

**MEDIA**

**PEMBELAJARAN TEKNIK**

# **ELEKTRONIKA**

**Dr. Christine T. M. Manoppo, M.Ap**

# **MEDIA PEMBELAJARAN TEKNIK ELEKTRONIKA**

**Dr. Christine T. M. Manoppo, M.Ap**



**Dr. Christine T. M. Manoppo, M.Ap**

Media Pembelajaran Teknik Elektronika

ISBN : 978-623-5692-26-5

hlm 227 ; 15,5 x 23 cm

---

**Editor** : **Dr. Christine T. M. Manoppo, M.Ap**

---

**Desain Sampul dan Tata Letak** : Dereyez Printing

---

**PENERBIT** : **MAJOR**

---

• Redaksi:

**PENERBIT MAJOR**

Jl. A. Mononutu – Paslaten, Kec. Kauditan

Kab. Minahasa Utara – Sulawesi Utara, Kode Pos: 95372

HP/WA: 0853-4211-7958

Email: penerbit.major@yahoo.com

---

• **Terbit : 2023**

---

**Perpustakaan Nasional: Katalog Dalam Terbitan (KDT)**

---

Hak Cipta pada Penulis/Pengarang

---

Hak Penerbitan pada CV. MAJOR, Minahasa Utara (PENERBIT MAJOR)

---

Dicetak Oleh DEREYEZ PRINTING

---

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh isi buku ini dengan cara apapun, termasuk dengan cara penggunaan mesin fotokopi, tanpa izin sah dari penerbit. (Undang-Undang Hak Cipta Nomor 19 Tahun 2002 dan Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 3 Tahun 2017 Tentang Sistem Perbukuan)

---

## **KATA PENGANTAR**

Syukur dan pujian dipersembahkan kehadiran Tuhan karena hikmat dan kemampuan yang dimiliki penulis hanyalah berasal dari Dia.

Buku referensi ini penulis tulis berdasarkan pengembangan dari penelitian yang dilakukan pada mahasiswa di FATEK Unima dengan judul “PENGUNAAN VIDEO PEMBELAJARAN DALAM UPAYA PENINGKATAN KWALITAS PEMBELAJARAN MATA KULIAH TEKNIK ELEKTRONIKA “ yang dibaca, dipelajari kembali, diterjemahkan ataupun di kutib dari berbagai sumber yang sudah ada ataupun sumber yang lain, berkaitan dengan topik-topik yang sudah penulis siapkan, dengan maksud untuk memenuhi kebutuhan buku sumber dalam perkuliahan mata kuliah Belajar pembelajaran, ataupun teknik elektronika.untuk mahasiswa Fakultas Teknik.

Adapun topik yang dibahas dalam buku ini adalah teori tentang elektronika analog berupa elektronika pasif dan aktif, elektronika digital berupa sistim bilangan, logika dasar, rangkaian-rangkaian digital berupa rangkaian aritmatika, rangkaian pemrosesan data, rangkaian sequensial, counter, dan teknologi IC (Intergreted Circuit), juga tentang teori-teori belajar dan pembelajaran, media pembelajaran dalam hal ini video dan game pembelajaran sebagai media yang efektif dalam pembelajaran teknik elektronika.

Pada saat buku ini dibuat tentunya masih banyak kekurangan yang perlu diperbaiki. Namun keterbatasan yang ada, tidaklah mengurangi maksud dan tujuan utama dari penulisan buku ini. Dan tentunya dalam setiap kesempatan penulis bersedia menerima saran dan masukan dari semua pihak, dalam upaya perbaikan untuk menjadi lebih baik.

