dalam layer Si O lalu didopping (dikotori) dengan phosphor → tipe N - menjadi layer penghantar emiter , lalu ditimbuni lagi dengan layer Si O .
4. Menentukan jendela untuk tempat kedudukan kontak , lalu kontak metal di tempatkan → akhirnya kutub kolektor .

Penempatan akhir :

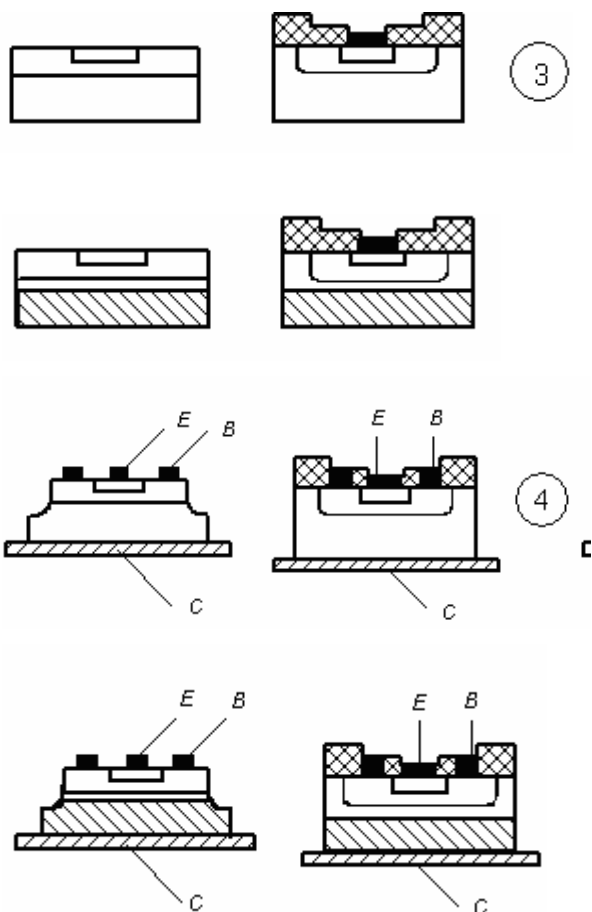
- Perencanaan kotak
- Pemasukan , mengupas dengan plastik buatan . (Pembuatan miniatur)

Sifat - sifat

Transistor - epitaksial - Penguatan tinggi

- kapasitas kecil
- frekuensi cut-off tinggi
- Tegangan beban (UCE) rendah
- batasan modulasi (Pencampuran yang saling mempengaruhi) besar
- arus beban kecil pada waktu hubung

pendek



Gambar 2.113 Langkah proses pembuatan Transistor

2.2.7.2. PENGARUH TEMPERATUR

Suatu semi konduktor pada kondisi temperatur yang besar menghantar sendiri Ketentuan dasar :

Temperatur bertambah, arus menjadi lebih besar . Temperatur berkurang, arus menjadi lebih kecil

Ketentuan itu berlaku bila suatu semi konduktor memperoleh panas dari dalam semi konduktor itu sendiri dan menerima panas dari luar. Hasil dari uraian di atas, kurva karakteristiknya .

Temperatur itu mempunyai pengaruh pada arus kolektor I_C (berturut-turut I_E), langsung berpengaruh pula pada

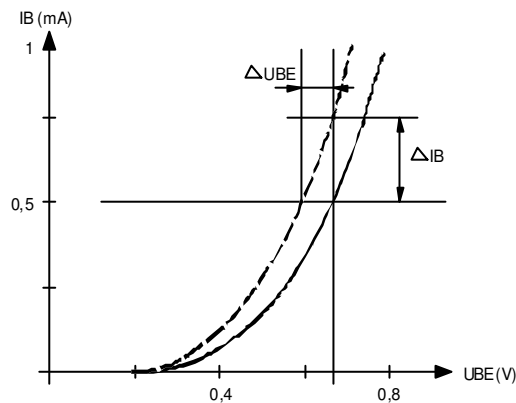
- Arus bocor kolektor I_{CEO} , (Arus Kolektor-Emitor pada keadaan Basis terbuka)
- Penguatan arus searah (berturut-turut A)

Hal diatas adalah I_{CE} pada $+AV \rightarrow$ lebih besar

Hal diatas adalah I_{CE} pada $-AV \rightarrow$ lebih kecil

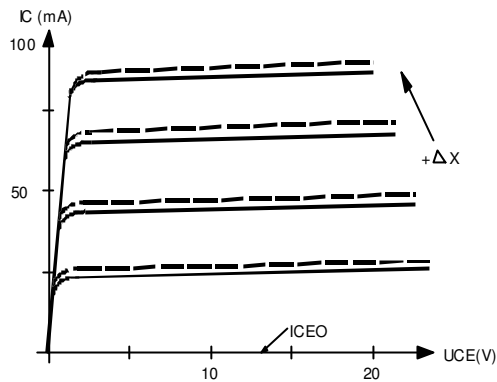
Akibatnya \rightarrow penghalauan / pengendalian temperatur harus di usahakan .

2.2.7.3. KURVA KARAKTERISTIK



Karakteristik Masukan

(Input Characteristic)



Karakteristik Keluaran
(Output Characteristic)

Gambar 2.114 Kurva karakteristik transistor

Pengaruh Temperatur terhadap U_{BE}

Atas dasar pengalaman harganya di tentukan (berlaku) $\Delta U_{BE}/^{\circ}\text{C} \approx 2 \text{ m V}/^{\circ}\text{C}$

Setiap temperatur 1°C tegangan Basis-Emitor sekitar 2 m V

Contoh : Berapa besar perubahan tegangan keluaran (tegangan Output) U_{CE} , jika $V = 10^{\circ}\text{C}$, $V = 50$, merupakan penguatan tegangan

$$\Delta U_{CE} = V \cdot \Delta U_{BE} \cdot \Delta V = 50 \cdot 2 \cdot 10 \text{ (m V)}$$

Penyelesaian :

$$\Delta U_{CE} = 1,000 \text{ m V} = 1 \text{ V}$$

Pengaruh temperatur ini diatasi dengan mereduksinya secara rangkaian teknik (seperti Kopling pelawan)

Sifat Frekuensi

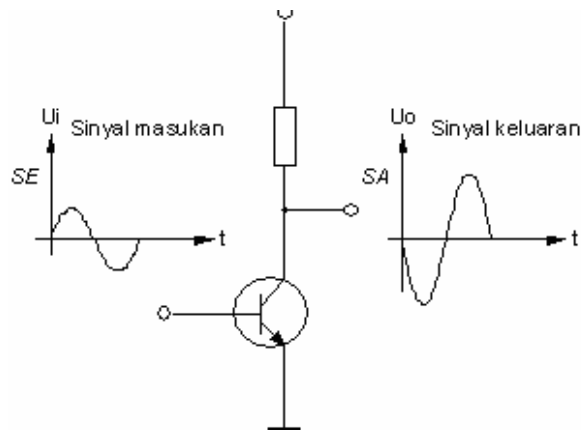
→ Bersifat dinamis (berubah-ubah)

Sifat pada frekuensi tinggi

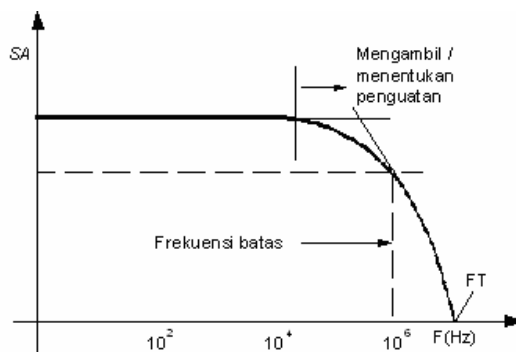
- Penguatan arus berkurang Amplitudo keluaran
- Tahanan keluaran (tahanan output) atau impedansi berkurang keluaran berkurang
- Mempengaruhi jalannya waktu (periode) pengisian muatan Pergeseran fasa pada masukan dan keluaran
- Mengakibatkan perubahan pembuangan muatan kapasitas C

Pengertian : Suatu frekuensi, yang besarnya tertentu mempunyai harga penurunan pada frekuensi yang lebih rendah disebut : Frekuensi batas F_G

Frekuensi batas : frekuensi dengan : $\frac{\sqrt{2}}{2} \approx 0,707$ mempunyai penurunan sebesar 3 dB (turun 3 deci - Bell)



Gambar 2.115(a) Gambaran secara grafik :



Gambar 2.116(b) Jalannya amplitudo :

Frekuensi batas bisa di pertinggi oleh bangunan konstruksi
 yaitu → Lapisan basis yang tipis , lapisan kolektor yang kecil
 → Transistor frekuensi tinggi

Harga karakteristik kerja :

Merupakan sifat-sifat yang dimiliki oleh transistor, misalnya penguat arus (yang di tentukan oleh β_c) frekuensi batas dsb .

Harga batas kerja :

Harga batasan-batasan maksimum (Seperti : $I_{C \max}$, $U_{CE \max}$, $P_{V \max}$)

yang bila berlangsung melampaui waktu yang di tentukan , akan terjadi kerusakan / kehancuran elemen

Temperatur maksimum dari lapisan penghalang dan rugi daya

Temperatur lapisan kolektor hendaknya tidak dilampaui.

$$V_{J \max} \approx 200^\circ \text{C}$$

Lapisan penghalang menjadi panas terutama karena adanya pemanasan sendiri, maksudnya karena adanya rugi daya P_V .

Harga batas karakteristik kerja :

Merupakan sifat-sifat yang dimiliki oleh transistor, misalnya penguat arus (yang ditentukan oleh I_C) frekuensi batas dsb.

Harga batas kerja :

Harga batasan-batasan maksimum (Seperti : $I_{C\max}$, $U_{CE\max}$, $P_{V\max}$) yang bila berlangsung melampaui waktu yang ditentukan, akan terjadi kerusakan / kehancuran elemen.

Temperatur maksimum dari lapisan penghalang dan rugi daya

Temperatur lapisan kolektor hendaknya tidak dilampaui.

$$V_{J\max} \approx 200^\circ \text{C}$$

Lapisan penghalang menjadi panas terutama karena adanya pemanasan sendiri, maksudnya karena adanya rugi daya P_V

$P_V U_{CE} \cdot I_C$ atau P_O (disipasi).

Saling bergantung $P_V \rightarrow V_J \rightarrow V_J : V$ adalah sebanding P_V ! $V_{J\max}$ tidak dilampaui untuk membuat keadaan aman, caranya dengan mengeliminasi panas \rightarrow Pendingin antara, alat pendingin \rightarrow reduksi rugi daya.

Disini masih dapat terjadi rugi hantaran maksimum yang diijinkan dari keterkaitan dan ketergantungan dengan panas. Karena \rightarrow Pernyataan / Penentuan rugi daya maksimal yang diijinkan, $P_{V\max}$, juga tergantung pada temperatur luar.

Dua kasus rugi daya (masing-masing terlihat dari lembar data)

$P_{V\max}$ yang berkaitan dengan temperatur sekitar.

\rightarrow pada transistor-transistor kecil

– $P_{V\max}$ yang berkaitan dengan pemanasan

\rightarrow transistor-transistor besar (harus ada alat pendingin !)

2.2.7.4. PENENTUAN RUGI :

Rugi daya yang berkaitan dengan temperatur sekitar :

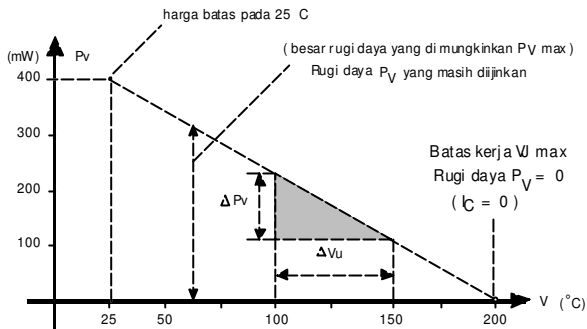
Temperatur sekitar $\rightarrow V_U$ atau, Tamb tamb

(ambient = daerah sekitar)

Petunjuk rugi daya maksimum untuk $V = 25^\circ \text{C}$

(Temperatur pemakaian)

Analisa grafis : P_V dan ketergantungannya dengan V_U



Gambar 2.117 P_V dan ketergantungannya dengan V_U

Rugi daya yang diijinkan dikurangi dengan pertambahan temperatur adalah linier.

$$\text{Yaitu : } \frac{\Delta V_U}{\Delta P_V} = \text{Konstan} \rightarrow \text{tahanan termis } R_{\text{thju}}$$

$$\text{Juga : } R_{\text{thju}} = \frac{\Delta V_U}{\Delta P_V} = \frac{V_{j \text{ max}} - V_U}{P_V - 0} \\ = \frac{V_{j \text{ max}} - V_U}{P_V}$$

$$\text{Dengan demikian : } P_V = \frac{V_{j \text{ max}} - V_U}{R_{\text{thju}}} = \frac{\Delta V}{R_{\text{thju}}}$$

hubungan ohm tentang aliran panas

$P_V = U_{CE} \cdot I_C$ P_V atau P_O (disipasi).
Saling bergantung $P_V \rightarrow V_J \rightarrow V_J : V$ adalah sebanding P_V ! $V_{J \text{ max}}$ tidak di lampau untuk membuat keadaan aman, caranya dengan mengeliminasi panas \rightarrow Pendingin antara, alat pendingin \rightarrow reduksi rugi daya.

Disini masih dapat terjadi rugi hantaran maksimum yang diijinkan dari keterkaitan dan ketergantungan dengan panas. Karena \rightarrow Pernyataan / Penentuan rugi daya maksimal yang diijinkan, $P_{V \text{ max}}$, juga tergantung pada temperatur luar.

Dua kasus rugi daya (masing-masing terlihat dari lembar data)

- $P_{V \text{ max}}$ yang berkaitan dengan temperatur sekitar .
 \rightarrow pada transistor-transistor kecil
- $P_{V \text{ max}}$ yang berkaitan dengan pemanasan
 \rightarrow transistor-transistor besar (harus ada alat pendingin !)

Penentuan rugi daya yang diijinkan :

Rugi daya yang berkaitan dengan temperatur sekitar :

Temperatur sekitar $\rightarrow V_U$ atau , Tamb tamb

(ambient = daerah sekitar)

Petunjuk rugi daya maksimum untuk $V = 25^{\circ}C$

(Temperatur pemakaian)

Contoh : Diketahui temperatur sekitar $V_U = 25^{\circ}C$, temperatur lapisan penghalang maksimal

$V_{j \max} = 200^{\circ}C$, tahanan termis $R_{thju} = 0,44^{\circ}C/mW$

Berapa besar rugi daya yang diijinkan :

Jawab : $P_V = \frac{\Delta V}{R_{thju}} = \frac{200 - 25}{0,44} \text{ (mW)} \approx 400 \text{ mW}$ Data lain

yang menentukan besar tahanan termis $R_{thju} \rightarrow$ daya hantar termis

$$\frac{I}{R_{thju}}$$

$$\frac{1}{R_{thju}} \left[\frac{mW}{^{\circ}C} \right] \Rightarrow \text{Pengurangan rugi daya tiap } ^{\circ}C$$

$$\text{Dengan begitu : } P_V = \frac{I}{R_{thju}} \cdot \Delta V$$

Contoh : Hitunglah rugi daya yang diijinkan pada suatu temperatur daerah sekitar

$V_U = 60^{\circ}C$ dari transistor type 2 N2904

Jawab : Daya hantar = $3,34 \text{ mW}/^{\circ}C$

$$P_V \max = 600 \text{ mW} \quad V_j \max = 200^{\circ}C$$

$$P_V = \frac{1}{R_{thju}} \Delta V = 3,43(200 - 60) \left[\frac{mW \cdot ^{\circ}C}{^{\circ}C} \right]$$

$$= 3,43 \cdot 140$$

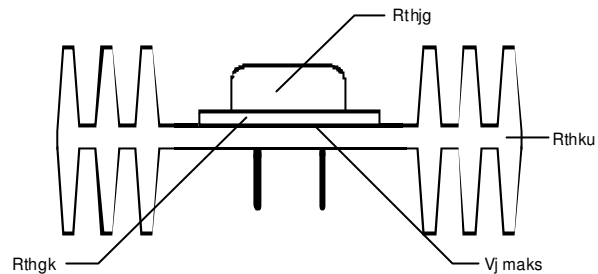
$$P_V = 480 \text{ mW}$$

Pemakaian rugi daya pada temperatur kotak / bodi :

Temperatur bodi V_G atau T_C , t_C (Case = kotak)

Data rugi daya maksimum pada : $V_G = 25^{\circ}C, 45^{\circ}C$ (P_V pada $V_C = 25^{\circ}C$ adalah data yang semu) Alat pendingin harus pada panas $V_U = 25^{\circ}C$ (

kalau dapat dipertahankan ini merupakan kondisi kerja yang sangat baik)



Gambar 2.118 Pendingin

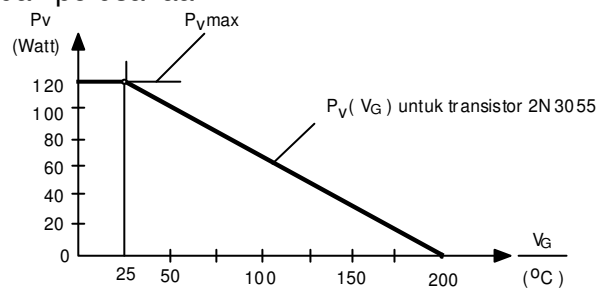
Tahanan termis bersama :

$$R_{th} = R_{thjg} + R_{thgk} = R_{thku}$$

R_{thjg} = Data dalam lembar data transistor

R_{thgk} = Tahanan antara / Penyekat → kotak alat pendingin $0,1 - 0,3 \text{ } ^\circ\text{C/W}$; Pada isolasi listrik (Plat mika) sebesar $> 1 \text{ } ^\circ\text{C/W}$

R_{thku} = Tahanan profil pendingin → profil - daerah sekitar ; data dari perusahaan .

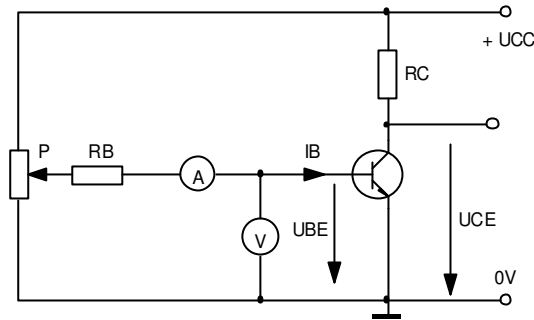


Gambar 2.119 Grafik : P_v fungsi V_G

Sifat listrik yang di maksud adalah kurva karakteristik transistor berupa suatu grafik yang memperlihatkan kaitan satu sama lain dari parameter - parameter tertentu .

Dari kurva karakteristik , kita dapat mengetahui sifat-sifat transistor

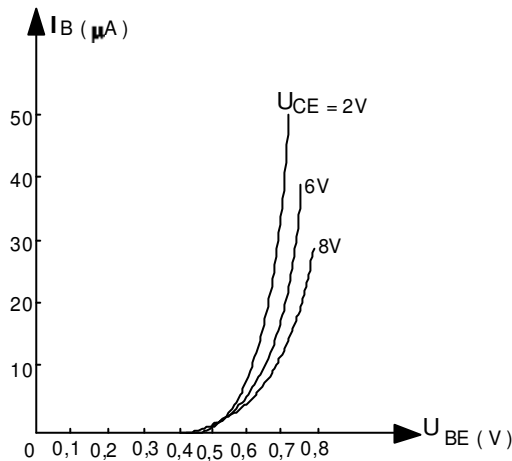
KURVA KARAKTERISTIK INPUT $I_b = f (U_{BE})$



Gambar 2.120(a) Rangkaian transistor dengan 1 Potensiometer

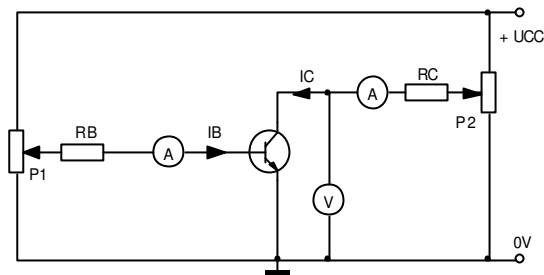
Pada gambar 2.120(a) , besarnya I_B dapat di kontrol dengan U_{BE} . Untuk mengubah-ubah U_{BE} di gunakan potensio meter P . Resistor R_B berfungsi sebagai pembatas arus I_B .

Gambar dibawah ini (Gambar 2.120(b)) memperlihatkan kurva karakteristik input $I_B = f (U_{BE})$



Gambar 2.120(b) kurva karakteristik input $I_B = f (U_{BE})$

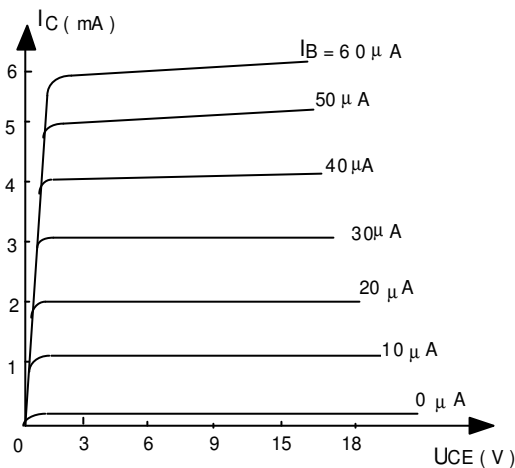
Diatas tegangan 0,7 V kenaikan U_{BE} yang kecil , menyebabkan kenaikan yang relatif besar pada I_B . Tetapi dibawah 0,6 V , kenaikan yang sama dari U_{BE} menyebabkan kenaikan sangat kecil pada I_B . Pada beberapa harga U_{CE} tertentu, kurva mengalami sedikit penggeseran .



Gambar 2.121(a) Rangkaian transistor dengan 2 Potensiometer

Lihat gambar 2.121(a). Pada harga I_B tertentu I_C ditentukan oleh U_{CE} . Besarnya U_{CE} dapat diubah-ubah dengan potensiometer P_2

Gambar 2.121(b), memperlihatkan kaitan antara arus output I_C dan tegangan output U_{CE} pada $I_B = \text{Konstan}$



Gambar 2.121(b) Hubungan arus output I_C dengan tegangan output U_{CE} pada $I_B = \text{Konstan}$

Pada $U_{CE} 0,1 \text{ V} - 0,3 \text{ V}$ arus I_C mencapai harga optimum. Dalam hal ini katakan transistor bekerja pada kondisi saturasi.

Pada $I_B = 0$, $I_C = I_{CEO} = 0$ dan $U_{CE} = U_{CE}$. Dalam hal ini transistor bekerja pada kondisi cut off (tidak menghantar)

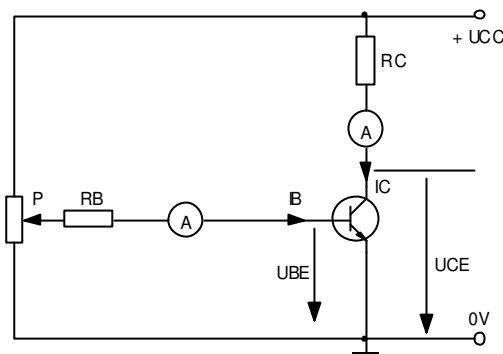
KURVA BESARAN MASUKAN DAN KELUARAN

Kaitan antara arus basis I_B dan arus kolektor I_C pada $U_{CE} = \text{konstan}$ disebut Forward Transfer Characteristic. I_C dapat di kontrol dengan U_{BE} demikian pula I_C . Dengan mengatur P_1 , U_{BE} , I_B dan I_C dapat diubah-ubah. (lihat gambar 2.122(a))

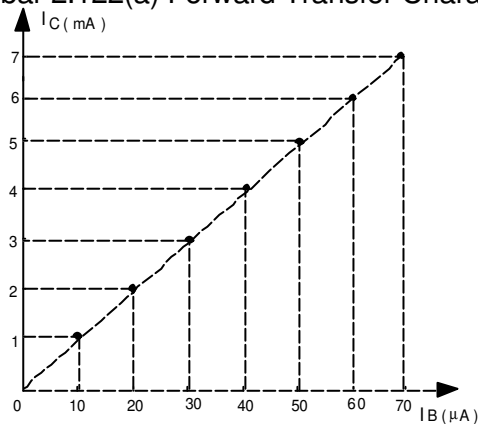
Sedangkan gambar 2.122(b) memperlihatkan hubungan I_B dan I_C . Setiap perubahan pada I_B menyebabkan perubahan pada I_C makin besar I_B , makin besar pula I_C .

Perbandingan $\frac{I_C}{I_B}$ di sebut faktor penguatan arus rangkaian common Emitter, di simbolkan dengan h_{FE} .

$$\text{Jadi : } \frac{I_C}{I_B} = h_{FE}$$



Gambar 2.122(a) Forward Transfer Characteristic



Gambar 2.122(b) Hubungan I_B dan I_C

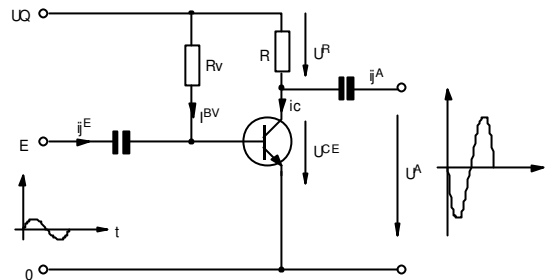
Hasil penguatan sinyal besar

(Pengendalian sinyal besar)

Penguat transistor dalam rangkaian emitor bersama :

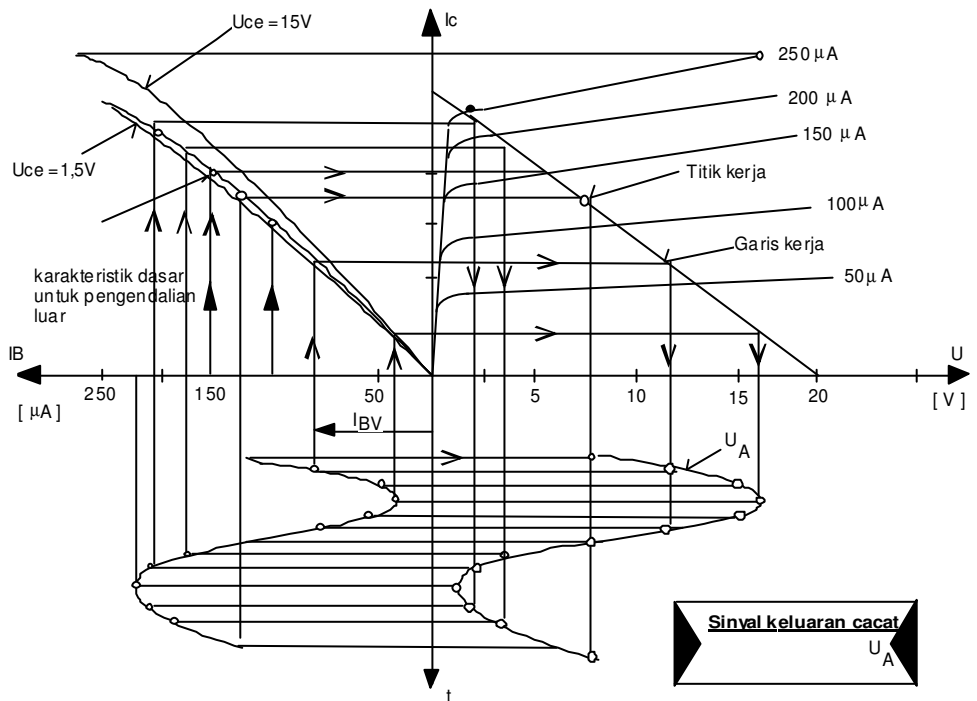
masukan : Arus bolak-balik

keluaran : Tegangan bolak-balik



Gambar 2.123(a) Pengendalian Sinyal Besar

Terjadilah untuk tegangan sinyal $\Delta U_R = - \Delta U_{CE}$
 Pertengahan R_v terdapat arus tetap \Rightarrow titik kerja



Gambar 2.123(b) Gambar Posisi Titik Kerja - Operasi Penguat

2.2.7.5. HUBUNGAN DASAR TRANSISTOR

Dari ketiga hubungan transistor, terdapat satu pola hubungan dimana rangkaian input setara atau sama dengan rangkaian output → rangkaian input → penguatan besar Rangkaian output → hasil penguatan besar

- Hubungan Basis

Hubungan Pemakaian bersama : basis

Besaran input : I_E , U_{EB}

Besaran output : I_C , U_{CB}

Perbandingan pembawa

$$\gamma = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_E}$$

simbol yang lain :

arus (mengenai titik kerja)

h_{21b} , β_b

h_{fb} , β

Perbandingan pembawa arus

simbol yang lain :

searah (besarnya relatif konstan)

$$A = \frac{I_C}{I_E}$$

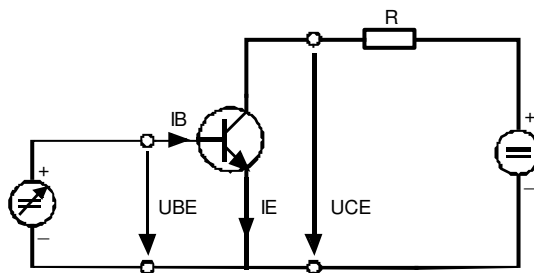
h_{FB} , H_{FB} , β_B

Dengan hubungan basis, besarnya tegangan diperluas, tetapi tanpa penguatan arus.

- Hubungan Emiter

Hubungan pemakaian bersama : Emiter

→ Pemakaian yang utama dalam beberapa rangkaian yang berbeda, Pemakaian secara universal.



Gambar 2.124 Hubungan Pemakaian Emiter Bersama

Besaran input : I_B , U_{BE}

Besaran out put : I_C , U_{CE}

Penguatan arus : dari basis (input) ke kolektor (output)

Perbandingan pembawa arus : $\frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$ (Penguatan arus)

adalah : $I_E = I_B + I_C$; $I_B = I_E - I_C \rightarrow \Delta I_B = \Delta I_E - \Delta I_C$

ataupun : $\Delta I_E = \frac{\Delta I_C}{\gamma}$

$$\Delta I_B = \frac{\Delta I_C}{\gamma} - \Delta I_C = \Delta I_C \left(\frac{1}{\gamma} - 1 \right)$$

Juga : $= \Delta I_C \left(\frac{1-\gamma}{\gamma} \right)$

$$\frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} = \frac{\gamma}{1-\gamma} \quad \text{Penguatan Arus}$$

penguatan arus $\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$ Simbol yang lain :

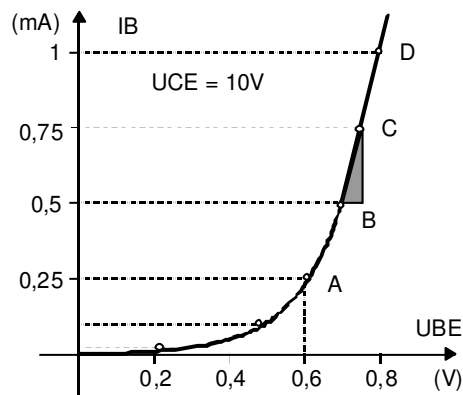
h_{FE} , H_{21e} , β_{FE}

Penguatan arus searah $B = \frac{I_C}{I_B}$ Simbol yang lain :

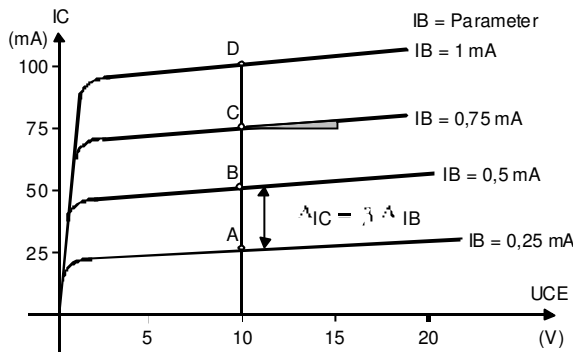
h_{FE} , H_{FE} , β_{FE}

Dengan hubungan emiter dimaksudkan untuk memperkuat tegangan dan arus !

$$\Delta U_{CE} = V \Delta U_{BE}$$

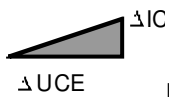


Gambar 2.125 Dioda dalam keadaan arah maju (forward)

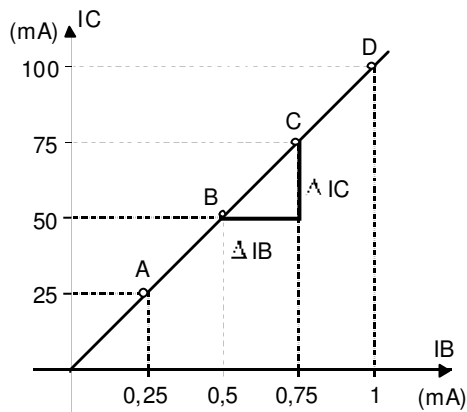


Gambar 2.126 Dioda dalam keadaan arah balik (reverse)

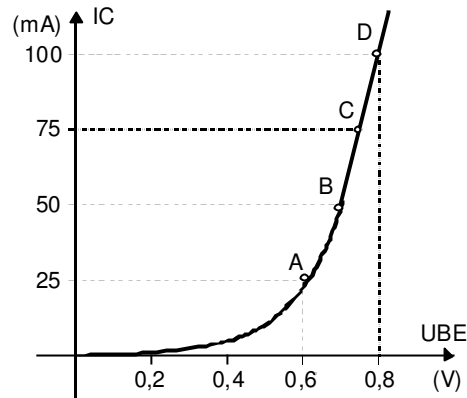
Tahanan out put : CE



$$r_{BE} = \frac{\Delta U_{CE}}{\Delta I_C}$$



Gambar 2.127 Grafik pengaturan arus (grafik pembawa arus)

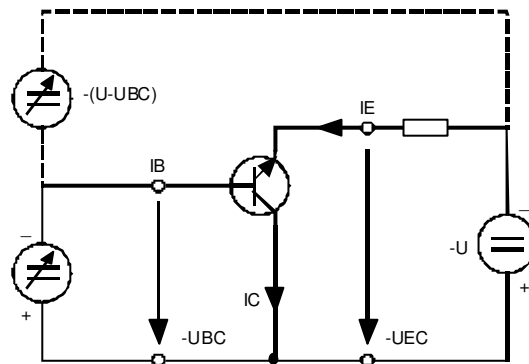


Gambar 2.128 Grafik pengaturan tegangan (grafik pembawa hybrid)

- Hubungan Kolektor (cc) atau emiter penghasil

Hubungan pemakain bersama : kolektor

→ berlawanan fungsinya (sifat - sifatnya) dengan hubungan basis .



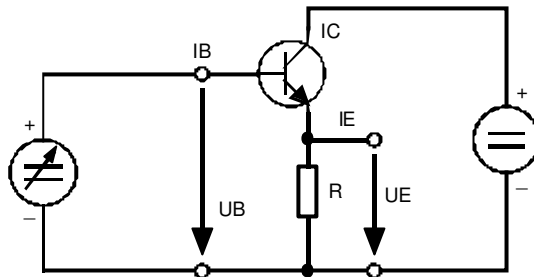
Gambar 2.129 Hubungan pemakaian kolektor bersama

Besaran input : I_B , U_{BE}

Besaran output : I_E , U_{EC}

Pembawa arus : dari basis (input) ke emiter (out put)

Rangkaian input 2 pengaturan dari 1 memberikan dan mempunyai fungsi hubungan yang sama → (hal ini) berkaitan dengan kesamaan polaritas dari rangkaian input dan out put sebagaimana pada hubungan basis dan emiter .



Gambar 2.130 Hubungan basis dan Emiter

Perubahan pada U_E - sama dan diikuti \rightarrow perubahan pada U_A

Pendekatan harga : Emiter mengikuti basis \rightarrow Emiter penghasil

harganya kembali : $I_E = I_B + I_C$

dan juga : $\Delta I_E = \Delta I_B + \Delta I_C$

Perbandingan arus pembawa : $\frac{\Delta I_E}{\Delta I_B}$

(Penguatan arus)

$$\text{Maka : } \frac{\Delta I_E}{\Delta I_B} = \frac{\Delta I_B + \Delta I_C}{\Delta I_B} = 1 + \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$$

dengan demikian penguatan arus :

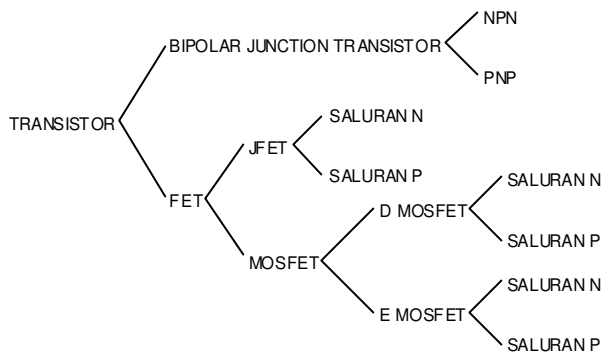
Hubungan kolektor atau emiter penghasil menyediakan kemungkinan besar terjadinya penguatan arus tetapi tanpa penguatan tegangan (pelemahan)

Tabel 2.31 Pendisain bersama (harga yang benar)

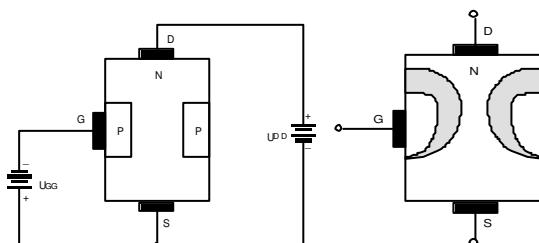
	Hubungan Emiter	Hubungan Basis	Emiter Penghasil
Penguatan Arus	Tinggi (100)	Rendah (1)	Tinggi (100)
Penguatan Tegangan	Tinggi (250)	Tinggi (200)	Rendah (0,95)
Tahanan Input	Cukup (600)	Rendah (50)	Tinggi (50 K)
Tahanan Out put	Tinggi (50 K)	Tinggi (1 M)	Rendah (100)

2.2.8. TRANSISTOR EFEK MEDAN (FET)

Keluarga Transistor (Semi Konduktor) :

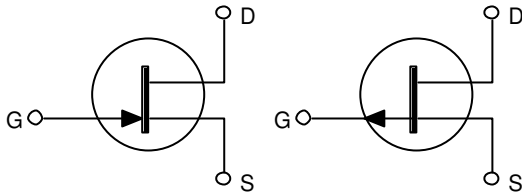


- ⇒ Gambar (1-a) ini menunjukkan struktur suatu FET saluran N. FET ini terdiri dari batang semi konduktor type N yang pada kedua sisinya diapit bahan semi konduktor type P.
- ⇒ FET memiliki 3 elektroda, yakni; Source (S), Gate (G), dan Drain (D). Antara (G) dan (S) dipasang tegangan U_{GG} yang merupakan reverse bias bagi gate (G)
- ⇒ Karena dioda antara (G) dan (S) mengalami reverse bias, maka timbulah Depletion Layer pada junction (lihat gambar 1-b)
- ⇒ Supaya terjadi aliran antara (S) dan (D) , maka antara kedua elektroda ini dipasang sumber tegangan (U_{DD}).
- ⇒ Besar kecilnya arus yang mengalir tergantung lebarnya Depletion Layer tadi.
- ⇒ Jika U_{GG} besar, Depletion Layer akan menjadi sedemikian lebarnya sehingga hampir menutup saluran antara (D) dan (S). Karena pada Depletion Layer tidak ada pembawa muatan, berarti bahwa jumlah pembawa muatan pada saluran menjadi kecil.
- ⇒ Jika U_{GG} kecil, Depletion Layer cukup tipis dan saluran antara (S) dan (D) cukup lebar, dengan demikian arus yang mengalir cukup besar. Jadi tegangan gate menentukan besarnya arus yang mengalir antara (D - S). Karena G dalam kondisi reverse bias, arus (G) dianggap sama dengan nol



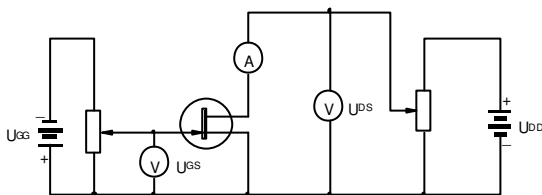
Gambar 2.131 Struktur J FET

Gambar 2.132 Menunjukkan simbol dari J FET bila ujungpanah dari gate menuju garis vertikal yang melambangkan saluran, J FET dengan saluran N (Gb. 132-a) sebaliknya bila ujung panah meninggalkan saluran maka J FET tersebut adalah J FET dengan saluran P.



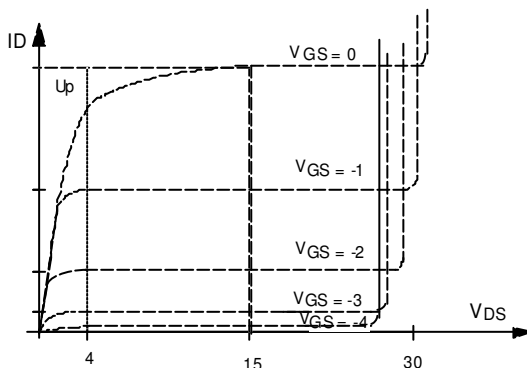
Gambar 2.132 Simbol dari J FET

Rangkaian Dasar membuat Karakteristik JFET.



Gambar 2.133 Rangkaian Dasar membuat Karakteristik JFET

Menganalisa Sifat Kurva JFET.Kanal N.



Gambar 2.134 Kurva JFET.Kanal N.

Pada gambar 2.134, menunjukkan bahwa makin negatif U_{GS} , makin kecil arus I_D

- Pada kondisi normal JFET selalu bekerja pada bagian karakteristik yang hampir mendatar, atau dengan kata lain JFET dioperasikan dengan tegangan drain yang lebih besar dari U_K (tegangan Knee) tetapi lebih kecil dari tegangan breakdownnya.
- Lihat gambar 1-b, maka U_{DS} harus dibuat lebih besar dari 4 Volt tetapi lebih kecil dari 30 V. Dan demikian pula U_{GS} harus diantara (0 s/d 4V)
- Tegangan Knee untuk lengkung karakteristik yang paling atas disebut pinch off voltage (U_p), jadi bila pada lembar data tertulis $U_p=4$ Volt, JFET tersebut harus dioperasikan dengan tegangan U_{DS} yang lebih besar dari 4 Volt.
- Dari gambar kurva 1-b, dapat kita lihat bahwa pada tegangan $U_{GS} = -4$ V arus drain hampir = 0. Nilai U_{GS} yang menyebabkan $I_D = 0$ ini disebut Gate Source Cut Off Voltage ($U_{GS} = \text{Off}$).
- U_p dan $U_{GS}(\text{off})$ memiliki hubungan penting yaitu nilai mutlak $U_p =$ nilai mutlak $U_{GS}(\text{off})$ hanya tandanya yang berbeda; $U_p = 4$ V

$$U_{GS_{\text{off}}} = -4 \text{ V}$$

Hal ini berlaku untuk semua JFET dan harus diingat bahwa pada lembar data JFET hanya akan disebutkan nilai ($U_{GS_{\text{off}}}$) saja.

- Lengkung karakteristik yang paling atas dibuat dengan tegangan gate = 0, keadaan ini disebut juga Sharted Gate Contition, karena sama dengan keadaan dimana gate dihubung singkat dengan source.

Arus drain sepanjang bagian yang hampir mendatar dianggap sama, walau tegangan drain diubah-ubah dan pada lembar data arus ini disebut I_{DSS} .

- Pada gambar kurva tampak bahwa jarak antara garis-garis mendatar itu tidak sama meskipun selisih U_{GS} untuk tiap-tiap garis tetap 1 Volt. Hal ini dikenal sebagai Square low behavior dan ini merupakan salah satu keunggulan FET dari Transistor BJT.

Harga Batas

Harga batas yang di maksud dalm permasalahan ini adalah suatu keterangan tentang data- data komponen Fet dan Mosfet yang harus di penuhi dan tidak boleh dilampaui batas maksimumnya , dan tidak jauh berkurang dari baras minimumnya .

Adapun harga batas tersebut antara lain memuat tentang :
 $V_{DS \text{ mak}}$, $I_D \text{ mak}$, $T_j \text{ mak}$, $P_{TOT \text{ mak}}$, $V_{GS}(\text{off}) / V_{GTH}$, $I_{DSS} / I_{D \text{ on}}$,
 G_{FS} , R_{DS} , C_{ISS} , C_{RSS} .