Semoga buku ini bermanfaat

**Penulis**

## DAFTAR ISI

### **BAB 1 PENGANTAR**

- ✓ Apa yang dimaksud dengan Teknik Elektronika
- ✓ Kaitan antara Teknik Listrik, Teknik Elektronika dan Teknik Komputer
- ✓ Dasar Elektronika Analog Dan Digital
- ✓ Sistem Analog dan Digital

### **BAB 2 SEJARAH PERKEMBANGAN ELEKTRONIKA**

- ✓ Perkembangan elektronika
- ✓ Besaran Elektronika
- ✓ Satuan Dasar Dan Satuan Turunan

### **BAB 3 KOMPONEN PASIF DALAM ELEKTRONIKA**

- ✓ Resistor atau Hambatan
- ✓ Condensator atau Capacitor
- ✓ Indukto
- ✓ Transformator
- ✓ Relay
- ✓ Transducer / Sensor dengan Perubahan Resistansi
- ✓ LDR (Light Emiting Dioda)
- ✓ Termistor
- ✓ NTC (Negative Temperature Coeffisient)
- ✓ PTC (Positive Temperature Coeffisient)

### **BAB 4 ELEKTRONIKA ANALOG DASAR**

- ✓ Semikonduktor
- ✓ Susunan Atom
- ✓ Dioda PN
- ✓ DIODA
- ✓ Tungsten
- ✓ Thoriated Tungsten
- ✓ Katoda berlapis oksida (*Oxide-Coated Cathode*)
- ✓ Emisi Medan Listrik (*Field Emission*)
- ✓ Emisi Sekunder (*Secondary emission*)
- ✓ Emisi Fotolistrik (*Photo Electric Emission*)

### **BAB 5 KOMPONEN AKTIF DALAM ELEKTRONIKA**

- ✓ Transistor Bipolar
- ✓ Prinsip Kerja Transistor

- ✓ Penggunaan Transistor
- ✓ Penguat Operasi (Op-Amp)
- ✓ Filter
- ✓ Osilator

## **BAB 6 KOMPONEN AKTIF DALAM ELEKTRONIKA (Lanjutan)**

- ✓ Transistor Efek Medan (FET)
- ✓ Transistor JFET
- ✓ Transistor MOSFET
- ✓ NMOS dan PMOS
- ✓ Transistor CMOS

## **BAB 7 KOMPONEN AKTIF DALAM ELEKTRONIKA (Lanjutan)**

- ✓ Integreted Circuit (IC)
- ✓ Fabrikasi dan Karakteristik IC
- ✓ Gerbang DTL Inverter
- ✓ Struktur IC Transistor Bipolar
- ✓ Struktur dan Prinsip Kerja Transistor Metal Oxide Semiconductor (MOS)
- ✓ Proses fabrikasi Transistor nMOS dengan Teknologi MOS
- ✓ Transistor dalam IC Monolitik
- ✓ Dioda dalam bentuk IC Monolitik
- ✓ Resistor dalam IC Monolitik
- ✓ Kapasitor dan Induktor dalam IC Monolitik
- ✓ *Crossover* dalam IC monolitik

## **BAB 8 ELEKTRONIKA DIGITAL DASAR**

- ✓ Sistem desimal dan biner
- ✓ Sistim Bilangan Oktal
- ✓ Sistim Bilangan Hexadesimal
- ✓ Bilangan Biner Pecahan
- ✓ Sistem Bilangan BCD
- ✓ Aritmatika Biner

## **BAB 9 DASAR-DASAR LOGIKA**

- ✓ Operasi-operasi logika dasar
- ✓ Gerbang AND Dan NAND
- ✓ Gerbang OR Dan NOR

- ✓ Gerbang NOT
- ✓ Gerbang XOR
- ✓ Tabel Kebenaran

## **BAB 10 ALJABAR BOOLE DAN RANGKAIAN KOMBINASIONAL**

- ✓ Aljabar Boole
- ✓ Rangkaian Ekuivalen
- ✓ Sekilas tentang IC TTL

## **BAB 11 RANGKAIAN ARITMATIKA**

- ✓ *Half Adder*
- ✓ *Full Adder*
- ✓ *Full subtractor*
- ✓ Bilangan tak bertanda
- ✓ Pengurangan dengan *complement*