Keterangan tentang harga batas dan bagaimana cara menggunakannya pelajarialah keterangan dan penjelasan tentang Tabel di bawah ini :

Dengan mengetahui data harga batas tersebut, kita dapat menggantikan fet dengan Type yang lain , asal data harga batas dan typenya sama .

Judul kolom

V_{DS} MAX	= Rating tegangan drain source
I_D MAX	= Batas maksimum arus drain
T_J MAX	= Batas maksimum suhu pertemuan
P_{TOT} MAX	= Batas maksimum disipasi daya komponen
$V_{GS(off)}/V_{GTH}$	= Tegangan pinch-off ($V_{GS(off)}$) atau tegangan ambang (V_{GTH})
I_{DSS}/I_{DON}	= Arus jenuh drain
G_{FS}	= Traskonduktansi pada arus drain jenuh
R_D	= Resistansi drain-source pada arus drain jenuh
C_{ISS}	= Kapasitas masukan pada gate
C_{RSS}	= Kapasitas umpanbalik pada drain

SATUAN

A	= Apere
C	= Derajad Celcius
mA	= Miliampere
mn	= Minimum
mS	= MiliSiemen (mili-mho atau mA/V)
mWC	= Miliwatt, kemasan pada 25° C
mWF	= Miliwatt, udara bebas 25° C
mWH	= Miliwatt, dengan heatsink, suhu lingkungan 25° C
mx	= Maksimum
P	= Pikofarad (mengacu pada C_{DSS} dan C_{RSS})
S	= Siemen (mho atau Amp/Volt)
tp	= Typical
μ A	= Mikroampere
μ S	= MikroSiemen (μ mho atau μ A/V)
V	= Volt
WC	= Watt, kemasan pada 25° C
WF	= Watt, udara bebas 25° C
WH	= Watt, dengan heatsink, suhu lingkungan 25° C

kalau satuan muncul ditengah-tengah nilai, hal ini menunjukkan posisi koma desimal; misalnya 3P5 = 3,5P = 3,5 pikofarad, RO 15 = 15 mohm = 0,015 ohm

Kode kolom 'Package & Pinout'

Penjelasan lebih lanjut mengenai sistem dan gambar yang berhubungan diberikan dalam penandaan kelompok susunan kaki

Tiga huruf yang terdapat pada kolom ini digunakan untuk menjelaskan penggunaan dalam terapan. Kode dibedakan untuk terapan pada sistem industri, konsumen dan terapan khusus.

1. *Terapan industri (huruf pertama A, R, S, U atau V)*

(Huruf pertama)	(Huruf kedua)	(Huruf ketiga)
A = Audio	H = Arus tinggi	A = Amplifier
I = Industri	L = Arus rendah	B = Bidirectional
R = RF	M = Arus menengah	C = Chooper
S = SHF		E = Tegangan ekstra tinggi
U = UHF		G = Pemakaian Umum
V = VHF		H = Tegangan tinggi
		L = Bocoran rendah
		N = Noise rendah
		S = Sakelar
		V = Resistansi Variabel

2. *Terapan konsumen (huruf pertama Fatau T)*

FRH = Radio AM/FM, pemakaian umum, penguatan menengah
FRM = Radio AM/FM, pemakaian umum, penguatan menengah
FVG = FM dan VHF (TV), pemakaian umum
TIA = TV, penguat IF
TIG = TV, penguat IF, penguatan terkontrol
TLH = TV, output horizontal (line), tegangan tinggi
TLM = TV, output horizontal (line), tegangan medium
TLE = TV, output horizontal (line), tegangan ekstra tinggi
TUG = TV, penguat UHF, penguatan terkontrol
TUM = TV, pencampur UHF
TUO = TV, osilator UHF
TVE = TV, output horizontal (line), tegangan ekstra tinggi
TVH = TV, output horizontal (line), tegangan, tinggi
TVM = TV, output horizontal (line), tegangan medium

3. Terapan khusus

DUA = Pasangan amplifier dual atau diferensial

MPP = Pasangan jodoh (matched)

PHT = Komponen foto

QUA = Komponen quad (X4)

SPC = Khusus

Kolom kode ‘Manufactures’

Kode tiga yang menunjukkan pabrik pembuat. Arti kode secara lengkap di berikan pada Lampiran D. (‘OBS’ menunjukkan jenis absolut), atau pabrik yang memberikan data untuk pengisian tabel dalam buku ini

Untuk memahami dari informasi yang terdapat didalam tabel , dibawah ini di berikan penjelasan secara rinci

TYPE NO.	CONSTRUCTION	PACKAGE & PINOUT	V _{DS} MAX	I _P MAX	T _J MAX	P _{TOT} MAX	V _{GS(OFF)} OF V _{GS(TH)}	I _{DSS} OF I _{D(ON)}	G _{rs}	R _{DS(ON)} MAX	C _{iss} MAX	C _{rss} MAX	USE	MINF	SUBTANSI
NOMOR TYPE SECARA ALFABETIS															PIRANTI PENGGANTI YANG MUNGKIN, ATAU CATATAN PABRIK PEMBUAT, ATAU PABRIK YANG MEMBERIKAN DATA UNTUK BUKU INI. LIHAT DAFTAR PABRIK PADA LAMPIRAN D KODE YANG MENUNJUKKAN APLIKASI YANG DI SARANKAN LIHAT PENJELASAN DI BALIK HALAMAN INI KAPASITAS UMPAN BALIK DRAIN GATE MAKSIMUM, (UMUMNYA SEKITAR 0,5_0,66 MAKS) - DINYATAKAN DALAM PIKOFARAD (P) ATAU NANO-FARAD (N) *KAPASITAS INPUT GATE MAKSIMUM (UMUMNYA - SEKITAR 0,5_0,66 MAKS) DI NYATAKAN DALAM PIKOFARAD (P) ATAU NANO-FARAD (N)
D = DEPLETION E = ENHANCEMENT J = JUNCTION GATE M = MOSFET N = KANAL N P = KANAL P X = DEPLENENHANCET			UNTUK INFORMASI SUSUNAN KAKI DAN STYLE KEMASAN MENGACU PADA LAMPIRAN B			TEGANGAN DRAIN SOURCE MAKSIMUM YANG DIZINKAN			ARUS DRAIN KONTINU MAKSIMUM YANG DIZINKAN			SUHU PERTEMUAN MAKSIMUM YANG DIZINKAN			
'F' = UDARA BEBAS PADA 25 °C; "C" = CASE PADA 25 °C 'H' = UDARA TERBUKA PADA 25 °C DENGAN HEAT SINK TERHUBUNG KE PIRANTI			V _{GS(OFF)} = TEGANGAN PINCH OFF (TYPE DEPLETION) ATAU V _{GS(TH)} = TEGANGAN AMBANG (TYPE ENHANCEMENT), DINYATAKAN DALAM VOLT (V) DENGAN "mx" = MAX; "mn"; = MIN; "tp" = TINGKAL, DAN "/" = RANGE			ARUS DRAIN "ON" DENGAN GATE TERHUBUNG KE SOURCE (DELPECTION) ATAU KE DRAIN (ENHANCEMENT)			RESISTANSI "ON" DRAIN-SOURCE MAKSIMUM, DINYATAKAN DALAM OHM (R) TRANSKONDUKTANSI PADA ARUS BIAS MAKSIMUM, DINYATAKAN DALAM SIEMENS (S)						

LAMPIRAN B

DIAGRAM SKETSA KEMASAN DAN IDENTIFIKASI KAKI

Penggambaran sketsa kemasan telah dikelompokkan, jika mungkin menggunakan standar "TO atau "SOT" dengan setiap kaki atau terminl diberi nomor. Mungkin terdapat sedikit perbedaan uluran antara satu pabrik dengan pabrik lainnya yang menggunakan kemasan standar , namun demikian tidak menyimpang jauh dari ukuran yang diberikan . Setelah melewati beberapa waktu, style kemasan berkembang untuk memenuhi permintaan teknologi baru dan produksi baru. Telah ditambahkan pula akhiran kepada style kemasan untuk menunjukkan varian, dan bahkan style telah berganti nama, misalnya TO3 menjadi TO204 dan TO92 menjadi TO226. Format kaki juga berubah, kalau dulu biasanya mencari komponen dalam kemasan TO92 yang susunan kakinya dirancang dalam style TO 18. Style ini sekarang tidak lagi mengikuti susunan kaki sebaris yang kai-kakinya dibentuk dalam format TO 18. Hal ini memungkinkan adanya perbedaan antara fisik dan ilustrasi yang terdapat pada lampiran ini.

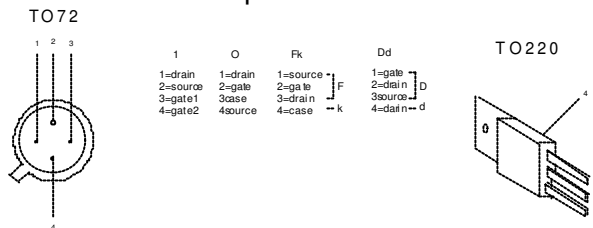
Rincian koneksi dijelaskan dengan menggunakan cara unik yang memungkinkan pemakai untuk membandingkan susunan kaki berbagai kponen untuk memilih, kompatibilitas. Komponen FET dasar atau Mempunyai tiga koneksi, karenanya hanya mempunyai enam kombinasi susunan kaki yang mungkin. Tabel yang terdapat dihalaman sebelah menjelaskan arti huruf kapital yang mengacu pada variasi enam susunan kaki dasar. Setiap penggambaran sketsa menunjukkan kaki 1 dan kaki-kaki berikutnya. Huruf tanda menunjukkan kaki 1 fungsi kaki 1 , 2, dan 3. Huruf tanda menyimpan urutan yang sama terlepas dari style kemasan. beberapa style kemasan tiga kaki dan rincian koneksinya digambarkan secara penuh di bawah ini.

Untuk komponen dengan empat terminal, nomor kombinasi ditingkatkan dengan sangat sejak kaki-kaki piranti sekarang mempunyai penandaan alternatif (Gate 1, Gate 2, Substrate, Case) sebagai tambahan kepada Source, Drain , dan Gate yang telah dijelaskan di muka. Untuk menjaga nomor varian sedapat mungkin bisa diatur , hanya tujuh varian yang mempunyai pena Gate 1 dan Gate 2 yang digunakan dalam buku ini, dan beberapa varian yang tidak bisa dimuat menggunakan cara yanag dijelaskan di bawah . Susunan kaki komponen lain dengan empat atau lebih terminal telah dijelaskan menggunakan satu dari enam huruf penandaan (A sampai F) ditambah huruf kecil untuk menunjukkan fungsi pena tambahan (substrate, drain, gate, dan k untuk case). Huruf pertama pada penandaan banyak huruf dimulai dari kaki 1 tanpa menghiraukan apakah huruf itu kapital atau tidak. System juga memungkinkan untuk menjelaskan piranti berisi sejumlah transistor. Beberapa contoh digambarkan dihalaman sebelah.

Ada beberapa style kemasan atau kombinasi penomoran dengan susunan kaki tidak bisa dijelaskan menggunakan cara sederhana diatas. Dalam kasus ini penggambaran kemasan telah dijelaskan dengan penandaan kaki.

Untuk sebuah nomor piranti, pabrik boleh jadi tidak menjelaskan secara penuh susunan kakinya, dan juga sebuah style kemasan yang mempunyai empat terminal boleh jadi hanya bisa dijelaskan dengan penandaan tiga terminal yang telah dijelaskan. Sangat sering, pengujian komponen untuk penggantian memiliki susunan kaki yang salah.

Penandaan kelompok susunan kaki



Gambar 2.135 Penandaan kelompok susunan kaki

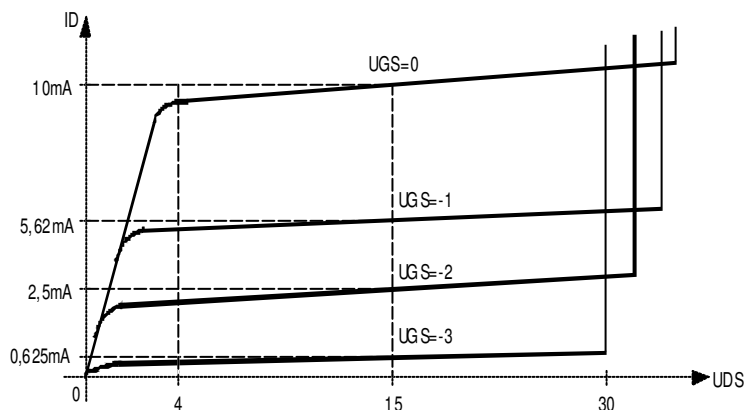
Misalnya dengan piranti TO220, tab (pin 4) secara normal terhubung ke pin 2, tetapi ternyata tab terhubung ke pin 3, begitu pula untuk piranti TO237.

barangkali tab tidak terhubung ke terminal sebab tab secara normal mengambang. Penyimpangan lain bisa terjadi ketika pabrik menyatakan bahwa substrate atau case piranti dihubungkan ke sebuah pin yang sudah dinyatakan sebagai source, drain, atau gate, sementara pabrik lain tidak menyatakan hubungan semacam itu. Pemecahan terhadap kejanggalan semacam itu di luar lingkup buku.

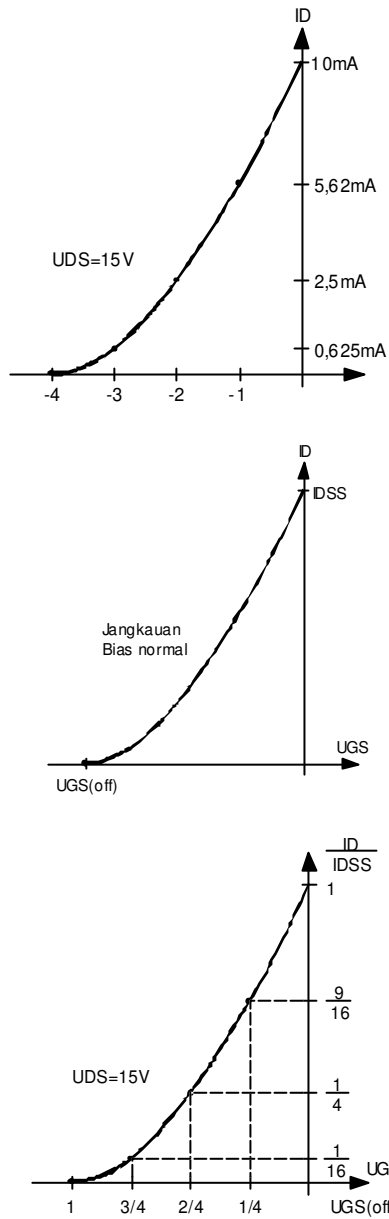
2.2.8.1. PARAMETER JFET

Arus Transkonduktansi menghubungkan arus output dengan tegangan input. Untuk JFET adalah grafik terhadap V_{GS} untuk transistor bipolar kurva transkonduktansi adalah grafik dari I_C terhadap V_{BE} .

Misalnya dengan membaca harga-harga dari I_D dan V_{GS} . Dalam gambar 1 kita di tunjukkan dalam Gambar Transkonduktansi seperti di tunjukkan dalam Gambar 2a Umumnya kurva Transkonduktansi dari suatu JFET akan terlihat seperti Gambar 2b.



Gambar 2.136. Set Tipikal dari Kurva Cepat



Gambar 2.137. Kurva Transkonduktansi

Sebagai contoh misalkan suatu JFET mempunyai I_{DSS} sebesar 4 mA dan $U_{GS(\text{off})}$ sebesar -2 V . Dengan substitusi ke dalam persamaan (1) di bawah

$$I_D = 0,004 \left(1 + \frac{U_{GS}}{2} \right)^2 \quad (1)$$

Dengan persamaan ini kita dapat menghitung arus cerat untuk setiap tegangan gerbang dalam daerah aktif . Banyak lembar data tidak memberikan kurva cerat atau kurva transkonduktansi . Tetapi anda memperoleh harga dari I_{DSS} dan $U_{GS(off)}$. Dengan substitusi harga-harga tersebut ke dalam persamaan 1

anda dapat menghitung arus cerat untuk setiap tegangan gerbang .

Hukum kuadrat (square Law) adalah nama lain dari parabolik . Inilah sebabnya mengapa JFET sering di sebut piranti hukum kuadrat (square Law device) . Karena alasan yang akan di bahas kemudian , sifat hukum kuadrat memberikan keuntungan lain bagi JFET di atas transistor bipolar dalam rangkaian yang di sebut *penyampur* (mixer) .

Kurva Transkonduktansi yang Dinormalisasi

Kita dapat mengatur kembali persamaan (1) untuk mendapatkan

$$\frac{I_D}{I_{DSS}} = \left[1 - \frac{U_{GS}}{U_{GS(off)}} \right]^2 \quad (2)$$

Dengan substitusi 0, $1/4$, $1/2$, $3/4$, dan 1 untuk $U_{GS}/U_{GS(off)}$, kita dapat menghitung harga-harga I_D / I_{DSS} yang bersangkutan yaitu 1 , $9/16$, $1/4$, $1/16$ dan 0 . Gambar 2c meringkas hasil-hasil tersebut ; hal ini berlaku untuk semua JFET .

Berikut ini adalah penggunaan praktis dari kurva dalam Gambar 2c . Untuk membias JFET dekat titik tengah dari jangkauan arusnya yang berguna kita perlu menimbulkan I_D yang besarnya mendekati setengah I_{DSS} . Rasio arus $9/16$ dekat dengan titik tengah dalam arus cerat ; karena itu kita dapat mensek *Bias titik tengah* dengan U_{GS} yang mendekati .

$$U_{GS} \cong \frac{U_{GS(off)}}{4} \quad (\text{bias titik tengah}) \quad (3)$$

Diberikan sebuah **MPF 102** dengan $U_{GS(off)} = -8 \text{ V}$, kita harus menggunakan $U_{GS} = -2 \text{ V}$ untuk mendapatkan arus cerat yang mendekati setengah arus cerat maksimum yang diperbolehkan .

Transkonduktansi

Besaran gm disebut transkonduktansi, didefinisikan sebagai

$$g_m = \frac{\Delta I_D}{\Delta U_{GS}} \quad \text{untuk konstan} \quad (4)$$

Ini mengatakan transkonduktansi sama dengan perubahan arus cerat dibagi dengan perubahan tegangan gerbang yang bersangkutan . Jika perubahan tegangan gerbang sebesar 0,1 V menghasilkan perubahan arus cerat sebesar 0,2 mA .

$$g_m = \frac{0,2 \text{ mA}}{0,1 \text{ V}} = 2(10^{-3}) \text{ S} = 2000 \mu\text{S}$$

Catatan : S adalah simbol untuk satuan "siemens," mula-mula dinyatakan sebagai "mho" .

Gambar 3 memberi arti dari g_m berkenaan dengan kurva transkonduktansi. Untuk menghitung g_m pada suatu titik operasi, kita pilih dua titik yang berdekatan seperti A dan B pada tiap sisi dari titik Q . Rasio perubahan I_D terhadap perubahan dalam U_{GS} memberikan harga g_m antara kedua titik tersebut. Jika kita pilih pasangan titik yang lain pada bagian kurva yang lebih atas yaitu C dan D kita dapatkan perubahan I_D yang lebih besar untuk suatu perubahan dalam U_{GS} ; karena itu g_m pada bagian kurva yang lebih atas mempunyai harga yang lebih besar. Pada lembar data untuk JFET biasanya anda di beri harga g_m pada $U_{GS} = 0$ yaitu harga g_m antara titik-titik seperti C dan D dalam Gambar 3. Kita akan menyatakan harga g_m ini sebagai g_{m0} untuk menunjukkan harga tersebut di ukur pada $U_{GS} = 0$.

Dengan menurunkan kemiringan (slope) dari kurva transkonduktansi pada titik-titik lain, kita dapat membuktikan setiap g_m sama dengan

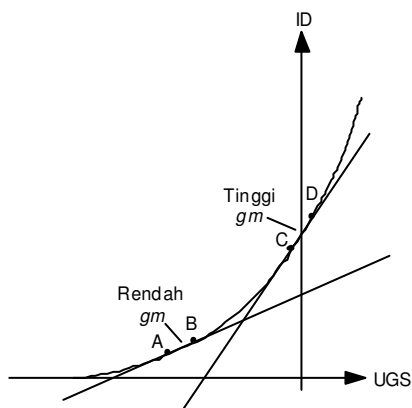
$$g_m = g_{m0} \left[1 - \frac{U_{GS}}{U_{GS(off)}} \right]$$

(5)

Persamaan ini memberikan g_m pada setiap titik operasi dalam hubungan dengan g_{m0} pada lembar data.

Kadang-kadang, g_m dinyatakan sebagai g_m (transkonduktansi forward) atau y_{fs} (transmitansi forward) Jika kita tidak dapat mendapatkan g_m pada lembar data, cari g_{fs} atau y_{fs} . Sebagai contoh, lembar data dari suatu 2N5951 memberikan $g_{fs} = 6,5 \text{ m}_j\text{S}$ pada $U_{GS} = 0$; ini ekivalen dengan $g_{m0} = 6,5 \text{ mS} = 6500 \mu\text{S}$.

Sebagai contoh lain, lembar data 2N 5457 mendaftarkan $y_{fs} = 3000 \mu\text{S}$ untuk $U_{GS} = 0$, ekivalen dengan $g_{m0} = 3000 \mu\text{S}$.



Gambar 2.138. Arti Grafik dari Transkonduktansi

Harga $U_{GS(off)}$ Yang Teliti

Dengan kalkulus, kita dapat menurunkan rumus yang berguna berikut :

$$U_{GS(off)} = -\frac{2I_{DSS}}{g_{m0}} \quad (6)$$

Ini berguna karena di samping I_{DSS} dan g_{m0} mudah di ukur dengan ketelitian yang tinggi $U_{GS(off)}$ sukar di ukur ; Persamaan (6) memberikan jalan untuk menghitung $U_{GS(OFF)}$ dengan ketelitian yang tinggi .

Resistansi Cerat AC

Resistansi r_{ds} adalah resistansi ac dari cerat ke sumber didefinisikan sebagai

$$r_{ds} = \frac{\Delta U_{DS}}{\Delta I_D} \quad \text{untuk } U_{GS} \text{ konstan} \quad (7)$$

Diatas tegangan pinchoff, perubahan I_D kecil untuk suatu perubahan dalam U_{DS} karena kurvanya hampir rata ;karena itu r_{ds} mempunyai harga yang besar ; secara tipikal antara 10 k Ω sampai 1 M Ω . Sebagai contoh, jika suatu perubahan dalam tegangan cerat sebesar 2 V menghasilkan perubahan dalam arus cerat sebesar 0,02 mA ,

$$r_{ds} = \frac{2V}{0,02 \text{ mA}} = 100 \text{ K}\Omega$$

Lembar data biasanya tidak mendaftarkan harga r_{ds} . Tetapi, mereka memberikan spesifikasi timbalbalik, baik g_{os} (konduktansi output) atau y_{os} (admitansi output) . Resistansi cerat dihubungkan dengan harga lembar data sebagai berikut :

$$r_{ds} = \frac{1}{g_{os}} \quad (7a)$$

dan

$$r_{ds} = \frac{1}{y_{os}} \quad \text{untuk frekuensi rendah} \quad (7b)$$

Misalnya lembar data dari sebuah 2N 5951 memberikan $g_{os} = 75 \mu\text{S}$. Dengan Persamaan (7a),

$$r_{ds} = \frac{1}{g_{os}} = \frac{1}{75(10^{-6})} = 13,3 \text{ K}\Omega$$

Di samping itu lembar data 2N 5457 menunjukkan $y_{os} = 50 \mu\text{S}$. Dengan Persamaan (7b),

$$r_{ds} = \frac{1}{y_{os}} = \frac{1}{50(10^{-6})} = 20 \text{ K}\Omega$$

Bab yang akan datang membahas pengaruh r_{ds} pada tingkat penguatan dari suatu JFET .

Resistansi Cerat-Sumber Dalam Keadaan On

Dalam daerah aktif , Jfet bekerja sebagai sebuah sumber arus . Tetapi dalam daerah jenuh (tegangan cerat lebih kecil dari U_p) dia bekerja sebagai sebuah resistor . Mengapa ? Karena dalam daerah jenuh , suatu perubahan dalam tegangan cerat menghasilkan perubahan yang sebanding dalam arus cerat . Ini merupakan alasan daerah jenuh dari JFET yang beroperasi dalam daerah ohmik didefinisikan sebagai

$$r_{ds(on)} = \frac{\Delta U_{DS}}{\Delta I_D} \quad (8)$$

2.2.8.2. ANALISA RANGKAIAN FET

Bab ini membahas operasi DC dan AC dari FET . Setelah menurunkan rumus-rumus untuk bias dan cerat kita bahas penggunaan dari *bufer* , *penguat AGC* dan *chopper* .

BIAS SENDIRI

Gambar 3-a menunjukkan bias sendiri , cara yang paling umum di gunakan untuk membias JFET . Arus cerat mengalir melalui R_p dan R_S , menghasilkan tegangan cerat sumber

$$U_{DS} = U_{DD} - I_D(R_D + R_S) \quad (9)$$

Tegangan melintasi resistansi sumber adalah

$$U_S = I_D R_S$$

Karena arus gerbang kecil sehingga dapat di abaikan , terminal gerbang mempunyai tegangan pertanahan DC , sehingga

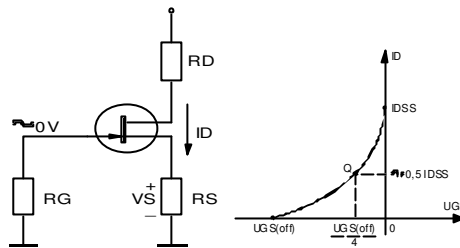
$$U_G \cong 0$$

Karena itu perbedaan potensial antara gerbang dan sumber adalah

$$\begin{aligned} U_{GS} &= U_G - U_S = 0 - I_D R_S \\ \text{atau} \quad U_{GS} &= -I_D R_S \end{aligned} \quad (10)$$

Ini menyatakan penurunan melalui R_S menghasilkan tegangan bias U_{GS} . Tidak ada sumber tegangan luar yang harus menggerakkan gerbang, dan inilah sebabnya rangkaian tersebut dikenal sebagai rangkaian bias sendiri .

Bias sendiri menstabilkan titik operasi stationer (guiescent) terhadap perubahan dalam parameter JFET (besaran seperti I_{DSS}, g_{mo} dan sebagainya). Idenya adalah sebagai berikut :



Gambar 2.139. Bias sendiri. (a) Rangkaian. (b) Titik Q tipikal

Misal kita mensubstitusi sebuah JFET dengan yang mempunyai harga g_{mo} dua kali harga g_{mo} JFET tersebut. Maka, arus cerat dalam Gambar 4-a akan mencoba menjadi duakali. Tetapi karena arus cerat ini mengalir melalui R_S , tegangan gerbang - sumber U_{GS} menjadi lebih negatif dan mengurangi arus cerat yang tadinya bertambah.

Dalam Gambar 4-b tegangan gerbang sama dengan seperempat $U_{GS(off)}$ menghasilkan arus cerat sebesar setengah I_{DSS} (pendekatan). Dengan mensubstitusikan besaran tersebut ke dalam Persamaan 10 dan mencari harga R_S kita dapatkan

$$R_S = \frac{-U_{GS(off)}}{2I_{DSS}} \quad (11)$$

Dengan Persamaan (6), kita dapat menyederhanakan persamaan tersebut menjadi persamaan yang berguna :

$$R_S \cong \frac{1}{g_{mo}} \quad (\text{bias titik tengah}) \quad (12)$$

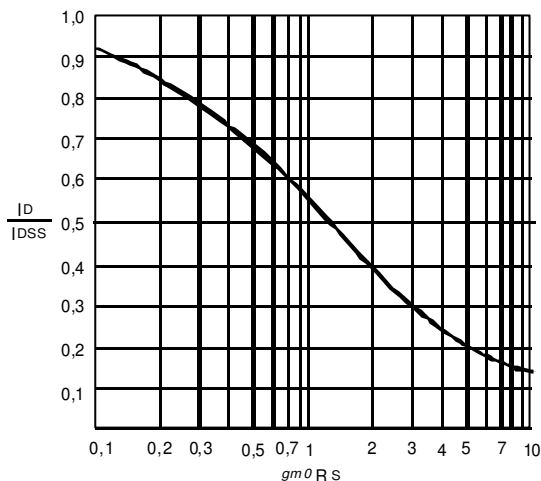
Jika harga g_{mo} dari suatu JFET diketahui, ambil harga kebalikannya, maka kita dapatkan resistansi sumber yang menset arus cerat sama dengan setengah I_{DSS} . Karena g_{mo} selalu diberikan dengan teliti dalam lembar data, Persamaan (12) memberikan cara yang cepat untuk menset bias sendiri pada titik tengah dari arus cerat.

GRAFIK BIAS SENDIRI

Dengan persamaan-persamaan (2),(6) dan (10), kita dapat menurunkan hubungan antara arus cerat, transkonduktansi dan resistor bias sumber. Gambar 5 meringkas hubungan ini. Grafik ini berlaku untuk semua JFET. Grafik tersebut akan membantu kita menentukan titik Q dari rangkaian terbias sendiri. Contoh-contoh berikut menunjukkan caranya.

CONTOH 4

Sebuah rangkaian terbias sendiri menggunakan JFET dengan $I_{DSS} = 10$ mA, $R_S = 100 \Omega$, dan $g_{m0} = 3000 \mu S$. Berapa besarnya arus cerat ?



Gambar 2.140 rangkaian terbias sendiri menggunakan JFET dengan $I_{DSS} = 10$ mA, $R_S = 100 \Omega$

Contohnya, jika suatu perubahan dalam tegangan cerat sebesar 100 mV menghasilkan suatu perubahan sebesar 0,7 mA dalam daerah ohmik

$$r_{ds(on)} = \frac{100 \text{ mV}}{0,7 \text{ mA}} = 142 \Omega$$

Contoh

Sebuah JFET mempunyai $I_{DSS} = 10$ mA dan $g_{m0} = 4000 \mu S$. Hitung $U_{GS(off)}$, juga hitung untuk g_m pada titik tengah bias.

PENYELESAIAN

Dengan Persamaan (6)

$$U_{GS(off)} = \frac{2I_{DSS}}{g_{m0}} = \frac{2 \times 0,01}{0,004} = -5 \text{ V}$$

Sekarang gunakan persamaan (5) untuk mendapatkan

$$g_m = g_{m0} \left[1 - \frac{U_{GS}}{U_{GS(off)}} \right] = 0,004 \left(1 - \frac{1,25}{5} \right)$$

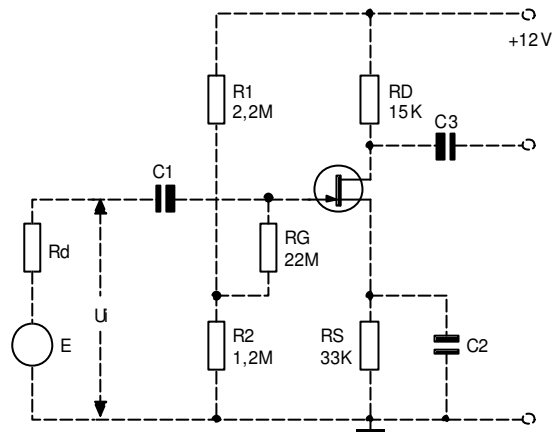
$$= 3000 \mu S$$

2.2.8.3. KONFIGURASI-KONFIGURASI RANGKAIAN JFET

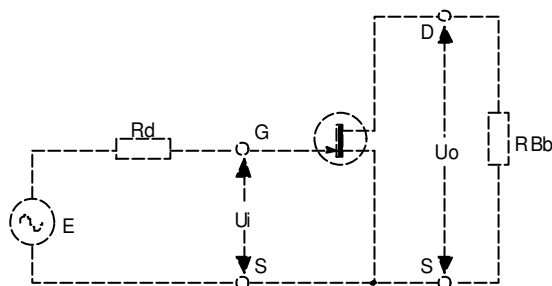
A. Rangkaian JFET seperti yang dikemukakan dalam gambar 1 disebut rangkaian *Tunggal Sumber (Common Source)*.

Dalam konfigurasi ini sinyal masukan (U_i) dimasukkan antara Gate dan Source, sedangkan beban dipasang antara Drain dan Source. Jadi skema prinsipnya seperti gambar 2. Dalam rangkaian ini perlawanan masukan adalah takterhingga dan sinyal keluaran berselisih fasa 180° terhadap sinyal masukan (terjadi putaran fasa 180°)

Konfigurasi ini adalah yang paling banyak diterapkan ; dapat ditandingkan dengan rangkaian tunggal emitor.



Gambar 2.141 Menaikkan Perlawanan Masukan dengan menambahkan RC

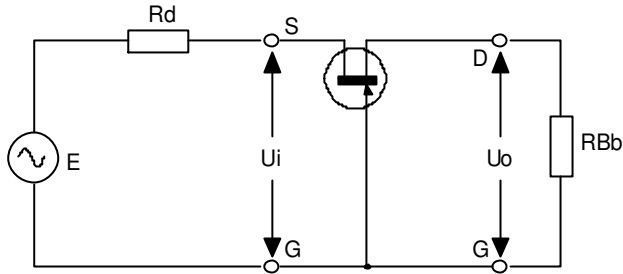


Gambar 2.142. Rangkaian Tunggal Sumber (Common Source)

B. Rangkaian Tunggal Pintu (*Common Gate Configuration*)

Rangkaian tunggal pintu (Common Gate Configuration) seperti terlihat pada gambar 3. Dalam konfigurasi ini pengemudian dilakukan pada sumber (Source), dan sinyal keluaran disadap dari Drain. Tidak terjadi perbedaan fasa (putaran fasa). Perlawanan masukan rendah, sebab sumber sinyal mengeluarkan arus kedalam sirkuit masukan. Dapat

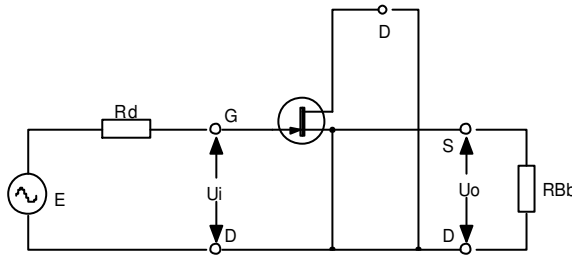
ditandingkan dengan rangkaian Tunggal Basis. Rangkaian ini jarang diterapkan.



Gambar 2.143. Rangkaian Tunggal Pintu (Common Gate)

C. Rangkaian Tunggal Cerat (*Common Drain Configuration*)

Rangkaian Tunggal Cerat (*Common Drain Configuration*) seperti terlihat pada gambar 4. Dalam rangkaian ini pengemudian dilakukan pada pintu (Gate), sedangkan keluaran disadap dari sumber (Source). Tegangan sinyal keluaran adalah kecil dari tegangan sinyal masukan. Tidak terjadi perbedaan fasa (putaran fasa) antara sinyal masukan dengan keluaran, karena itu rangkaian juga disebut *Pengikut Sumber (Source Follower)*. Perlawanan keluarannya rendah. Dapat ditandingkan dengan Pengikut Emitor.

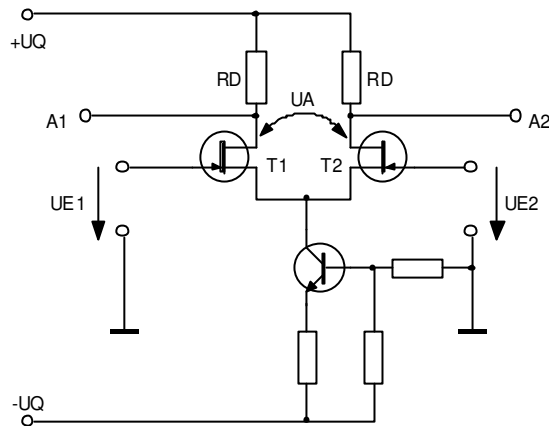


Gambar 2.144. Rangkaian Tunggal Cerat (Common Drain)

2.2.8.4. FET SEBAGAI PENGUAT

Penguat SINYAL ANALOG

Karena level daya yang relatif kecil dan sangat tingginya tahanan masukan maka FET itu sendiri mempunyai sifat khusus untuk TINGKAT MASUKAN (PENGUAT DEPAN) atau PENGUAT AKHIR
PENGUAT ARUS SEARAH, PENGUAT DIFFERENSIAL

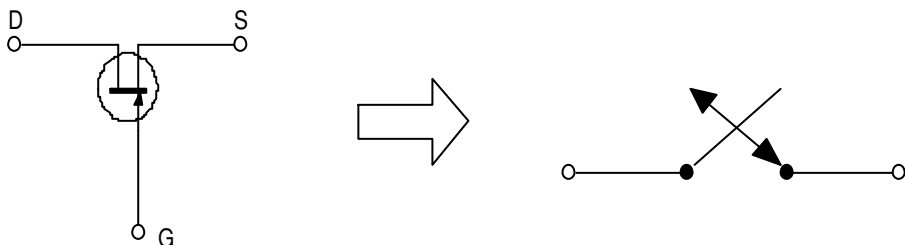


Gambar 2.145 Penguat Differensial

Yaitu : $U_A = V_{DM} (U_{E1} - U_{E2})$; $V_{DM} \approx S \frac{R_D}{Z}$

T1 dan T2 PASANGAN SELEKSI (TRANSISTOR YANG IDENTIK)
Potensial source terletak pada UGS DIATAS TEGANGAN PULSA SEARAH.
($U_{E1} = U_{E2}$)

2.2.8.5. FET SEBAGAI SAKLAR DAN MULTIVIBRATOR



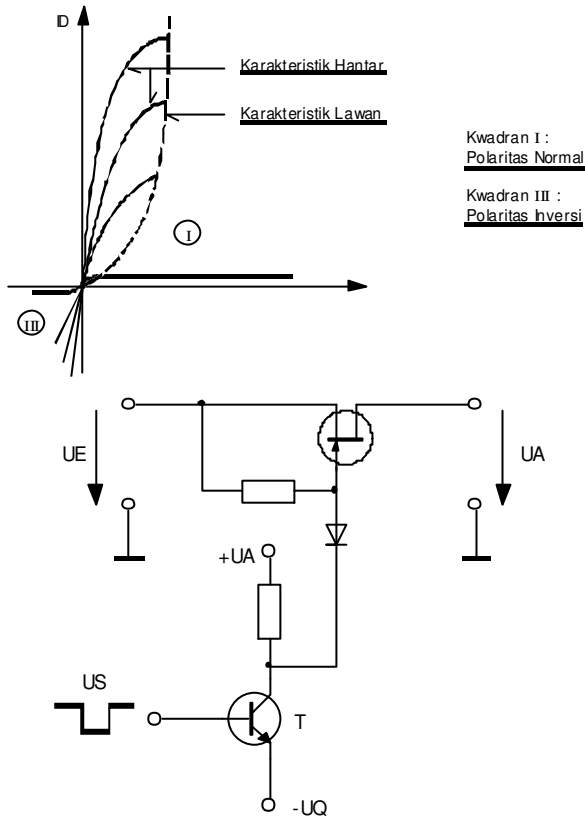
Gambar 2.146 FET sebagai saklar

Sifat-sifat fisis statik sesuai dengan saklar mekanik dalam pendekatan barang (lebih baik sebagai transistor bipolar)

Saklar on FET menghantarkan, TAHANAN KECIL antara drain dan source yang tergantung pada UGS.

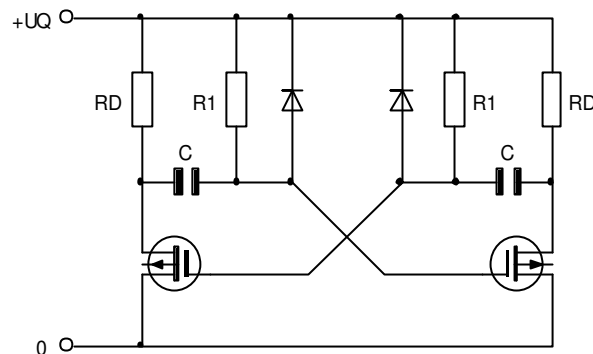
Saklar off FET menutup, TAHANAN LEBIH BESAR antara drain dan source yang tergantung pada UGS ($U_{GS} \leq U_p$)

Karakteristik saklar (penghubung) : FET - Kanal – n



Gambar 2.147 Saklar analog dengan J - FET

MULTIVIBRATOR ASTABIL DENGAN PENUTUPAN MOSFET



Gambar 2.148 Multivibrator astabil dengan penutupan Mosfet

MACAM-MACAM MOSFET

Untuk mempelajari sifat-sifat dasar Mosfet kita harus mengenal macam-macam Mosfet yang di bedakan menjadi 2 jenis yaitu :

1. Type Depletion Mosfet (D Mosfet).
2. Type Enhancement Mosfet (E Mosfet).

Kedua jenis Mosfet tersebut dibedakan berdasarkan cara pemberian lapisan Substratennya . Pada Depletion Mosfet lapisan Substrate di pasang dalam kanal tidak menyentuh oksida logam ($S_i O_2$) sehingga ada sisa kanal yang sempit .

Pada jenis kedua Enhancement Mosfet , lapisan Substrate di pasang pada kanal langsung menembus lapisan oksida logam ($S_i O_2$) sehingga kanal tertutup sedang antara Drain dan Source terpisah oleh Substrate .

Bahan yang digunakan sebagai kanal dan Substrate sama-sama Semikonduktor tapi type berlawanan .

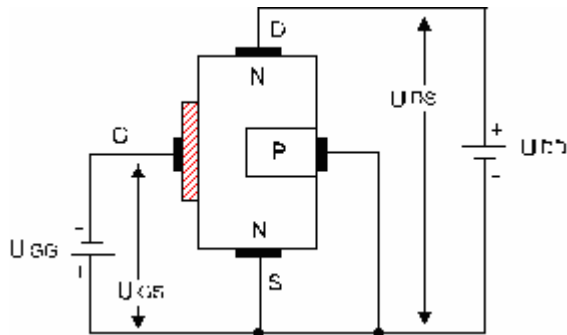
2.2.8.6. BIAS MOSFET

Untuk mengoperasikan hidup (on) dan mati (off) dari sebuah Mosfet di perlukan Bias Tegangan pada Gate dan Source (U_{GS}) dan tegangan catu antara Drain dan Source (U_{DD})

Bias U_{GS} di bedakan menjadi 2 macam

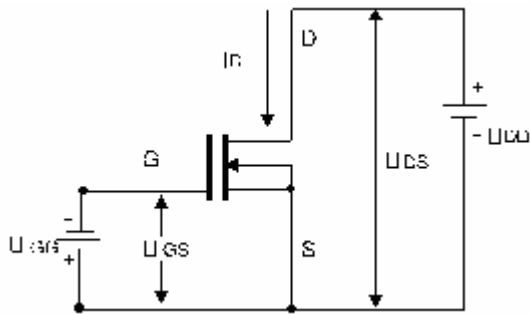
1. Bias peningkatan (Enhancement) Mosfet $\Rightarrow U_{GS} +$ (Positif)
2. Bias pengosongan (Depletion) Mosfet $\Rightarrow U_{GS} -$ (negatif)

Perhatikan gambar berikut , menjelaskan cara memberi bias pada Mosfet



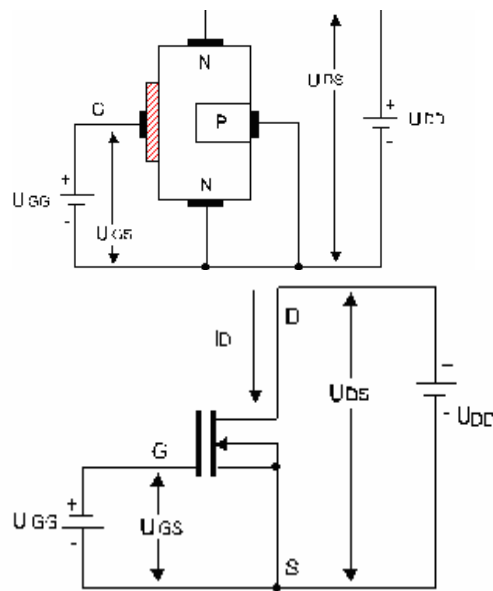
Gambar 2.149 Memberi bias pada Mosfet

2.2.8.7. D-MOSFET



Gambar 2.150 D Mosfet dengan Depletion Mode

D Mosfet Type N



Gambar 2.151 D Mosfet dengan Enhancement Mode

CARA KERJA D MOSFET

D Mosfet dapat dioperasikan dengan memberi Bias pada gatonya yaitu :

1. Bias Depletion (U_{GS} Negatif)
2. Bias Enhancement Mode (U_{GS} Positif)

1. D Mosfet dengan Depletion Mode

Tegangan Catu Drain dan Source (U_{DS} akan menyebabkan arus mengalir dari Drain ke Source (I_D) melalui kanal yang sempit tersebut .

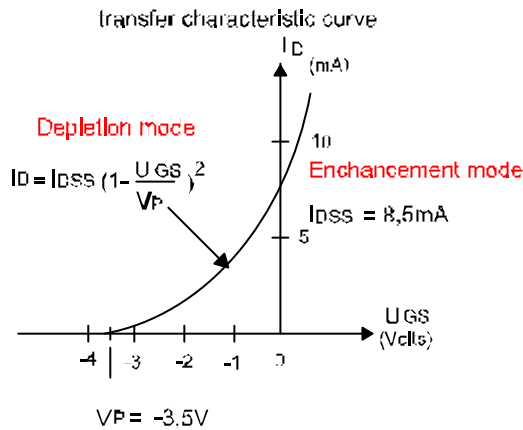
Tegangan U_{GG} yang mencatu Gate dan Source (U_{GS}) akan mengontrol lebar sempitnya kanal . Bila kanal lebar jumlah elektron yang melewati kanal dari Source ke Drain semakin banyak dan arus listrik I_D besar . Dan sebaliknya bila kanal makin sempit jumlah elektron yang melewati akan sedikit dan arus listrik I_D semakin kecil .Jadi besar kecilnya arus Drain (I_D) akan di kendalikan oleh tegangan Gate dan Source (U_{GS}) . Jika tegangan U_{GS} makin negatif (mencapai $U_{GS\ off}$) maka arus I_D semakin kecil ≈ 0 .Bila tegangan $U_{GS} \approx 0$ (Gate Source hubung singkat) arus Drain I_D makin besar . Tegangan U_{GS} yang menyebabkan $I_D \approx 0$ di sebut tegangan U_{GS} cut off atau ($U_{GS\ off}$) Untuk D Mosfet negatif .

2. D Mosfet dengan Enhancement Mode

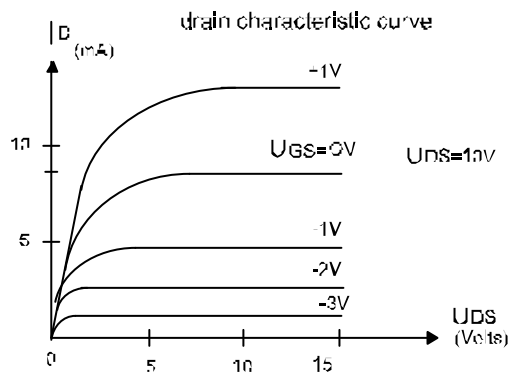
Seperti penjelasan di atas, hanya Gate di beri tegangan positif ($+U_{GS}$). Bila Gate makin positif terhadap Source maka daya hantar kanal Mosfet akan semakin besar. Hal ini menyebabkan arus Drain yang menuju Source (I_D) mencapai maksimum. Karena D Mosfet mempunyai arus saat $U_{GS} \approx 0$ maka juga di sebut Mosfet "Normal ON". I_{DSS} saat $U_{GS} \approx 0$ bukan arus Drain maksimum.

TAHANAN ISOLASI

Kita ketahu tahanan input (Z_i) Mosfet adalah tahanan antara Gate dan Source. Jadi Z_i sangat tinggi dalam Giga ohm ($G \Omega$), Karena antara gate (G) dan Source (S) di sekat oleh oksida logam SiO_2 , yang bersifat isolator.



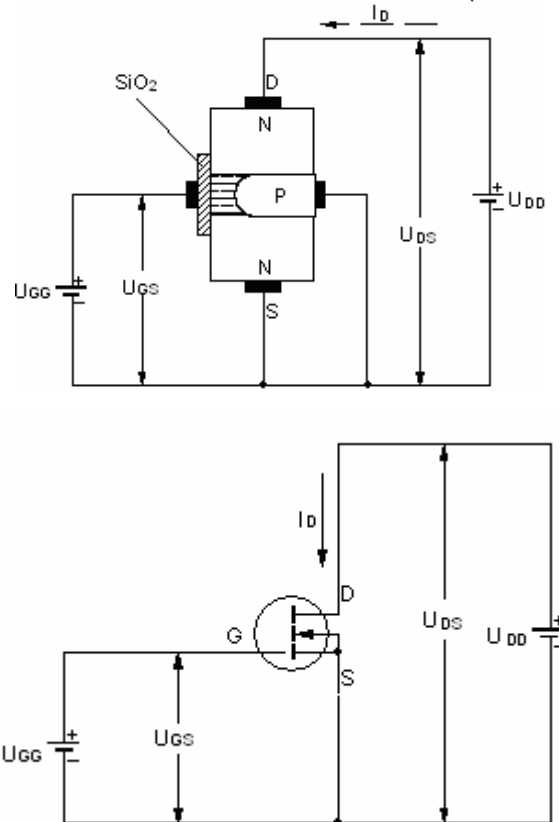
Gambar 2.152 Kurva Transkonduktansi $I_D - U_{GS}$
D Mosfet Chanal N



Gambar 2.153 Kurva Karakteristik Output
D Mosfet Chanal N

2.2.8.8. E MOSFET

Mosfet jenis Enhancement (E Mosfet) atau Mosfet peningkatan hanya bekerja pada bias Enhancement Mode atau $U_{GS} +$ (Positif)



Gambar 2.154 E Mosfet dengan Enhancement Mode

CARA KERJA

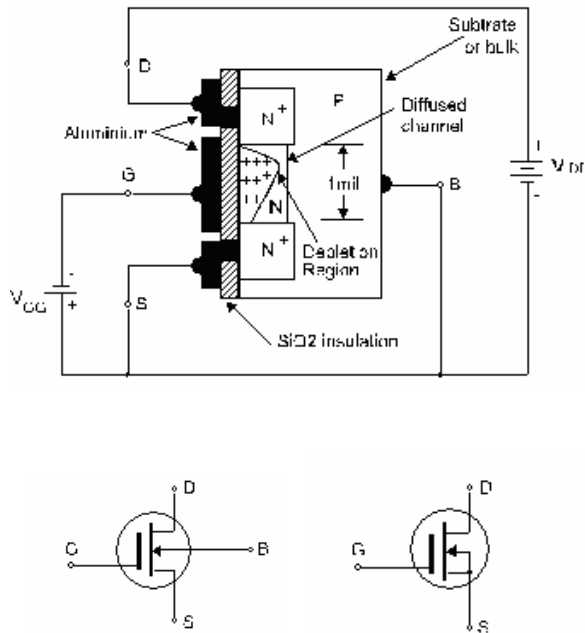
Bila $U_{GS} \approx 0$ tegangan U_{DD} akan memaksa elektron dari Source ke Drain atau arus listrik dari Drain ke Source . Tapi karena lapisan Substrate menutup kanal dan bermuatan positif , maka akan menahan / menyekat arus tersebut dan menyebabkan tidak ada arus mengalir sehingga arus Drain $I_D \approx 0$.

Bila Gate di beri tegangan positif ($U_{GS} +$) maka pada sambungan antara Substrate dan oksida logam (SiO_2) timbul muatan elektron (negatif) dan membentuk kanal N (Umpamakan sebuah Kondensator) . Melebarnya kanal akan menyebabkan banyak arus listrik mengalir dari Source ke Drain dan terjadilah arus listrik mengalir dari Drain ke Source (I_D) . Tegangan U_{GS} makin positif arus Drain (I_D) semakin besar .

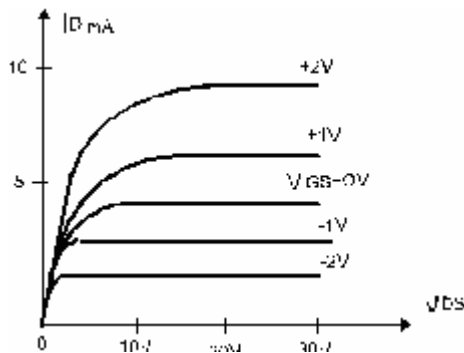
Tegangan U_{GS} minimal yang dapat menimbulkan kanal sempit dan memulai arus I_D mengalir atau E Mosfet ON di sebut tegangan ambang (threshold voltage) U_T

4. DESAH MOSFET (NOISE)

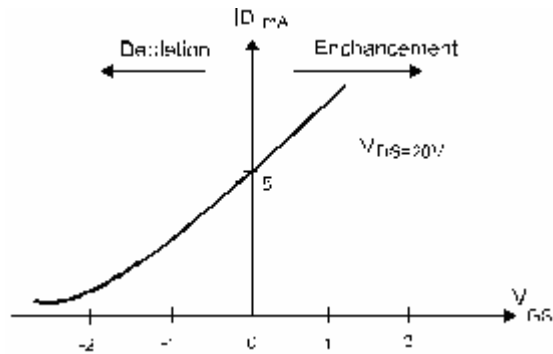
Mosfet selain mempunyai tahanan masukan tinggi juga mempunyai Noise / Desah sangat rendah bila di banding Transistor. Karena struktur bahannya untuk kanal (saluran) terbuat dari satu jenis bahan semikonduktor N atau P saja tanpa sambungan sebagai jalannya arus Drain (I_D) menuju Source.



Gambar 2.155 Struktur Bahan dan Simbol D Mosfet Chanal N



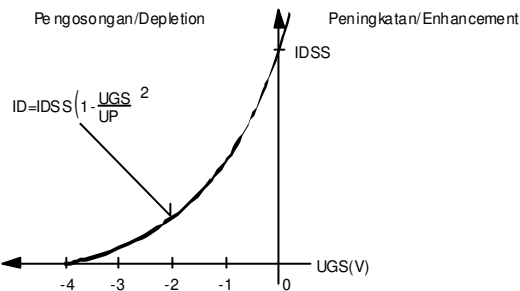
Gambar 2.156(a) Karakteristik Output D Mosfet Cahanal N



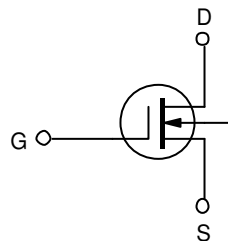
Gambar 2.156(b) Kurva Karakteristik Transfer (Transkonduktansi) D mosfet Cahanal N

SIFAT MOSFET

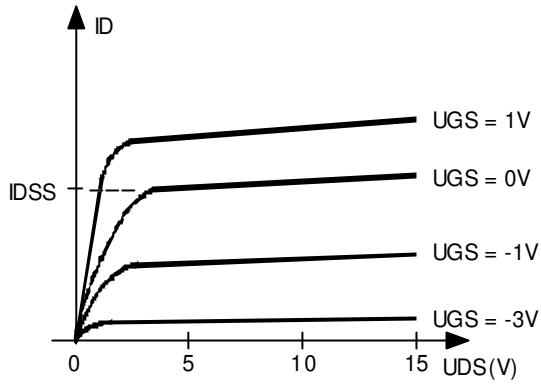
Untuk memudahkan cara memahami sifat-sifat kelistrikan tentang mosfet baik nanti dioperasikan dalam kondisi statis maupun dinamis , perlu kita tinjau kembali pemahaman prinsip kerja Mosfet dengan mempelajari macam-macam karakteristik Mosfet , dan uraian dasar penguat Mosfet dari parameter-parameter yang dimiliki Mosfet.



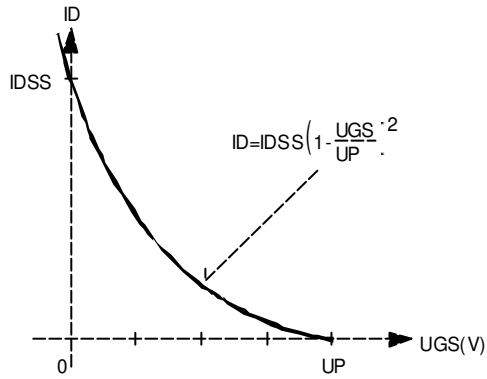
Gambar 2.157(a) Kurva Transkonduktansi



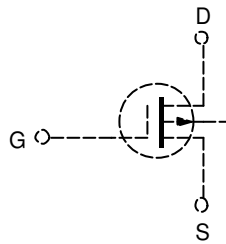
Gambar 2.157(b) Simbol



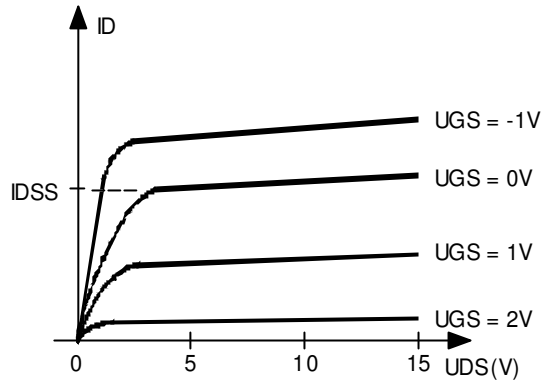
Gambar 2.157(c) Karakteristik Kurva Output



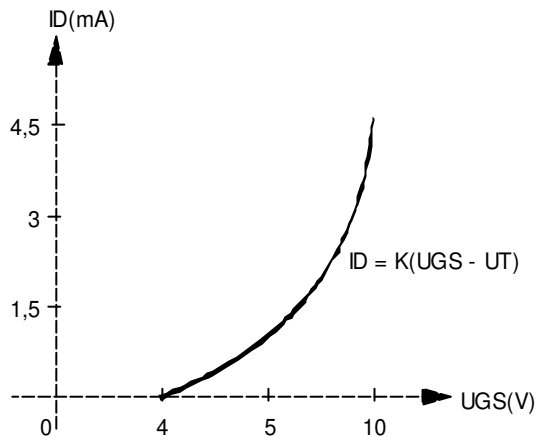
Gambar 2.157(d) Kurva Transkonduktansi



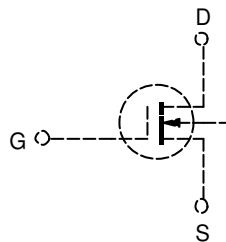
Gambar 2.157(e) Simbol



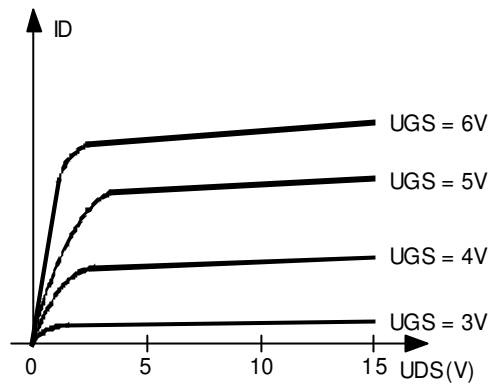
Gambar 2.157(f) Kurva Karakteristik Output



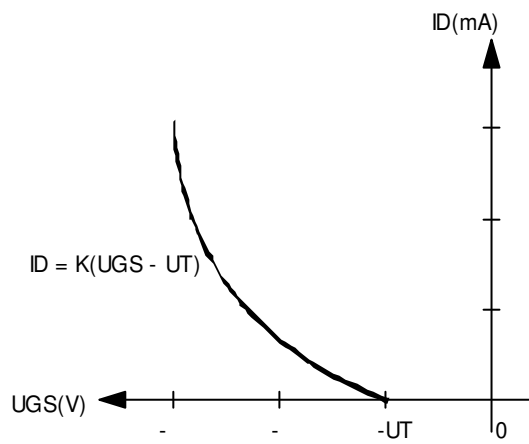
Gambar 2.157(g) Kurva Transkonduktansi



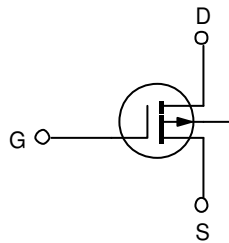
Gambar 2.157(h) Simbol



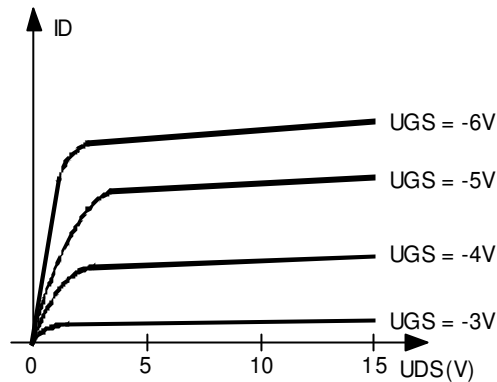
Gambar 2.157(i) Kurva Karakteristik Output



Gambar 2.157(j) Kurva Transkonduktansi



Gambar 2.157(k) Simbol



Gambar 2.157(l) Kurva Karakteristik Output

Keterangan :

U_p = Tegangan pinch off , yaitu tegangan U_{GS} yang menyebabkan arus drain $I_D = 0$ atau Mosfet off $\Rightarrow (U_p = U_{GS \text{ off}})$

U_T = Tegangan Threshold (tegangan ambang) pada E Mosfet , yaitu tegangan U_{GS} yang menyebabkan arus drain = 0 atau E Mosfet off

K = Bilangan konstanta yang besarnya tergantung dari jenis Mosfet khusus

Pada E Mosfet . I_{DSS} tidak berlaku untuk mencari I_D karena saat $U_{GS} = 0$ $I_D = 0$

Nilai K rumus diatas bisa diambil pendekatan $0,3 \text{ mA} / \text{V}$

$I_{DSS} =$ Arus Drain saat $U_{GS} = 0$

Dasar penguat Mosfet

Istilah baru dalam parameter penguat Mosfet yang diberlakukan untuk sinyal AC

1. g_m (Transkonduktansi)

$$g_m = \frac{\delta i_o}{\delta U_{gs}} \quad U_{ds} = \text{konstan}$$

$$= \frac{i_d}{U_{gs}} \quad U_{ds} = 0 \quad \frac{i_d}{U_{gs}} \quad U_{ds} =$$

$$g_m = \frac{\text{mA}}{\text{V}} \Rightarrow \text{Siemen} \quad \Rightarrow \text{dalam tabel menjadi } \frac{\text{mA}}{\text{V}} = \text{mS}_{mn}$$

2. r_d (tahanan Drain)

$$r_d = \frac{\delta U_{ds}}{\delta i_d} \quad U_{gs} = \text{konstan}$$

$$= \frac{U_{ds}}{i_d} \quad U_{gs} = 0 \quad \frac{U_{ds}}{i_d} \quad U_{gs} = \text{konstan}$$

3. μ (faktor penguatan)

$$\mu = \frac{\delta U_{ds}}{\delta U_{gs}} \quad I_d = \text{konstan}$$

$$= \frac{U_{ds}}{U_{gs}} \quad I_d = 0 \quad \frac{U_{ds}}{U_{gs}} \quad I_d = \text{konstan}$$

$\mu = \dots\dots\dots$ tanpa satuan

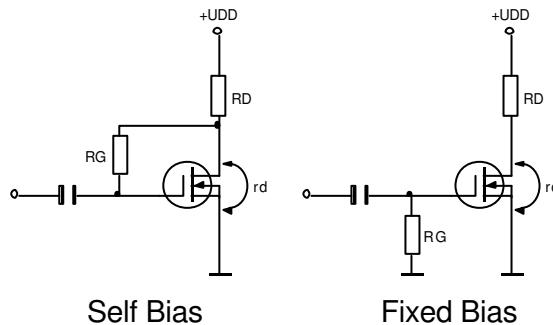
Notasi arus tegangan yang diikuti indek huruf kecil pada rumus-rumus diatas artinya adalah :

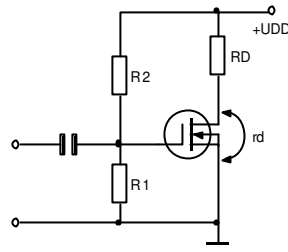
1. i_d : Arus drain untuk sinyal AC kecil
2. U_{gs} : tegangan sinyal AC kecil pada G dan S
3. U_{ds} : tegangan sinyal AC kecil yang di bangkitkan pada D dan S

Model Penguat Mosfet

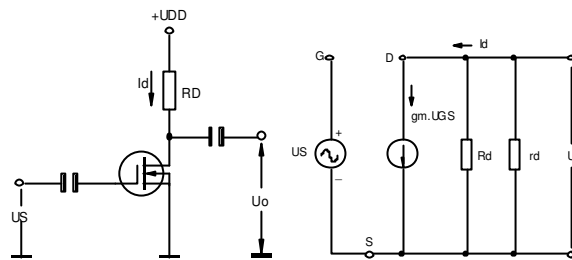
Model penguat untuk mosfet bisa dibuat dalam bermacam-macam bentuk seperti halnya pada transistor bipolar, demikian juga sistem pemberian bias biasanya dapat dilakukan dengan 3 cara :

1. Fixed Bias (Bias Tetap)
2. Self Bias (Bias Sendiri)
3. Devider Bias (Bias Pembagi tegangan)





Devider Bias



Analisa rangkaian

Gambar 2.158 Bias Pembagi tegangan

- Syarat analisa AC
- 1. Semua kondensator dianggap hubung singkat
- 2. catu daya dianggap hubung singkat

Penguatan Tegangan

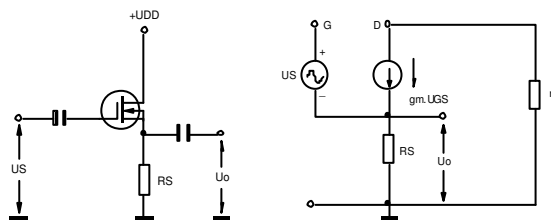
$$A_u = \frac{U_o}{U_s} \Rightarrow U_o = i_d \cdot R_d'$$

$$R_d' = R_d // r_d$$

$$A_u = \frac{g_m \cdot U_{GS} \cdot R_d'}{U_s} \quad i_d = g_m \cdot U_{GS}$$

$$U_s = U_{GS}$$

$$A_u = g_m \cdot R_d'$$



Gambar 2.159 Penguatan Tegangan

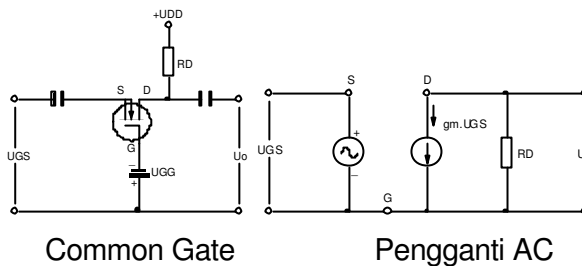
Penguatan tegangan

$$A_u = \frac{U_o}{U_s + U_o} \Rightarrow \begin{aligned} U_s &= U_{GS} \\ i_s &= g_m \cdot U_{GS} \\ U_o &= i_s \cdot R_S \end{aligned}$$

$$A_u = \frac{g_m \cdot U_{GS} \cdot R_S}{g_m \cdot U_{GS} \cdot R_S + U_{GS}}$$

$$A_u = \frac{g_m \cdot U_{GS} \cdot R_S}{g_m \cdot U_{GS} R_S + U_{GS}}$$

$$A_u = 1$$



Gambar 2.160 Penguatan tegangan

Penguatan tegangan

$$A_u = \frac{U_o}{U_{GS}}$$

$$= \frac{g_m \cdot R_D \cdot U_{GS}}{U_{GS}}$$

$$A_u = g_m \cdot R_D$$

TITIK KERJA

Titik kerja penguat dengan mosfet bisa diset atau diatur seperti halnya transistor . Yaitu dengan cara mengatur bias tegangan U_{GS} . Perlu diketahui bahwa mosfet juga memiliki sifat-sifat kelistrikan yang sama yang dialami transistor bipolar , yaitu sifat jenuh dan cut off (Secara Otomatis)

Mosfet jenuh : bila I_D maksimum dan $U_{DS} \approx \text{nol}$
 Mosfet Cut off : bila U_{DS} maksimum dan $I_D \approx \text{nol}$.

Kedua sifat tersebut dalam mosfet dikendalikan oleh tegangan U_{GS} . Posisi titik jenuh dan cut off akan menentukan kemiringan dari garis beban DC.

Titik kerja penguat (titik Q) akan berayun di sepanjang garis beban DC tersebut . Bila posisi titik kerja penguat (titik Q) ditengah garis beban DC disebut penguat kelas A.

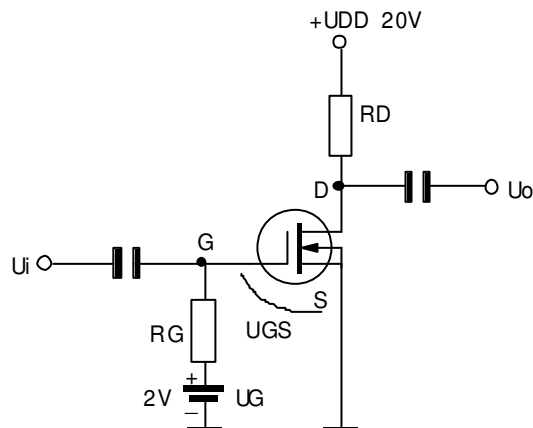
Bila titik kerja (titik Q) mendekati titik cut off disebut kelas B. Bila titik kerja Q dititik cut off disebut kelas C.

Untuk penguat kelas B dan kelas C pengendalian hidup matinya sistem dikendalikan oleh sinyal AC yang tegangannya relatif besar pada masukan Gatanya.

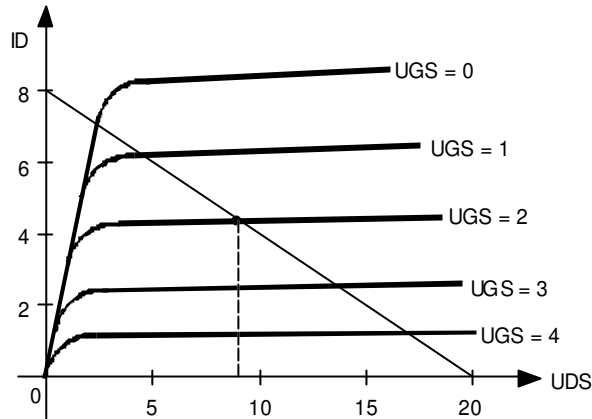
Jadi pada saat Gate tidak ada sinyal AC , maka mosfet off. Dan pada saat Gate mendapat sinyal AC yang level tegangannya besar , maka mosfet ON. kedua sistem penguat kelas B dan C biasanya untuk penguat daya. Penguat kelas A , baik digunakan untuk penguat sinyal kecil yang mempunyai kesetiaan tinggi.

Perlu diketahui kehandalan Mosfet di banding Transistor Bipolar adalah , transfer sinyal input ke out put melalui proses efek medan , dan bukan hubungan langsung seperti transistor. Arus Gate sangat kecil (≈ 0). karena ada oksida logam SO_2 sebagai isolator antara Gate dan Source / Drain. Jadi karena arus masukan sangat kecil maka noisenya rendah.

Kelemahannya Mosfet adalah faktor kesulitan tinggi. Karena efek medan sangat luas tidak dibatasi oleh tegangan Gate dalam batas kritis , sehingga mosfet satu dengan lainnya yang typenya sama , mungkin hasilnya tidak sama.



Gambar 2.161 D Mosfet Dengan Fixed Bias



Gambar 2.162 Titik Kerja Q Penguat

Cara menentukan Titik Kerja

- Tegangan U_{DD} memberi tegangan U_{DS} dan arus I_D
- Tegangan U_G memberi tegangan pada U_{GS}
- Berdasarkan hukum Kirchof

$$U_{DD} = I_D \cdot R_D + U_{DS}$$

- Mencari harga I_D mak $\Rightarrow U_{DS}$ dianggap ≈ 0 (Mosfet Jenuh)

$$I_D \text{ mak} = \frac{U_{DD}}{R_D} \Rightarrow I_D \text{ mak} = 8 \text{ mA}$$

- Mencari U_{DS} mak $\Rightarrow I_D$ dianggap ≈ 0 (Mosfet cut off)

$$U_{DS} \text{ mak} \approx U_{DD} \Rightarrow U_{DS} \text{ mak} = 20 \text{ V}$$

- Antara I_D mak dan U_{DS} mak $\approx U_{DD}$, di tarik garis lurus. garis ini sebagai garis beban DC
- Tahanan masukan Mosfet (R_i) sangat tinggi , maka arus Gate $I_g = 0$. Drop tegangan pada R_G $U_{RG} = 0$. Jadi $U_{GS} = U_G - U_{RG} = U_G = 2V$. Titik pada garis beban terletak pada $U_{GS} = 2 \text{ V} = U_{GSQ}$
- U_{GSQ} dan I_{DQ} = bisa ditarik garis lurus pada sumber U_{DS} dan I_D terhadap titik Q

Bisa juga di hitung dengan persamaan

$$U_{DSQ} = U_{DD} - I_{DQ} \cdot R_D$$

$$I_{DQ} = I_{DSS} (1 - U_{GS}/U_p)^2$$

I_{DSS} dan U_p untuk setiap Mosfet bisa di lihat dalam tabel data

MOSFET KONSTRUKSI KHUSUS

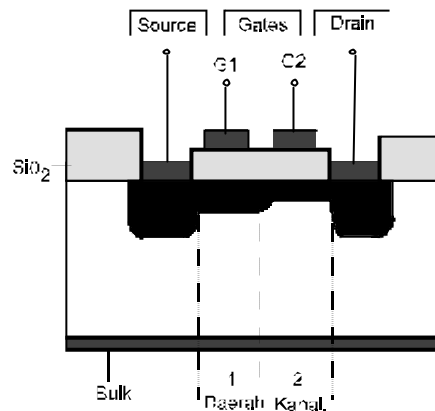
Disebut Mosfet konstruksi khusus karena Mosfet jenis ini susunan bahannya dibuat dalam bentuk khusus, tidak seperti Mosfet biasanya. Adapun yang termasuk dalam Mosfet Konstruksi khusus adalah :

1. Mosfet Gerbang Ganda (Dual Gate Mosfet)
2. V Mosfet
3. SIP Mosfet

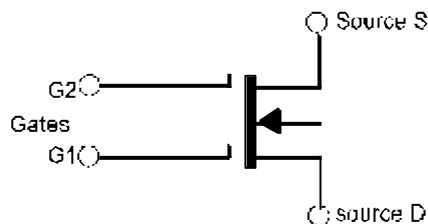
Mosfet Gerbang Ganda (Dual Gate Mosfet)

Mosfet gerbang ganda adalah mempunyai bentuk khusus yaitu mempunyai dua jalur aliran arus. Setiap kanal saluran arus dapat melalui sebuah gate dan tidak tergantung satu sama lain.

Gambar di bawah ini menunjukkan sebuah susunan dan simbol Mosfet gerbang ganda (2 gerbang) dari type kanal N. Empat sambungan pada Mosfet bentuk khusus juga disebut Tetrode Mosfet.

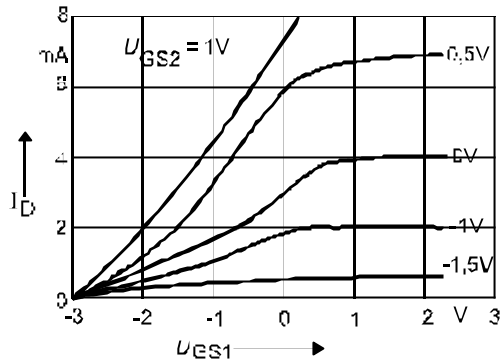


Gambar 2.163 Susunan bahan



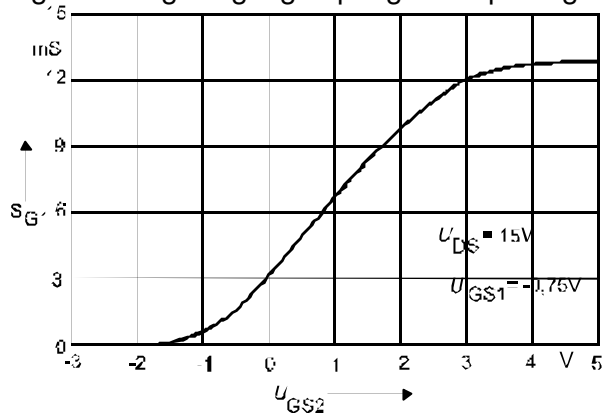
Gambar 2.164 Simbol Mosfet 2 Gerbang

Saluran arus G_1 melalui kanal 1, G_2 melalui kanal 2, dengan arus drain (I_D) tidak tergantung dari dua macam tegangan gate UGS_1 dan UGS_2 . Pada gambar 2 diperlihatkan karakteristik Mosfet dua gerbang Arus Drain (I_D) fungsi dari UGS_1 dan UGS_2 .



Gambar 2.165 Grafik Karakteristik I_D Fungsi U_{GS1} dan U_{GS2}

Kelanjutan karakteristik yang penting diperlihatkan pada kondisi forward S_{G1} , Y_{12} untuk gate 1 fungsi tegangan pengendali pada gate 2 (U_{GS2})



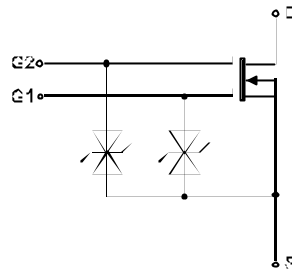
Gambar 2.166 Karakteristik Forward

Diatas diperlihatkan bahwa mosfet dua gate dirangkai sebagai penguat dan faktor penguatan terbatas.

Pada gate G_1 didapatkan suatu contoh penguat akhir, sinyal diberikan pada G_2 dimana didapat pengaturan tegangan G_2 . Melalui karakteristik Mosfet dapat dilakukan pengatur penguatan.

Mosfet dua gerbang dapat juga digunakan sebagai Mixer pada penerima FM dan televisi, dimana pada kedua gate tegangan sinyal diberikan dengan bermacam-macam frekuensi. Dengan demikian melalui pengendalian ganda "MIXING" dapat dicampurkan dua buah frekuensi dengan batasan yang ditentukan. Didalamnya terdapat tambahan rangkaian dua buah Zener diode yang dirangkai anti paralel pada setiap gatena. Dalam hal ini gangguan statis dapat diperbaiki.

Karena melalui zener diode pada elektrode Souce dan Substrate dapat dipengaruhi. Gambar dibawah memperlihatkan rangkaian pengganti Mosfet gerbang ganda (Dual gate) type BF 961.

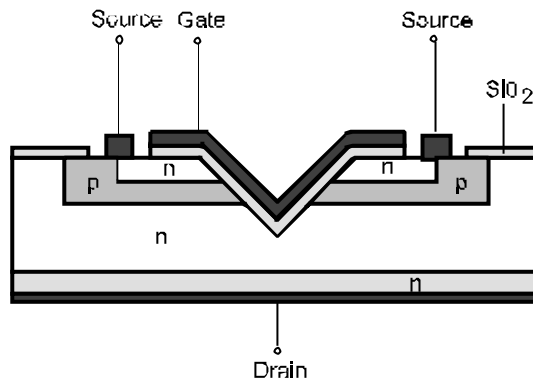


Gambar 2.167 Rangkaian Pengganti Mosfet Dua Gerbang Type BF 961

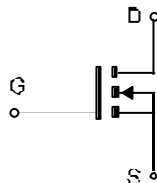
V Mosfet

Dengan field efek transistor (FET) kita hanya dapat penguatan dengan daya kecil . Panjang kanal relatif kira-kira $\pm 5 \mu\text{m}$ dengan tahanan $1\text{K}\Omega - 10 \text{K}\Omega$.

Dengan pengembangan teknik di mungkinkan pada FET ditempatkan sebuah lapisan Horizontal juga pada bagian struktur vertikal. Dengan demikian diberikan transformasi arus dan tegangan yang tinggi yang disesuaikan dengan besar penguatan daya . gambar 5 dibawah menunjukkan sebuah V Mosfet kanal N dan simbolnya.



Gambar 2.168 Susunan Bahan V Mosfet Enhancemen Kanal N

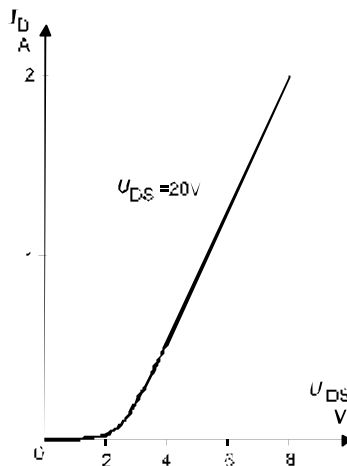


Gambar 2.169 Simbol E Mosfet

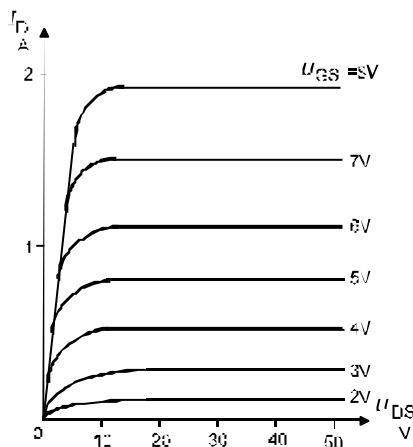
Disebut V Mosfet karena struktur bahan membentuk huruf V melalui bentuk V ($1,5 \mu\text{m}$) dapat di transformasi tahanan $1-5 \Omega$ pada sebuah plat semikonduktor V Mosfet di pasang lebih banyak elemen berbentuk V Mosfet secara paralel, sehingga didapatkan pengukuran arus yang tinggi, dan penguatan daya pada V mosfet yang lebih tinggi.

V Mosfet dapat mentransformasikan arus sampai 10 Amper dan tegangan Drain Source (U_{DS}) sampai 100 Volt. Meskipun demikian terdapat saklar waktu didalam daerah nano detik (ns) . Pada gambar diperlihatkan karakteristik sebuah Mosfet dan output. Karakteristik tersebut memiliki kemiripan seperti Mosfet Kanal N

Pada V Mosfet Arus Drain (I_D) semakin besar



Gambar 2.170 Kurva Transkonduktansi V Mosfet



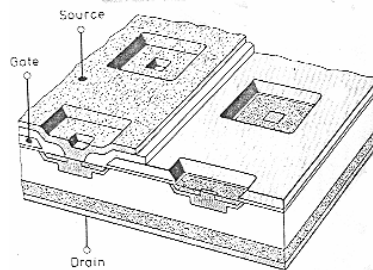
Gambar 2.171 Karakteristik Output V Mosfet

V Mosfet dapat dipergunakan sebagai penguat atau sebagai saklar pada daerah dengan daya kecil.

Tahanan masukan RGS terdapat pada lapisan isolasi sebesar $10^{12}\Omega$. Dengan demikian sangat dimungkinkan V Mosfet menghasilkan penguatan tegangan yang besar.

SIP Mosfet

Nama SIP Mosfet singkatan dari Siemen Power Mosfet. Disini juga dikenal Mosfet dengan daya tinggi. Pada gambar dibawah ini diperlihatkan sebuah simbol dan susunan lapisan sebuah SIP Mosfet.



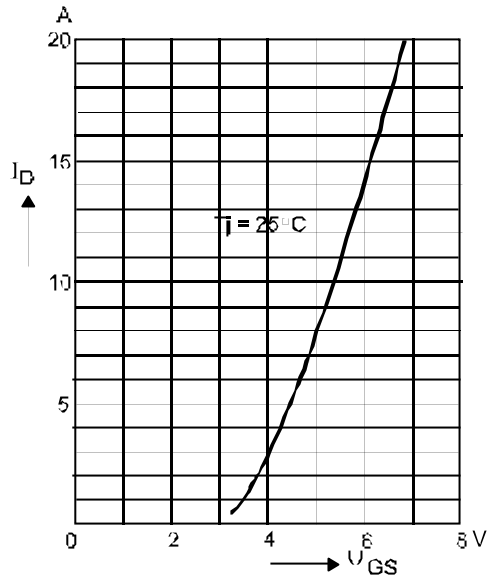
Gambar 2.172 Struktur Bahan SIP Mosfet

Susunan lapisan SIP Mosfet dibuat dalam lapisan horizontal . pada ohm yang rendah kristal N⁺ didapatkan sebuah lapisan N. Pada permukaan atas lapisan N⁺ disusun Source didalam lapisan P.

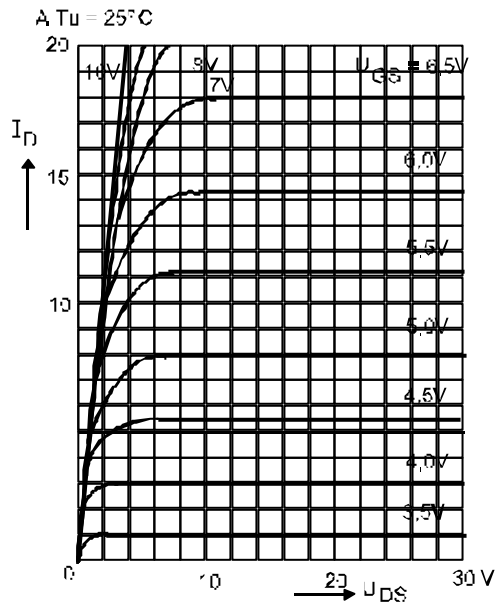
Sebuah isolasi Quarz (Kristal) dibangun elektrode gate diantara permukaan atas Source.

Dengan demikian terdapat sebuah lapisan SIP Mosfet dari banyak elemen MOS yang dirangkaiakan secara paralel sehingga kerugian daya yang tinggi dapat ditiadakan.

Pada SIP Mosfet terdapat lapisan FET , untuk mengendalikan karakteristik outputnya . Contoh untuk BUZ 23.



Gambar 2.173 Karakteristik Transkonduktansi BUZ 23

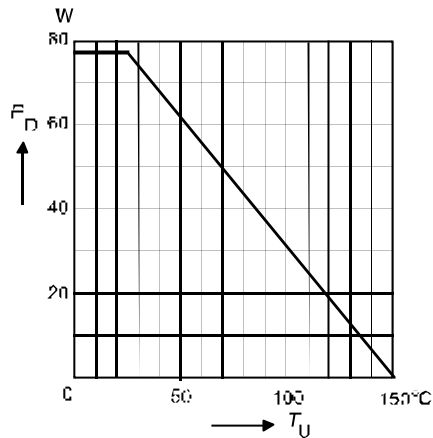


Gambar 2.174 Karakteristik Outputnya BUZ 23

SIP Mosfet mempunyai masukan yang tinggi, tetapi penstransformasian tahanan didalam pengendalian yang besar hanya bervariasi dari mili ohm sampai ohm. (waktu hubung) didalam pengaturan yang besar dalam beberapa nano detik (ns) dan tidak ada dua buah penstransferan seperti transistor bipolar, karena transformasi tahanan kanal mempunyai harga temperatur positif.

SIP Mosfet dipergunakan sebagai saklar Daya yang cepat dan mempunyai keuntungan pengendalian daya tidak seperti pada transistor . Disini diperlihatkan ketergantungan temperatur terhadap rugi daya untuk SIP Mosfet.

Jika Mosfet temperatur naik , daya ohm turun sehingga Mosfet tidak mati dan bila temperatur sudah normal daya bisa naik lagi.

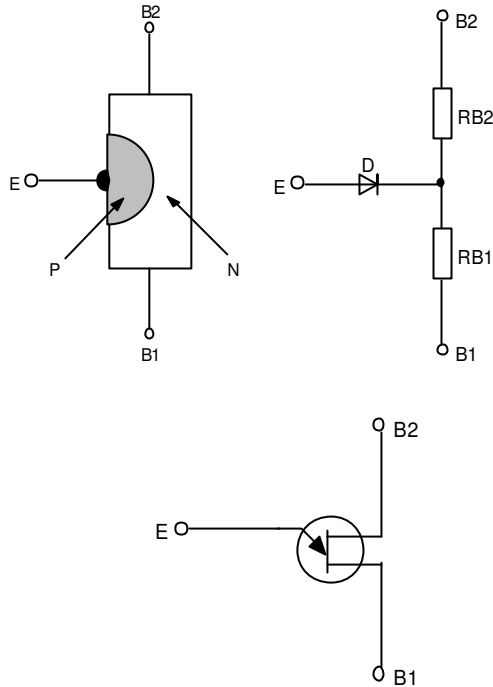


Gambar 2.175 Kurva daya Fungsi temperatur SIP Mosfet BUZ

2.2.9. UNI JUNCTION TRANSISTOR

Unijunction Transistor (UJT) merupakan sebuah Komponen semikonduktor yang terdiri atas hubungan PN. Type P dihubungkan dengan emiter sedangkan Type N membentuk Base B1 dan B2. Komponen ini dikenal dengan nama "Dioda dua Basis". Bahan dasar terbuat dari silikon. Gambar a menunjukkan susunan dasar UJT.