## **BAB 12 RANGKAIAN PEMROSESAN DATA**

- ✓ *Multiplexer*
- ✓ *Demultiplexer*
- ✓ *Dekoder*
- ✓ *Enkoder*

## **BAB 13 RANGKAIAN SEQUENSIAL**

- ✓ Flip flop
- ✓ RS Flip-Flop dengan Clock
- ✓ D Flip-Flop
- ✓ JK Flip-Flop
- ✓ T Flip-Flop
- ✓ Tabel Eksitasi Flip-Flop
- ✓ Prosedur Disain

## **BAB 14 COUNTER ( Pencacah )**

- ✓ *Ripple Counter*
- ✓ *Binary Ripple Counter*
- ✓ *Counter MOD-3*

## **BAB 15 BELAJAR DAN PEMBELAJARAN**

- ✓ Teori-teori Belajar
- ✓ Pembelajaran

- ✓ Factor-faktor yang mempengaruhi pembelajaran
- ✓ Hasil Belajar

**BAB 16 KONSEP DASAR PENGGUNAAN MEDIA  
PEMBELAJARAN VCD**

- ✓ Pengertian Media Pembelajaran
- ✓ Video Pembelajaran sebagai Media
- ✓ Media VCD
- ✓ Media CD Game

**BAB 17 PENGGUNAAN VCD PEMBELAJARAN DAN  
CD GAME PADA PEMBELAJARAN TEKNIK  
ELEKTRONIKA**

- ✓ Langkah-langkah Pembuatan Media Pembelajaran
- ✓ Media VCD
- ✓ Media CD Game

# Bab I

## Konsep Dasar Teknik Elektronika

### Pendahuluan

Dalam kehidupan sehari-hari kita banyak menemui suatu alat yang mengadopsi elektronika sebagai basis teknologinya contoh ; Dirumah, kita sering melihat televisi, mendengarkan lagu melalui tape atau CD, mendengarkan radio, berkomunikasi dengan telephone. Di kantor kita menggunakan komputer, mencetak dengan printer, mengirim pesan dengan faximile, berkomunikasi dengan telephone. Dipabrik kita memakai alat deteksi, mengoperasikan robot perakit, dan sebagainya. Bahkan di jalan raya kita bisa melihat lampu lalu-lintas, lampu penerangan jalan yang secara otomatis hidup bila malam tiba, atau papan reklame yang terlihat indah berkelap-kelip dan masih banyak contoh yang lainnya.

Dari semua uraian diatas kita dapat membuktikan bahwa pada zaman sekarang ini kita tidak akan lepas dari perangkat yang menggunakan elektronika sebagai dasar teknologinya. Alat-alat yang menggunakan dasar kerja elektronika seperti diatas biasanya disebut sebagai peralatan elektronik (*electronic devices*)

### Apa yang dimaksud dengan Teknik Elektronika ?

Elektronika adalah ilmu yang mempelajari alat listrik arus lemah yang dioperasikan dengan cara mengontrol aliran elektron atau partikel bermuatan listrik dalam suatu alat seperti komputer, peralatan elektronik, termokopel, semikonduktor, dan lain sebagainya. Ilmu yang mempelajari alat-alat seperti ini merupakan cabang dari ilmu fisika, sementara bentuk desain dan pembuatan sirkuit elektroniknya adalah bagian dari teknik elektro, teknik komputer, dan ilmu / teknik elektronika dan instrumentasi.

Perkembangan teknologi dalam bidang elektronika sangat pesat, bermula dari menggunakan komponen tabung hampa, komponen diskrit seperti dioda dan transistor, sekarang sudah menggunakan sistem digital dalam peralatan digital penyajian data atau informasi merupakan susunan angka-angka yang dinyatakan dalam bentuk digital (rangkaiian logika).