Kira-kira ditengah batang silikon (material Type N) terdapatlah meterial P ini akan bekerja sebagai emiter E, jadi terdapatlah junction PN pada batang tersebut.



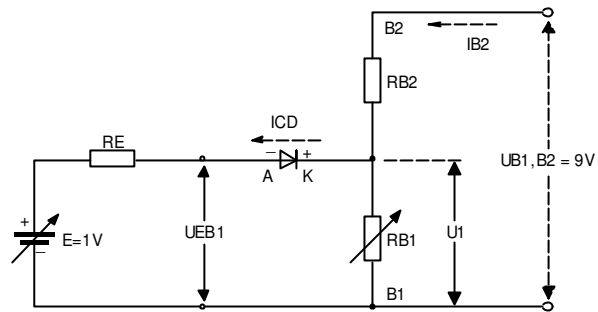
Gambar 2.176 Simbol UJT

2.2.9.1. SIFAT DASAR UJT

Transistor ini dapat dipandang sebagai suatu pembagi tegangan yang terdiri dari dua buah tahanan yang berderet yaitu R_{B1} dan R_{B2} (lihat Gambar.). Adapun pertemuan PN bekerja sebagai Dioda. (lihat pelajaran yang lalu). Dioda akan menghantar / Konduksi bila diberi tegangan bias maju (Forward Bias), sebaliknya Dioda tidak akan menghantar bila diberi tegangan bias mundur (Reverse Bias).

Prinsip Kerja UJT

Prinsip kerja UJT tak ubahnya sebagai saklar hput dari jenis Transistor, ini diambil dari Emitor yang mempunyai tahanan dan tahanan ini dengan cepat menurun nilainya jika tegangan Input naik sampai level tertentu.



Gambar 2.177 Rangkaian ekuivalen UJT

Cara Kerja UJT

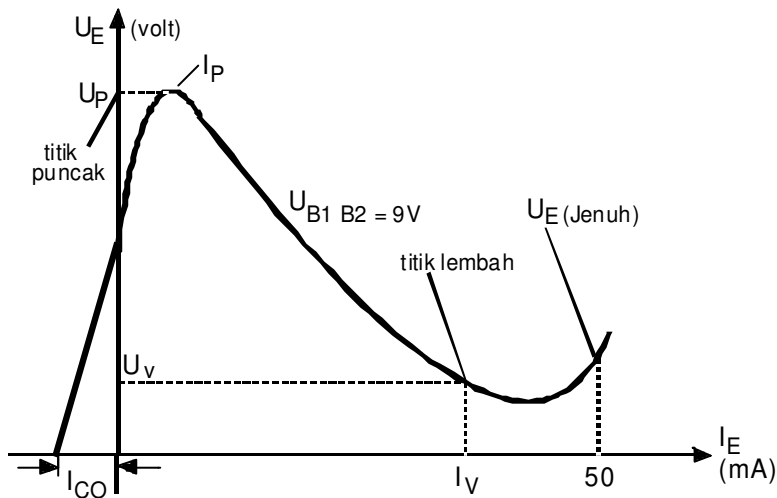
1. Perhatikan Gambar, antara terminal-terminal B_1 - B_2 kita beri tegangan $U_{B_1 B_2} = 9$ Volt. Maka terjadilah pembagian tegangan antara R_{B_1} dan R_{B_2} , Dioda tidak bekerja.
2. Mula-mula tegangan catu pada Emiter sama dengan nol, maka Dioda Emiter berada dalam keadaan Reverse bias. Bila tegangan ini diperbesar maka U_E akan ikut bertambah besar, tetapi Emiter tetap tidak akan menghantar sebelum $U_E > U_1 + U_K$. $U_K =$ Knee Voltage dari Dioda tersebut.
3. Setelah $U_E > U_1 + U_K$, maka Dioda dalam keadaan Forward bias dan dia mulai menghantar. Oleh karena daerah P mendapat doping yang berat sedangkan daerah N didoping ringan, maka pada saat forward bias banyak hole dari daerah P ini yang tidak dapat berkombinasi dengan elektron bebas dari daerah N.
4. Hole-hole tersebut akan merupakan suatu pembawa muatan positif pada daerah basis 1 (B_1). hal ini menyebabkan tahanan R_{B_1} pada daerah basis turun hingga mencapai suatu harga yang kecil sekali, sehingga dapat dikatakan antara Emiter dan basis 1 (B_1) terjadi hubung singkat
5. Dari sini jelas bahwa dioda Emitor pada UJT berfungsi sebagai saklar dan saklar ini akan tetap tinggal tertutup selama arus Emitor masih lebih besar dari suatu harga tertentu yang disebut "Valley Curent".

Sifat Listrik Pada UJT

Kurva sifat listrik UJT

1. Perhatikan gambar 1, kalau I_E naik, maka tegangan antara emitor - B_1 turun.
2. Di titik puncak U_p dan titik lembah (Valley point) U_v , lengkung karakteristik mempunyai kelandaian (slope) = 0. Artinya dititik-titik itu lengkung tidak naik, juga tidak turun.
3. Dalam daerah dikiri U_p , tidak mengalir arus emitor I_E , sebab antara emitor dan basis 1 ada tegangan muka terbalik (reverse bias).

Daerah dikiri U_p itu dinamai U_p sumbat.



Gambar 2.178 Kurva sifat listrik UJT

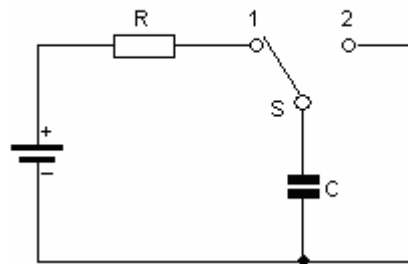
4. Dalam daerah dikanan U_p ada arus emitor, sebab antara emitor dan basis 1 ada tegangan muka maju (forward bias).
5. Diantara titik-titik U_p dan U_v maka kenaikan arus I_E menyebabkan turunnya tegangan U_E . Ini berarti bahwa dalam daerah ini terdapat perlawanan negatif (tahanan negatif).
6. Setelah melampaui titik lembah U_v , maka kenaikan I_E dibarengi dengan kenaikan U_E . Daerah ini dinamai daerah jenuh. (saturation region)
7. Ternyata bahwa U_p ditentukan oleh :
 - a. Tegangan antara $B_1 - B_2$ ($= U_{B1 B2}$) dan
 - b. Tegangan muka maju (forward bias) diantara emitor dan basis B_1 atau tegangan pada dioda.

Adapun U_b berbanding terbalik dengan suhu. Kalau suhu naik U_b turun. ($U_b =$ Tegangan muka maju antara E - B₁)

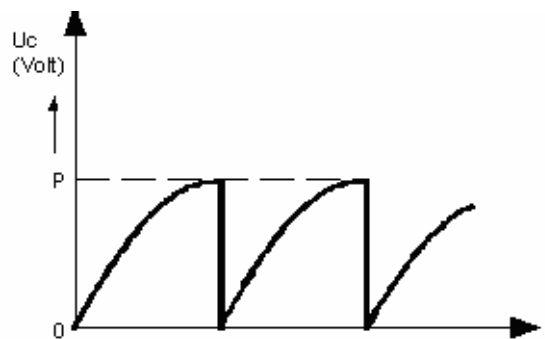
Tegangan bentuk gigi gergaji dapat diperoleh, kalau suatu kondensator secara bergantian mengisi dan membuang muatan (lihat Gbr. 1a).

Mula-mula sakelar S kita taruh pada posisi 1. maka kondensator C dimuati tegangan dari battery melalui R. Secara berangsur tegangan pada C naik. Kecepatan kenaikan tegangan ini ditetapkan pada saat tegangan mencapai harga P, sakelar kita pindahkan ke posisi 2, maka C dihubung singkat, dan seketika membuang muatan. Tegangan U_c pun jatuh ke nol.

Jika sakelar S secara bergantian dipindahkan dari 1 ke 2 dalam irama tertentu, maka pada kondensator terjangkit tegangan bentuk gigi gergaji. Tinggi tegangan (amplitudo) ditentukan oleh besarnya R.



Gambar 2.179 Pengisian kondensator



Gambar 2.180 Asas penjangkitan tegangan gigi gergaji pada kondensator

2.2.9.2. PRINSIP KERJA UJT SEBAGAI OSCILATOR

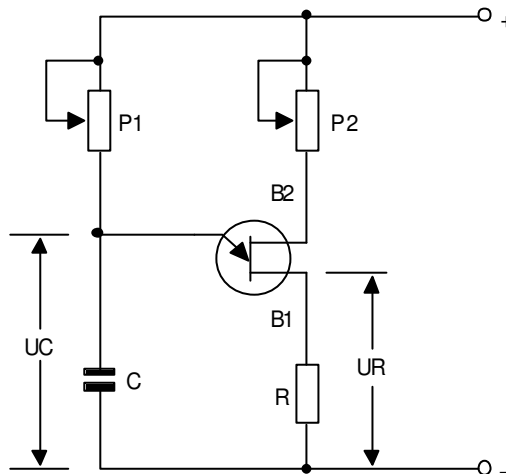
Mula-mula pada C tidak ada muatan ($U_C = 0$).

Tegangan ini adalah tegangan U_E yang diberikan kepada emitor. Maka antara emitor E dan basis B_1 ada perlawanan yang tinggi, sebab dikatakan ada potensial positif. Potensial pada katoda ini ditentukan oleh perbandingan antara $P_2-R_B-R_A$ (yang ada didalam transistor) dan R.

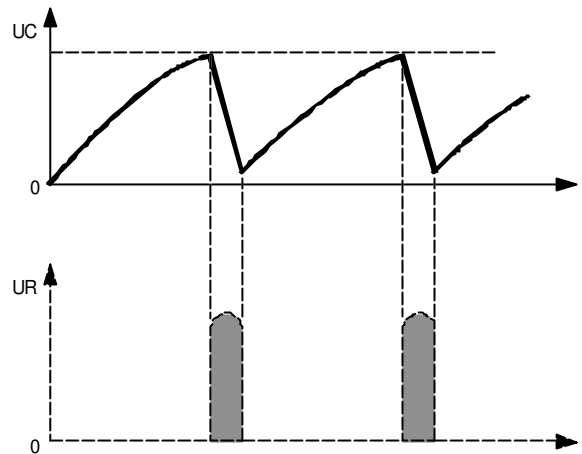
Tegangan di C (U_C) naik dengan kecepatan yang ditentukan oleh konstanta waktu P_1 dengan C. Maka tegangan pada E menjadi positif. Jika tegangan U_C mencapai harga U_{pUJT} ($U_E = U_C \geq U_p$) maka UJT akan menghantar, dan turunlah perlawanan antara Emitor E dan Basis 1. Penurunan perlawanan (tahanan) R_{E-B_1} menghubungkan singkat C (kondensator membuang muatan).

Bila tegangan C ($U_C = U_E$) turun hingga mencapai $\pm 2V$, maka UJT menyumbat lagi (sakelar S terbuka), pada kondisi ini C pun akan kembali mengisi muatan.

Demikian kejadian ini terjadi berulang-ulang.



Gambar 2.181 Rangkaian UJT sebagai osilator



Gambar 2.182 Denyut tegangan selama C membuang muatan

Bentuk tegangan pada kondensator dan Arus buang muatan (pengosongan) kondensator membangkitkan tegangan denyut pada R.

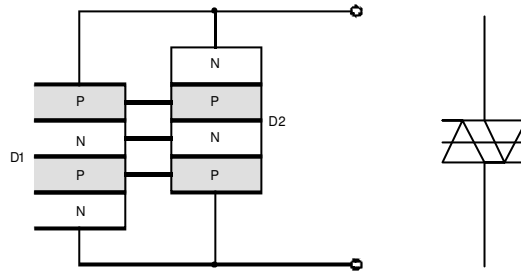
Perubahan tahanan pada basis 2 diatur dengan potensiometer P_2 . P_2 mengatur amplitudo gigi gergaji, sebab dengan P_2 kita menetapkan tingginya amplitudo U_p , makin besar P_2 , makin tinggi pula tegangan katoda, sehingga diperlukan tegangan U_E yang lebih tinggi untuk menjadikan dioda menghantar.

R berguna untuk mengatasi arus pengosongan dari C supaya dioda tidak rusak. Besarnya frekuensi ditentukan oleh konstanta waktu $P_1 - C$ dan juga oleh karakteristik UJT. Makin besar P_1 , makin rendah pula frekuensinya. Selama C membuang muatan, maka arus yang lewat R akan menimbulkan tegangan bentuk denyut (pulsa).

2.2.10. DIODA AC

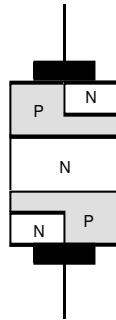
DIACS adalah salah satu jenis dari bidirectional thyristor. Rangkaian ekuivalen DIACS adalah merupakan dua buah dioda empat lapis yang disusun berlawanan arah dan dapat dianggap sebagai susunan dua buah latch.

DIACS singkatan dari Diode Alternating Current Switch. Namun secara umum DIACS hanya disebut dengan DIAC, komponen ini paling sering digunakan untuk menyulut TRIAC.



Gambar 2.183 Konstruksi Pembentukan DIAC

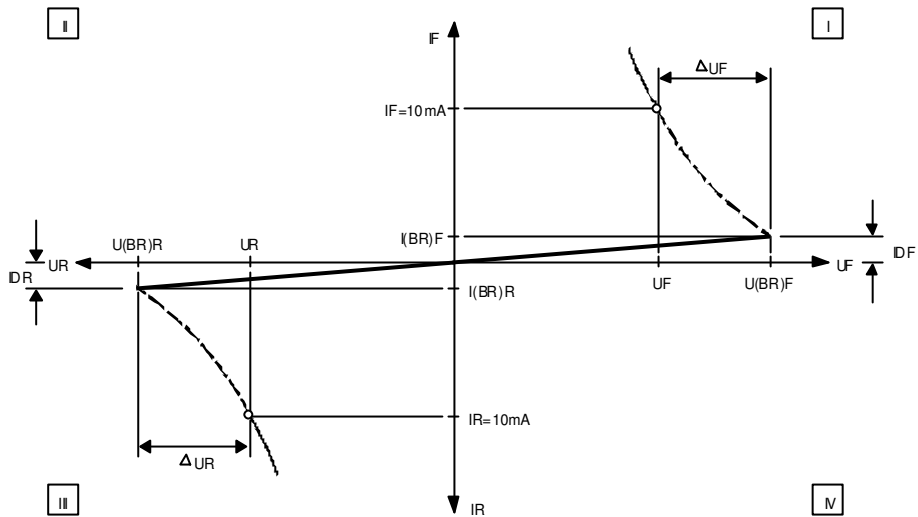
DIACS yang tersusun dari 2 buah dioda empat lapis dengan bahan silikon memungkinkan bekerja pada tegangan tinggi dan arus yang sebatas kemampuannya . Namun DIACS perlu mendapat perhatian khusus karena setelah mencapai tegangan UBRF tertentu, kemudian tegangan dengan sendirinya turun tapi arus IF tiba-tiba naik secara tajam. Untuk itu rangkaian DIACS memerlukan R seri sebagai pembatas arus. Dan karena konstruksinya yang kalau kita lihat dari simbol terdiri dari 2 dioda yang tersambung secara anti paralel, maka DIACS dapat dipergunakan pada rangkaian AC.



Gambar 2.184 DIACS yang tersusun dari 2 buah dioda empat lapis

Semua alat-alat yang dikeluarkan pabrik pasti mempunyai harga batas . Begitu pula DIACS , komponen ini mempunyai beberapa harga batas. Harga batas ini di keluarkan oleh pabrik pembuat komponen melalui pengukuran yang teliti di laboratorium dengan suhu udara tertentu , sehingga dalam tabel yang dikeluarkan pabrik selalu mencamtumkan suhu saat pengukuran.

Data harga batas ini sangatlah penting bagi pemakai dalam merencanakan sebuah rangkaian elektronika yang handal . Untuk mencari harga batas tersebut , anda dapat mencarinya dalam tabel / kurva di bawah ini

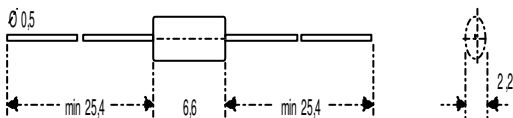


Gambar 2.185 Kurva Karakteristik DIACS

Dari kurva diacs dapat kita lihat :

- $U (BR) F$ artinya tegangan patah simetris arah maju
- $U (BR) R$ artinya tegangan patah simetris arah mundur
- $I (BR) F$ artinya arus patah arah maju
- $I (BR) R$ artinya arus patah arah mundur

Berikut ini adalah tabel DIACS A 9903



P_{tot}	150 mW
I_{max}	1 A
ϑ_S	-50°C sampai 150°C
U_{BR}	$32 \pm 4V$
I_{BRF}, I_{BRR}	0,4 mA typ 1,0 mA max

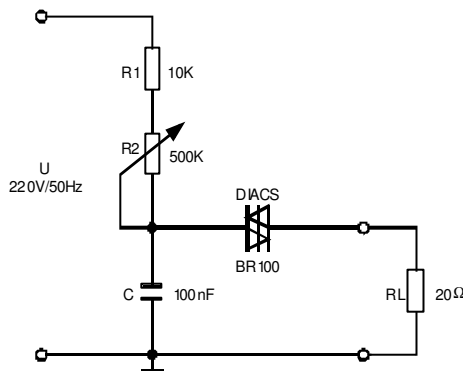
ΔU	8 V typ
	6 V min
α_{UBR}	0,1 % / °C

Dari tabel diatas dapat mengambil besaran angka untuk :

1. P_{tot}
2. I_{max}
3. U_{BR}
4. I_{BRF} , I_{BRR}

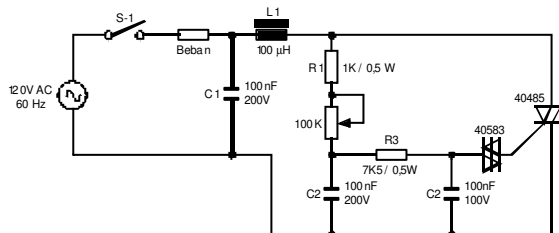
Aplikasi DIACS

Rangkaian Penyulut dengan DIACS (sebagai komponen utama)



Gambar 2.186 Rangkaian Penyulut dengan DIACS

Skema Rangkaian Fase Kontrol yang sesuai untuk Dimmer Lamp; Kontrol Panas dan Kontrol Kecepatan Motor. (DIACS sebagai komponen pendukung).



Gambar 2.187 Skema Rangkaian Fase Kontrol

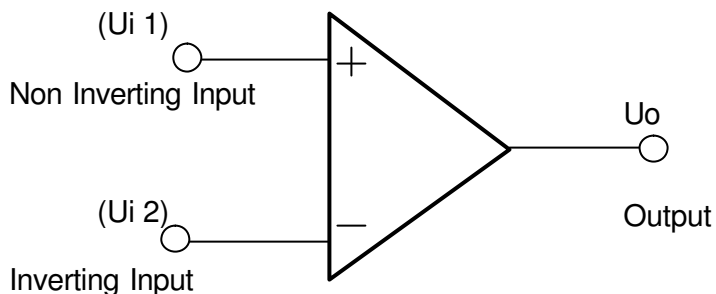
2.2.11. OPERASIONAL AMPLIFIER

2.2.11.1. PENGENALAN OP-AMP

2.2.11.1.1. PENGERTIAN UMUM

Penguat operasi (“operational amplifier”) atau sering disingkat dengan OP-AMP merupakan komponen-komponen linier yang terdiri atas beberapa komponen diskrit yang terintegrasi dalam bentuk “chip” (IC: *Integrated Circuits*). OP-AMP biasanya mempunyai dua buah input, yaitu input pembalik (*inverting input*) dan input bukan pembalik (*non-inverting input*), serta satu buah output.

Lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar simbol OP-AMP berikut ini:



Gambar 2.188 Simbol OP-AMP

Input OP-AMP bisa berupa tegangan searah maupun tegangan bolak-balik. Sedangkan output OP-AMP tergantung input yang diberikan. Jika input OP-AMP diberi tegangan searah dengan input “*non-inverting*” (+) lebih besar daripada input *inverting* (-), maka output OP-AMP akan positif (+). Sebaliknya, jika input “*noninverting*” (+) lebih kecil daripada input “*inverting*” (-), maka output OP-AMP akan negatif (-).

Jika input OP-AMP diberi tegangan bolak-balik dengan input “*noninverting*” (+), maka output OP-AMP akan sefase dengan inputnya tersebut. Sebaliknya jika input “*inverting*” (-) diberi sinyal/tegangan bolak-balik sinus, maka output OP-AMP akan berbalik fase terhadap inputnya. Dalam kondisi terbuka (*open*) besarnya tegangan output (U_o) adalah:

$$U_o = A_oL (U_{i1} - U_{i2}) \quad (1.1)$$

Keterangan: U_o = Tegangan output
 A_oL = Penguatan “open loop”
 U_{i1} = Tegangan input Non Inverting
 U_{i2} = Tegangan input Inverting

2.2.11.1.1.1. Parameter OP-AMP

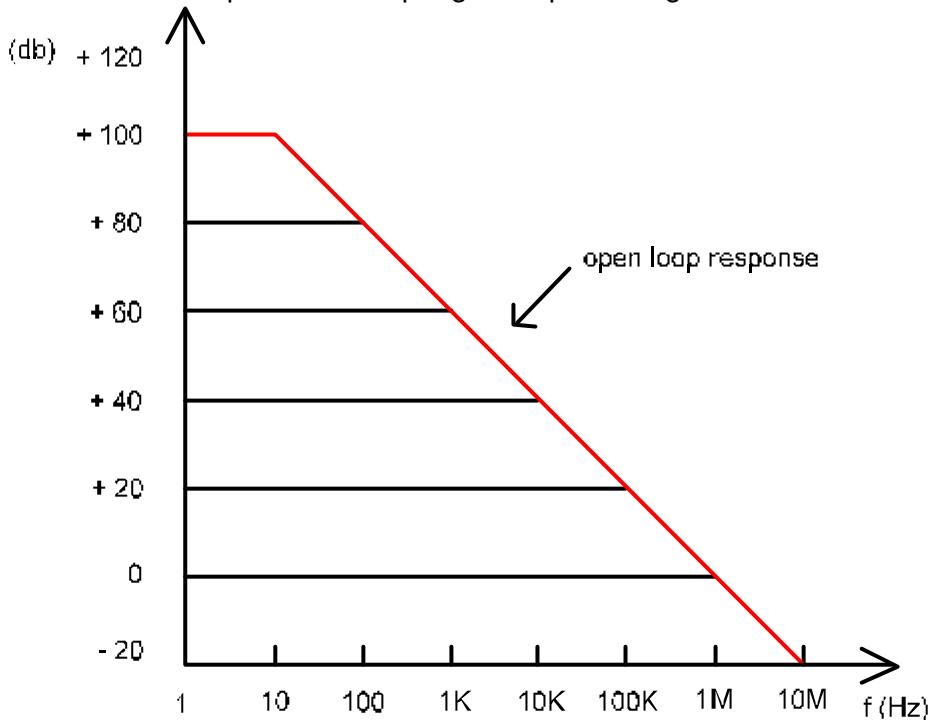
Pada keadaan ideal OP-AMP mempunyai sifat- sifat yang penting, yaitu:

1. *Open loop voltage gain* (A_{oL}).
Penguatan tegangan pada keadaan terbuka (*open loop voltage gain*) untuk frekuensi rendah adalah sangat besar sekitar 100.000 atau sekitar 100 dB.
2. Input *impedance* (Z_{in})
Impedansi input pada kedua terminal input kondisi “open loop” tinggi sekali, sekitar 1 M Ω untuk OP-AMP yang dibuat dari FET, impedansi inputnya sekitar 10⁶ M Ω lebih.
3. Output *impedance* (Z_o)
Impedansi output pada kondisi “open loop” rendah sekali, sekitar 100 Ω lebih kecil.
4. Input bias current (I_b)
Kebanyakan OP-AMP pada bagian inputnya menggunakan transistor bipolar, maka arus bias pada inputnya kecil. Level amplitudonya tidak lebih dari mikroampere.
5. Supply voltage range (U_s)
Tegangan sumber untuk OP-AMP mempunyai *range* minimum dan maksimum, yaitu untuk OP-AMP yang banyak beredar di lapangan/di pasaran sekitar 3 V sampai 15 V.
6. Input voltage range (U_{i max})
Range tegangan input maksimum sekitar 1 volt atau 2 volt atau lebih di bawah tegangan sumber U_s.
7. Output voltage range (U_{o max})
Tegangan output maksimum mempunyai range antara 1 volt atau 2 volt lebih di bawahnya tegangan sumber (*supply voltage*) U_s. Tegangan output ini biasanya tergantung tegangan saturasi OP-AMP.
8. Differential input offset voltage (U_{io})
Pada kondisi ideal output akan sama dengan nol bila kedua terminal inputnya di-*ground*-kan. Namun kenyataannya semua peranti OP-AMP tidak ada yang sempurna, dan biasanya terjadi ketidakseimbangan pada kedua terminal inputnya sekitar beberapa milivolt. Tetapi jika input ini dibiarkan untuk dikuatkan dengan OP-AMP dengan model “closed loop”, maka tegangan output bisa melebihi saturasinya. Karena itu, biasanya setiap OP-AMP pada bagian luar dilengkapi dengan rangkaian offset tegangan nol (*zero offset voltage*).
9. Common mode rejection ratio (CMRR)
Secara ideal OP-AMP menghasilkan output yang proporsional dengan/terhadap beda kedua terminal input, dan menghasilkan output sama dengan nol jika sinyal kedua input simultan yang biasa disebut “Common mode”. Secara praktik sinyal “Common mode” tidak diberikan pada inputnya dan dikeluarkan pada outputnya.

Sinyal CMRR (*Common Mode Rejection Ratio*) selalu diekspresikan dengan rasio dari penguatan sinyal beda OP-AMP dengan harga sebesar 90 dB.

10. Transition frequency (fT)

Secara umum OP-AMP pada frekuensi rendah mempunyai penguatan tegangan sekitar 100 dB. Kebanyakan OP-AMP mempunyai frekuensi transisi fT setiap 1 MHz dan penguatan pada harga sebesar 90 dB.



Gambar 2.189 Frekuensi Respon OP-AMP

11. Slew rate (s)

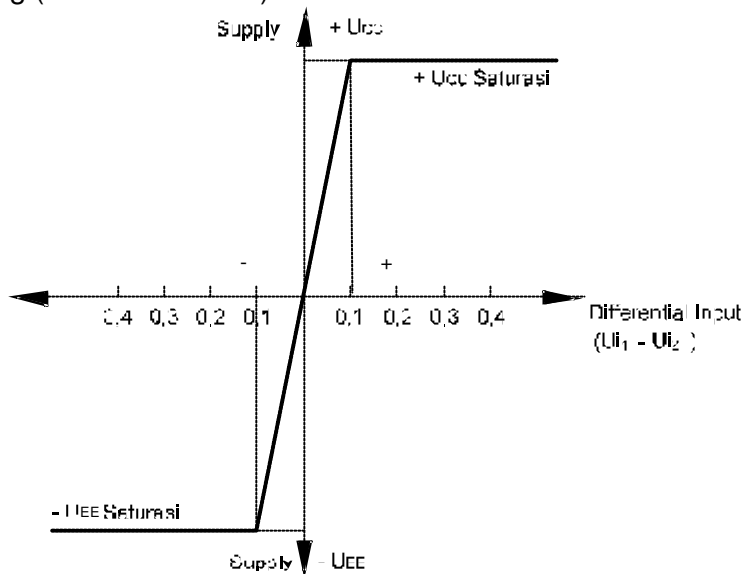
Untuk penormalan batas lebar *band* (*bandwidth limitations*) yang juga biasa disebut “slew rate limiting”, yaitu suatu efek untuk membatasi *rate* maksimum dari perubahan tegangan output peranti OP-AMP. Normalnya “slew rate” volt per mikrodetik (V/μS), dan range-nya sebesar 1 V/μS sampai 10 V/μS pada OP-AMP yang sudah populer. Efek lain dari “slew rate” adalah membuat “bandwidth” lebih besar untuk sinyal output yang rendah daripada sinyal output yang besar.

2.2.11.1.1.2. Karakteristik OP-AMP

Dari parameter-parameter penting yang dipunyai OP-AMP, karakteristiknya tidak jauh berbeda dengan parameternya.

Besarnya level magnitude dari tegangan beda pada input yang absolut kecil akan mempengaruhi perubahan level tegangan output. Jelasnya,

jika referensi tegangan yang digunakan = 1 volt, hanya diperlukan hanya sekitar 200 μV untuk membuat output dari saturasi level negatif ke level positif. Perubahan ini disebabkan oleh sebuah pergeseran dari hanya 0,02 % pada sinyal 1 volt input. Rangkaian ini yang menyebabkan fungsinya menjadi fungsi komparator tegangan yang presisi atau detektor seimbang (*balance detector*).



Gambar 2.190 Karakteristik Transfer Rangkaian Komparator Tegangan Beda

2.2.11.1.2. SEJARAH PERKEMBANGAN OP-AMP

Pengembangan rangkaian terpadu IC luar telah ada sejak tahun 1960, pertama telah dikembangkan pada “chip” silikon tunggal. Rangkaian terpadu itu merupakan susunan antara transistor, diode sebagai penguat beda, dan pasangan Darlington.

Kemudian tahun 1963 industri semikonduktor Fairchild memperkenalkan IC OP-AMP pertama kali $\mu\text{A} 702$, yang mana merupakan pengembangan IC OP-AMP yang lain sebelumnya, di mana tegangan sumber (catu daya) dibuat tidak sama, yaitu $+U_{cc} = +12\text{ V}$ dan $-U_{EE} = -6\text{ V}$, dan resistor inputnya rendah sekali yaitu (40 $\text{k}\Omega$) dan *gain* tegangan (3600 V/V). IC tipe $\mu\text{A} 702$ ini tidak direspon oleh industri- industri lain karena tidak universal.

Tahun 1965 Fairchild memperkenalkan IC MA709 merupakan kelanjutan sebagai tandingan dari $\mu\text{A} 702$. Dengan banyak kekhususan tipe $\mu\text{A} 709$ mempunyai tegangan sumber yang simetris, yaitu $+U_{CC} = 15\text{ V}$ dan $-U_{EE} = -15\text{ V}$,resistan input yang lebih tinggi (400 $\text{k}\Omega$) dan gain tegangan

yan lebih tinggi pula (45.000 V/v). IC **7A709** merupakan IC linier pertama yang cukup baik saat itu dan tidak dilupakan dalam sejarah dan merupakan generasi OP-AMP yang pertama kali. Generasi yang pertama OP-AMP dari Motorola yaitu MC1537.

Beberapa hal kekurangan OP-AMP generasi pertama, yaitu: Tidak adanya proteksi hubung singkat. Karena OP-AMP sangat rawan terhadap hubung singkat ke ground, maka seharusnya proteksi ini penting.

Suatu kemungkinan problem “latch up”. Tegangan output dapat di-“latch up” sampai pada beberapa harga yang karena kesalahan dari perubahan inputnya.

Memerlukan jaringan frekuensi eksternal sebagai kompensasi (dua kapasitor dan resistor) untuk operasi yang stabil.

Selanjutnya tahun 1968 teknologi OP-AMP dikembangkan oleh Fairchild dengan IC **7A741** yang telah dilengkapi proteksi hubung singkat, stabil, resistor input yang lebih tinggi (2 **M?**), gain tegangan yang ekstrim (200.000 V/V) dan kemampuan *offset null* (zero offset). OP-AMP 741 termasuk generasi kedua dan IC yang lain juga termasuk OP-AMP generasi kedua, yaitu LM101, LM307, **7A748**, dan MC1558 merupakan OP-AMP yang berfungsi secara umum sebagaimana LM307.

Untuk tipe-tipe OP-AMP yang khusus seperti mengalami peningkatan dari segi kegunaan atau fungsinya seperti: LM318 (dengan kecepatan tinggi sekitar 15 MHz). Lebar band kecil dengan “slew rate” 50 V/**?**S. IC **7A771** merupakan OP-AMP dengan input bias arus yang rendah, yaitu 200 pA dan “slew rate” yang tinggi 13 V/**?**S. Lalu **7A714** yaitu IC OP-AMP yang presisi dengan noise rendah (1,3 **?**A/10C), offset tegangan yang rendah (75 **?**V), offset arus yang rendah (2,8 nA).

Tipe IC OP-AMP lain, yaitu **7A791** merupakan OP-AMP sebagai penguat daya (*power amplifier*) dengan kemampuan arus output 1A. Dan IC OP-AMP **7A776** adalah OP-AMP yang multiguna bisa diprogram. Generasi-generasi yang akhir inilah yang banyak dijumpai dalam pameran-pameran untuk pemakaian-pemakaian khusus.

IC linier dalam pengembangannya tidak cukup hanya di situ saja bahkan sudah dibuat blok-blok sesuai keperluan seperti untuk keperluan konsumen (audio, radio, dan TV), termasuk keperluan industri seperti (timer, regulator, dan lain-lainnya). Bahkan belakangan ini dikembangkan OP-AMP dengan teknologi BIFET dan “laser trimming”. Karena dengan teknologi BIFET lebar band bisa ditekan dan “slew rate” cepat, bersama ini pula bias arus rendah dan offset input arus rendah. Contoh tipe OP-AMP BIFET LF351, dan LF353 dengan input bias (200 pA) dan offset

arus (100 pA), bandwidth gain unity yang besar (4 MHz), dan “slew rate” yang cepat (13 V/MS) dan ditambah lagi pin kaki-kakinya sama dengan IC **LM741** (yang ganda) dan IC MC1458).

Industri Motorola melanjutkan pengembangan OP-AMP dengan teknologi “trimming dan BI-FET” (disingkat TRIMFET) untuk memperoleh kepresisian karakteristik input dengan harga yang rendah. Contoh MC34001/MC34002/MC34004 masing-masing adalah OP-AMP tunggal, ganda, dan berjumlah empat (*guard*).

2.2.11.1.3. JENIS OP-AMP DAN BENTUK KEMASANNYA

IC (*Integrated Circuit*) dibedakan ke dalam “Digital” dan “Analog”. IC Analog biasanya termasuk bagian IC linier. IC ini merupakan rangkaian integrasi kumpulan dari beberapa komponen aktif diskrit seperti transistor, diode, atau FET dan lain-lainnya serta komponen pasif seperti resistor, kapasitor, dan lain-lainnya.

IC linier biasanya digunakan sebagai penguat, filter, pengali frekuensi (*frequency multiplier*) serta modulator yang biasanya memerlukan komponen dari luar agar sempurna seperti kapasitor, resistor, dan lain-lainnya. Mayoritas IC linier adalah OP-AMP, yang biasanya digunakan sebagai penguat, filter aktif, integrator, dan diferensiator serta untuk aplikasi-aplikasi lainnya.

Sedangkan OP-AMP yang untuk keperluan rangkaian khusus seperti aplikasi komparator, regulator tegangan suplai, dan fungsi-fungsi khusus yang lainnya termasuk penguat daya besar.

Beberapa fungsi IC linier yang umum dan khusus akan diberikan lengkap beserta contohnya, termasuk kode produksi sampai ke bentuk model kemasannya.

2.2.11.1.3.1. Jenis IC Linier Berdasarkan Fungsi dan Fabrikasi

IC linier atau analog yang fungsi umumnya digunakan pada rangkaian-rangkaian integrator, diferensiator, penguat penjumlah (*summing amplifier*) atau yang lainnya. Contoh IC yang umum adalah LM**741** atau tipe 351.

Di sisi lain untuk IC linier yang khusus (spesial) biasanya hanya digunakan pada aplikasi-aplikasi khusus. Contoh untuk tipe LM380 hanya bisa digunakan pada aplikasi penguat audio (audio amplifier).

Tipe seri IC linier mempunyai pengertian yang berbeda sesuai dengan fabrikasi atau pabrik pembuat IC tersebut. Di Amerika saja sekitar 30 industri memproduksi IC sebanyak 1 juta lebih setiap tahunnya. Masing-

masing industri mempunyai kode-kode tertentu dan tanda-tanda khusus untuk penomorannya.

Berikut ini diberikan tipe dan inisial serta penomoran dan kode produksi IC linier yang beredar di pasar elektronika selama ini:

Nama Industri:	Inisial/kode/tipe
- Fairchild	? A; ? AF
- National Semiconductor	LM; LH; LF; TBA
- Motorola	MC; MFC
- R C A	CA; RD
- Texas Instruments	SN
- Sprague	ULN; ULS; ULX
- Intersil	ICL; IH
- Siliconix, Inc.	L
- Signetics	N/S; NE/SE; SU
- Burr-brown	BB

Selain industri pembuat IC linier tersebut masih banyak lagi seperti Mitsubishi, Hitachi, Matsushita, Sony, Sharp, Sanyo, dan lain-lainnya. Untuk mengenal pengertian kode dan inisial ini diberi contoh satu IC linier yang umum diproduksi oleh beberapa industri:

LM741 : IC OP-AMP 741 diproduksi National Semiconductor
 MC17141 : IC OP-AMP 741 diproduksi Motorola
 CA3741 : IC OP-AMP 741 diproduksi R C A
 SN52741 : IC OP-AMP 741 diproduksi Texas Instruments
 N5741 : IC OP-AMP 741 diproduksi Signetics

Dari tipe di atas dapat dijelaskan bahwa angka tiga digit terakhir masing-masing industri IC menyatakan tipe Op-AMP, yaitu 741, dan semua industri membuat dengan spesifikasi yang sama yaitu internasional. Untuk mendapatkan informasi yang banyak dan khusus biasanya pembuat IC selalu menyertakan pembuatan buku data (*data book*) sebagai referensi atau petunjuk.

Beberapa IC linier mempunyai kemampuan dan kelompok yang berbeda-beda, seperti kelas A, C, E, S, dan SC. Sebagai contoh, IC 741, 741A, 741C, 741E, 741S, dan 741SC semuanya adalah OP-AMP. Namun biasanya dibedakan menurut suhu operasi. Contoh, untuk OP-AMP keperluan militer mempunyai suhu sekitar -55°C s.d. 125°C , sedangkan OP-AMP komersial mempunyai kisaran suhu 0°C s.d. 75°C dan kisaran suhu OP-AMP industri -40°C s.d. $+85^{\circ}\text{C}$.

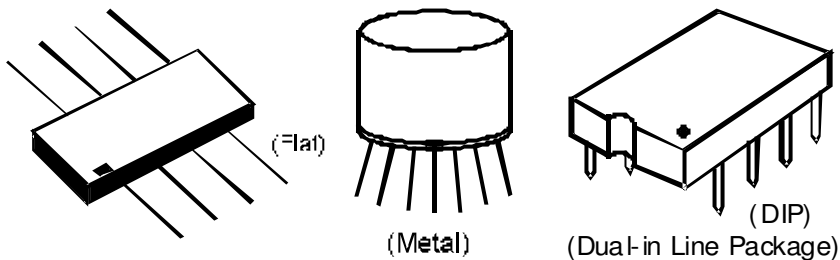
Di sisi lain untuk 741A dan 741E merupakan improvisasi dari tipe 741 dan 741C, yang masing-masing mempunyai spesifikasi yang lebih. IC 741C dan 741E merupakan IC yang identik dengan 741 dan 741A dengan

kisaran suhu 0°C s.d. 75°C , namun jangkauan suhu 741C dan 741E sekitar -55°C s.d. 125°C . Sedangkan IC 741S dan 741SC adalah OP-AMP tipe militer dan komersial yang masing-masing dengan pengubah *rate* tegangan output per unit waktu lebih tinggi (*higher slew rate*) dibandingkan tipe 741 dan 741C.

2.2.11.1.3.2. Bentuk Kemasan

Ada tiga macam bentuk kemasan IC linier, yaitu:

1. Bentuk kemasan datar (flat pack)
2. Bentuk kemasan logam/transistor (metal or transistor pack)
3. Bentuk kemasan sisi gari ganda (dual-in-line pack)

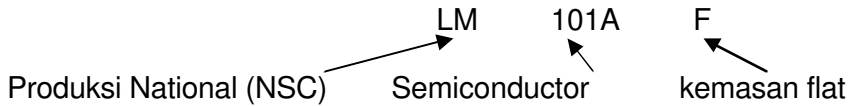


Gambar 2.191 Bentuk kemasan IC linier

2.2.11.1.4. IDENTIFIKASI PIN DAN PERANTI

Secara umum tipe IC linier dikelompokkan dalam tipe kemasan (*package type*), tipe peranti (*device type*) dan tipe range temperaturnya.

Dari tipe peranti (*device type*) dibedakan berdasarkan inisial industri pembuat dan fungsi dari peranti tersebut. Contoh IC ? A741, LM 741, dan MC1741 masing-masing telah menunjukkan fungsi IC linier yang sama, yaitu OP-AMP, tetapi dari pabrik pembuat yang berbeda yaitu masing-masing dibuat oleh industri Fairchild, National Semiconductor, dan Motorola.



2.2.11.1.5. CARA PEMBUATAN SUMBER TEGANGAN

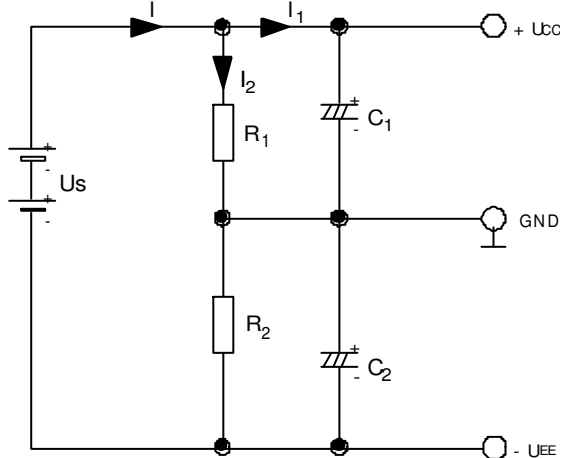
Umumnya, IC linier memerlukan sumber tegangan positif dan negatif karena IC linier kebanyakan menggunakan satu atau lebih penguat beda (*differential amplifier*). Namun di sisi lain ada juga IC linier yang menggunakan sumber tegangan positif saja. IC tersebut di antaranya OP-AMP LM 702 dan LM 324 dan masih ada juga yang lainnya terutama OP-AMP yang mempunyai aplikasi khusus. Dan biasanya setiap seri IC mempunyai buku data sebagai manual dan referensi petunjuk pin maupun data-data lain.

Sumber tegangan positif dan negatif yang sering digunakan pada OP-AMP adalah (+12 V dan -12 V); (+15 V dan -15 V), dan lain-lainnya. Sumber tegangan ini biasa diberi simbol (+UCC dan -UEE) atau (U+ dan U-). Untuk lebih jelasnya berikut diuraikan beberapa cara pemberian dan pembuatan sumber tegangan positif dan negatif pada OP-AMP.

2.2.11.1.5.1. Pembagi Tegangan (Voltage Divider)

Pembagi tegangan yang biasa digunakan untuk pemberian tegangan positif dan negatif cukup menggunakan dua buah resistor sama besar, lalu distabilkan dengan kapasitor. Hal ini dilakukan karena sumber tegangan yang dimiliki hanya satu, yaitu positif saja.

Berikut gambar rangkaian cara pembagian tegangan:



Gambar 2.193 Sistem Pembagi Tegangan

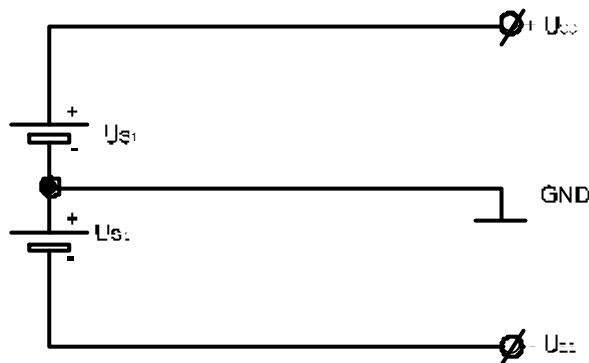
Besarnya $R1 = R2$, dan supaya arus suplai I tidak mengalir ke resistor semua, maka $(R1 + R2)$ harus **? 10 k?**. Sehingga besarnya $+U_{CC}$ dan $-U_{EE}$ bisa dihitung sebagai berikut:

$$+U_{CC} = \frac{+U_S}{2} \quad \text{dan} \quad -U_{EE} = \frac{-U_S}{2}$$

2.2.11.1.5.2. Sambungan Seri Dua Buah Sumber Tegangan

Dua buah sumber tegangan, yaitu $+U_S$ dan $+U_S$ dapat disambungkan seri untuk dijadikan sumber tegangan positif dan negatif.