Alat-alat yang menggunakan dasar kerja elektronika ini disebut sebagai peralatan elektronik (*electronic devices*). Contoh peralatan (piranti)

elektronik ini: Tabung Sinar Katode (*Cathode Ray Tube, CRT*), radio, TV, perekam kaset, perekam kaset video (*VCR*), perekam VCD, perekam DVD, kamera video, kamera digital, komputer pribadi desk-top, computer Laptop, PDA (computer saku), robot, smart card, dll.

Dalam ilmu pengetahuan, teknologi, bisnis dan hampir semua bidang usaha yang lain, kita selalu berhubungan dengan kuantitas. Secara mendasar ada cara dalam mempresentasikan kuantitas, yaitu secara analog dan digital.

Pada representasi *analog* kuantitas diwakili oleh tegangan, arus atau gerakan meter yang sebanding dengan nilai kuantitas. Sebagai contoh adalah speedometer pada kendaraan bermotor, yakni suatu cara merepresentasikan kuantitas fisik, seperti suhu atau kecepatan, dengan tegangan atau arus kontinue yang proporsional. Tegangan atau arus analog dapat memiliki nilai pada range tertentu baik itu pada voltmeter maupun pada amperemeter. *Kontinue* berarti Hubungan yang mulus (*smoothly*). Deretan nilai yang tidak terputus dengan tidak ada perubahan sesaat.

Pada representasi *digital* kuantitas diwakili secara tidak proporsional tetapi oleh lambang yang disebut digit Sebagai contoh jam digital yang menampilkan waktu dalam format digit decimal. Suatu cara merepresentasikan kuantitas fisik dengan deretan bilangan biner. Penunjukan digital hanya dapat memiliki nilai diskrit tertentu. *Diskrit* artinya pemisahan ke dalam segmen atau bagian yang berbeda. Sebuah deretan nilai yang tidak continue.

Dalam suatu proses Analog, pengukuran dilakukan dengan membandingkan tahap, suatu besaran standar (*referensi*) dan akan berlangsung secara kontiniu (tanpa terputus). Sedangkan dalam proses digital, hasil pengukuran diperoleh dengan cara perhitungan secara diskret dan hanya berlangsung dalam interval-interval tertentu.

### **Kaitan antara Teknik Listrik, Teknik Elektronika dan Teknik Komputer**

Teknik listrik atau teknik elektro yang dalam bahasa Inggris dikenal dengan sebutan *electrical engineering* adalah salah satu bidang ilmu teknik, mengenai aplikasi listrik untuk memenuhi kebutuhan masyarakat. Teknik listrik melibatkan konsep, perancangan, pengembangan, dan produksi perangkat listrik dan elektronik yang dibutuhkan oleh masyarakat. Insinyur listrik adalah kaum profesional yang memegang peranan penting dalam mengembangkan dan memajukan teknologi tinggi dalam dunia komputer,

laser, penjelajahan angkasa, telekomunikasi, energi, dan aplikasi lainnya dari perangkat dan sistem elektronik.

Teknik listrik bekerja sama dengan insinyur dari area lain seperti teknik kimia, teknik mesin, dan teknik sipil untuk merancang, mengembangkan, dan membantu produksi berbagai macam produk dan jasa seperti sistem distribusi energi, komputer pribadi, sistem satelit, radio genggam, sistem radar, mobil listrik, jantung buatan, dan lain-lain yang melibatkan komponen listrik dan elektronik.

Teknik komputer disebut juga teknik sistem komputer, dan dalam bahasa Inggris disebut dengan *computer engineering*, adalah suatu disiplin ilmu yang mengkombinasikan teknik elektro dan ilmu komputer. Seorang teknisi komputer adalah teknisi elektro arus lemah yang lebih berfokus pada sistem sirkuit digital, sistem komunikasi data pada frekuensi radio, dan elektronika sebagai bagian dari komputer secara menyeluruh. Dari kacamata ilmu komputer, seorang teknisi komputer adalah seorang arsitek perangkat lunak yang memiliki fokus pada interaksi antara perangkat lunak dan program serta komponen perangkat keras pendukungnya.

## Dasar Elektronika Analog Dan Digital

Bagian yang dapat didengar pada suatu program yang dipancarkan oleh pembawa televisi yang termodulasi adalah dalam bentuk **sinyal sinambung** atau **sinyal analog**. Amplitudo atau frekuensi sinyal dapat mempunyai nilai berapa saja dalam rentang yang luas. Sebaliknya, informasi yang memicu pemindaian (*scanning*) tabung gambar televisi adalah dalam bentuk **diskrit** atau **digital**. Sinyal pemicu itu ada atau tidak ada. Keunggulan utama rangkaian elektronika adalah kemudahan dan kecepatan dalam mengolah sinyal-sinyal digital, dan penggunaan sinyal-sinyal semacam itu semakin cepat meluas dalam pengendalian, komputasi dan instrumentasi. Kemajuan yang pesat dalam teknik elektro dipicu oleh penggunaan sinyal-sinyal digital.

**Informasi**, dalam bentuknya yang paling sederhana, dapat dikatakan sebagai besaran yang diperlukan oleh suatu sistem guna menyelesaikan suatu tugas. Karena informasi itu didefinisikan sebagai suatu besaran, maka informasi itu dapat diukur. Sebagai contoh, jika kita (dalam hal ini sistem adalah orang) ingin menghubungi orang lain melalui telepon (tugas di sini adalah menghubungi orang lain), informasi yang diperlukan untuk menyelesaikan tugas itu adalah nomor telepon (besarnya nomor telepon itu dapat 6 angka untuk telepon rumah di Malang, atau 11 angka untuk telepon seluler pada umumnya).

Komputer mengolah informasi yang dinyatakan dalam bentuk digital sebagai bilangan biner yang terdiri atas 0 dan 1. Perwakilan informasi dalam bentuk bilangan biner itu mempunyai keunggulan karena kebal terhadap degradasi. Sebagai contoh, andaikan diinginkan untuk merekam catatan penting guna diketahui generasi yang akan datang. Saat ini yang paling umum digunakan adalah menuliskannya di atas kertas, tetapi kertas akan rusak dan tinta akan pudar dengan perjalanan waktu. Di masa lampau telah dilakukan orang dengan menatahkannya di atas batu seperti Batu Rosetta di tahun 196 sebelum Masehi atau prasasti abad ketujuh di jaman Sriwijaya. Batu pun dapat larut karena air dan angin sehingga catatan itu dapat pudar juga.



Gambar 17. 1 Prasasti jaman

Cara lain yang telah dilakukan orang adalah dengan menyalinnya setelah beberapa waktu dan sekarang dapat dilakukan dengan mudah dengan mesin fotokopi. Hasil fotokopi pun tidak akan sempurna karena citra fotokopi itu tidak akan sesuai dengan aslinya setelah beberapa kali difotokopi ulang. Tambahan (atau pengurangan?) sesuatu yang mengubah informasi itu disebut sebagai **derau** (noise).

Contoh lain adalah suara yang direkam pada piringan hitam dan kaset. Dengan perjalanan waktu, suara dari piringan hitam atau kaset itu akan mendapat tambahan derau yang merusak suara aslinya. Demikian pula dengan gambar hidup yang direkam pada kaset video, gambar dan suaranya akan kabur jika sudah disalin beberapa kali.

Bentuk informasi yang diuraikan di atas, citra dan suara, digolongkan sebagai informasi analog. Bila informasi di atas itu disimpan dalam bentuk digital, derau yang mengganggu itu dapat dengan mudah diatasi dan salinan informasi akan tetap sesuai dengan aslinya.