Gambar berikut menunjukkan cara penyambungan sumber tegangan seri menggunakan dua buah sumber tegangan.



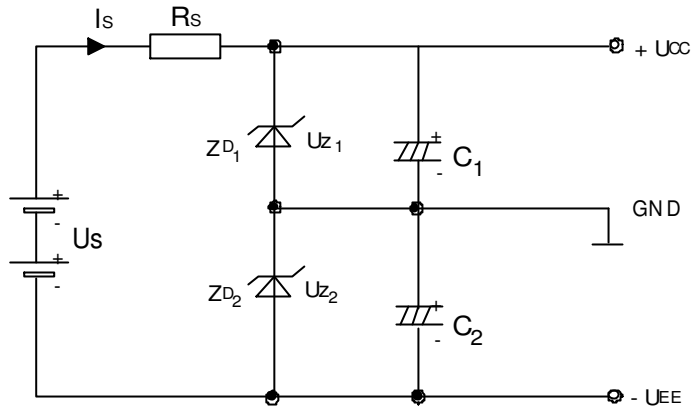
Gambar 2.194 Sistem Sambungan seri dari dua sumber tegangan

Syarat sumber tegangan bisa disambungkan seri adalah kedua sumber tegangan ini harus simetris atau sama besar.

2.2.11.1.5.3. Sistem Sambungan Seri Dua Buah Zener

Dengan memakai dua buah diode zener secara seri, maka sumber tegangan tunggal dapat dibuat menjadi positif dan negatif. Namun dalam pemasangan diode zener harus diberikan tahanan depan.

Gambar berikut menunjukkan rangkaian sistem sambungan diode zener seri untuk memperoleh sumber tegangan positif dan negatif.



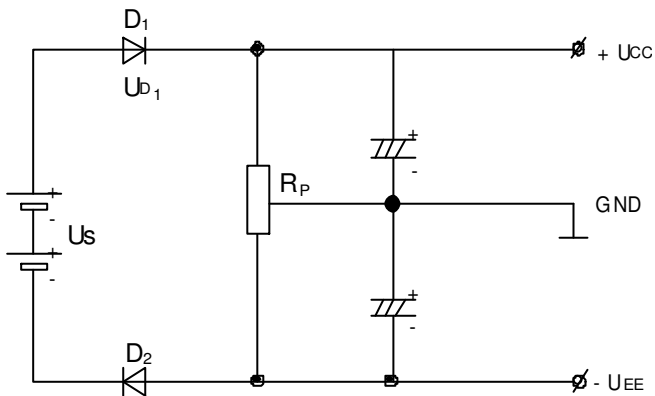
Gambar 2.194 Sistem Sambungan Seri Dari Dua Buah Zener

Besarnya $+U_{CC} = U_{z1}$ dan $-U_{EE} = -U_{z2}$ atau sama dengan $+U_{CC} = +U_s - I_s R_s$ dan untuk tegangan negatif $-U_{EE} = -U_s + I_s R_s$

2.2.11.1.5.4. Sistem Dua Buah Diode dan Potensiometer

Cara pembuatan sumber tegangan dengan sistem ini jarang digunakan, karena sangat kesulitan untuk penyetelan potensiometer.

Gambar berikut adalah rangkaian sistem dua buah diode dan potensiometer



Gambar 2.195 Sistem Dua Buah Diode dan Potensiometer

Besarnya:

$$U_{CC} = \frac{U_s - U_{D1}}{2}, \text{ kondisi Rp di tengah (center)}$$

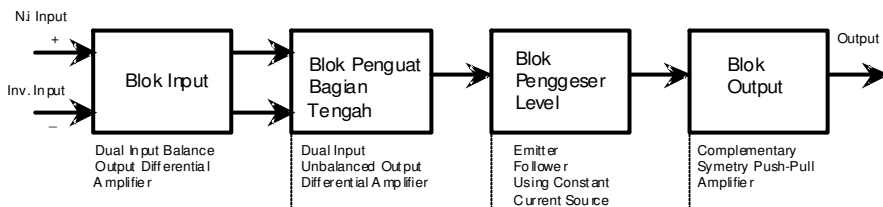
$$U_{EE} = \frac{U_s - U_{D2}}{2}, \text{ kondisi Rp di tengah (center)}$$

2.2.11.1.6. RANGKAIAN EKUIVALEN

Secara prinsip rangkaian ekuivalen OP-AMP merupakan rangkaian penguat diferensial yang menggunakan beberapa transistor dengan sistem kopel langsung (*direct coupling*). Untuk satu buah OP-AMP paling sedikit terdiri atas delapan buah transistor yang terangkai secara diferensial sistem kopel langsung. Sebuah OP-AMP terdiri dari beberapa blok rangkaian, yaitu:

1. Bagian input terdiri dari “Dual input balanced output differential amplifier” dan “Dual input unbalanced output differential amplifier.”
2. Bagian penguat arus yaitu Emitter follower.
3. Bagian penguat daya.

Gambar berikut menunjukkan rangkaian ekuivalen OP-AMP yang terdiri dari beberapa blok rangkaian.

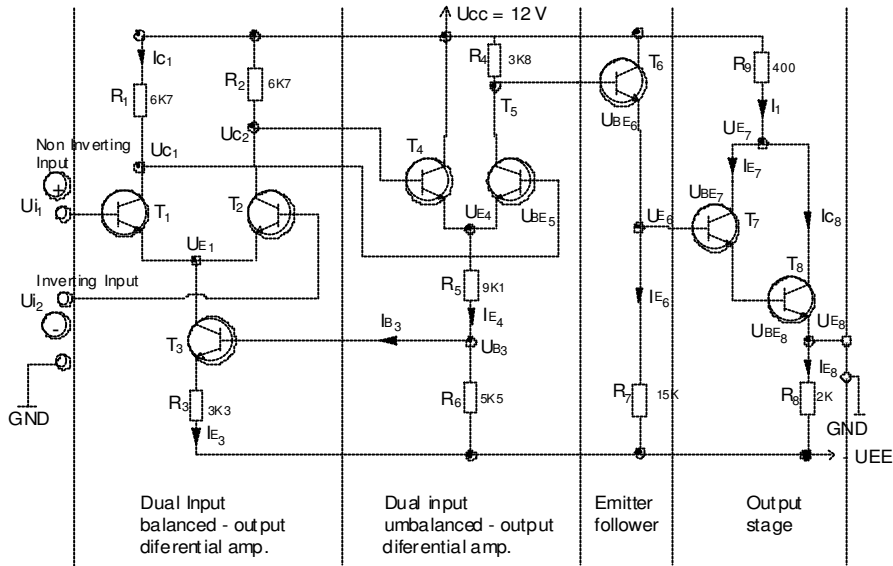


Gambar 2.195 Blok Diagram Ekuivalen OP-AMP

Bagian input (*input stage*) terdapat input ganda (*dual input*), dengan output seimbang (*balanced output*). Pada bagian ini secara umum menguatkan tegangan dan menentukan tahanan input OP-AMP. Dan pada bagian penguat tengah merupakan bagian penguat beda yang mendorong bagian output bagian output yang pertama. Amplifier pada bagian ini biasanya dengan input ganda dan dengan output tunggal tidak seimbangan. Hal ini dikarenakan menggunakan kopel langsung, yaitu pada output penguat bagian tengah ini adalah tegangan DC.

Pada bagian penggeser level secara umum adalah rangkaian translator (*shifting*) untuk menggeser level DC pada output dari bagian penguat tengah menuju ke 0 volt. Sedangkan bagian akhir selalu menggunakan rangkaian penguat komplemen “Push Pull” (Push Pull Complementary). Outputnya yaitu tegangan dan kemampuan arusnya menjadi naik.

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada rangkaian ekuivalen beserta beberapa analisis pendekatan secara perhitungan teori.



Gambar 2.196 Rangkaian Ekuivalen OP-AMP

Besarnya tegangan beda (Diferensial Voltage) UD:

$$UD = U_{i1} - U_{i2} \quad ? \quad U_{BE1} - U_{BE2} \quad ? \quad 0$$

(1.1)

$$UC1 = U_{CC} - IC1 \cdot R1$$

(1.2)

$$UEA = UC1 - U_{BE5}$$

(1.3)

Karena $IB3 = 0$ (kecil sekali)

Maka:

$$I_{E4} = \frac{U_{E4} - U_E}{R_5 - R_6} \quad I_{E4} = \frac{U_{E4} + U_{EE}}{R_5 + R_6}$$

(1.4)

$$UE3 = UB3 - UBE3$$

(1.5)

$$I_{E3} = \frac{U_{E3} + U_E}{R_3} \quad I_{E3} = \frac{U_{E3} - U_{EE}}{R_3} \quad)3 - U_{EE}$$

Karena $IE3 = 2 \cdot IC1$ dan $IC1 = IC2$

Maka :

$$2 \cdot IC1 = \frac{R_6 \cdot (U_{CC} - U_{BE})}{(R_5 + R_6) \cdot R_3} - \frac{(R_6) \cdot (R_1) \cdot IC1}{(R_5 + R_6) \cdot (R_3)} - \frac{0,7}{R_3}$$

(1.7)

$$UE4 = UC1 - U_{BE5}$$

(1.8)

$$2 \cdot I_{E4} = \frac{U_{E4} + U_{EE}}{R_5 + R_6}$$

(1.9)

$$U_{CE5} = U_{CC} - (R_4) \cdot I_{C5}$$

(1.10)

$$U_{E6} = U_{C5} - U_{BE6}$$

(1.11)

$$I_{E6} = \frac{U_{E6} + U_{EE}}{R_7}$$

(1.12)

$$U_{E7} = U_{C8} = U_{E6} + U_{BE7}$$

(1.13)

$$I_1 = \frac{U_{CC} - U_{E7}}{R_9}$$

(1.14)

Karena

$$I_{C7} = I_{B8} \text{ dan } I_{C7} = I_{E7}$$

$$I_1 = I_{C8} + I_{B8}$$

(1.15)

$$U_{E8} = U_0 = -U_{EE} + (R_8) \cdot I_{E8}$$

(1.16)

LATIHAN 1

1. Apakah Op-Amp itu? Gambarkan simbolnya!
2. Sebutkan parameter-parameter penting OP-AMP!
3. Berdasarkan karakteristik OP-AMP, sebutkan ciri-ciri ideal OP-AMP berikut ini (pada kondisi "open loop"):
 - a. Sifat impedansi input OP-AMP (Z_i)
 - b. Sifat impedansi output OP-AMP (Z_o)
 - c. Sifat penguatan tegangan (AOL)
4. Menurut sejarah pembuatan OP-AMP, IC linier OP-AMP **? A702** merupakan pembuatan IC linier tahun 1963, berapakah sumber tegangan untuk IC linier **? A702 ini**? Dan produksi industri manakah IC tersebut?
5. Sebutkan dari industri mana serta terangkan arti seri romor IC linier di bawah ini:
 - a. MC 1741 P -55° to 125°C
 - b. **? A 324 TC**
 - c. LM 741 AF
6. Sebutkan cara pembuatan dan pemberian sumber tegangan pada OP-AMP yang memerlukan sumber tegangan positif dan negatif! Gambarkan pula rangkaianannya!
7. OP-AMP jika dibuat rangkaian ekuivalennya terdiri dari blok apa sajakah di dalamnya?
8. Apakah beda *power supply* untuk IC digital dan IC analog/linier secara umum?
9. Sebutkan macam-macam kemasan IC linier!
10. Sebutkan kelompok IC linier berdasarkan suhu dan fungsinya!

2.2.11.2. PENGUAT BEDA DAN KASKADE

(DIFFERENTIAL AND CASCADE AMPLIFIER)

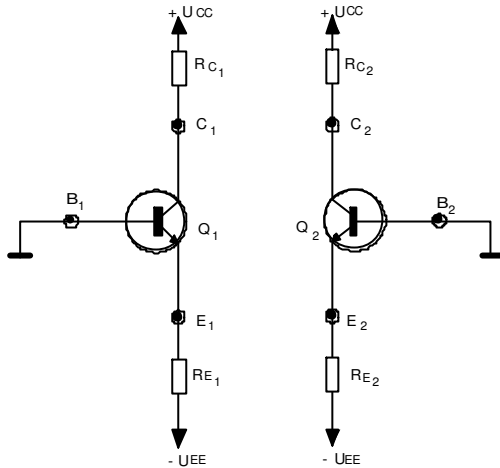
Sub bab ini akan membahas OP-AMP dengan analisisnya. Analisis yang digunakan adalah dengan parameter-r, termasuk perhitungan-perhitungan secara numerik pada penguat beda (*differential amplifier*) dan pada penguat kaskade (*cascade amplifier*).

Karena penguat beda adalah dasar dari penguat operasi (OP-AMP), maka analisis untuk penguat beda merupakan bahasan utama pada bab ini. Dengan analisis penguat beda tidak hanya mempelajari operasi OP-AMP, tetapi juga sekaligus membuat analisis karakteristik OP-AMP lebih mudah dimengerti.

Pengembangan analisis ini termasuk juga mengontrol parameter-parameter OP-AMP seperti penguatan tegangan dan resisten input-output dari OP-AMP yang telah dibuat industri.

2.2.11.2.1. PENGUAT BEDA (DIFFERENTIAL AMPLIFIER)

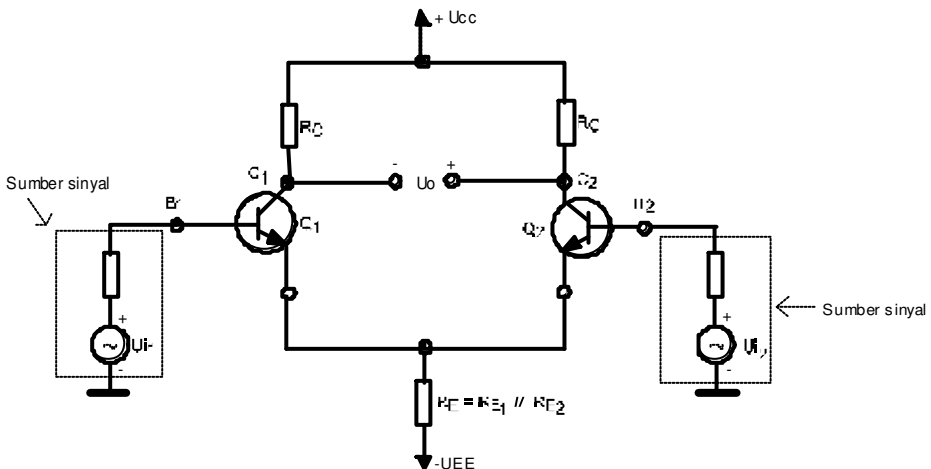
Penguat beda (*differential amplifier*) sering disebut juga penguat diferensial, biasanya dibuat dengan sistem transistor yang dirangkai secara rangkaian “emitter–biased”.



Gambar 2.197 Dua Rangkaian “Emiter–biased” yang identik 0

Transistor Q_1 mempunyai karakteristik yang sama dengan transistor Q_2 , $R_{E1} = R_{E2}$; $R_{C1} = R_{C2}$ dan level, amplitudo $+U_{CC}$ sama dengan level amplitudo $-U_{EE}$. Sumber tegangan $+U_{CC}$ dan $-U_{EE}$ ini semua terukur terhadap *ground* (1).

Untuk memperoleh rangkaian tunggal seperti Gambar 2.198 berikut, maka harus menyambung kedua rangkaian itu (Gambar 2.197) seperti berikut:



Gambar 2.198 Penguat diferensial input ganda, output seimbang (Dual-Input, balanced–output differential amplifier)

Menyambung $+U_{CC}$ (tegangan sumber) dari kedua rangkaian (Gambar 2.197) menjadi (Gambar 2.198). Hal ini dilakukan jika polaritas dan amplitudonya sama besar, termasuk sama juga pada $-U_{EE}$.

Menyambung E_1 transistor Q_1 ke E_2 pada Q_2 , ini berarti menyambung paralel R_{E1} dan R_{E2} ($R_E = R_{E1} // R_{E2}$).

Memberikan sinyal input U_{i1} pada B_1 dari transistor Q_1 dan U_{i2} pada B_2 dari Q_2 .

Memberi nama output U_o , yaitu antara C_1 dan C_2 atau sering disebut tegangan output diferensial.

Karena $R_{C1} = R_{C2}$, maka tahanan kolektor ini cukup diberi nama RC, dan $R_E = R_{E1} // R_{E2}$. Jika $R_{E1} = R_{E2}$, maka $R_E = \frac{1}{2}R_{E1} = \frac{1}{2}R_{E2}$.

2.2.11.2.1.1. Konfigurasi Rangkaian Penguat Diferensial

Ada empat macam konfigurasi rangkaian penguat diferensial, yaitu: penguat diferensial, input-ganda, output seimbang (*dual-input, balanced output differential amplifier*)

penguat diferensial, input ganda, output tak seimbang (*dual-output, inbalanced output differential amplifier*)

penguat diferensial, input-tunggal, output seimbang (*single-input, balanced output differential amplifier*)

penguat diferensial, input-tunggal, output tak seimbang (*single-input, unbalanced output differential amplifier*)

Konfigurasi rangkaian pada penguat diferensial didefinisikan sebagai jumlah sinyal yang digunakan dan tegangan output yang diukur. Jika digunakan dua buah sinyal input, maka konfigurasinya dikatakan “dual input” atau input ganda, atau yang lainnya, yaitu konfigurasi “single input” atau input tunggal. Pada sisi lain, jika tegangan output diukur di antara dua kolektor, hal ini sebagai output seimbang (*balanced output*), ini dikarenakan kedua kolektor mempunyai tegangan DC yang sama terhadap *ground*.

Namun sebaliknya, jika output diukur pada satu kolektor terhadap *ground* saja, konfigurasi ini disebut output tak seimbang (*unbalanced output*). Sebelum membahas beberapa analisis rangkaian, perlu dibahas lebih dahulu tentang beberapa hal penting bagian dan uraian detail secara umum.

2.2.11.2.1.2. Pemakaian Penguat Diferensial

Dua buah tipe semikonduktor yang hampir sama, yaitu BJT (*Bipolar Junction Transistor*) dan FET (*Field Effect Transistor*) diperlukan untuk aplikasi pembuatan penguat diferensial. Semua komponen ini dalam dua rangkaian “emitter-biased”, yang kedua komponennya harus memiliki

karakteristik yang sesuai. Termasuk sumber tegangan (*power supply*) $+U_{CC}$ dan $-U_{EE}$ harus mempunyai level amplitudo yang sama besar. Untuk desain penguat yang multitingkatnya, dengan mendapatkan penguatan tegangan yang besar, maka dapat digunakan sebuah rangkaian searah yang langsung antara semua tingkat dari penguat diferensial tersebut.

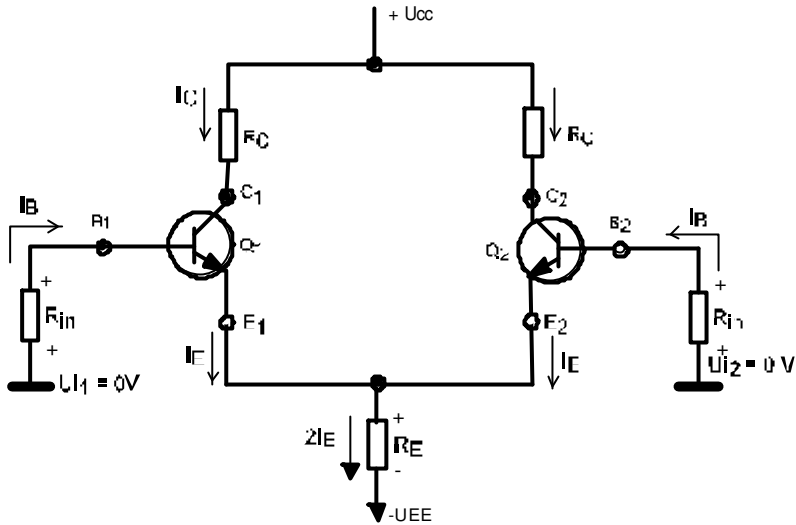
Pengertian rangkaian searah langsung adalah dengan menghilangkan frekuensi mati (*cut off frequency*) yang lebih rendah yang biasa menggunakan kopel kapasitor, maka kopel kapasitor ini harus dihilangkan, sehingga menjadi kopel langsung. Oleh karena itu, penguat diferensial mempunyai kemampuan menguatkan sinyal DC yang baik, sama seperti menguatkan sinyal AC. Dalam sistem instrumentasi, penguat diferensial juga baik dan banyak digunakan sebagai pembanding dua buah sinyal input.

2.2.11.2.2. PENGUAT DIFERENSIAL INPUT GANDA, OUTPUT SEIMBANG (*DUAL INPUT, BALANCED OUTPUT DIFFERENTIAL AMPLIFIER*)

Rangkaian penguat diferensial input ganda ditunjukkan pada Gambar 2.2. Dua buah sinyal input (dual input), U_{i1} dan U_{i2} diberikan ke Basis B_1 dan B_2 dari transistor Q_1 dan Q_2 . Output U_o diukur di antara dua kolektor, C_1 dan C_2 , yaitu merupakan tegangan DC. Karena sama-sama tegangan DC pada kolektor terhadap *ground*, maka output disebut output seimbang (*balanced output*).

2.2.11.2.2.1. Analisis DC

Untuk menentukan besarnya titik kerja (*operating point*) penguat diferensial (I_{CQ} dan V_{CEQ}) Gambar 2.2, diperlukan rangkaian ekuivalen secara rinci. Rangkaian ekuivalen DC dapat diperoleh secara sederhana dengan mereduksi sinyal input U_{i1} dan U_{i2} sama dengan nol. Gambar 2.3 berikut ini menunjukkan rangkaian ekuivalen Gambar 2.2.



Gambar 2.199 Rangkaian Ekuivalen DC dari Penguat Diferensial (*dual input, balanced output*)

Resistor internal dari sinyal input adalah R_{in} , sebab $R_{in1} = R_{in2}$. Karena kedua bagian menggunakan “emitter biased”, maka penguat diferensial ini adalah simetris (*matched in all respects*). Untuk menentukan titik kerja diperlukan arus kolektor I_{CQ} dan tegangan kolektor Emitor U_{CEQ} untuk satu bagian rangkaian. Sebaiknya harga rangkaian I_{CQ} dan U_{CEQ} dari transistor Q_1 yang ditentukan karena dengan I_{CQ} dan U_{CEQ} pada Q_1 , kemudian dapat untuk menentukan juga Q_2 .

Menggunakan hukum tegangan Kirchoff, loop basis-emitor pada transistor Q_1 adalah:

$$R_{in} \cdot I_B - U_{BE} - R_E (2I_E) + U_{EE} = 0 \quad (2.1)$$

Karena:

$$I_B = I_C \quad \text{dan} \quad I_C = I_E, \quad \text{maka} \quad I_B = I_E$$

Maka arus emitor pada Q_1 ditentukan langsung dari persamaan 2.1.

$$2 I_E \cdot R_E = - R_{in} \cdot I_B - U_{BE} + U_{EE}$$

$$2 I_E \cdot R_E + R_{in} \cdot I_B = + U_{EE} - U_{BE}$$

$$2 \cdot I_E \cdot R_E + R_{in} \cdot I_E = U_{EE} - U_{BE}$$

$$I_E (2 \cdot R_E + R_{in}) = U_{EE} - U_{BE}$$

$$I_E = \frac{U_{EE} - U_{BE}}{2 \cdot R_E + R_{in}} \quad (2.2)$$

Secara umum $R_{in} / \beta_{dc} \ll 2 R_E$, maka:

$$I_E = \frac{U_{EE} - U_{BE}}{2 \cdot R_E} \quad (2.3)$$

$U_{BE} = 0,6$ V untuk transistor silikon dan $0,3$ V untuk transistor germanium. Dari persamaan (2.3) R_E diset untuk arus emitor pada transistor Q_1 dan Q_2 yang diberikan ke sumber $-U_{EE}$. Dengan perkataan lain dengan memilih harga R_E , maka diperoleh arus emitor dengan $-U_{EE}$ yang telah diketahui. Arus emitor ini tidak tergantung pada resistor kolektor R_C pada transistor Q_1 dan Q_2 .

Selanjutnya untuk menentukan tegangan kolektor-emitor, U_{CE} , adalah dengan pendekatan bahwa tegangan pada emitor transistor Q_1 mendekati sama $-U_{BE}$. Jika diasumsikan *drop* tegangan R_{in} sangat kecil dan arus emitor berdasarkan pengalaman $I_E \approx I_C$, maka dapat diperoleh tegangan kolektor U_C sebagai berikut:

$$U_C = U_{CC} - R_C \cdot I_C$$

Sehingga tegangan kolektor-emitor U_{CE} adalah:

$$\begin{aligned} U_{CE} &= U_C - U_E = U_C - (-U_{BE}) \\ &= U_{CC} - R_C \cdot I_C - (-U_{BE}) \\ &= U_{CC} + U_{BE} - R_C \cdot I_C \end{aligned}$$

Dengan persamaan (2.2) dan (2.4) dapat ditentukan I_{CQ} dan U_{CEQ} masing-masing, sebab titik kerja $I_E = I_{CQ}$ dan $U_{CE} = U_{CEQ}$.

Analisis DC pada persamaan (2.2) dan (2.4) adalah aplikatif untuk keempat konfigurasi penguat diferensial sepanjang sistem bias dari keempat konfigurasi itu sama.

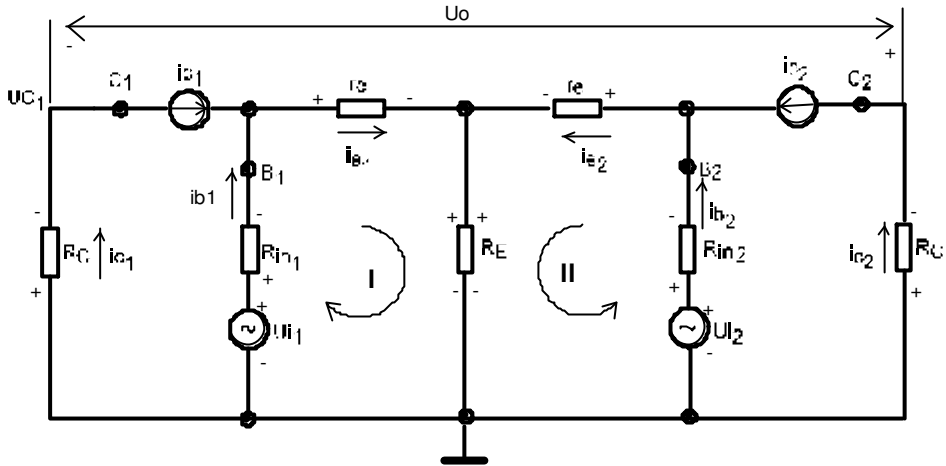
2.2.11.2.2.2. Analisis AC

Pada analisis AC penguat tegangan (*voltage gain*) dari penguat diferensial diekspresikan dengan A_d dan resistan input R_i seperti pada Gambar 2.200 dengan cara:

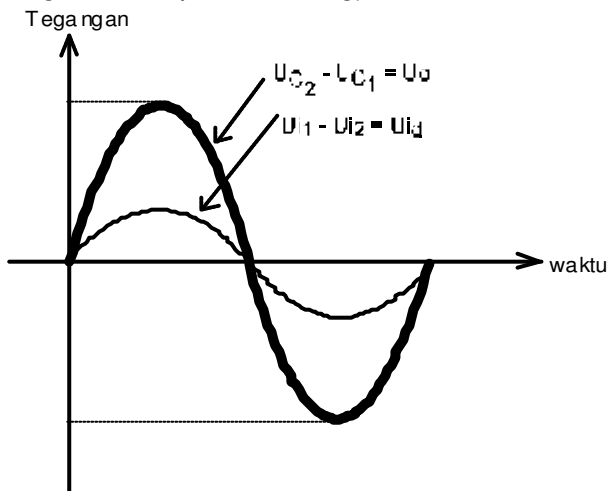
Set tegangan DC $+U_{CC}$ dan $-U_{EE}$ pada kondisi nol.

Subtitusikan model ekuivalen $-T$ untuk sinyal kecil dari transistor.

Gambar berikut ini ditunjukkan tentang rangkaian ekuivalen dari input ganda, output seimbang, dan penguat diferensial.



Gambar 2.201 Rangkaian ekuivalen AC untuk diferensial amplifier (input ganda, output seimbang)



Gambar 2.202 Bentuk gelombang output diferensial amplifier

Penguatan Tegangan (*Voltage Gain*)

Sebelum menerangkan secara detail penguatan tegangan pada penguat diferensial A_d , ada beberapa hal penting yang perlu diketahui dari gambar rangkaian ekuivalen (2.4), yaitu:

$I_{E1} = I_{E2}$, karena itu $R_{E1} = R_{E2}$. Di mana R_E adalah resistan emitor dari transistor Q_1 dan Q_2

Tegangan pada masing-masing resistor Collector phasa pada output berbalik 180° terhadap inputnya U_{i1} dan U_{i2} . Karena penguatnya merupakan penguat dengan konfigurasi emitor bersama yang menggunakan dua buah rangkaian emitor bersama yang identik.

Polaritas tegangan output U_o ditentukan oleh tegangan pada kolektor C_2 diasumsikan lebih positif daripada tegangan pada kolektor C_1 . Ini berarti tegangan pada kolektor C_1 lebih negatif terhadap *ground*.

Dengan persamaan hukum Kirchoff pada loop I dan loop II dari Gambar 2.4 adalah:

$$U_{i1} - R_{in1} i_{b1} - r_e i_{e1} - R_E(i_{e1} + i_{e2}) = 0 \quad (2.5)$$

$$U_{i2} - R_{in2} i_{b2} - r_e i_{e2} - R_E(i_{e1} + i_{e2}) = 0 \quad (2.6)$$

Karena $i_{b1} = i_{e1} / \beta_{ac}$ dan $i_{b2} = i_{e2} / \beta_{ac}$, jika $i_{e1} \gg i_{c1}$ dan $i_{e2} \gg i_{c2}$, maka:

Secara umum R_{in1} / β_{ac} dan R_{in2} / β_{ac} sangat kecil, karena itu supaya penyederhanaan lebih mudah dihilangkan, sehingga:

$$(r_e + R_E) i_{e1} + (R_E) i_{e2} = U_{i1} \quad (2.7)$$

$$(R_E) i_{e1} + (r_e + R_E) i_{e2} = U_{i2} \quad (2.8)$$

Dari persamaan (2.7) dan (2.8) dapat diselesaikan secara simultan untuk i_{e1} dan i_{e2} dengan persamaan hukum **Cramer**.

$$i_{e1} = \frac{(r_e + R_E) \cdot U_{i1} - (R_E \cdot U_{i2})}{(r_e + R_E)^2 - R_E^2} \quad (2.9a)$$

Dan dengan hal yang sama didapat:

$$i_{e2} = \frac{(r_e + R_E) \cdot U_{i2} - (R_E \cdot U_{i1})}{(r_e + R_E)^2 - R_E^2} \quad (2.9b)$$

Tegangan output adalah:

$$\begin{aligned} U_o &= U_{C2} - U_{C1} \\ &= -R_C i_{C2} - (-R_C i_{C1}) \\ &= i_{C1} - R_C i_{C2} \end{aligned}$$

$$U_o = R_C (i_{C1} - i_{C2}), \text{ untuk } i_{C1} \approx i_{e1} \quad (2.10)$$

Dengan hubungan arus $i_{c1} - i_{c2}$ disubstitusikan ke persamaan (2.10)

$$U_o = R_C \left[\frac{(r_e + R_E) \cdot U_{i1} - R_E \cdot U_{i2}}{(r_e + R_E)^2 - R_E^2} - \frac{(r_e + R_E) \cdot U_{i1} - R_E \cdot U_{i1}}{(r_e + R_E)^2 - R_E^2} \right]$$

$$U_o = R_C \left[\frac{(r_e + R_E) \cdot (U_{i1} - U_{i2}) + R_E \cdot (U_{i1} - U_{i2})}{(r_e + R_E)^2 - R_E^2} \right]$$

$$U_o = R_C \left[\frac{(r_e + 2R_E) \cdot (U_{i1} - U_{i2})}{r_e^2 - 2r_e R_E + R_E^2 - R_E^2} \right]$$

$$U_o = R_C \left[\frac{(r_e + 2R_E) \cdot (U_{i1} - U_{i2})}{r_e(r_e + 2R_E)} \right]$$

$$U_o = \frac{R_C}{r_e} \cdot (U_{i1} - U_{i2}) \quad (2.11)$$

Karena itu penguat diferensial merupakan penguat beda antara dua sinyal input. Di mana pada Gambar 2.202 $U_{id} = U_{i1} - U_{i2}$ sebagai

yang sama resistor output yang kedua R_{O_2} diukur pada kolektor C_2 terhadap *ground* yang berarti sama dengan resistor kolektor R_c .

Jadi, besarnya resistor output adalah:

$$R_{O_1} = R_{O_2} = R_c \quad (2.16)$$

Pengertian arus dari penguat diferensial tidak didefinisikan. Oleh karena itu, persamaan penguatan arus tidak akan didapatkan dari keempat konfigurasi penguat diferensial yang ada. Selanjutnya seperti penguat dengan emitor bersama, penguatan diferensial memperkuat sinyal yang kecil. Oleh karena itu, secara umum digunakan sebagai penguat tegangan dan tidak sebagai penguat arus atau penguat daya.

2.2.11.2.2.3. *Input Inverting dan Noninverting*

Input-input ini biasa diartikan sebagai input pembalik (*inverting input*) dan input bukan pembalik (*non-inverting input*). Pada Gambar 2.203 rangkaian penguat diferensial tegangan input U_{i1} disebut “non-inverting input” sebab tegangan positif U_{i1} sendiri akan menghasilkan tegangan output positif. Ini dapat dilihat pada persamaan (2.11). Dengan hal yang sama, bila tegangan positif U_{i2} sendiri akan menghasilkan tegangan output negatif, karena itu U_{i2} disebut input “inverting”. Konsekuensinya, basis B_1 sebagai U_{i1} input bukan pembalik (*noninverting input terminal*) dan basis B_2 sebagai U_{i2} input pembalik (*inverting input terminal*).

2.2.11.2.2.4. *Common Mode Rejection Ratio*

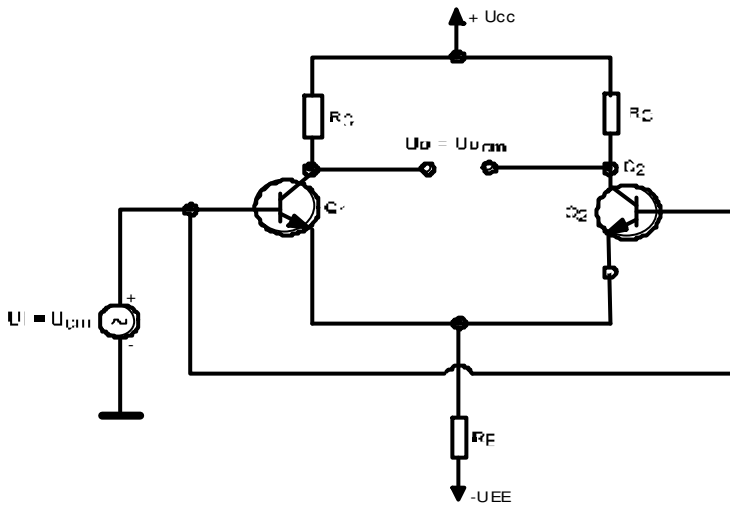
Suatu karakteristik penguat diferensial input ganda, output seimbang yang penting adalah kemampuan menekan gangguan (*noise*) yang tidak diinginkan. Jika pasangan transistor yang sesuai digunakan dalam penguat diferensial, sinyal-sinyal yang tidak diinginkan seperti *noise* atau *hum* dengan frekuensi 60 Hz, maka kedua input basis dan karena itu output yang bersih (tanpa *noise*) secara teori harus nol. Secara praktik dengan efektif dari sinyal “Common Mode Rejection Ratio” (CMRR) tergantung pada derajat kesesuaian antara bentuk dua emitor bersama dari penguat diferensial. Dengan perkataan lain secara persamaan tertutup adalah arus-arus di dalam input transistor Q_1 dan Q_2 , lebih baik dari CMRR (lihat Gambar 2.204). Jika diaplikasikan pada tegangan yang sama pada kedua terminal input dari penguat diferensial, maka dikatakan operasi dalam CMRR.

Kemampuan penguat diferensial untuk me-*reject* sinyal “Common Mode” yang diekspresikan dengan *Common Mode Rejection Ratio* (CMRR). Hal ini merupakan perbandingan penguatan diferensial A_d dengan penguatan “Common mode A_{cm} ”.

$$CMRR = \frac{A_d}{A_{CM}} \quad (2.17)$$

Penguatan tegangan mode bersama (*common mode voltage gain*) A_{cm} dapat ditentukan seperti di atas dan seperti Gambar 2.204 Dengan diberi nama tegangan yang telah diketahui U_{cm} pada kedua terminal input dari penguat diferensial seperti ditunjukkan pada Gambar 2.204 dan tegangan output sisa U_{ocm} . Kemudian dengan menggunakan persamaan (2.19) dapat dihitung A_{cm} sebagai berikut:

$$A_{CM} = \frac{U_{ocm}}{U_{cm}} \quad (2.18)$$



Gambar 2.203 Penguat diferensial pada konfigurasi *common mode*

Secara ideal, A_{cm} harus nol (0), bahwa $U_{ocm} = 0$ V. Dengan perkataan lain, CMRR yang dipunyai oleh penguat diferensial secara ideal adalah tak terhingga. Oleh karena itu, dalam praktik keuntungan dari penguat diferensial mempunyai CMRR yang lebih tinggi, dan penguat ini lebih bagus kemampuannya untuk *reject* sinyal-sinyal mode bersama. Untuk penambahan CMRR OP-AMP akan dibahas khusus pada bab selanjutnya.

2.2.11.2.3. PENGUAT INPUT GANDA, OUTPUT TAK SEIMBANG (DUAL-INPUT, UNBALANCED-OUTPUT DIFFERENTIAL AMPLIFIER)

Pada konfigurasi ini digunakan dua buah sinyal input di mana output diukur pada hanya satu dari kedua kolektor terhadap *ground*. Output diferensikan sebagai output tak seimbang (*unbalanced output*) sebab kolektor sebagai tegangan output diukur pada beberapa titik potensial terhadap *ground*. Dengan perkataan lain, beberapa tegangan DC pada terminal output tanpa beberapa sinyal input. Output diukur pada terminal kolektor transistor Q_2 terhadap *ground* (lihat Gambar 2.18).

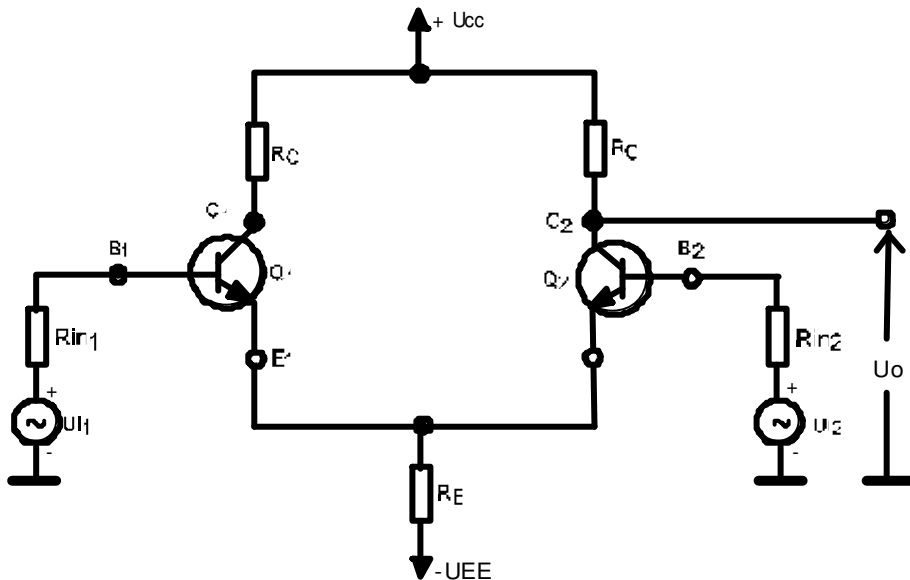
2.2.11.2.3.1. Analisis DC

Prosedur analisis DC untuk penguat diferensial input ganda, output tak seimbang adalah identik dengan analisis pada input ganda, output seimbang sebab kedua konfigurasi menggunakan bias yang sama. Oleh karena itu, arus emiter dan tegangan Emitor-kolektor untuk input ganda, output tak seimbang ditentukan dengan persamaan (2.2) dan (2.4) masing-masing adalah: (lihat Gambar 2.18)

$$I_E = I_{CQ} = \frac{U_{EE} - U_{BE}}{2R_E + R_{in}}$$

$$U_{CE} = U_{CEQ} = U_{CC} + U_{BE} - R_C I_{CQ}^{dc}$$

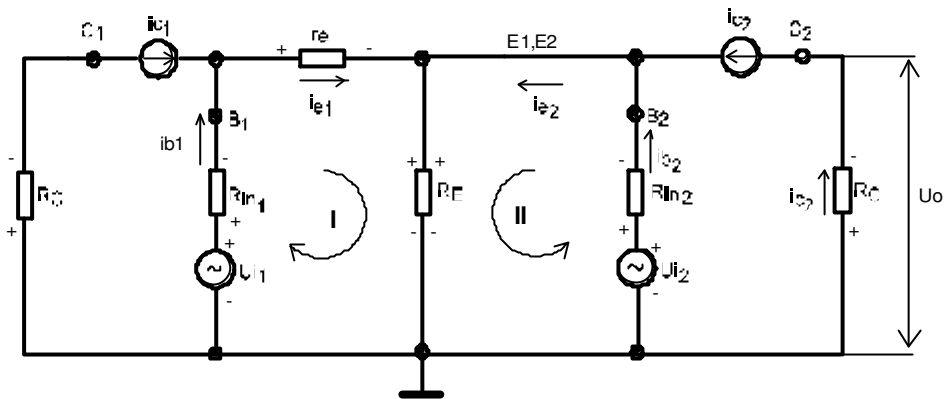
Pada gambar berikut (2.204) menunjukkan rangkaian penguat diferensial input-ganda, output tak seimbang.



Gambar 2.204 Penguat diferensial input ganda, output tak seimbang

2.2.11.2.3.2. Analisis AC

Gambar 2.19 menunjukkan rangkaian ekuivalen model T dari penguat diferensial input ganda, output tak seimbang dengan sinyal kecil yang disubstitusikan dari transistor.



Gambar 2.205 Rangkaian ekuivalen AC dari penguat diferensial input ganda, output tak seimbang

Penguatan Tegangan

Dengan hukum Kirchoft dari Loop I dan Loop II.