Pengolahan informasi dalam bentuk digital memerlukan rangkaian-rangkaian khusus, dan rancangan rangkaian digital yang efisien memerlukan

sistem bilangan khusus serta aljabar yang khusus pula. Rangkaian-rangkaian itu harus menyediakan fasilitas penyimpan perintah dan data, penerima data baru, pengambilan keputusan, dan komunikasi hasilnya. Sebagai contoh, sistem pemesanan tiket pesawat terbang harus menerima dan menyimpan informasi dari perusahaan penerbangan mengenai banyaknya kursi yang tersedia pada masing-masing penerbangan, menanggapi permintaan dari agen perjalanan, mengurangi kursi yang tersedia dengan kursi yang dipesan atau menambah dengan kursi yang dibatalkan pemesanannya, menangani 50 permintaan atau lebih setiap menitnya, dan menjaga agar tidak ada pelanggan yang menunggu lebih dari satu menit.

Pengolahan informasi merupakan komponen penting dalam semua cabang ilmu teknik. Ahli teknik astronautika memerlukan informasi untuk merancang sistem kendali terprogram. Ahli teknik kimia memerlukan sistem kendali pengolahan otomatis. Insinyur sipil mungkin terlibat dalam perancangan yang memerlukan data aliran lalu lintas. Pada dasarnya setiap ilmuwan yang terlibat dalam penelitian dapat memanfaatkan kiat-kiat pengolahan data secara digital. Komputer digital memegang peran penting dalam masyarakat modern.

Teknik digital sebenarnya telah dimulai sejak jaman prasejarah, sejak manusia belajar menghitung. Pada saat itu manusia belajar memberikan hubungan antara nama-nama bilangan dengan benda-benda dalam suatu kelompok. Perhitungan itu mula-mula dilakukan dengan jari (*digitus* berarti jari dalam bahasa Latin), dan angka dalam bahasa Inggris juga disebut *digit*. Tahun 800 Muhammad ibn Mūsā Al-Khowarizmi (780-850), orang Arab, menulis buku tentang sistem bilangan desimal yang didasarkan pada banyaknya jari di kedua tangan kita.

Penemuan sistem bilangan menuntun ke arah aritmatika (ilmu hitung) dan penemuan-penemuan sarana bantu penghitungan. Sebelumnya, orang Cina sudah menggunakan swipoa (dekak-dekak) sebagai alat bantu perhitungan dengan kerikil berlubang (*calculi* dalam bahasa Latin) yang digeser-geser sepanjang kawat seperti yang ditunjukkan pada Gambar 17.2. Boleh dikatakan itulah kalkulator digital yang pertama.



Gambar 17.2 Dekak-dekak



Gambar 17.3 Mesin penjumlah Pascal

Tahun 1642, Blaise Pascal (1623-1662), matematikawan Perancis, membuat mesin penjumlah yang terdiri atas sepuluh roda bernomor yang dihubungkan melalui roda gigi, mesin hitung digital yang pertama. Gottfried Wilhelm Leibnitz (1646-1716), matematikawan Jerman, menciptakan roda bertingkat dalam tahun 1671 dan mengembangkannya pada mesin hitung Pascal. Dua ratus tahun kemudian Insinyur Swedia, Willgodt Theophil Odhner (1845-1905), menciptakan kalkulator mekanik andal yang teknologinya masih dipakai sampai saat ini.

Joseph Marie Jacquard (1752-1834) pada tahun 1801 menciptakan suatu mesin tenun otomatis yang menggunakan kartu berlubang (*punched card*). Dalam mesin tenun Jacquard tersebut, jarum-jarumnya melalui lubang-lubang pada kartu tersebut dan menyusun suatu pola pada kain. Dengan menggunakan kartu-kartu dengan kombinasi lubang yang berlainan, Jacquard dapat menghasilkan beraneka macam pola dengan mudah.