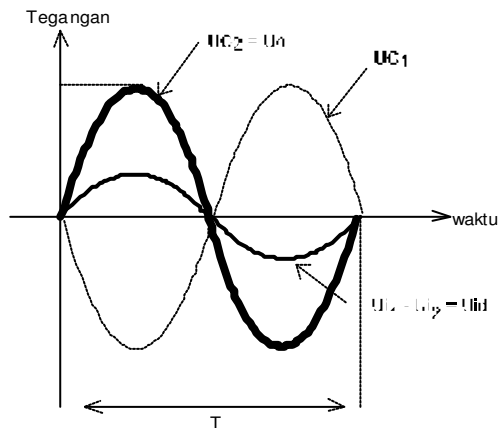
$$U_{i1} - R_{in1} i_{b1} - r_e i_{e1} - R_E (i_{e1} + i_{e2}) = 0$$

$$U_{i2} - R_{in2} i_{b2} - r_e i_{e2} - R_E (i_{e1} + i_{e2}) = 0$$

Persamaan ini sama dengan persamaan (2.5) dan (2.6), sedangkan ekspresi i_e , dan i_{e2} sama dengan persamaan (2.9a) dan (2.9b).

$$i_{e1} = \frac{r_e + R_E \cdot U_{i1} - R_E \cdot U_{i2}}{r_e + R_E \cdot 2 - R_E^2}$$

$$i_{e2} = \frac{r_e + R_E \cdot U_{i2} - R_E \cdot U_{i1}}{r_e + R_E \cdot 2 - R_E^2}$$



Gambar 2.206 Bentuk gelombang input dan output dari penguat diferensial input ganda, output tak seimbang

Tegangan output (U_o):

$$U_o = U_{c2} = -R_c \cdot I_{c2} = -R_c \cdot i_{e2}, \text{ bila } i_e \approx i_c$$

Distribusikan ke persamaan i_{e2}

$$U_o = R_c \begin{bmatrix} r_e + R_{E1} \cdot U_{i2} - R_{E1} \cdot U_{i1} \\ r_e + R_{E1} \cdot U_{i2} - R_{E1} \cdot U_{i1} \end{bmatrix}$$

$$U_o = R_c \begin{bmatrix} R_{E1} \cdot U_{i1} - r_e - R_{E1} \cdot U_{i2} \\ r_e + R_{E1} \cdot U_{i2} - R_{E1} \cdot U_{i1} \end{bmatrix}$$

Secara umum $R_E \gg r_e$, karena itu $(r_e + R_E) \approx R_E$ dan $(r_e + 2 R_E) \approx 2 R_E$, karena itu,

$$U_o = R_c \begin{bmatrix} R_{E1} \cdot U_{i1} - R_{E1} \cdot U_{i2} \\ 2 r_e \cdot R_{E1} \end{bmatrix}$$

$$U_o = R_c \begin{bmatrix} R_{E1} \cdot U_{i1} - U_{i2} \\ 2 r_e \cdot R_{E1} \end{bmatrix}$$

$$U_o = \frac{R_c}{2 r_e} (U_{i1} - U_{i2}) \quad (2.19)$$

$$A_d = \frac{U_o}{U_{id}} = \frac{R_c}{2 r_e} \quad (2.20a)$$

Jadi, penguatan tegangan dari input ganda, output tak seimbang adalah setengahnya dari penguatan tegangan pada input ganda, output seimbang karena untuk input ganda, output tak seimbang:

$$A_d = \frac{U_o}{U_{id}} = \frac{R_c}{2 r_e} \quad (2.20b)$$

Sedangkan untuk penguatan tegangan pada input ganda, output seimbang.

$$A_d = \frac{U_o}{U_{id}} = \frac{R_c}{r_e} \quad (2.20c)$$

Untuk penguat diferensial tipe ini (input ganda, output tak seimbang) tegangan DC pada terminal output merupakan tegangan "error" dari sinyal output yang yang tak diinginkan. Oleh karena itu, tegangan ini tereduksi sampai sama dengan nol (0). Konfigurasi ini secara umum direduksi oleh rangkaian translator level (*level translator circuit*).

Resistan Input Diferensial

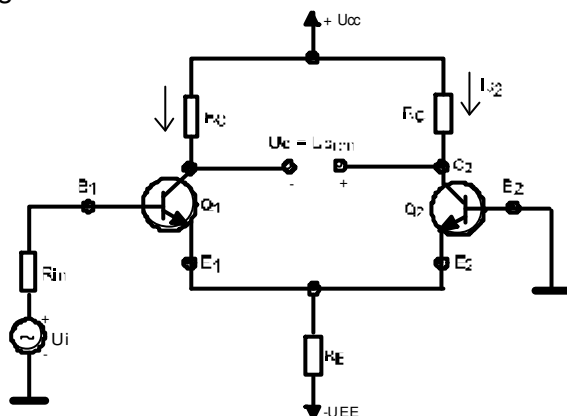
Antara rangkaian Gambar 2.13 dan Gambar 2.18 yang berbeda adalah titik pengukuran output, sehingga untuk resistan input R_{i1} dan R_{i2} adalah sama cara menentukannya. $R_{i1} = R_{i2} = 2 \cdot r_e$

Resistan output

Resistan output R_o diukur pada Collector C_2 terhadap ground ini adalah sama dengan R_c (Resistan Collector) $R_o = R_c$

2.2.11.2.4. PENGUAT DIFERENSIAL INPUT TUNGGAL, OUTPUT SEIMBANG (SINGLE INPUT, BALANCED-OUTPUT DIFFERENTIAL AMPLIFIER)

Penguat diferensial input tunggal, output seimbang ditunjukkan pada rangkaian gambar berikut.



Gambar 2.07 Penguat diferensial input tunggal, output seimbang

Dari rangkaian ini input tunggal dihubungkan pada Basis Q_1 dan output U_o diukur di antara kedua kolektor Q_1 dan Q_2 , yang mana pada potensial DC yang sama. Oleh karena itu, outputnya dikatakan output seimbang (*balanced output*).

2.2.11.2.4.1. Analisis DC

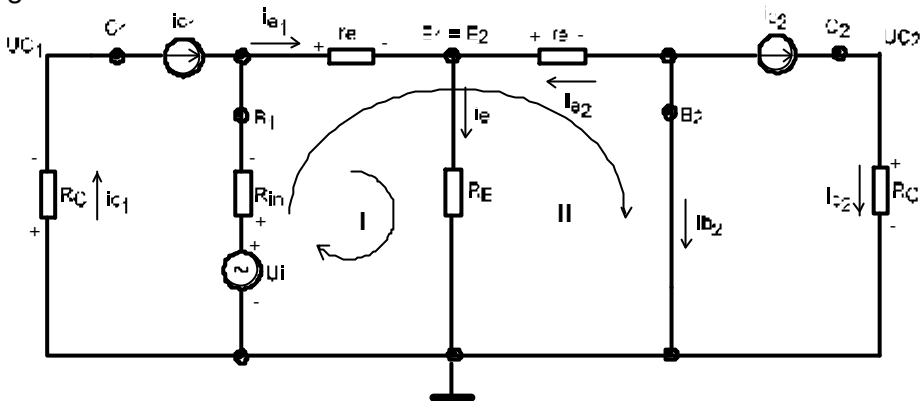
Analisis DC untuk prosedur dan persamaan bias dari rangkaian ini identik dengan 2 konfigurasi yang terdahulu, sebab rangkaian ekuivalen DC untuk semua konfigurasi adalah sama. Oleh karena itu, persamaan bias:

$$I_E = I_{CQ} = \frac{U_{EE} - U_{BE}}{2R_E + R_{in}^{dc}}$$

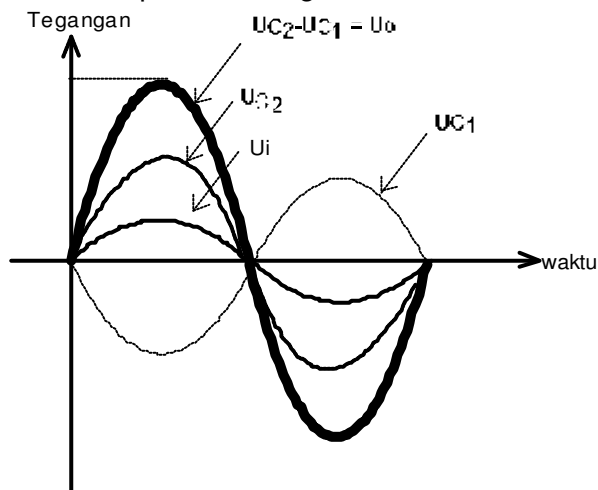
$$U_{CE} = U_{CEQ} = U_{CE} + U_{BE} - R_C \cdot I_{CQ}$$

2.2.11.2.4.2. Analisis AC

Rangkaian ekuivalen untuk penguat diferensial dengan input tunggal, output seimbang menggunakan model ekuivalen T dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 2.208 Rangkaian ekuivalen penguat diferensial input tunggal, output seimbang



Gambar 2.209 Bentuk gelombang input dan output

Penguatan Tegangan

Sebelum mengekspresikan penguatan tegangan diferensial A_d berikut diuraikan beberapa catatan penting dari Gambar 2.209.

Pada saat kondisi sinyal input setengah periode positif (atau jika U_i tegangannya positif). Tegangan Basis-Emitor dari transistor Q_1 adalah positif dan transistor Q_2 adalah negatif (lihat rangkaian Gambar 2.208). Ini berarti bahwa arus kolektor dari transistor Q_1 naik dan dalam transistor

Q_2 turun dari harga titik kerjanya I_{CQ} . Perubahan dalam arus kolektor ini membuat bentuk tegangan seperti Gambar 2.209, yang mana kedua sumber i_{c1} dan i_{c2} ditunjuk dengan arah yang sama. Kemudian pada saat yang sinyal input negatif pada setengah periode berikutnya (atau jika U_i tegangannya negatif), maka akan berkebalikan sinyal yang dihasilkannya yaitu arus kolektor Q_1 turun dan transistor Q_2 naik.

Polaritas tegangan pada masing-masing resistor kolektor sesuai dengan arah arus i_{c1} dan i_{c2} . Itu berarti tegangan yang ada pada resistor kolektor transistor Q_2 adalah positif dan tegangan yang ada pada resistor kolektor Q_1 adalah negatif semuanya terhadap ground (Gambar 2.208).

Tanda polaritas tegangan output U_o sesuai dengan besarnya tegangan output, yaitu sama dengan tegangan pada kolektor C_2 dikurangi (minus) tegangan pada kolektor C_1 .

Dengan hukum Kirchof persamaan tegangan dari Loop I dan Loop II dari Gambar 2.208 adalah:

$$U_i - R_{in} i_{b1} - r_e i_{e1} - R_E i_E = 0 \quad (2.21)$$

$$U_i - R_{in} i_{b1} - r_e i_{e1} - r_e i_{e2} = 0 \quad (2.22)$$

Disubstitusi ke persamaan arus:

$$i_E = (i_{e1} - i_{e2}); \text{ di mana } i_{b1} = i_{e1} / \beta_{ac} \text{ dan } i_{b2} = i_{e2} / \beta_{ac}$$

Maka didapatkan:

$$U_i - \frac{R_{in}}{\beta_{ac}} i_{e1} - r_e i_{e1} - \frac{R_E}{\beta_{ac}} i_{e1} - i_{e2} = 0$$

$$U_i - \frac{R_{in}}{\beta_{ac}} i_{e1} - r_e i_{e1} - r_e i_{e2} = 0$$

Secara umum R_{in}/β_{ac} adalah sangat kecil dan biasanya dihilangkan, sehingga persamaan menjadi:

$$(r_e + R_E) i_{e1} - (R_E) i_{e2} = U_i \quad (2.23)$$

$$(r_e) i_{e1} + (r_e) i_{e2} = U_i \quad (2.24)$$

Dari persamaan (2.23) dan (2.24) dapat diselesaikan secara simultan untuk i_{e1} dan i_{e2} menggunakan hukum Cramer :

$$i_{e1} = \frac{r_e + R_E}{r_e + r_e + 2R_E} U_i \quad (2.25)$$

Dengan cara yang sama:

$$i_{e2} = \frac{R_E}{r_e + r_e + 2R_E} U_i \quad (2.26)$$

Tegangan output:

$$\begin{aligned} U_o &= U_{c2} - U_{c1} \\ &= R_c i_{c2} - (-R_c i_{c1}) \\ &= R_c (i_{c2} + i_{c1}) \\ U_o &= R_c (i_{c2} + i_{c1}), \text{ untuk } i_e = i_c \end{aligned} \quad (2.27)$$

Disubstitusikan ke arus i_{e1} dan i_{e2} dalam persamaan (2.27) didapatkan:

$$U_o = \frac{R_E \cdot U_i}{r_e(r_e + 2R_E)} + \frac{(r_e + R_E)U_i}{r_e(r_e + 2R_E)} = R_C \frac{(r_e + 2R_E)U_i}{r_e(r_e + 2R_E)}$$

$$U_o = \frac{R_C}{r_e} \cdot U_i \quad (2.28)$$

Karena itu:

$$A_d = \frac{U_o}{U_i} = \frac{R_C}{r_e} \quad (2.29)$$

Jadi, penguatan tegangan dari input tunggal, output seimbang adalah sama dengan input ganda, output seimbang.

Resistansi Input Diferensial (Ri)

Resistansi input R_i diambil dari sinyal sumber sebagai input ditentukan sebagai berikut:

$$R_i = \frac{U_i}{i_{b1}} = \frac{U_i}{i_{e1}} = \frac{U_i}{i_{e1}^{ac}} \quad ac$$

Disubstitusikan ke i_{e1}^{ac} dari persamaan (2.25) didapatkan:

$$\frac{U_i}{i_{e1}^{ac}} = \frac{r_e + R_E}{r_e + R_E} \cdot \frac{U_i}{i_{e1}^{ac}} = \frac{r_e + R_E}{r_e + R_E} \cdot \frac{U_i}{i_{e1}^{ac}}$$

$$R_i = 2 \cdot r_e \quad \text{?} \quad ac \cdot r_e \text{ untuk } R_E \gg r_e \quad (2.30)$$

Resistansi Output (Ro)

R_o diukur pada masing-masing terminal terhadap *ground*. Karena itu resistansi output R_{o1} diukur pada kolektor C_1 dan resistansi output R_{o2} diukur pada kolektor C_2 , sehingga didapatkan persamaan:

$$R_{o1} = R_{o2} = R_C$$

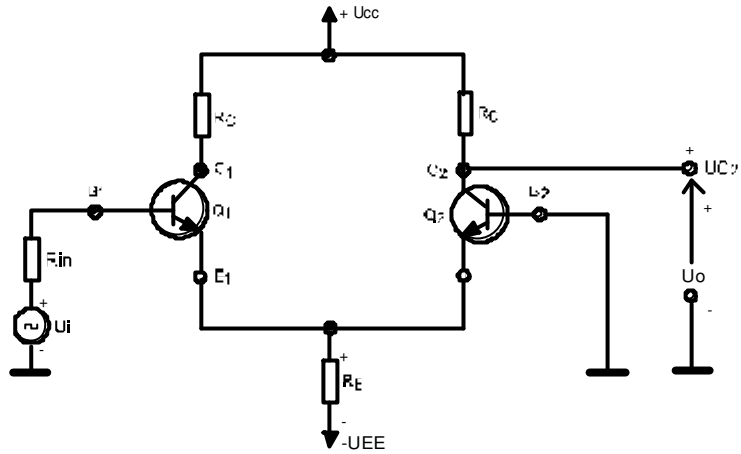
2.2.11.2.5. PENGUAT DIFERENSIAL INPUT TUNGGAL, OUTPUT TAK SEIMBANG

Beberapa catatan pada penguat diferensial tipe ini, yaitu:

Penguat ini identik dengan penguat emitor bersama, yang tidak hanya memerlukan banyak komponen, tetapi juga pengantar tegangannya lebih kecil dari bentuk yang pertama.

Tegangan output DC diperoleh tanpa beberapa sinyal input (hanya satu input saja)

Konfigurasi ini diperoleh untuk sinyal input melalui Basis dari salah satu transistor dan diukur pada salah satu kolektor (Q_2).



Gambar 2.210 Penguat Diferensial Input Tunggal, Output Tak Seimbang

2.2.11.2.5.1. Analisis DC

Rangkaian ekuivalen dari konfigurasi ini identik dengan konfigurasi input ganda, output seimbang

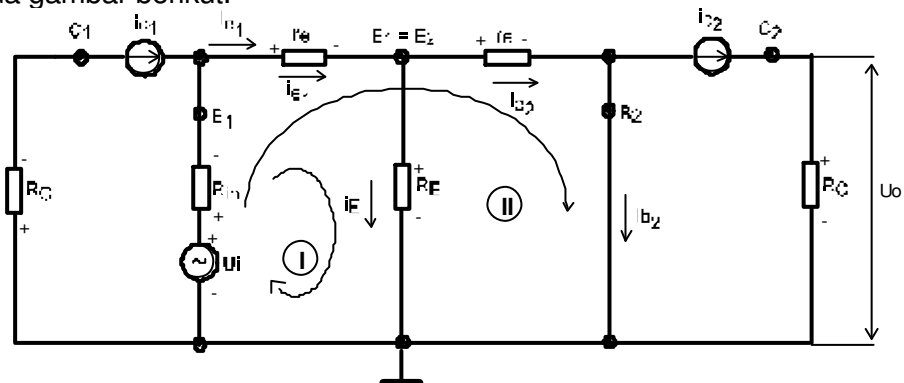
Besarnya I_{CQ} dan U_{CEQ} sama dengan persamaan pada konfigurasi input ganda, output seimbang yaitu:

$$I_E = I_{CQ} = \frac{U_{EE} - U_{BE}}{2R_E + R_{in}}$$

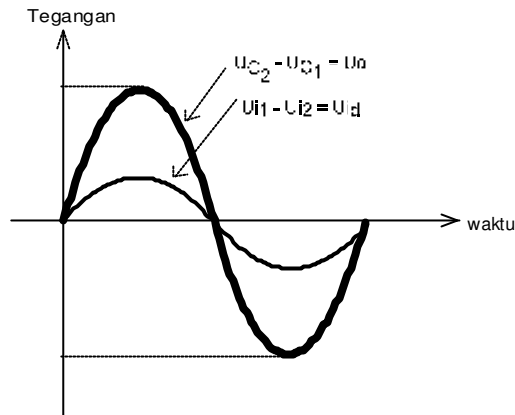
$$U_{CE} = U_{CEQ} = U_{CC} + U_{BE} - R_c I_{CQ}^{dc}$$

2.2.11.2.5.2. Analisis AC

Rangkaian ekuivalen dari input tunggal, output tak seimbang dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2.211 Rangkaian ekuivalen penguat diferensial input tunggal, output tak seimbang



Gambar 2.212 Bentuk Gelombang input dan output

Penguatan Tegangan

Besarnya tegangan output (U_o) adalah:

$$U_o = U_{C2} = R_C \cdot i_{C2} = R_C \cdot i_c, \text{ jika } i_c \approx i_e$$

Disubstitusikan ke persamaan i_{e2} , maka

$$U_o = R_C \frac{R_E \cdot U_i}{r_e + r_e + 2R_E}$$

$$U_o = R_C \frac{R_E \cdot U_i}{r_e + 2R_E} \quad \text{untuk } R_E \gg r_e$$

$$U_o = \frac{R_C \cdot U_i}{2R_E} \quad (2.31)$$

Besarnya Penguatan beda (Penguatan diferensial):

$$A_d = \frac{U_o}{U_i} = \frac{R_C}{2r_e} \quad (2.32)$$

Resistansi Input Diferensial (R_i)

Resistansi input R_i pada konfigurasi ini identik dengan salah satu sebelumnya.

$$R_i = 2r_e, \text{ untuk } R_E \gg r_e$$

Resistansi Output (R_o)

Resistansi output R_o pada konfigurasi ini diukur pada kolektor C_2 terhadap ground, sehingga $R_C = R_o$.

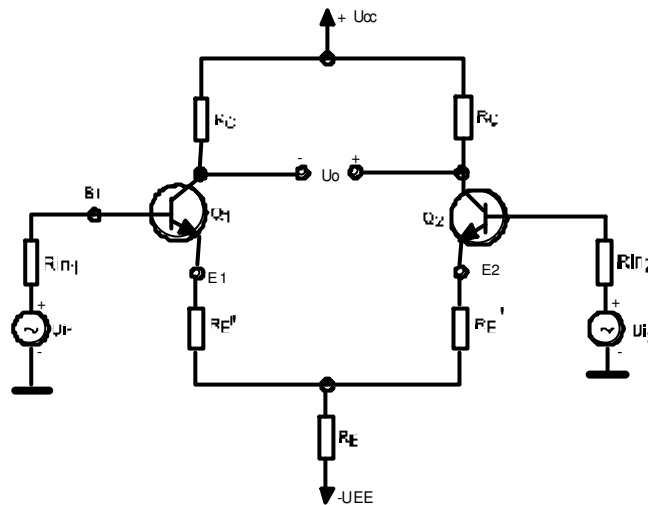
Untuk lebih jelas, berikut ini ditabelkan dari hasil uraian di atas yaitu beberapa konfigurasi dari penguat diferensial.

Tabel 2.1 Rangkaian Konfigurasi Rangkaian Penguat Diferensial

No	Konfigurasi	Rangkaian	Penguatan Tegangan	Resistansi Input	Resistansi Output
1.	Dual input, balanced output (Input ganda, output seimbang)		$A_v = \frac{R_c}{r_e}$	$R_{i1} = 2 \beta_{ac} r_e$ $R_{i2} = 2 \beta_{ac} r_e$	$R_{o1} = R_c$ $R_{o2} = R_c$
2.	Dual input, unbalanced output (Input ganda, output tak seimbang)		$A_v = \frac{R_c}{2r_e}$	$R_{i1} = 2 \beta_{ac} r_e$ $R_{i2} = 2 \beta_{ac} r_e$	$R_o = R_c$
3.	Single input, balanced output (Input tunggal, output seimbang)		$A_v = \frac{R_c}{r_e}$	$R_{i1} = 2 \beta_{ac} r_e$	$R_{o1} = R_c$ $R_{o2} = R_c$
4.	Single input, unbalanced output (Input tunggal, output tak seimbang)		$A_v = \frac{R_c}{2r_e}$	$R_{i1} = 2 \beta_{ac} r_e$	$R_o = R_c$

2.2.11.2.6. PENGUAT DIFERENSIAL DENGAN RESISTOR SWAMPING

Dengan penerapan beberapa transistor R_E' pada masing-masing Emitor dari transistor Q_1 dan Q_2 akan mempengaruhi penguatan tegangan penguat diferensial sehingga bervariasi penguatan tegangannya, karena hal ini akan mereduksi r_e .



Gambar 2.213 Penguat diferensial input ganda output seimbang dengan resistor emiter R_E'

Dengan menggunakan R_{E1} kelinieran penguat diferensial dapat dinaikkan. Secara umum R_E' cukup besar untuk memberikan efek “swamp” (menghempas) atau mereduksi r_e untuk itu pemberian R_E' disebut sebagai “swamping resistor” (resistor penghempas).

Arus Emitor pada masing-masing transistor dapat ditentukan dengan hukum Kirchoff tegangan, yaitu Loop Basis-Emitor pada Q_1 dengan $U_{i1} = U_{i2} = 0$ V.

$$R_{in} I_B - U_{BE} - R_E' \cdot I_E - R_E (2 I_E) + U_{EE} = 0$$

Untuk I_B ? I_E / α_{dc} dan disederhanakan, maka akan didapatkan:

$$I_E = \frac{U_{EE} - U_{BE}}{2 R_E + R_E' + \frac{R_{in}}{\alpha}} \quad (2.33)$$

Sehingga besarnya tegangan U_{CE}

$$U_{CE} = U_{CC} + U_{BE} - R_c \cdot I_c$$

Jika resistor eksternal R_E' ditambahkan pada masing-masing kaki Emitor, maka penguatan tegangan dan resistansi input yang baru dapat diperoleh dari beberapa konfigurasi tersebut yaitu dengan penempatan $(r_e + R_E')$, sehingga diperoleh:

$$A_d = \frac{U_o}{U_e} = \frac{R_c}{r_e + R_E'} \quad (2.34)$$

Dan resistansi input yang baru adalah

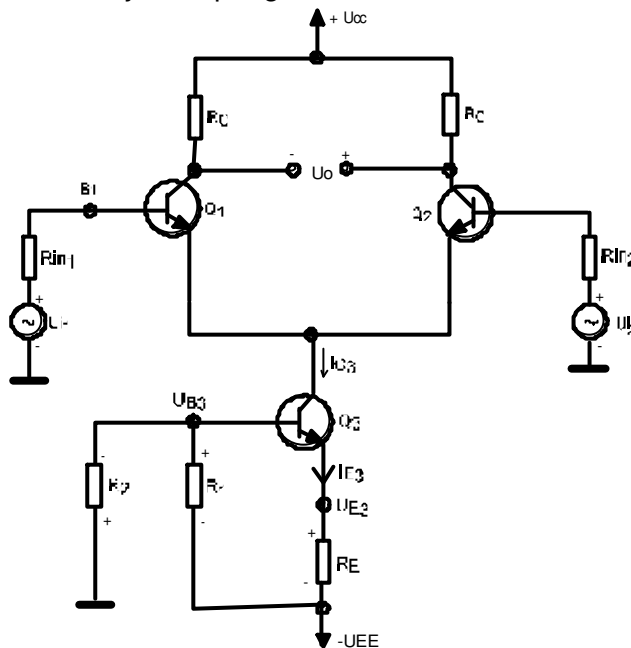
$$R_{i1} = R_{i2} = 2 \cdot \beta \cdot (r_e + R_E') \quad (2.35)$$

Sedangkan resistansi output dengan dan tanpa R_E' adalah:

$$R_{o1} = R_{o2} = R_C$$

2.2.11.2.7. BIAS ARUS KONSTAN

Dalam penguat diferensial telah dibicarakan jauh tentang R_E dan U_{EE} yang digunakan sebagai penyetelan arus Emitor DC. Di sini juga dapat digunakan untuk penyetelan arus emitor DC pada rangkaian arus bias konstan jika diinginkan. Karena pada kenyataannya rangkaian bias arus konstan lebih baik sebab dengan rangkaian ini diperoleh kestabilan arus dan kestabilan titik kerja dari penguat diferensial.



Gambar 2.213 Penguat diferensial input ganda, output seimbang menggunakan bias arus konstan

Dengan menggunakan resistor R_E pada rangkaian arus bias transistor konstan (Q_3). Arus DC pada kolektor Q_3 ditentukan oleh R_1 , R_2 , dan R_E seperti persamaan berikut:

$$U_{B3} = \frac{-R_2 \cdot U_{EE}}{R_1 + R_2}$$

$$U_{E3} = U_{B3} - U_{BE3} = \frac{-R_2 \cdot U_{EE}}{R_1 + R_2} - U_{BE3}$$

Karena itu:

$$I_{E3} \approx I_{C3} = \frac{U_{E3} - (-U_{EE})}{R_E}$$

$$I_{C3} = \frac{U_{EE} - \left(\frac{-R_2 \cdot U_{EE}}{R_1 + R_2} - U_{BE3} \right)}{R_E}$$

Karena dua dari bagian penguat diferensialnya simetris, masing-masing mempunyai $\frac{1}{2}$ dari I_{C3} , maka:

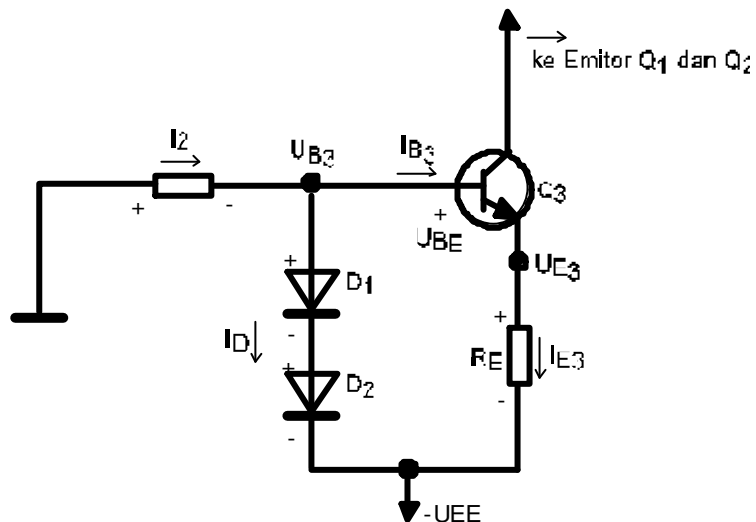
$$I_{E1} = I_{E2} \approx \frac{I_{C3}}{2} = \frac{U_{EE} - R_2 \cdot U_{EE} / (R_1 + R_2) - U_{BE}}{2 R_E} \quad (2.36)$$

Arus kolektor I_{C3} dari transistor Q_3 adalah tetap dan tidak bervariasi karena tidak ada sinyal yang diinjeksikan ke masing-masing Emitor atau Basis dari Q_3 . Sehingga transistor Q_3 merupakan sumber arus Emitor yang konstan dari Q_1 dan Q_2 sebagai penguat diferensial.

Kembali kita lihat persamaan $R_E \gg r_e$ pada penguat diferensial dengan bias Emitor. Di samping pemberian suplai atau catu daya dengan arus Emitor yang konstan, diperoleh juga dari rangkaian ini tahanan sumber yang sangat tinggi untuk rangkaian ekuivalen AC sedangkan untuk sumber arus DC secara ideal adalah rangkaian terbuka (*open circuit*).

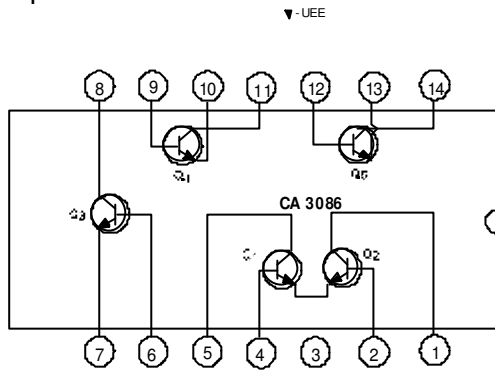
Penguatan tegangan (*voltage gain*) : (A_d) sama dengan persamaan:

$$A_d = \frac{U_o}{U_{id}} = \frac{R_c}{r_e}$$



Gambar 2.214 Bias Arus Konstan dengan Kompensasi Diode untuk variasi U_{BE}

Untuk perbaikan dan stabilitas efek panas dari arus transistor yang konstan (I_{E3}) adalah R_1 digantikan dengan diode D_1 dan D_2 , yaitu untuk membantu penghentian arus Emitor I_{E3} konstan yang sekaligus mengubah suhu. Karena jika I_{E3} telah mengalir (lihat Gambar 2.214) ke titik Basis dari Q_3 dan I_{B3} dan jika suhu Q_3 naik tiba-tiba, maka tegangan Basis Emitor U_{BE3} turun. Yang mana untuk bahan silikon U_{BE} turun hingga $2 \text{ mV}/^\circ\text{C}$. Di sini mereduksi U_{BE3} yang tergantung pada tegangan drop pada R_E dan arus Emitor I_{E3} . Pada saat tegangan U_{BE3} tereduksi, tegangan drop pada D_1 dan D_2 juga ikut turun, yang akan berkontribusi pada I_D , sehingga besarnya I_D ikut naik. Ini menyebabkan I_{B3} turun, yaitu untuk mengatasi kenaikan I_{E3} . Gambar 2.215 berikut menunjukkan rangkaian transistor dalam bentuk terintegrasi tipe CA 3086.



Gambar 2.215 Diagram Fungsi IC tipe CA 3086

Dari Gambar 2.215 di atas bahwa arus Emitor I_{E3} ditentukan sebagai berikut:

$$U_{B3} = -U_{EE} + 2 U_D$$

$$U_{E3} = U_{B3} - U_{BE3} = -U_{EE} + 2 U_D - U_{BE3}$$

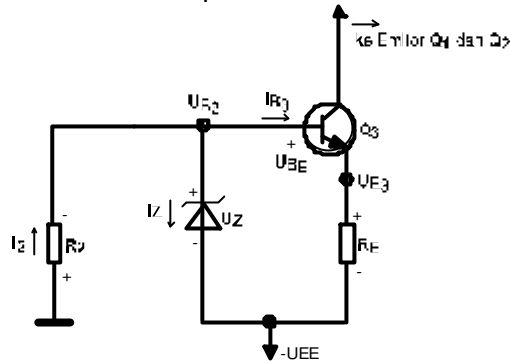
$$I_{E3} = \frac{U_{E3} - (-U_{EE})}{R_E} = \frac{2 U_D - U_{EE} + U_{EE} - U_{BE3}}{2 R_E}$$

$$I_{E3} = \frac{U_{E3} - (-U_{EE})}{R_E} = \frac{2 U_D - U_{EE} + U_{EE} - U_{BE3}}{2 R_E}$$

$$I_{E3} = \frac{2 U_D - U_{BE3}}{2 R_E} = \frac{U_D}{R_E}, \quad \text{untuk } U_D = U_{BE3} = 0,6V. (2.37)$$

Karena dengan adanya R_E , maka arus Emitor I_{E3} tergantung pada drop tegangan pada diode D_1 dan D_2 . Sedangkan fungsi drop tegangan pada diode untuk difungsikan arus I_D -nya saja, yaitu sesuai karakteristik kurva diode, di mana I_D merupakan bagian dari I_{E3} yang ditentukan oleh harga R_2 . Ini berarti bahwa perubahan harga I_{E3} dengan memvariasi salah satu dari R_2 atau R_E .

Gambar 2.215 berikut merupakan modifikasi Gambar 2.213.



Gambar 2.215 Rangkaian bias arus konstan dengan menggunakan diode Zener

Untuk mendesain rangkaian bias arus konstan dari rangkaian digunakan berapa step, yaitu:

Pilihlah harga I_{E3} yang diinginkan

Asumsikan bahwa $U_D = 0,7 \text{ V}$, tentukan harga R_E menggunakan persamaan (2.37)

Asumsikan $I_B = I_{E3}$ dan $U_{B1} = U_{B2} = 0,7 \text{ V}$, tentukan harga R_2 dengan persamaan

$$R_2 = \frac{U_{EE} - 1,4 \text{ V}}{I_{E3}}$$

Namun sering kali diode D_1 dan D_2 digantikan dengan diode Zener seperti Gambar 2.228. Karena diode Zener mempunyai kelebihan yaitu lebar *range* dari tegangan konduksi, dan kesesuaian koefisiensi suhu terhadap tegangan dari transistor. Maka persamaan dapat dibuat:

$$U_{B3} = -U_{EE} + U_Z$$

Dan besarnya tegangan pada Emitor adalah (U_{E3}):

$$U_{E3} = -U_{EE} + U_Z - U_{BE3}$$

Sedangkan arus Emitor (I_{E3})

$$I_{E3} = \frac{U_{E3} - (-U_{EE})}{R_E}$$

$$I_{E3} = \frac{U_Z - (-U_{BE3})}{R_E} \quad (2.39)$$

Seharusnya R_2 dipilih dengan ketentuan $I_Z \approx 1,2 I_Z$, di mana I_Z minimum diperoleh dari diode zener saat konduksi pada daerah arah *reverse* (balik), itu berarti terjadi pengeblokan tegangan zener U_Z . Biasanya besar I_Z terdapat pada buku data diode zener.

Besarnya R_2 ditentukan sebagai berikut:

$$R_2 = \frac{U_{EE} - U_Z}{I_2} \quad (2.40)$$

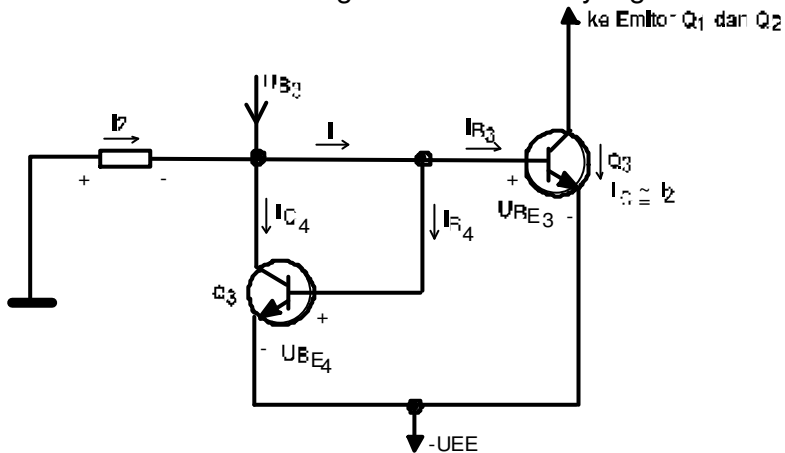
Di mana I_2 ? $I_2 I_Z$, penggunaan diode zener di sini untuk menjaga tegangan basis agar konstan dan mengubah arus emitor dari rangkaian bias arus konstan.

2.2.11.2.8. RANGKAIAN ARUS BAYANGAN (CURRENT MIRROR)

Suatu rangkaian di mana arus output tenaganya sama dengan arus input dikatakan sebagai rangkaian arus bayangan (*current mirror circuit*). Karena itu rangkaian arus bayangan arus output adalah sebuah bayangan dari arus input. Berikut digambarkan secara diagram blok (Gambar 2.216) dan rangkaian arus bayangan (Gambar 2.217).



Gambar 2.216 Diagram Blok Arus Bayangan



Gambar 2.217 Rangkaian Arus Bayangan

I_2 diset tertentu, arus I_3 secara otomatis mendekati I_2 . Arus bayangan adalah hal yang khusus dari bias arus konstan dan karena itu digunakan untuk mengeset arus emitor yang konstan dalam bagian penguat diferensial.

Ketika transistor Q_3 dan Q_4 identik, tegangan Basis-Emitor harus juga sama dan arus basis dan arus kolektor harus juga mendekati sama.

$$U_{BE3} = U_{BE4}$$

$$I_{C3} = I_{C4}$$

$$I_{B3} = I_{B4}$$

Pada Node U_{B3} dilakukan penjumlahan

$$I_2 = I_{C4} + I_{C3} = I_{C4} + 2 I_{B4} = I_{C3} + 2 I_{B3}$$

$$I_2 = I_{C3} + 2 I_{C3}$$

$$I_2 = I_{C3} (1 + \beta_{dc}) \quad (2.41)$$

Secara umum β_{dc} cukup besar. Karena itu $2/\beta_{dc}$ dihilangkan atau ditiadakan karena harganya kecil sekali. Dari data β_{dc} dari CA3086 =100. Maka besarnya arus kolektor dari Q_3 sama besar dengan arus I_2 .

$I_2 \approx I_{C3}$
 I_2 diperoleh dengan menerapkan hukum Kirchoff tegangan, yaitu:
 $-R_2 \cdot I_2 - U_{BE3} + U_{EE} = 0$
 $I_2 = \frac{U_{EE} - U_{BE}}{R_2} \quad (2.42)$

Dengan persamaan di atas ini berarti R_2 dapat dipilih sesuai dengan pengesetan arus kolektor dalam rangkaian arus bayangan yang diinginkan, yang penting kedua transistor ini seharusnya identik.

Contoh 2.5:

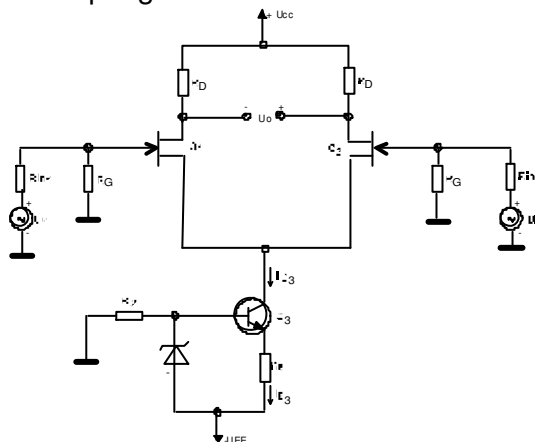
Penguat diferensial memberikan spesifikasi sebagai berikut:

Gambar rangkaian seperti Gambar 2.21, $R_D = 3,9 \text{ k}\Omega$, $R_G = 1 \text{ M}\Omega$, $R_E = 1,5 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 82 \Omega$, $R_{in1} = R_{in} = 50 \Omega$; $U_{CC} = + 10 \text{ V}$, dan $- U_{EE} = - 10 \text{ V}$. Di mana Q_1 dan Q_2 adalah JFET yang berpasangan dengan $g_m = 8000 \text{ MS}$, sedangkan Q_3 adalah BJT dengan $U_{BE} = 0,6 \text{ V}$ dan $\beta_{ac} = \beta_{dc} = 100$, sedangkan diode zener D_1 adalah IN 3826 dengan $U_Z = 5,1 \text{ V}$ dan $I_Z = 49 \text{ mA}$. Tentukan:

Arus emitor pada transistor Q_3

Penguatan tegangan pada penguat diferensial

Resistan input dari penguat diferensial



Gambar 2.218 Penguat diferensial JFET dengan diode zener sebagai bias arus konstan

Penyelesaian:

$$I_{E3} = \frac{U_Z - U_{BE3}}{R_E} = \frac{5,1 - 0,6}{1500} = 3 \text{ mA}$$

$$A_d = g_m \cdot R_D = (8000 \text{ MS}) \cdot (3,9 \text{ k?}) = 31,2$$

$R_{i1} = R_{i2} = 1 \text{ M?}$. (Resistan input masing-masing sama dengan R_G)

Contoh 2.6:

Desainlah penguat diferensial input ganda, output seimbang dengan bias arus konstan (menggunakan diode) dengan data seperti berikut:

Penguatan tegangan beda $A_d = 40 \text{ ? } 10$

Suplai arus oleh bias konstan = 4 mA

Suplai tegangan $U_s = \text{? } 10 \text{ V}$

Penyelesaian:

Step desain berdasarkan *outline* adalah:

Menentukan arus Emitor $I_{E3} = 4 \text{ mA}$ (lihat Gambar 2.219) dan lihat bagian dari subbab 7.

Asumsikan bahwa diode D_1 dan D_2 identik dan $U_{D1} = U_{D2} = 0,7 \text{ V}$

Maka didapatkan persamaan:

$$R_E = \frac{U_D}{I_{E3}}$$

Substitusikan ke persamaan tersebut:

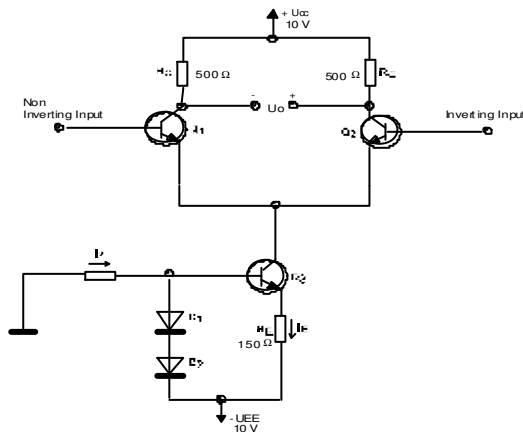
$$R_E = \frac{0,7 \text{ V}}{4 \text{ mA}} = 175 \Omega \text{ (gunakan } 150 \text{ ?)}$$

Harga R_2 dapat dihitung:

$$R_2 = \frac{U_{EE} - 1,4}{I_{E3}} = \frac{10 \text{ V} - 1,4 \text{ V}}{4 \text{ mA}} = 2,15 \text{ k}\Omega \text{ (gunakan } 2 \text{ k?)}$$

Selanjutnya tentukan harga resistor kolektor R_c .

$$I_{E1} = I_{E2} = 2 \text{ mA dan } r_e = \frac{25 \text{ mV}}{2 \text{ mA}} = 12,5 \Omega$$



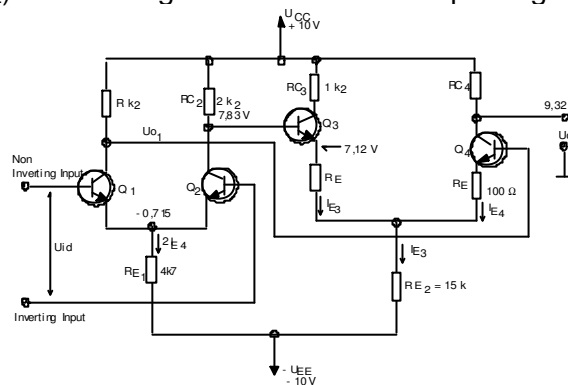
Gambar 2.219 Penguat diferensial

Untuk memperoleh penguatan 40 diperlukan resistor collector :

$$R_c = (A_d) \cdot r_e \\ = (40) (12,5) = 500 \text{ } \Omega \text{ (gunakan } 560 \text{ } \Omega \text{)}$$

2.2.11.2.9. PENGUAT DIFERENSIAL CASCADE

Konfigurasi penguat diferensial telah dianalisis pada bab dan subbab terdahulu, karena itu kini selanjutnya bagaimana penguat diferensial ini dibuat *cascade* dalam hubungan seri. Gambar 2.220 berikut menunjukkan dua tingkat penguat diferensial. Rangkaian pertama merupakan penguat diferensial “Dual input, balanced output”. Dan rangkaian kedua merupakan penguat diferensial yang berfungsi sebagai penggerak (pendorong) dari output rangkaian penguat diferensial yang pertama. Output diambil pada bagian akhir dengan sistem output tunggal (single ended atau “inbalanced”) dari penguat diferensial yang kedua. Kedua tingkat penguat ini menggunakan teknik bias emitor (kombinasi dari R_E dan U_{EE}) untuk mengeset arus emitor dari pasangan diferensial.



Gambar 2.220 Penguat Diferensial Cascade

Dari kebanyakan rangkaian kesesuaian transistor termasuk juga harga resistor adalah hal yang penting dalam tingkatan penguat diferensial.

Contoh 2.8:

Penguat Diferensial Cascade (Gambar 2.25), tentukan:

Arus kolektor (I_C) dan tegangan kolektor–emitor (U_{CE}) untuk masing-masing transistor

Penguatan tegangan

Resistor input

Resistor output

Jika diasumsikan transistor array menggunakan CA 3086 dengan $h_{FE} = 100$, $h_{fe} = 100$, dan $U_{BE} = 0,715 \text{ V}$.

Penyelesaian:

Pada transistor Q_1 dan Q_2 diasumsikan $I_E ? I_C ; dc = \frac{I_E}{I_B}$.

Maka:

$$I_E = \frac{U_{EE} - U_{BE}}{2R_{E1} + R_{in}} = \frac{(10 - 0,715) \text{ V}}{2 \cdot 4700 + 0} ; R_{in} \ll \infty$$

$$= 0,988 \text{ mA}$$

Karena simetris $I_{c1} = I_{c2} = I_{E1} = 0,988 \text{ mA}$

$$U_{C1} = U_{CC} - R_{C1} I_{C1} = 10 \text{ V} - (2,2 \text{ k}\Omega) (0,988 \text{ mA}) = 7,83 \text{ V}$$

$$U_{C1} = U_{C2} = 7,83 \text{ V}$$

Pada saat U_E pada Q_1 dan $Q_2 = -0,715 \text{ V}$

$$U_{CE1} = U_{CE2} = U_{C1} - U_{E1} = 7,83 + 0,715 = 8,545 \text{ V}$$

Arus kolektor (I_c) pada Q_3 dan Q_4 dengan hukum kirchoff tegangan dari loop Basis-Emitor transistor Q_3 .

$$U_{CC} - R_{C2} \cdot I_{C2} - U_{BE3} - R_E I_{E3} - R_{E2} (2 I_{E3}) + U_{EE} = 0$$

$$10 - (2,2 \text{ k}\Omega) (0,988 \text{ mA}) - 0,715 \text{ V} - (100 \Omega) (I_{E3}) - (30 \text{ k}\Omega) (I_{E3}) - 10 \text{ V} = 0$$

$$10 \text{ V} - 2,17 \text{ V} - 0,715 \text{ V} + 10 \text{ V} - (30,1 \text{ k}\Omega) I_{E3} = 0$$

$$17,12 \text{ V}$$

$$I_{E3} = \frac{17,12 \text{ V}}{30,1 \text{ k}\Omega} = 0,569 \text{ mA} = I_{E4}$$

Karena itu tegangan kolektor pada Q_3 dan Q_4 adalah:

$$U_{C3} = U_{C4} = U_{CC} - R_{C4} \cdot I_{C4}$$

$$= U_{CC} - R_{C3} \cdot I_{C3}$$

$$= 10 \text{ V} - (1,2 \text{ k}\Omega) (0,569 \text{ mA})$$

$$= 9,32 \text{ V} \quad (\text{lihat Gambar 2.25 } U_{E3} = 7,12 \text{ V})$$

Karenanya, $U_{CE3} = U_{CE4} = U_{C3} - U_{E3} = (9,32 - 7,12) \text{ V} = 2,2 \text{ V}$

Akibatnya pada Q_1 dan Q_2 , serta Q_3 dan Q_4

$$I_{CQ1,2} = 0,988 \text{ mA} \quad I_{CQ3,4} = 0,569 \text{ mA}$$

$$U_{CEQ1,2} = 8,545 \text{ V} \quad U_{CQ3,4} = 2,2 \text{ V}$$

Terminal output (U_{C4}) adalah 9,32 V dan tidak nol volt.

Maka resistor emitor AC r_e dari masing-masing tingkat dan kemudian penguatan tegangan adalah

$$r_{e1} = \frac{25 \text{ mV}}{I_{E1}} = \frac{25 \text{ mV}}{0,988 \text{ mA}} = 25,3 \Omega = r_{e2}$$

$$r_{e3} = \frac{25 \text{ mV}}{I_{E3}} = \frac{25 \text{ mV}}{0,569 \text{ mA}} = 43,95 \Omega = r_{e4}$$

Pada tingkat I, penguat diferensial "dual input, balanced output", karena itu penguatan tegangannya (penguatan beda).

$$A_{df} = \frac{U_{o1}}{U_{id}} = \frac{R_{C1}}{r_{e1}}$$

$$\text{Di mana: } R_{i2} = 2 \cdot r_{ac} (r_{e3} + R_E)$$

$$= (200) (143,94) = 28,79 \text{ k}\Omega$$

$$A_{d1} = \frac{2,2 k\Omega}{25,3} = 80,78 \Omega$$

Pada tingkat II (penguatan beda)

$$A_{d1} = \frac{U_{o1}}{U_o} = \frac{R_{c4}}{2(R_E + r_{e1})} = \frac{1,2 k\Omega}{287,88} = 4,17$$

Penguatan tegangan total: (Ad)

$$A_d = (A_{d1})(A_{d2}) = (80,78)(4,17) = 336,85$$

Resistor input:

$$R_{i1} = 2 R_{ac}(r_{e1}) = (200)(25,3) = 5,06 k?$$

Resistor output

$$R_{o2} = R_{c4} = 1,2 k?$$

2.2.11.2.10. REDEKSI PENERJEMAH LEVEL (*LEVEL TRANSLATOR*)

Dari hasil Contoh 2.8 penguat diferensial cascade dapat dibuat suatu "Level Translator".

Karena kopel langsung (*direct coupling*), level DC pada kenaikan emitor dari tingkat satu sampai ke tingkat yang lainnya.

Kenaikan level DC ini dijaga untuk digeser titik kerjanya sampai ke tingkat yang dianggap sempurna dan oleh karena itu akan membatasi *swing* tegangan output dan mengubah sinyal output.

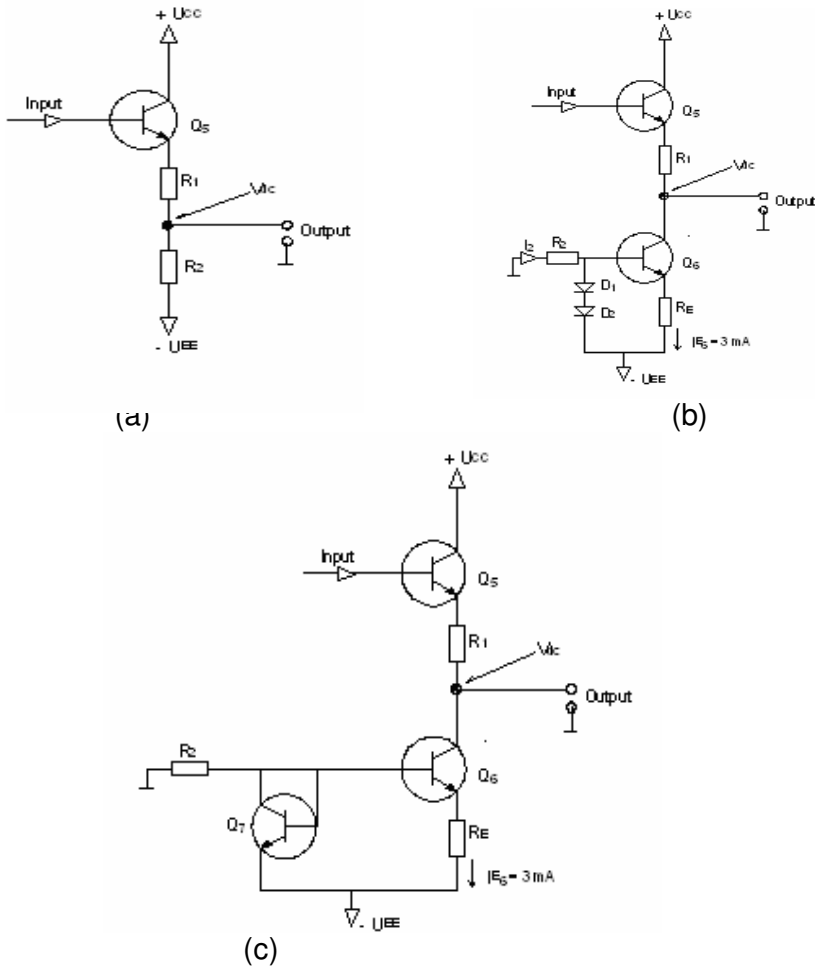
Contoh dari soal dengan Gambar 2.25 di mana tegangan emitor dari Q_1 dan Q_2 dari tingkat pertama sebesar $-0,715$ V, sedangkan tegangan Emitor dari Q_3 dan Q_4 sebesar $7,12$ V. Berikut ini digambarkan rangkaian "level translator" (Gambar 2.26)

Jika menggunakan satu tingkat, maka tegangan emitor dari Q_3 dan Q_4 akan sebesar $-0,715$ V. Karena itu akan menaikkan tegangan emitor pada tingkat kedua dan akan mengubah titik kerja dari tingkat penguat diferensial.

Tegangan output pada tingkat kedua Gambar 5.38 semuanya terhadap *ground*. Level DC ini tidak diinginkan karena hal ini dijaga untuk membatasi *swing* tegangan output puncak ke puncak (*peak to peak*) tanpa adanya distorsi dan juga termasuk menjaga adanya kesalahan-kesalahan sinyal output DC.

Pada Gambar 2.25 bagian tingkat akhir adalah termasuk penggeser level output DC dari tingkat kedua sampai berkisar 0 V terhadap *ground*. Tingkat ini sering disebut "Level Translator" atau "shifter". Karena itu penguat diferensial kaskade adalah untuk menggeser level output DC ke

bawah sampai 0 volt, sehingga bagian tingkat akhir harus dibuat rangkaian translator.



Gambar 2.221 Rangkaian “Level translator”: (a) “Emitter follower” dengan Pembagi tegangan, (b) “Emitter follower” dengan bias arus konstan, (c) “Emitter follower” dengan “current mirror”

2.2.11.2.10.1. CONFIGURASI BASIS BERSAMA-EMITOR BERSAMA (CE–CB CONFIGURATION)

Seperti diketahui bahwa konfigurasi penguat untuk sinyal kecil ada tiga, masing-masing yaitu: Emitor Bersama (Common Emitter), Basis bersama (Common base), kolektor bersama (Common Collector) atau biasa disebut dengan “Emitter flower”.

Untuk rangkaian penguat diferensial dikembangkan dari satu tingkat penguat dengan satu "Common" menjadi hubungan rangkaian dua tingkat atau lebih dan dengan sistem dua "common". Sehingga sambungan "common" merupakan gabungan dari keduanya.

Secara sambungan kombinasi dari sistem konfigurasi rangkaian penguat diferensial ada beberapa, yaitu:

Sambungan kolektor bersama-kolektor bersama (CC-CC connection)

Sambungan kolektor bersama-emitor bersama (CC-CE connection)

Sambungan kolektor bersama-basis bersama (CC-CB connection)

Sambungan emitor bersama-emitor bersama (CE-CE connection)

Sambungan emitor bersama-basis bersama (CE-CB connection)

Untuk pasangan Darlington dapat digunakan sebagai konfigurasi CC-CC. Ini terdiri dari dua transistor di mana kedua kolektor transistor disambung bersama-sama dan basis dari transistor kedua disambungkan dengan emitor yang pertama. Ini secara prinsip untuk mempertinggi faktor penguatan arus ? .

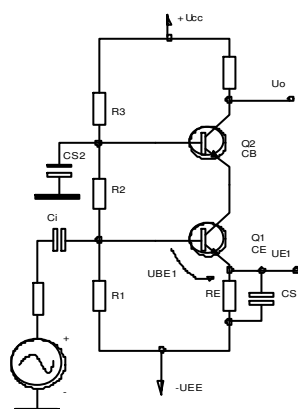
Keuntungan lain CC-CC adalah untuk memperoleh tegangan output yang sama dengan tegangan output yang sama dengan tegangan input, dan memperoleh penguatan arus yang tinggi.

Konfigurasi CC-CE, menggunakan pasangan Darlington pada transistor tunggal dalam konfigurasi CE.

Pada konfigurasi ini penguatan arus dan resistansi input telah diperbaiki terutama factor ? yang lebih pada penguatan konfigurasi CE.

Analisis DC

Pada penguat kaskade seperti tampak pada Gambar 2.28 berikut R_1 , R_2 , dan R_3 adalah bentuk rangkaian Q_1 dan Q_2 .



Gambar 2.222 Penguat Kaskade

C_{s1} dan C_{s2} merupakan saluran sinyal AC terhadap *ground* dari emitor Q_1 dan basis Q_2 dan C_i adalah kapasitor kopel, pada rangkaian ini diasumsikan bahwa transistor Q_1 identik dengan Q_2 dan pada kondisi DC kapasitor-kapasitor ini diasumsikan terbuka (*open circuit*).

Karena transistor Q_1 dan Q_2 identik dan kopel langsung antara tingkat CE-CB, maka:

$$I_{E1} = I_{E2} \text{ atau } I_{C1} = I_{C2} \text{ dan } I_{B1} = I_{B2}$$

Ini berarti bahwa dalam menentukan arus emitor hanya dari Q_1 saja dengan menggunakan pembagi tegangan:

$$U_{R1} = \frac{R_1 \cdot U_{CC}}{R_1 + R_2 + R_3} \quad (2.43)$$

$$U_{E1} = U_{R1} - U_{BE1}$$

Sehingga
$$I_{E1} = \frac{U_{E1}}{R_E}$$

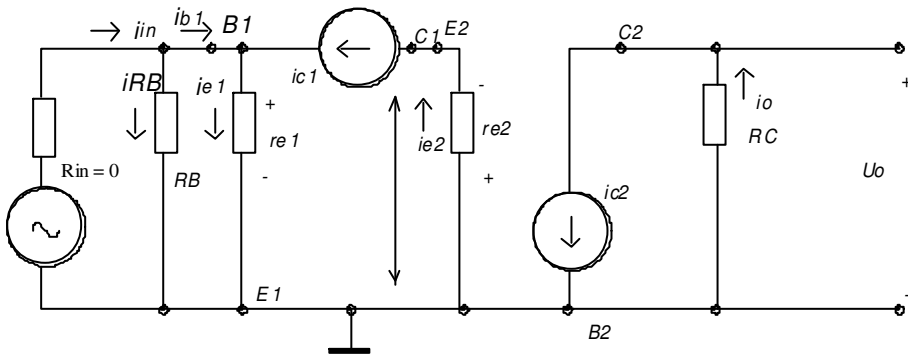
Disubstitusikan akan didapat:

$$I_{E1} = \frac{R_1 \cdot U_{CC}}{R_1 + R_2 + R_3} - U_{BE1} / R_E$$

Karena itu dari sini bisa ditentukan semua arus dan tegangan pada ketiga terminal dari transistor Q_1 dan Q_2 jika diinginkan.

Analisis AC

Dengan rangkaian ekuivalen T untuk sinyal kecil pada penguat kaskade seperti Gambar 2.223 berikut ini.



Gambar 2.223 Rangkaian Ekuivalen T untuk sinyal kecil dari Penguat Kaskade

Di sini rangkaian ekuivalen disajikan dalam realisis frekuensi rendah, dan diasumsikan bahwa kapasitor merupakan elemen hubung singkat (*short circuit*).

Maka besarnya penguatan tegangan, arus dan resistansi input dapat ditentukan sebagai berikut:

Penguatan Tegangan (*Voltage Gain*)

$$U_i = (r_{e1}) (i_{e1}) \text{ jika } R_B \gg r_{e1}$$

$$U_{o1} = -(r_{e2}) (i_{e1})$$

Catatan dari Gambar 2.29 bahwa $R_B = R_1 // R_2$; $r_{e1} ? r_{e2}$ untuk $I_{E1} ? I_{E2}$ dan U_{o2} adalah tegangan output dari tingkat penguat CE serta $?_{dc1} = ?_{dc2}$ dan $?_{ac1} = ?_{ac2}$.

Dengan ditentukan bahwa $i_{e2} = i_{e1}$ dan $i_{b1} ? i_{e1}$, maka $i_{e2} ? i_{c2}$, maka penguatan tegangan A_{v1} dari tingkat CE adalah:

$$A_{vi} = \frac{U_{o1}}{U_i} = \frac{r_{e2} \cdot i_{e2}}{r_{e1} \cdot i_{e1}} = -1 \quad \text{jika } r_{e1} = r_{e2}$$

Tegangan output

$$U_o = -(R_c) (i_o)$$

$$i_o = i_{c2} = i_{e2} \text{ dan}$$

$$i_{e2} = \frac{U_{o1}}{r_{e2}}$$

Disubstitusikan ke i_{e2} akan didapatkan:

$$U_o = -R_c \left(\frac{U_{o1}}{r_{e2}} \right)$$

Maka penguatan tegangan dari tingkat CB:

$$\frac{U_o}{U_{o1}} = \left(\frac{R_c}{r_{e2}} \right) \quad (2.44)$$

Penguatan tegangan total dari konfigurasi CE-CB adalah:

$$A_v = \frac{U_o}{U_i} = \frac{U_{o1}}{U_i} \cdot \frac{U_o}{U_{o1}} = \frac{R_c}{r_{e2}} \quad (2.45)$$

Dengan catatan $r_{e1} = r_{e2}$

Penguatan Arus (*Current Gain*)

Penguatan arus A_i dari konfigurasi CE-CB adalah:

$$A_i = \frac{i_o}{i_i} = \frac{i_{b1}}{i_i} \cdot \left(\frac{i_{e1}}{i_{b1}} \right) \cdot \left(\frac{i_{e2}}{i_{e1}} \right) \cdot \left(\frac{i_{c2}}{i_{e2}} \right) \cdot \left(\frac{i_o}{i_{c2}} \right)$$

Karena $i_{e1} = i_{c1} = i_{e2} = i_{c2} = i_o$

Maka: $A_i = \frac{i_{b1}}{i_i} = \frac{i_{e1}}{i_{b1}}$

Menggunakan pembagi arus pada rangkaian input didapatkan:

$$i_{b1} = \frac{R_B \cdot i_i}{R_B + a_c \cdot r_{e1}}$$

di mana $R_B = R_1 // R_2$

Akibatnya: $i_{e1} = a_c \cdot i_{b1}$

Sehingga persamaan penguatan arus menjadi:

$$A_i = \frac{R_B \cdot a_c}{R_B + a_c \cdot r_{e1}} \quad (2.46)$$

Resistansi Input (R_i)

$U_i = r_{e1} \cdot i_{e1} = a_c \cdot r_{e1} \cdot i_{b1}$, jika $i_{e1} = a_c \cdot i_{b1}$

Disubstitusikan:

$$U_i = \frac{R_B \cdot i_i}{R_B + a_c \cdot r_{e1}} \cdot \frac{R_B \cdot i_i}{R_B + a_c \cdot r_{e1}}$$

Karena perbandingan U_i / i_i adalah sama dengan resistansi input, maka:

$$R_i = \frac{U_i}{i_i} = \frac{R_B \cdot a_c \cdot r_{e1}}{R_B + a_c \cdot r_{e1}} \quad (2.47)$$

2.2.11.3. INTERPRETASI DATA DAN KARAKTERISTIK OP-AMP

2.2.11.3.1.1. PENGANTAR

Sebelum menggunakan OP-AMP, secara prinsip harus mengerti lebih dahulu tentang arti yang ada dalam data manual (*data sheet*) dari IC OP-AMP tersebut dan lebih baik lagi jika mengenali dan mengerti karakteristiknya.

Secara umum "data sheet" memberikan informasi tentang *rating* maksimum mutlak, aplikasi, karakteristik kelistrikan, batasan performansi (unjuk kerja), diagram pin, rangkaian ekuivalen dari peranti (*device*), dan lain-lainnya.

Pada bab ini banyak dibahas bagaimana membaca data OP-AMP, mendefinisikan parameter kelistrikan dan mengevaluasi signifikansi dari OP-AMP serta mencari bagaimana mengekuivalenkan atau mencari persamaan-persamaan dengan yang lain. Dengan mengerti karakteristik dan mengerti data dan interpretasi dari OP-AMP, maka dapat memilih OP-AMP yang akan digunakan pada macam-macam aplikasi.

2.2.11.3.2. OP-AMP KONDISI IDEAL

Op-Amp secara ideal memiliki karakteristik kelistrikan sebagai berikut:

1. Penguatan tegangan
(*voltage gain*) A_v tak terhingga (?)
2. Resistansi input R_i sangat
besar (?)
3. Resistansi output R_o
sangat kecil (0)
4. Tegangan output nol jika
tegangan input nol
5. *Bandwidth* (lebar band)
sangat besar (?)
6. CMRR sangat besar (?)
dengan tegangan *noise* "common mode" (0)
7. Slew rate sangat besar
(?), oleh karena itu tegangan perubahan tegangan input.

Secara praktik OP-AMP dapat dibuat dengan beberapa pendekatan karakteristik ini, yaitu dengan menggunakan umpan balik negatif (*negative feedback*).

2.2.11.4. RANGKAIAN APLIKASI OP-AMP

2.2.11.4.1. PENDAHULUAN

OP-AMP dalam praktiknya dirangkai dengan konfigurasi yang bermacam-macam dan dalam kondisi “closed loop” mempunyai penguatan yang sangat tinggi (*very high*) dan hanya untuk sinyal yang lebih kecil (dalam orde mikrovolt atau lebih kecil lagi) dengan frekuensi yang sangat rendah dikuatkan secara akurat tanpa distorsi. Untuk sinyal-sinyal yang sekecil ini sangat mudah terkena *noise* dan tak mungkin didapatkan pada suatu laboratorium.

Di sisi lain penguatan tegangannya selain besar, juga tidak konstan. Penguatan tegangannya bervariasi dengan perubahan suhu dan sumber daya (sumber tegangan). Variasi penguatan tegangan ini relatif besar untuk kondisi “open loop”, sehingga untuk penggunaan atau aplikasi rangkaian linier tak mungkin. Hal ini disebabkan kebanyakan aplikasi linier outputnya proporsional terhadap inputnya dari tipe OP-AMP yang sama.

Dengan alasan di atas maka OP-AMP kondisi “open loop” secara umum tidak digunakan dalam aplikasi linier. Untuk mengatasi hal di atas, maka dilakukan dengan memodifikasi rangkaian dasar OP-AMP, yaitu dengan tujuan mengontrol penguatannya. Modifikasi rangkaian dasar ini adalah dengan menerapkan penggunaan umpan balik (“feedback”), yaitu sinyal pada output diumpanbalikkan ke input secara langsung melalui jaringan atau peralatan lain.

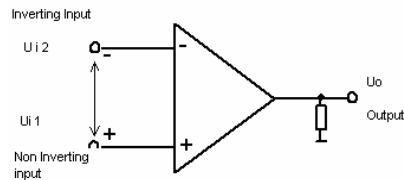
Klasifikasi umpan balik (“feedback”) ada dua macam, yaitu:

- Umpan balik negatif/degeneratif (*negative feedback*)
- Umpan balik positif/regeneratif (*positive feedback*)

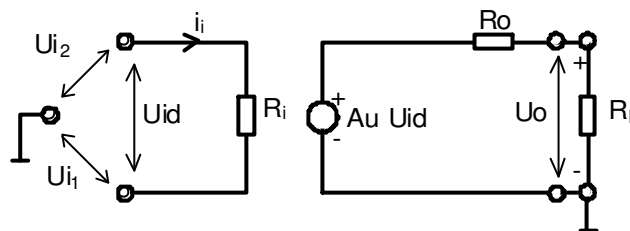
Umpan balik negatif (*negative feedback*) sering disebut “degenerative” karena mereduksi amplitudo tegangan output yang sekaligus akan mereduksi penguatan tegangan dan biasanya berbalik fase terhadap inputnya. Namun untuk umpan balik positif (*positive feedback*) sering disebut “regenerative”, karena pada outputnya akan selalu besar amplitudonya, dan outputnya sefase terhadap inputnya, maka sangat sesuai digunakan sebagai rangkaian osilator.

2.2.11.4.2. RANGKAIAN DASAR

Pada dasarnya OP-AMP mempunyai penguatan tegangan dan impedansi input yang sangat tinggi dan impedansi output yang rendah (lebih kecil dari 100?) dan tergantung pada beban.



a. Simbol OP-AMP



b. Rangkaian ekuivalen OP-AMP

Gambar 2.224 Rangkaian Dasar OP-AMP

Penguatan tegangan untuk loop terbuka (*open loop*) adalah:

$$A_{UOL} = \frac{U_o}{U_{id}}$$

A_{UOL} = penguatan tegangan "open loop"

U_{id} = tegangan input beda kedua terminal ($U_{i1} - U_{i2}$)

Karena penguat pada OP-AMP dianggap linier, maka tegangan saturasinya dengan persamaan pendekatan:

$$? U_{osat} = -(U_{cc} - 2) < u_o < U_{cc} - 2 \quad (2.48)$$

Misalkan: OP-AMP dengan $U_{osat} = 10 \text{ V}$ dengan penguatan tegangan kondisi "open loop" = -10^5 dan $R_i = 100 \text{ k}\Omega$.

Maka besarnya U_{id} adalah:

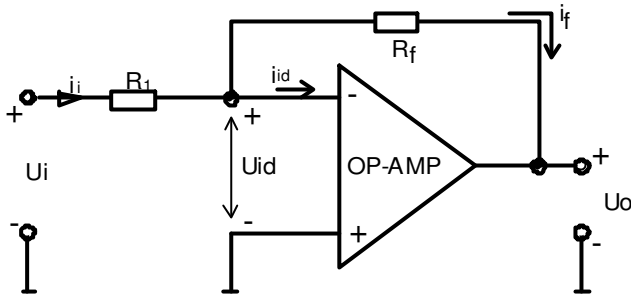
$$U_{id} = \frac{\pm U_{osat}}{A_{OL}} = \frac{\pm 10}{-10^5} = \pm 0,1 \text{ mV}$$

Dan besarnya arus input saat itu adalah:

$$I_i = \frac{U_{id}}{R_i} = \frac{\pm 0,1 \times 10^{-3}}{100 \times 10^3} = \pm 1 \text{ nA}$$

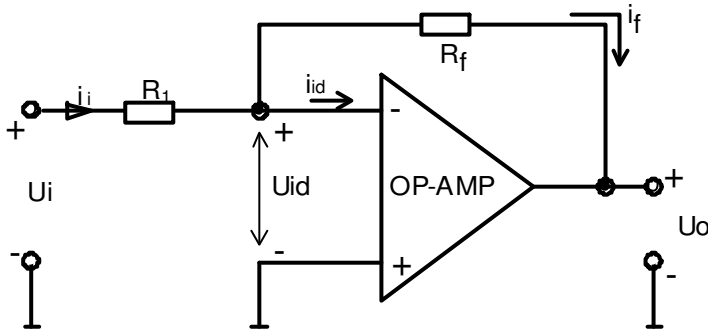
2.2.11.4.2.1. *Input Pembalik (Inverting Input)*

OP-AMP dengan metode input pembalik (*inverting input*) seperti Gambar 4.2 ini mempunyai input pada terminal *inverting* (-) dan terminal *noninverting* dihubungkan ke *ground* (sebagai "common") dan terminal output diukur terhadap *ground*.

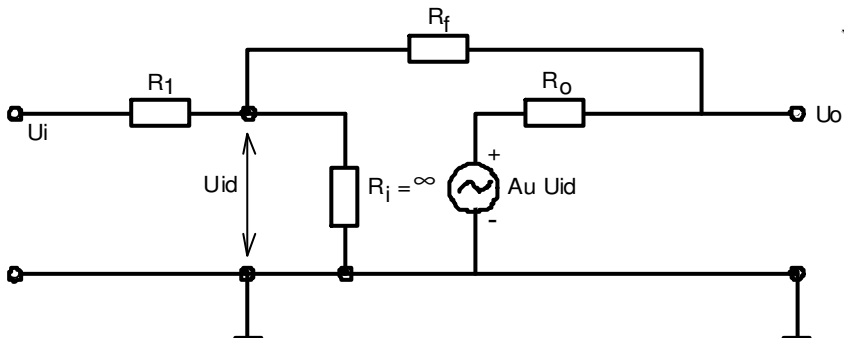


Gambar 2.225 Rangkaian OP-AMP "inverting input"

Dari Gambar 2.225 dapat digambar rangkaian ekuivalennya.



a. Rangkaian ekuivalen OP-AMP dengan penguatan konstan



b. Rangkaian ekuivalen OP-AMP untuk sinyal AC

Gambar 2.226 Rangkaian ekuivalen OP-AMP "Inverting Input"

Polaritas tegangan output U_o dari rangkaian ini adalah kebalikan terhadap inputnya, atau jika inputnya AC, maka outputnya berbalik 180° terhadap inputnya.

Sehingga metode "Node" tegangan diperoleh dari Gambar 2.226a adalah:

$$i_{id} = \frac{U_{id}}{R_i} = \frac{U_i - U_{id}}{R_1} + \frac{U_o - U_{id}}{R_F} \quad (4.3)$$

$$i_{id} = \frac{U_o}{A_{UOL}} = \frac{1}{R_i} = \frac{U_i - U_o}{R_1} - \frac{U_o - U_o}{R_F}$$

Dari persamaan di atas, jika $A_{UOL} = \infty$, maka didapatkan:

$$i_{id} = \frac{U_o}{\infty} = \frac{U_i - 0}{R_1} + \frac{U_o - 0}{R_F}$$

$$0 = \frac{U_i}{R_1} + \frac{U_o}{R_1} + \frac{U_o}{R_F}$$

$$\frac{U_i}{R_1} = -\frac{U_o}{R_F}$$

$$\frac{U_o}{U_i} = -\frac{R_F}{R_1}$$

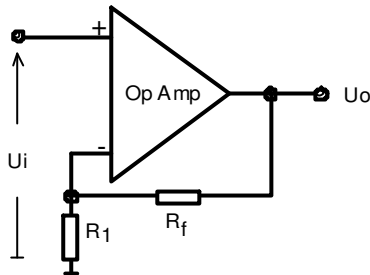
$$\frac{U_i}{R_1} = -\frac{U_o}{R_F}$$

Karena penguatan tegangan OP-AMP $A_U = \frac{U_o}{U_i}$, maka penguatan tegangan (A_U) untuk penguat "inverting input":

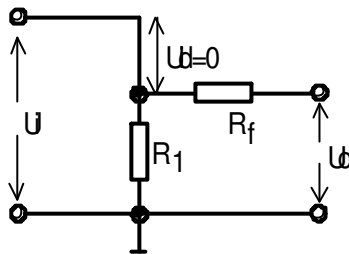
$$A_U = \frac{U_o}{U_i} = -\frac{R_F}{R_1} \quad (4.4)$$

2.2.11.4.2.2. Input Bukan Pembalik (Noninverting Input)

Rangkaian OP-AMP dengan input bukan pembalik (*noninverting input*) dengan sistem pengali penguatan yang konstan. Untuk menentukan penguatan tegangan dari rangkaian OP-AMP ini terlebih dahulu direpresentasikan dalam bentuk rangkaian ekuivalen (lihat Gambar 2.227).



Rangkaian OP-AMP “Noninverting Input”



b) Rangkaian ekuivalen “Noninverting Input”

Gambar 2.227 Rangkaian OP-AMP dengan “Noninverting Input”

Dari rangkaian ekuivalen didapatkan:

Untuk: $U_d = 0$.

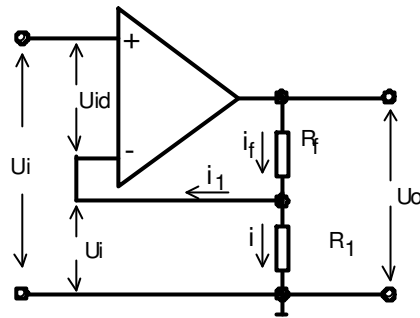
$$U_I = \frac{R_1}{R_1 + R_F} \cdot U_O$$

$$\frac{U_O}{U_I} = \frac{R_1 + R_F}{R_1} = 1 + \frac{R_F}{R_1}$$

Karena penguatan tegangan $A_U = \frac{U_O}{U_I}$, maka

$$A_U = \frac{U_O}{U_I} = \left(1 + \frac{R_F}{R_1} \right) \quad (4.5)$$

Atau dengan cara lain dapat ditentukan secara langsung dengan membuat arus input OP-AMP mendekati 0.



Gambar 2.228 Rangkaian inverting input dengan metode arus input mendekati nol

Jika U_i positif, U_o didapat positif pula dan akibatnya i juga positif. Tegangan $U_1 = I \cdot R_1$, dan arus yang menuju terminal *noninverting* adalah mendekati nol. Sehingga arus yang lewat R_1 dan R_F harus identik, maka didapatkan persamaan:

$$\frac{U_o - U_1}{R_F} = \frac{U_1}{R_1}, \text{ Karena } A_U = \frac{U_o}{U_i}$$

$$\text{Maka } \frac{U_o - U_1}{U_1} = \frac{R_F}{R_1}$$

$$i_F = i \frac{U_o}{U_1} - \frac{U_1}{U_1} = \frac{R_F}{R_1}$$

$$\frac{U_o}{U_1} - 1 = \frac{R_F}{R_1}$$

$$\frac{U_o}{U_1} = \left(1 + \frac{R_F}{R_1} \right)$$

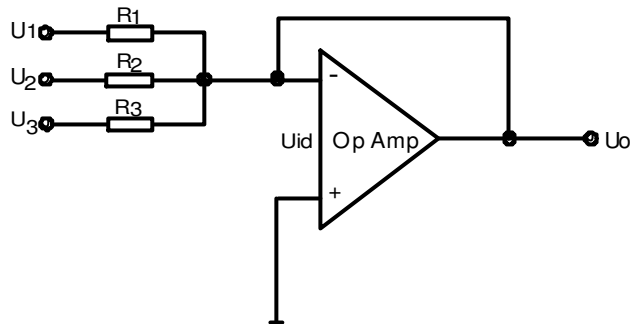
Karena arus input ke terminal “noninverting input” dianggap mendekati nol, maka $U_{id} \approx 0$, sehingga didapatkan $U_i = U_1$.

$$A_U = \frac{U_o}{U_1} = \frac{U_o}{U_i} = \left(1 + \frac{R_F}{R_1} \right) \quad (2.49)$$

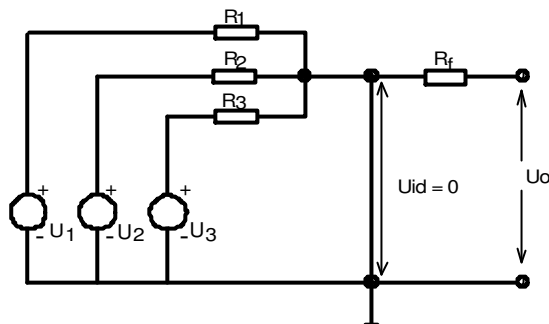
2.2.11.4.2.3. Penguat Penjumlah (Summing Amplifier)

Salah satu penggunaan rangkaian OP-AMP adalah pada penguat penjumlah (*summing amplifier*). Rangkaian penguat ini penguatan tegangan ditentukan oleh resistor (tahanan) pada masing-masing input dan tahanan umpan baliknya.

Gambar berikut (Gambar 2.229) menunjukkan rangkaian penguat penjumlah. Rangkaian ini dianalisis dalam bentuk operasi fungsi linier.



a) Rangkaian "Summing Amplifier"



b) Rangkaian Ekuivalen "Virtual Ground" dari "Summing Amplifier"

Gambar 2.229 Rangkaian "Summing Amplifier" dan Ekuivalen "Virtual ground"

Besarnya tegangan output (U_o) tergantung pada tahanan depan (R_1 , R_2 , dan R_3) pada masing-masing tegangan input (U_1 , U_2 , dan U_3) serta tergantung pada tahanan umpan balik (R_F).

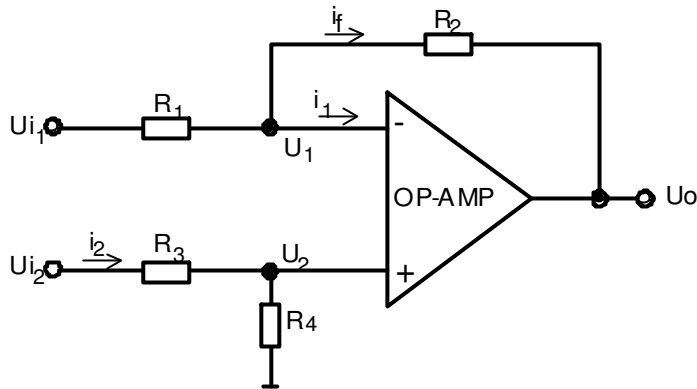
Sehingga besarnya U_o adalah:

$$U_o = - \left[\left(\frac{R_F}{R_1} \cdot U_1 \right) + \left(\frac{R_F}{R_2} \cdot U_2 \right) + \left(\frac{R_F}{R_3} \cdot U_3 \right) \right] \quad (2.50)$$

$$U_o = - \left[\frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2} + \frac{U_3}{R_3} \right] R_F$$

2.2.11.4.2.4. Rangkaian Pengurang (Subtractor Circuit)

Rangkaian pengurang yang menggunakan OP-AMP pada dasarnya saling mengurangkan dari dua buah inputnya. Gambar 2.230 menunjukkan rangkaian OP-AMP sebagai pengurang ("subtractor"), atau kadang-kadang disebut juga penguat beda (*differential amplifier*).



Gambar 2.230 Rangkaian "Subtractor"

Jika arus yang masuk ke OP-AMP dianggap ideal, $i \approx 0$, maka dengan persamaan "loop" (Ideal OP-AMP).

$$U_1 = U_{i1} - i_F \cdot R_2 = U_{i1} - R_2 \frac{U_{i1} - U_0}{R_1 + R_2}$$

Dengan menggunakan pembagi tegangan pada "node" "noninverting":

$$U_2 = \frac{R_4}{R_4 + R_3} \cdot U_{i2}$$

Karena OP-AMP dianggap ideal, maka $i_{id} \approx 0$, sehingga $U_1 = U_2$ Maka besarnya tegangan output (U_0).

$$U_0 = \frac{R_2}{R_1} (U_{i2} - U_{i1}) = \frac{R_4}{R_3} (U_{i2} - U_{i1})$$

Jika $R_2 = R_4 = R_F$ dan $R_1 = R_3 = R$, maka tegangan output (U_0):

$$U_0 = \frac{R_F}{R} (U_{i2} - U_{i1}) \quad (4.7)$$

Atau dengan cara lain yaitu metode superposisi, maka tegangan output (U_0).

$$U_0 = \frac{R_4}{R_3 + R_4} \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_1} \cdot U_{i2} - \frac{R_2}{R_1} \cdot U_{i1}$$

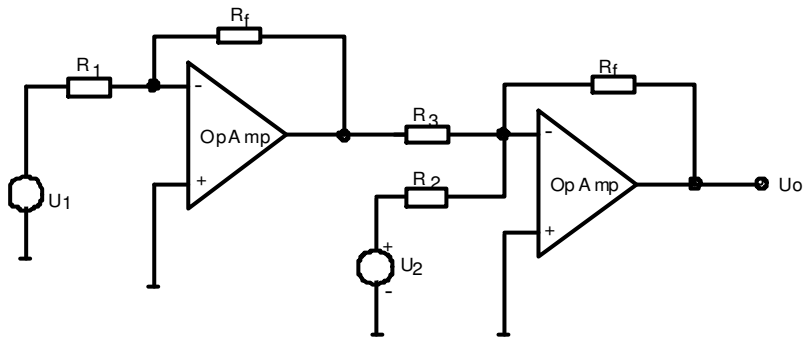
Jika persamaan ini dibuat seperti ketentuan pemisahan di atas, yaitu $R_2 = R_4 = R_F$ dan $R_1 = R_3 = R$, maka persamaan menjadi:

$$U_o = \frac{R_F}{R+R_F} \cdot \frac{R+R_F}{R} \cdot U_{i2} - \frac{R_F}{R} \cdot U_{i1}$$

$$\dot{U}_o = \frac{R_F}{R} \cdot U_{i1} - \frac{R_F}{R} \cdot U_{i1}$$

$$\dot{U}_o = \frac{R_F}{R} \cdot U_{i2} - U_{i1}$$

Jadi, besarnya tegangan output (Uo) pada rangkaian substractor sama saja dengan metode apa pun. Untuk pemakaian lebih lanjut bisa juga menggunakan dua buah OP-AMP.



Gambar 2.231 Rangkaian “Subtractor” dengan 2 OP-AMP

Besarnya tegangan output (Uo) adalah:

$$U_o = - \frac{R_F}{R_3} \cdot \frac{R_F}{R_1} \cdot U_1 + \frac{R_F}{R_2} \cdot U_2$$

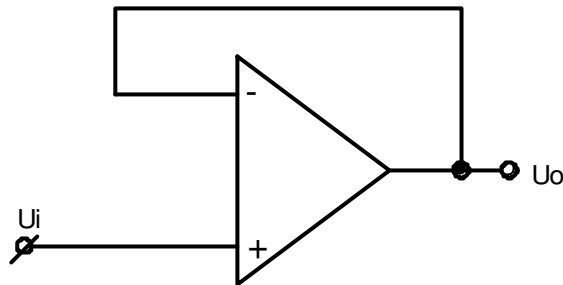
$$\dot{U}_o = - \frac{R_F}{R_2} \cdot U_2 - \frac{R_F}{R_3} \cdot \frac{R_F}{R_1} \cdot U_1$$

$$\dot{U}_o = - \frac{R_F}{R_2} \cdot U_2 - \frac{R_F^2}{R_3 \cdot R_1} \cdot U_1$$

$$U_o = R_F \left(\frac{U_2}{R_2} - \frac{R_F \cdot U_1}{R_1 \cdot R_3} \right) \tag{4.8}$$

2.2.11.4.2.5. Penyangga Tegangan (Voltage Buffer)

Rangkaian penyangga tegangan (*voltage buffer*) adalah suatu pemisahan sinyal input terhadap beban dengan menggunakan suatu tingkat unit penguat tegangan yang tidak membalik polaritas dan atau fasenya. Di samping itu, biasanya menggunakan OP-AMP yang mempunyai impedansi input yang sangat tinggi dan impedansi output yang sangat rendah. Gambar 2.232 berikut rangkaian “unity gain amplifier” (“buffer”).



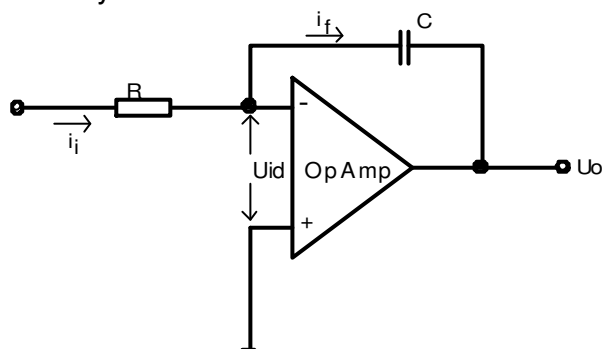
Gambar 2.232 Rangkaian OP-AMP sebagai “buffer” Besarnya tegangan output (U_o)

$$U_o = U_i \quad (4.9)$$

Jadi, besarnya penguatan tegangannya adalah 1 dan oleh karena itu biasanya disebut “unity follower amplifier”.

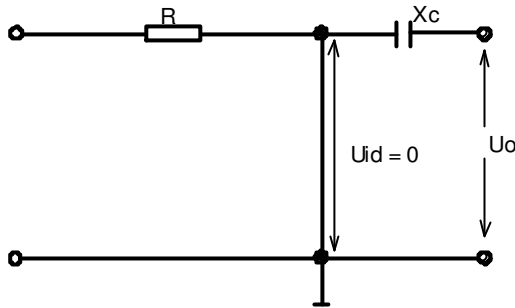
2.2.11.4.2.6. Rangkaian Integrator (Integrator Circuit)

Rangkaian integrator yang menggunakan OP-AMP hampir sama dengan rangkaian-rangkaian “closed loop” lain yang menggunakan umpan balik resistor. Bedanya di sini umpan baliknya menggunakan kapasitor (C). Lebih jelasnya lihat rangkaian integrator (Gambar 4.10) berikut ini beserta persamaan analisisnya.



Gambar 2.233 Rangkaian Integrator dengan OP-AMP

Dari gambar rangkaian di atas dapat dibuat rangkaian ekuivalen berdasar “virtual ground” sebagai berikut:



Jika $U_{id} = 0$ dan $x_c = \frac{1}{j \cdot \omega \cdot k} = \frac{1}{2} \cdot f \cdot c$

Atau dengan notasi Laplace $x_c = \frac{1}{j\omega C} = \frac{1}{s \cdot C}$

Ini berarti $j\omega = s$ (notasi Laplace), sehingga besarnya penguatan dapat dicari secara berurutan sebagai berikut:

$$i = \frac{U_i}{R} = -\frac{U_o}{x_c} = \frac{-U_o}{\frac{1}{s \cdot C}} \quad C = -s \cdot U_o \cdot C = -s \cdot C \cdot U_o$$

Maka besarnya penguatan tegangan $\frac{U_o}{U_i}$

$$\frac{U_o}{U_i} = -s \cdot C \cdot R \tag{2.51}$$

Sehingga besarnya tegangan output (U_o) dengan fungsi terhadap domain waktu (*time domain*).

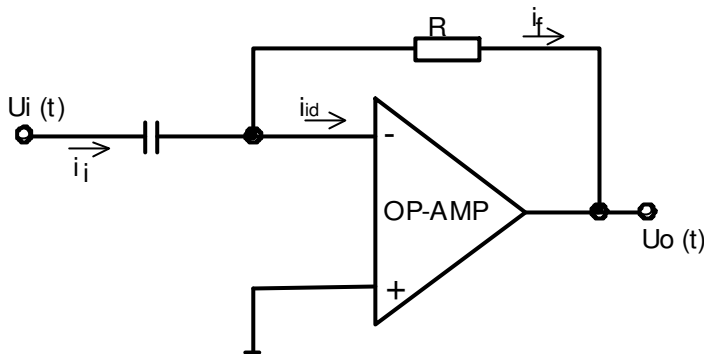
$$U_o = -\frac{1}{C} \int i \, dt = -\frac{1}{C} \int i_i \, dt = -\frac{1}{R \cdot C} \int U_i \, dt$$

$$U_o = -\frac{1}{R \cdot C} \int U_i \, dt = -\frac{1}{R \cdot C} \int U_i \cdot t \cdot dt$$

(2.52)

2.2.11.4.2.7. Rangkaian Diferensiator (Differentiator Circuit)

Rangkaian diferensiator yang menggunakan OP-AMP, hampir sama dengan rangkaian integrator, hanya saja umpan baliknya dan tahanan depan ditukar. Gambar 2.234 berikut ini menunjukkan rangkaian diferensiator.



Gambar 2.234 Rangkaian Diferensiator

$$i_i = C \frac{dU_i}{dt}$$

Arus yang melewati kapasitor C juga sekaligus melalui R ($i_{in} = 0$)

Maka:

$$U_o = -i_f \cdot R = i_i \cdot R = -RC \frac{dU_i}{dt}$$

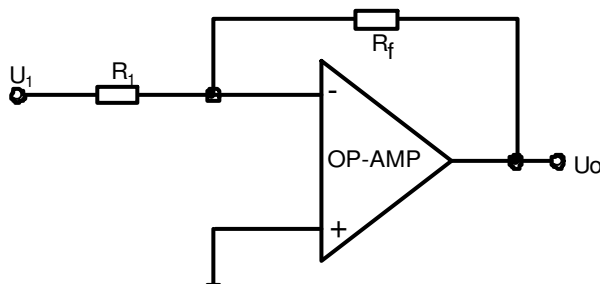
$$\text{Jadi } U_o(t) = -R \cdot C \frac{dU_i(t)}{dt} \quad (2.53)$$

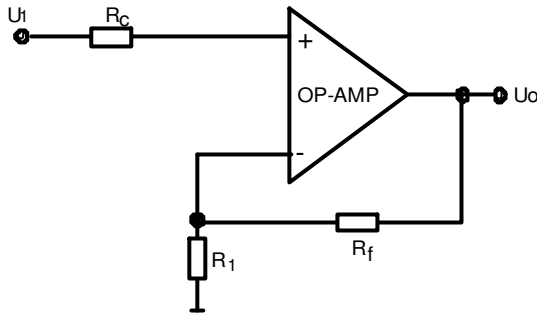
2.2.11.4.3. SISTEM PENGONTROL SUMBER

Penguat operasi (OP-AMP) dapat digunakan untuk bermacam-macam pengontrolan sumber. Dengan sebuah tegangan input dapat digunakan untuk mengontrol tegangan atau arus output. Atau sebaliknya dengan sebuah arus input dapat untuk pengontrolan ini biasanya digunakan pada variasi-variasi hubungan pada rangkaian instrumentasi.

2.2.11.4.3.1. Tegangan Mengontrol Tegangan Sumber

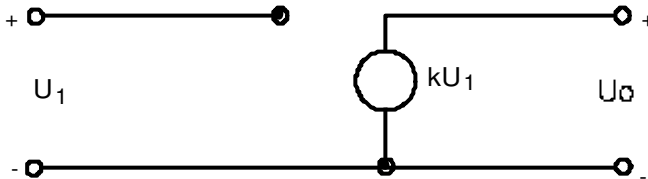
Pada rangkaian ini tegangan output tergantung pada tegangan input (dengan faktor skala pembalik). Rangkaiannya dengan menggunakan OP-AMP seperti Gambar 2.235 berikut ini.





Gambar 2.235 Rangkaian Tegangan Mengontrol Tegangan Sumber

Gambar berikut menyatakan rangkaian ekuivalen ideal dari tegangan mengontrol tegangan sumber secara ideal.



Gambar 2.236 Rangkaian Ekuivalen Ideal

Gambar 2.235 dan 2.236 pada dasarnya hampir sama, hanya saja pada inputnya berbeda, yaitu antara “inverting input” dan “noninverting input”. Dalam Gambar 2.237a untuk menentukan tegangan output (U_o) sebagai hasil pengontrolan:

$$U_o = -\frac{R_f}{R_1} \cdot U_1 = k \cdot U_1 \quad (2.54)$$

Besarnya faktor pengontrolan:

$$k = \frac{U_o}{U_i} = -\frac{R_f}{R_1}$$

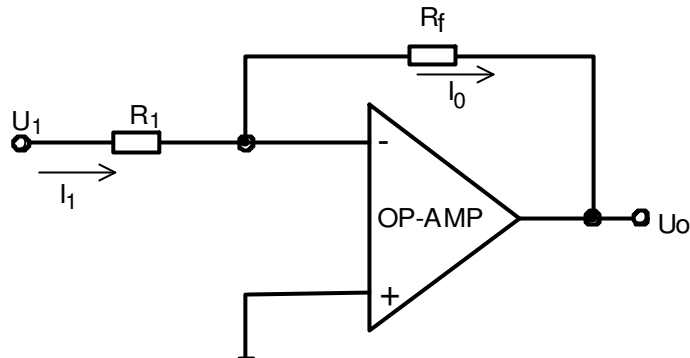
Sedangkan pada Gambar 2.237b untuk menentukan tegangan output (U_o) adalah:

$$U_o = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) \cdot U_1 = k \cdot U_1 \quad (2.55)$$

Dengan faktor pengontrolan $k = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right)$

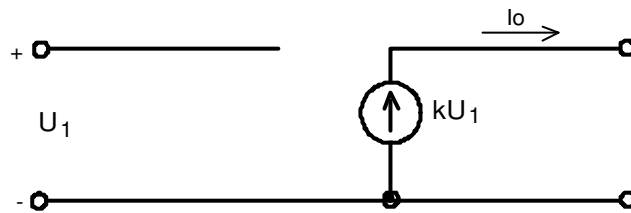
2.2.11.4.3.2. Tegangan Mengontrol Arus Sumber

Suatu pengontrolan arus oleh tegangan input, kontrol ini memanfaatkan arus pada rangkaian yang melalui R_1 dan R_F . Gambar 2.237a berikut akan menjelaskan secara aliran arus.



Gambar 2.237a Rangkaian Tegangan Mengontrol Arus Sumber

Rangkaian ekuivalen ideal dari tegangan mengontrol arus sumber dapat dilihat pada Gambar 2.237b berikut ini:



Gambar 2.237b Rangkaian Ekuivalen Ideal

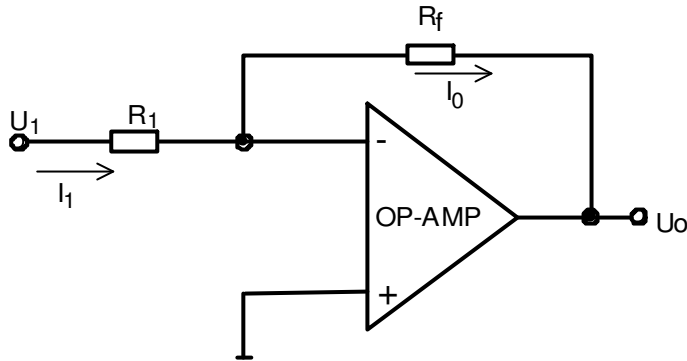
Besarnya arus hasil pengontrolan oleh tegangan input adalah identik arus yang melalui R_F , yaitu:

$$I_0 = \frac{U_1}{R_1} = k \cdot U_1$$

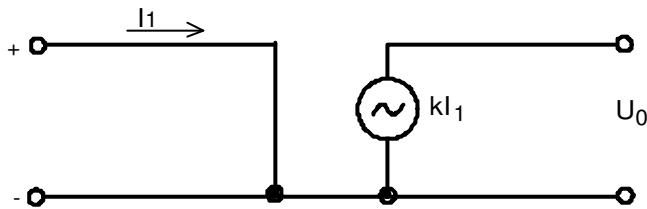
2.2.11.4.3.3. Arus Mengontrol Tegangan Sumber

Suatu pengontrolan tegangan oleh arus input, kontrol ini memanfaatkan arus input yang melalui R_F .

Untuk lebih jelasnya lihat Gambar 2.238a dan 2.238b berikut ini.



Gambar 238a Rangkaian Arus Mengontrol Tegangan Sumber



Gambar 2.238 b Rangkaian Ekuivalen Ideal

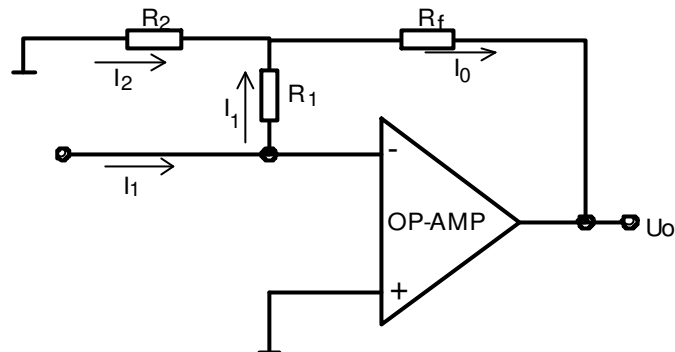
Besarnya tegangan output (U_o) adalah:

$$U_o = -I_1 \cdot R_F = k \cdot I_1$$

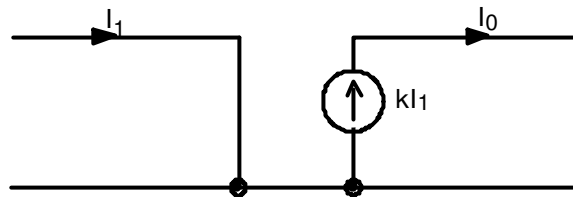
(2.56)

2.2.11.4.3.4. Arus Mengontrol Arus Sumber

Rangkaian ini harus output tergantung arus input, sebagai pengontrolan terdapat arus yang melalui R_1 dan R_F seperti tampak pada Gambar 2.238a dan 2.238b berikut ini:



Gambar 2.239a Rangkaian Arus Mengontrol Arus Sumber



Gambar 2.239b Rangkaian Ekuivalen Ideal

Besarnya arus output sebagai pengontrolan dari arus input adalah:

$$I_O = I_1 + I_2 = I_1 + \frac{I_1 + R_1}{R_2} = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) I_1 = k \cdot I_1 \quad (2.59)$$

2.2.11.4.4. FILTER AKTIF (*ACTIVE FILTER*)

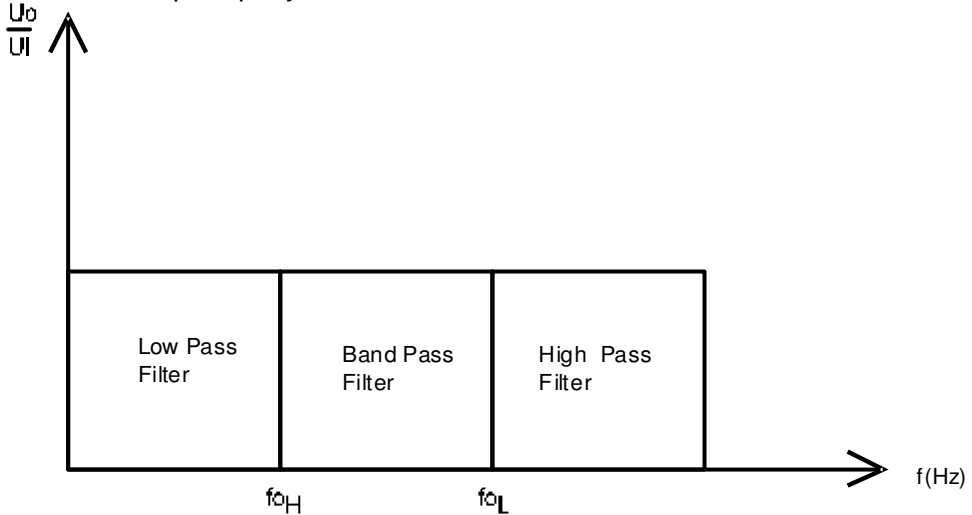
Aplikasi OP-AMP yang populer adalah sebagai penyaring aktif (*active filter*). Rangkaian filter aktif terdiri dari komponen pasif resistor-kapasitor. Disebut “active filter” karena adanya penambahan komponen aktif berupa penguat, yaitu OP-AMP, untuk memperoleh penguatan tegangan dan pengisolasian sinyal atau penggerak sinyal (*buffer*).

Sebuah filter memperoleh output yang konstan dari kondisi dc sampai dengan frekuensi “cut off” (f_{OH}) dan tidak akan melakukan sinyal pada frekuensi itu yang biasa disebut filter pelalu frekuensi rendah (*low pass filter*). Sebaliknya, suatu filter yang akan melakukan sinyal sampai frekuensi “cut off” (f_{OL}) dan tidak akan melakukan sinyal pada frekuensi di bawah itu disebut filter pelalu frekuensi tinggi (*high pass filter*). Dan bila filter itu bekerja melakukan sinyal di antara kedua batasan frekuensi “cut off” antara “low pass” dan “high pass filter” disebut “band pass filter”.

Untuk memudahkan penyebutan, filter-filter itu biasanya disingkat dalam beberapa huruf saja, seperti:

- High Pass Filter (HPF)
- Low Pass Filter (LPF)
- Band Pass Filter (BPF)

Gambar berikut memperlihatkan peta daerah respon (tanggapan) dari filter ideal seperti penjelasan di atas.

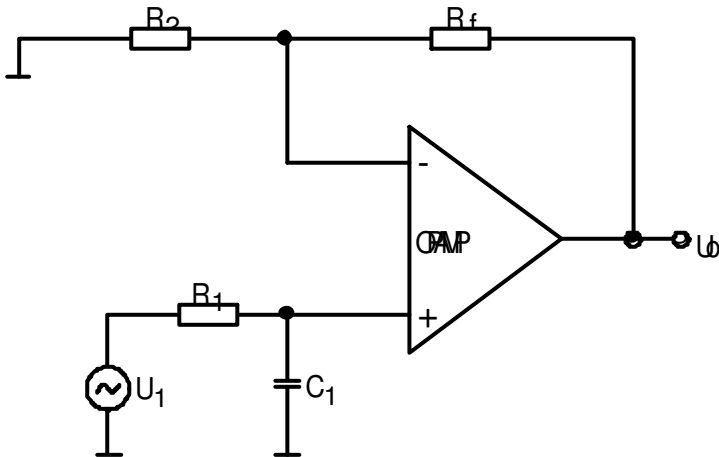


Gambar 2.240 Daerah Respon Filter Ideal

2.2.11.4.4.1. Filter Pelalu Frekuensi Rendah (Low Pass Filter)

Filter pelalu frekuensi rendah menggunakan komponen resistor dan kapasitor tunggal dengan sistem orde satu.

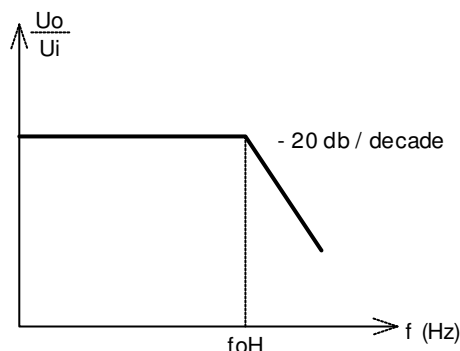
Gambar berikut 2.241a menunjukkan rangkaian "low pass filter" dan Gambar 2.241b merupakan karakteristik respon ideal "low pass filter".



Gambar 2.241a Rangkaian "Low Pass Filter"

Besarnya penguatan tegangan pada output kondisi frekuensi "cut off" adalah konstan.

$$A_U = 1 + \frac{R_F}{R_2} \quad (2.60)$$

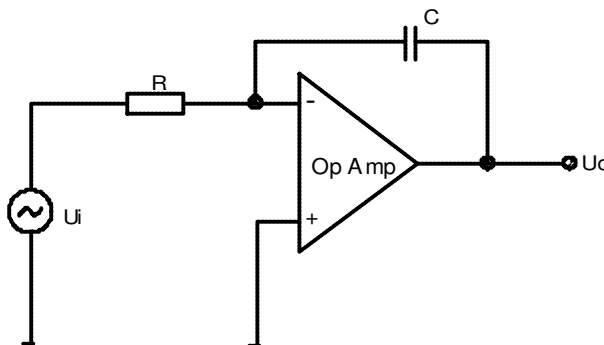


Gambar 2.242 Karakteristik respon ideal “Low Pass filter”

Dengan turun -20 dB pada frekuensi “cut off” per dekade, maka dapat ditentukan frekuensi “cut off” (f_{OH}).

$$f_{OH} = \frac{1}{2 R_1 \cdot C_1} \quad (2.61)$$

Berdasarkan teori rangkaian LPF (*low pass filter*) pada prinsipnya hanya menggunakan resistor dan kapasitor dirangkai dengan sistem rangkaian integrator seperti gambar berikut ini.



Gambar 2.243 Prinsip rangkaian LPF dengan sistem integrator

Jika $U_i = U_m \sin \omega t$, dan simetris serta linier, maka:

$$X_C = \frac{1}{2 \pi f \cdot C} = \frac{1}{\omega \cdot C}$$

Bila R dan C konstan dengan frekuensi bervariasi, maka dapat ditentukan besarnya tegangan output U_o .

Untuk $f \ll$, maka $X_C \gg$, sehingga: $U_o = \frac{-X_C}{R} \cdot U_i \ ? \gg$

Untuk $f \gg$, maka $X_C \ll$, sehingga: $U_o = \frac{-X_C}{R} \cdot U_i$

Atau secara matematika dapat diuraikan sebagai berikut:

$f \neq 0 \text{ Hz} \ ? \ U_o \sim U_i$ (bila tanpa penguat tegangan)

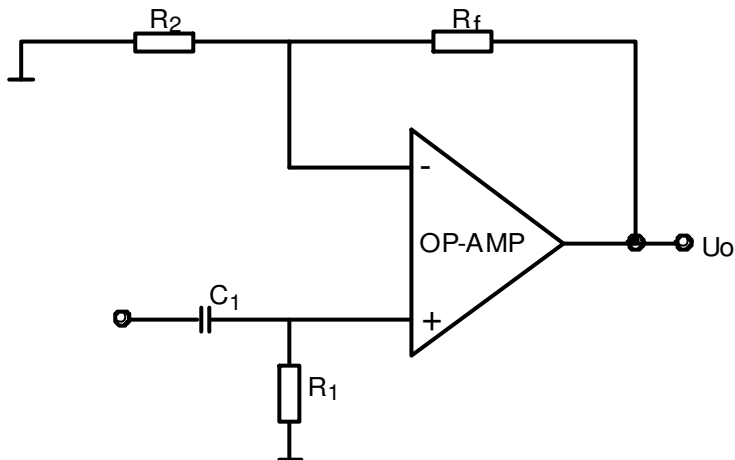
$$f > f_{OH} \text{ Hz ? } U_o \sim 0$$

Dengan kata lain sinyal input dengan frekuensi rendah sinyal input diteruskan atau dilakukan ke output, yang besarnya hampir sama besar dengan inputnya bila tanpa penguat. Sedangkan pada frekuensi tinggi sinyal input diredam hampir mendekati nol.

2.2.11.4.4.2. Filter Pelalu Frekuensi Tinggi (High Pass Filter)

Besarnya frekuensi "cut off" tergantung pada besarnya kapasitor dan resistor yang digunakan pada rangkaian filter.

Gambar 2.244 rangkaian filter aktif pelalu frekuensi tinggi (*high pass filter*: HPF).

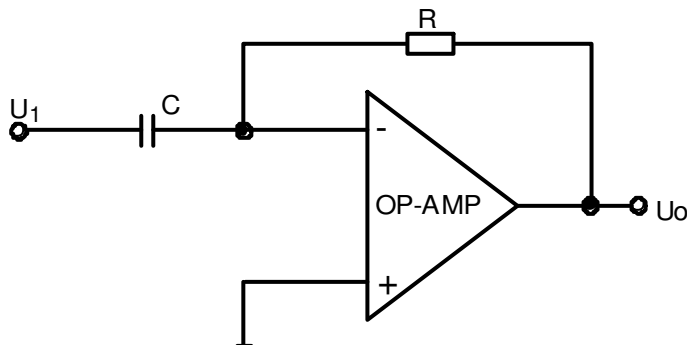


Gambar 2.244 Rangkaian Filter Aktif Pelalu Frekuensi Tinggi

Besarnya frekuensi "cut off" dari penguat tersebut adalah:

$$f_{OL} = \frac{1}{2 R_1 C_1} \quad (2.62)$$

Berdasarkan teori, rangkaian filter pelalu frekuensi tinggi (HPF) dapat digunakan rangkaian diferensiator seperti gambar berikut ini:



Gambar 2.245 Prinsip rangkaian HPF dengan sistem diferensiator

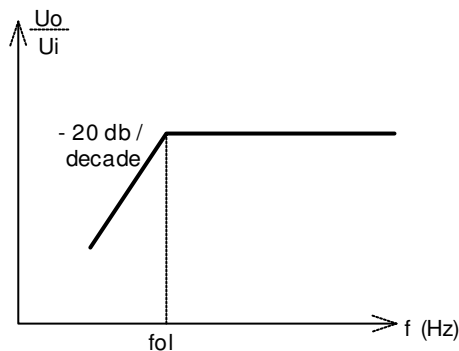
Jika $U_i = U_m \sin \omega t$ dan $X_C = \frac{1}{2\pi f C}$ maka $f_c = \frac{1}{2\pi R C}$

Maka:

$$U_o = \frac{R}{X_C} U_i$$

Besarnya tegangan output secara matematika ditentukan (U_o) dalam dua kondisi ekstrim, yaitu:

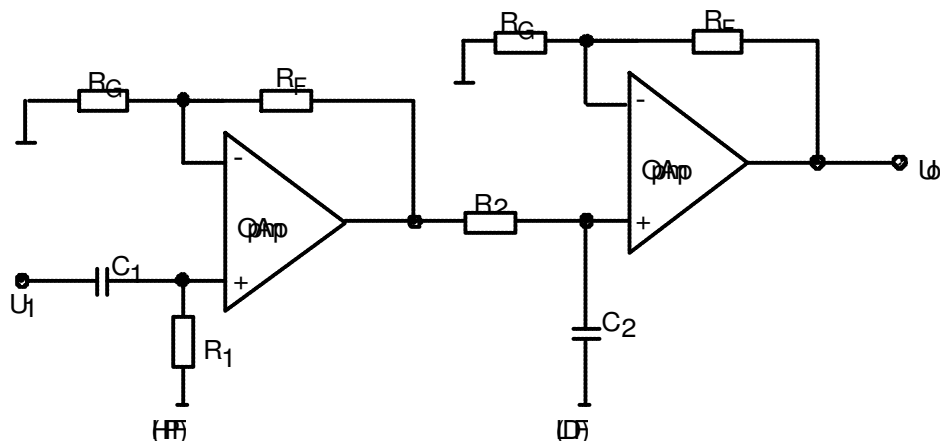
- Untuk $f \gg f_c$, maka $U_o \approx U_i$ (bila tanpa penguat tegangan)
- Untuk $f \ll f_c$, maka $U_o \approx 0$



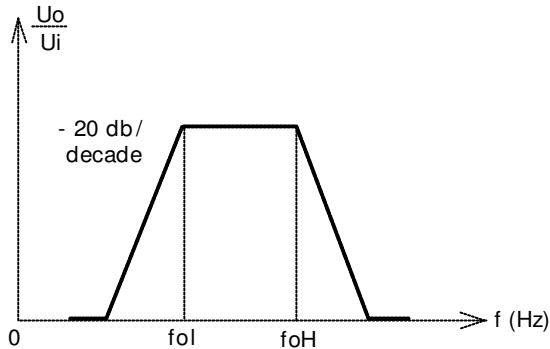
Gambar 2.246 Karakteristik respon ideal “High Pass Filter”

2.2.11.4.4.3. Filter Pelalu Frekuensi Antara (Band Pass Filter)

Dalam rangkaian aktif, “Band Pass Filter” biasanya menggunakan dua tingkat penguat, yaitu penguat tingkat pertama sebagai filter pelalu frekuensi tinggi (HPF) dan filter tingkat kedua sebagai filter pelalu frekuensi rendah (LPF). Dengan mengombinasikan kedua filter ini akan dioperasikan sebagai respon “bandpass” sesuai dengan keinginan.



Gambar 2.247 Rangkaian Band Pass Filter



Gambar 2.248 Karakteristik respon ideal “Band Pass Filter”

Besarnya frekuensi batas dari respon BPF adalah:

$$f_d = \frac{1}{2 R_1 \cdot C_1} \text{ Untuk HPF}$$

$$f_{OH} = \frac{1}{2 R_2 \cdot C_2} \text{ untuk LPF}$$

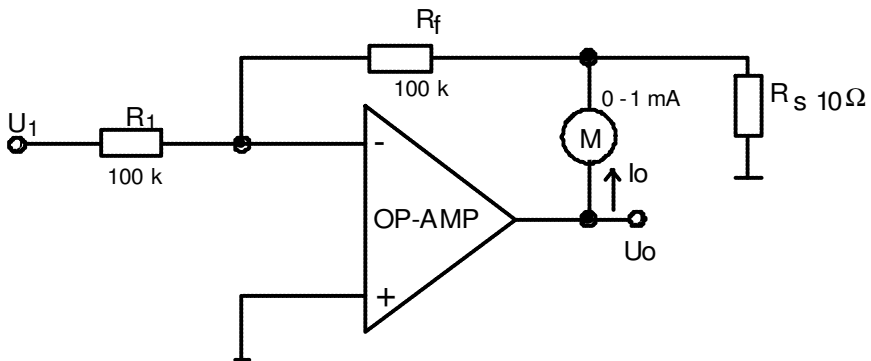
2.2.11.4.5. RANGKAIAN INSTRUMENTASI

Aplikasi OP-AMP lainnya yang populer adalah sebagai penunjang dalam pembuatan alat-alat ukur atau instrumentasi seperti voltmeter AC atau voltmeter DC.

Peralatan lain dalam instrumentasi yang menggunakan OP-AMP adalah “display driver”, instrumentasi amplifier, dan sebagainya.

2.2.11.4.5.1. Voltmeter DC

OP-AMP pada peralatan voltmeter DC ini digunakan sebagai penguat dasar yang mempunyai karakteristik impedansi input yang tinggi dan faktor skalanya tergantung pada harga resistor dan akurasi.



Gambar 2.249 OP-AMP sebagai Multimeter dc

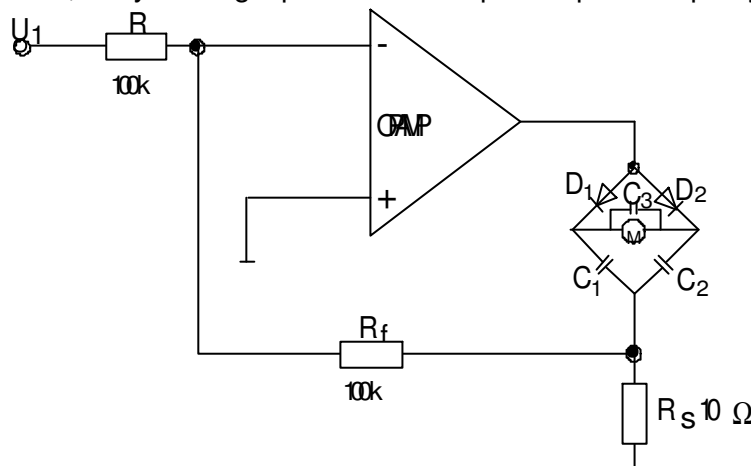
Dari Gambar 4.249 di atas dapat dianalisis secara fungsi transfer, sehingga diperoleh persamaan seperti berikut:

$$\left| \frac{I_O}{U_O} \right| = \frac{R_F}{R_1} \left(\frac{1}{R_S} \right) = \frac{100k}{100k} \cdot \frac{1}{10\Omega} = 10 \text{ mV}^{-1}$$

Dari sini artinya setiap pengukuran $U_i = 10 \text{ mV}$ akan menghasilkan arus yang mengalir melalui meter M sebesar 1 mA , sehingga jika tegangan input $U_i = 5 \text{ mV}$ akan menghasilkan arus $0,5 \text{ mA}$ atau penyimpangan jarum adalah setengah dari skala penuh. Hal ini dapat diubah tingkat kepekaannya yaitu dengan mengubah R_F atau R_1 dari rangkaian yang ada pada OP-AMP.

2.2.11.4.5.2. Voltmeter AC

Pada dasarnya rangkaian Voltmeter AC sama dengan Voltmeter DC, hanya saja perlu pembuatan sinyal AC yang masuk pada miliampere meternya. Untuk rangkaian Voltmeter AC dapat dibangun seperti Voltmeter DC, hanya dilengkapi diode dan kapasitor pada outputnya.



Gambar 2.250 OP-AMP sebagai Multimeter AC

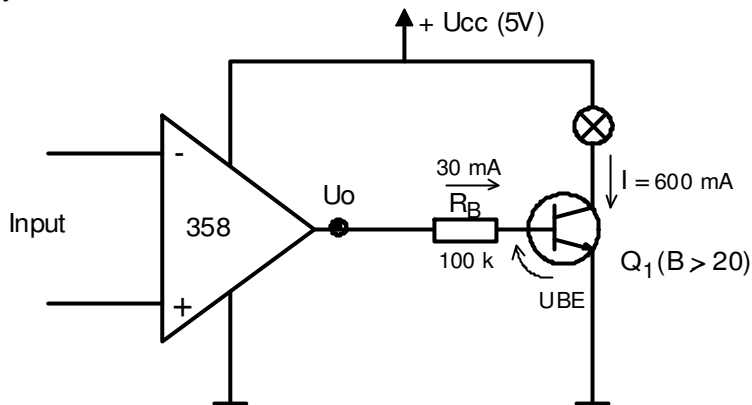
Dalam hal ini sensitivitas multimeter AC ditentukan dengan menggunakan fungsi transfer arus output dan tegangan input.

$$\left| \frac{I_O}{U_O} \right| = \frac{R_F}{R_1} \left(\frac{1}{R_S} \right) = \frac{100k}{100k} \cdot \frac{1}{10\Omega} = 10 \text{ mV}^{-1}$$

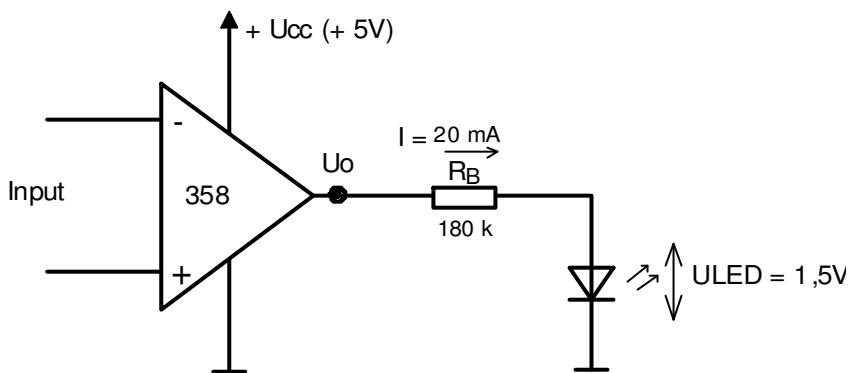
2.2.11.4.5.3. Display Driver

“Display driver” yang dimaksudkan adalah sebagai penggerak penampil (*display*). Contohnya lampu atau LED (*Light Emiting Diode*).

Adapun cara memasang *display* dapat ditentukan dengan cara mengetahui input yang diberikan pada OP-AMP termasuk pemasangan *driver*-nya.



Gambar 2.251 OP-AMP sebagai “driver” Lampu



Gambar 2.252 OP-AMP sebagai “driver” LED

Menentukan komponen R_B dan R_D pada masing-masing Gambar 4.26 dan 4.27 adalah:

$$R_B = \frac{U_O - U_{BE}}{I_B} \quad \text{Icon}$$

$$I_B = \frac{I_{C_{Q1}}}{h_{FE}} = \frac{I_{C_{Q1}}}{h_{FE}} = I \quad \text{(Tergantung transistor)}$$

Maka dari Gambar 4.26 jika $I_B = 30 \text{ mA}$ dan $I = 600 \text{ mA}$, maka $h_{FE} =$

$$= \frac{600}{30} = 20,$$

baru dipilih transistor jenis apa yang mempunyai kemampuan ?, I_c , I_b sebesar tersebut.

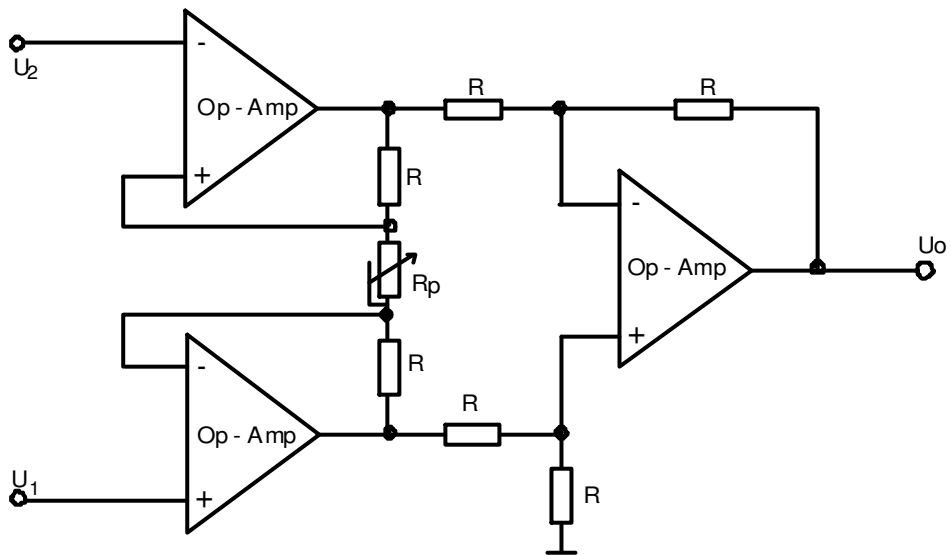
Dari Gambar 4.47 akan didapatkan besarnya R_D , yaitu:

$$R_D = \frac{U_O - U_{LED}}{I} = \frac{U_O - 1,5V}{20mA}$$

2.2.11.4.5.4. OP-AMP sebagai Amplifier Instrumentasi

Rangkaian ini pada dasarnya mempunyai sebuah output yang diperoleh dari perbedaan kedua terminal input.

Lebih jelasnya dapat dilihat prinsip dasar OP-AMP sebagai amplifier pada Gambar 2.253 berikut ini:



Gambar 2.253 Rangkaian OP-AMP sebagai Amplifier Instrumentasi

Dengan menggunakan tiga OP-AMP yang semuanya terdapat pada kemasan tunggal yang berisi empat OP-AMP (*single quad OP-AMP*), maka tegangan output (U_o) dapat ditentukan sebagai berikut:

$$\frac{U_o}{U_1 - U_2} = \left(1 + \frac{2R}{R_p} \right)$$

$$\text{Sehingga: } U_o = \left(1 + \frac{2R}{R_p} \right) (U_1 - U_2) = k (U_1 - U_2) \quad (4.22)$$

LATIHAN 4

1. Dari Gambar 4.2 jika telah ditentukan $R_F = 100\text{ k}\Omega$ dan $R_1 = 50\text{ k}\Omega$ dan $U_i = 2\text{ mV}$, tentukan besarnya tegangan output U_o !
2. Dari Gambar 4.4a ditentukan $R_F = 100\text{ k}\Omega$ dan $R_1 = 50\text{ k}\Omega$. Bila pada tegangan output (U_o) terukur = 1500 mV , tentukan berapakah tegangan input (U_i) yang harus dimasukkan!
3. Dari soal 4.6.1 bila $U_o = -450\text{ mV}$, $U_i = 150\text{ mV}$, dan $R_1 = 50\text{ k}\Omega$. Tentukan R_F !
4. Dari soal 4.6.2 bila $U_i = -50\text{ mV}$, $U_o = -500\text{ mV}$, dan $R_F = 9\text{ k}\Omega$? tentukan besarnya R_1 !
5. Berikan penjelasan tentang ciri-ciri penguat OP-AMP dengan input inverting pada outputnya!
6. Penggunaan OP-AMP yang populer ada beberapa peralatan, berikan contohnya (sebanyak 4 macam)!
7. Sebuah OP-AMP noninverting input dengan tegangan input $U_i = 5\text{ V}$ dan mempunyai $R_F = 500\text{ k}\Omega$ dan $R_1 = 10\text{ k}\Omega$ dan tegangan sumber = 12 V DC . Berapakah besar tegangan U_o secara teori dan secara praktik? Mengapa antara perhitungan teori dan praktik tidak sesuai? (Gambarkan rangkaian seperti Gambar 4.4a)
8. Berapakah besar tegangan saturasi OP-AMP absolut?

DAFTAR PUSTAKA

- Beuth, Klaus, "*Elektronik 4 Digitaltechnik*", Vogel-Buchverlag, Wuerzburg, 1982ac
- "*Elektronika Daya*", Gunadarma
- ELWE, "*Lehrsysteme Leistungelektronik*".
- Europalehrmittel, "*Fachkunde Information Elektronik*", Verlag Stuttgart hal 13/14.
- Horn / Nur Lesson plan 51520104 PPPGT Malang 1988.
- Horn / Rizal, Lesson Plan 51510102.
- Horn / Sutrisno Lesson plan 52520203 PPPGT Malang 1988.
- ITB, Polyteknik Mekanik Swiss, "*Teknik Listrik Terpakai*", hal 39 – 47
- Kamajaya, "*Fisika 1*", Ganeqa Exact, Bandung, 1994.
- MC68HC11F1 Technical Data, Motorola Inc., Arizona, 1990
- MC68HC11F1 Programming Reference Guide, Motorola Inc., Arizona
- M68HC11 Reference Manual, Motorola Inc., Arizona, 2002
- MC68HC11F1 Technical Summary 8-Bit Microcontroller, Motorola Inc., Arizona, 1997
- M. Affandi Agus Ponijo, "*Pengetahuan Dasar Teknik Listrik*"
- M. Affandi Agus Ponijo, "*Pengetahuan Dasar Teknik Listrik*"
- "*Microprocessor and Microcomputer*", ITT Fachlergänge, Pforzheim, 1979
- Nur / Supr , Lesson plan 51520101, PPPG Teknologi Malang, 1988.
- Ogata, K(1997). "*Teknik Kontrol Automatik*". Jilid 1. Erlangga: Jakarta
- PEDC, "*Ilmu Listrik*", Bandung, PEDC, 1981, hal 127-129, PT Gunung Agung, 1981.

LAMPIRAN A.2

Pflaum, Richard. "*Elektronik IVA Leistungelektronik (Lehrbuch) Werner Dzieria*", Verlag

KG Munchen

Pitowarno, E.(2006). "*Robotika Disain, Kontrol, Dan Kecerdasan Buatan*". Andi: Yogyakarta

Schmidt, Walf Deiter (1997). "*Sensor Schaltungs Technik*". Vogel (Wurzburg). Germany

Sugihartono, Drs.(1996). "*Dasar-dasar Kontrol Pneumatik*". Tarsito: Bandung

Suma'mur P.K, Msc, Dr ; "*Keselamatan kerja dan Pencegahan kecelakaan*" ;

Stielew, Roth, Prof, Dr, Ing. "*Institutfur Leistungelektronik und Elektrische Antriebe*"

W. Ernest, "*Elektrotechnik*", Frankfruft, Sauerlaender 1982, hal 13,14, 15-17.

Wil Helm Benz, "*Tabellen Buch Elektronik*", Kohl & Noltemeter & 10, Frankfurt, 1989

Uma'mur P.K, Msc, Dr ; "*Keselamatan kerja dan Pencegahan Kecelakaan*"

<http://www.bbc.co.uk/schools/gcsebitesize/design/systemscontrol/pneumaticsrev1.shtml>. (12.01.2008)

http://64.78.42.182/sweethaven/MechTech/hydraulics01/module_main.asp?whichMod=0100. (12.01.2008)

en.wikipedia.org/wiki/**Brushless_DC_electric_motor** - 40k. (12.01.2008)

DAFTAR ISTILAH

AC Choper	clock
ADC	coil
adder	common
aktuator	coulomb
akumulator	counter
alkali	CPU
alternatif current	crowbaring
ALU	cut-off
amper	daya listrik
amplifier	DC Choper
amplitudo	dekoder
AND	demodulasi
anoda	density
aritmatika	depletion Layer
arus cerat	depolarisator
arus listrik	desimal
arus pular	destilasi
asam nitrat	DIAC
assembler	diagram bode
atom	diameter
band pas filter	dielektrikum
basis	difusi
beda potensial	digital
bias	dimmer
biner	dioda
biner	dioda Schottky
biner	dioda varactor
bit	dioda zener
BJT	dipole
boolean	direct current
break down	diskrit
bus	double
caption	download
carry	drain
celcius.	efisiensi
chip	ekivalen

LAMPIRAN B.2

ekonomis
elektrolisa
elektro statis
elektroda
elektrolit
elektron
elektronika daya
emitor
EXOR
Fahrenheit.
farad
fase
ferro magnetik
filter
flag
flip-flop
flow chart
fluks
form
forward bias
foto cell
frekuensi
frekuensi modulasi
fungsi
fuzzy
fuzzylemps
galvanis
gate
gaya gerak listrik
gaya gerak magnet
generator
HandShaking
henry
hertz
hidrolika
high pass filter
histerisis
hole
horse power
hukum Kirchhoff
hukum ohm
IGBT
Impendansi
indeks
induksi
induktansi
induktor
input
input pembalik
instrumentasi
integer
ionisasi
ISA
isolasi
jembatan Wheatstone
jendela
joule
Joule
junction
kapasitansi
kapasitas panas
katoda
katup
kelvin.
kimiawi
kode program
koefisien
kolektor
kondensator
konduksi
konfigurasi
konstanta
kontrol
kontroler
konveksi
konversi
konverter
korona

LAMPIRAN B.3

korosi	penghantar
cursor	penyearah
LDR	penyulutan
loop	penyulutan
loop	permitivitas listrik
low pass filter	pewaktu
LPT	phasa
LSI	piston
medan magnit	plant
mekanik	plasma
memori	pneumatik
mikrokomputer	pointer
mikrokontroler	pointer
mnemonic	polarisasi
modulasi	polaritas
MOS	pop
MOSFET	port
motor stepper	port
muatan listrik	potensial barrier
multiplekser	potensiometer
Neutron	potensiometer
NOT	power supply
offset	PPI
ohm	PROM
oksidasi	prosedur
op-amp	Proton
op-code	pulsa
OR	push
orde dua	PWM
orde satu	radiasi
oscilator	radiator
osilasi	radioaktif
osilator	RAM
osiloskop	Reamur.
output	register
overflow	register
parallel	reluktansi
parity	RePROM
pengalamatan	resonansi

LAMPIRAN B.4

reverse bias

ROM

root locus

RS232

satu fase

sekuensial

semi penghantar

semikonduktor

semikonduktor

sensor

seri

servo

siemens

silicon

silikon

sinyal

sinyal

Source

stack

statement

stator

string

subrutin

tabel kebenaran

tahanan

tahanan jenis

tegangan

Tegangan Knee

tegangan listrik

temperatur

tesla

thermocouple

thyristor

tiga fase

timer

Titik Q

Toleransi

Transistor

transistor

transistor bipolar,

Transkonduktansi

transportasi

triac

Unijunction Transistor

unipolar

usaha listrik

USB

valensi

variabel

variant

visual basic

volt

watt

weber

ISBN 978-979-060-089-8
ISBN 978-979-060-090-1

Buku ini telah dinilai oleh Badan Standar Nasional Pendidikan (BSNP) dan telah dinyatakan layak sebagai buku teks pelajaran berdasarkan Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 45 Tahun 2008 tanggal 15 Agustus 2008 tentang Penetapan Buku Teks Pelajaran yang Memenuhi Syarat Kelayakan untuk digunakan dalam Proses Pembelajaran.

HET (Harga Eceran Tertinggi) Rp. 28,930.00