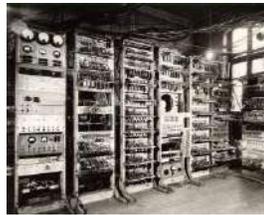


Gambar 17.4 Kartu berlubang Jacquard

Dalam tahun 1833 Charles Babbage (1791-1871) meramalkan komputer yang pertama, suatu mesin yang dapat melakukan perhitungan aritmatika secara otomatis. Dengan mengatur sandi-sandi (*codes*) tertentu, lubang-

lubang pada kartu semacam yang dipakai oleh Jacquard dapat mewakili bilangan atau perintah. Kunci utama dalam komputer yang diramalkan oleh Babbage itu adalah semua bilangan dan perintah itu diberikan ke komputer sebelum perhitungan dilakukan. Selanjutnya komputer secara otomatis melakukan semua langkah-langkah perhitungan itu tanpa adanya campur tangan manusia. Hal itu yang membedakan antara kalkulator dengan komputer. Kalkulator mengandalkan campur tangan manusia, karena seseorang harus memasukkan bilangan dan perintah **selama** perhitungan dilaksanakan.

Babbage tidak pernah membuat komputer yang sesuai dengan angan-angannya itu, tetapi catatan-catatannya membuktikan bahwa ia telah mengetahui tentang komputer itu sebelumnya. Mesin yang diangan-angankan Babbage itu terdiri dari tiga bagian: penyimpanan, pengolah dan pengendali. Tetapi mesin tersebut tidak pernah terlaksana, ia terlalu maju



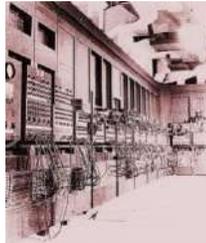
Gambar 17.5 Komputer Mark I

untuk jamannya. Buah pikirannya itu yang menuntun dikembangkannya komputer digital.

Komputer digital yang pertama adalah Mark I yang dibuat oleh Howard Hathaway Aiken (1900-1973) dari Universitas Harvard dan dukungan International Business Machines Corporation pada bulan Agustus 1944. Perintah dan data diberikan ke Mark I itu melalui pita kertas berlubang. Komponen-komponen logika digital bekerja menurut prinsip-prinsip listrik, elektronik, dan mekanik. Kerjanya dikendalikan oleh saklar dan rele. Mark I dapat melakukan 200 penjumlahan dalam satu menit dengan ketelitian sampai 23 angka, dan mampu menghitung fungsi sinus atau kosinus dalam waktu satu menit.

Komputer digital elektronik serba guna yang pertama dibuat pada tahun 1946 oleh J.P. Eckert (1919-1995) dan John Wendell Mauchly (1907-1980) di Universitas Pennsylvania. ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Computer) itu jauh lebih cepat ketimbang Mark I. ENIAC menggunakan 18 000 tabung elektron dan 6000 saklar.

Para insinyur terbiasa untuk merancang rangkaian yang menggunakan sesedikit mungkin komponen aktif karena tabung elektron, transistor, diode jauh lebih mahal harganya ketimbang resistor dan kapasitor. Dengan diketemukannya rangkaian terpadu, pola pikir itu berubah, komponen aktif lebih kecil dan sederhana untuk dibuat dalam rangkaian terpadu. Komputer digital menjadi lebih memasyarakat sejak tahun 1970 setelah rangkaian terpadu dengan sangat banyak komponen menjadi lebih murah.



Gambar 17.6 ENIAC

Penggunaan **superkonduktor**, (bahan yang tidak mempunyai resistansi yang dapat menghalangi aliran arus listrik dalam rangkaian logika), yang merupakan salah satu penemuan ilmiah yang belum tuntas, bukan hanya batas superkonduktivitas itu belum dicapai, teori yang menjelaskan peri laku superkonduktor itu masih terus dalam penelitian.

Pada tahun 1911 fisikawan Belanda, Heike Kamerlingh Onnes (1853-1926) mengamati pada saat air raksa didinginkan dalam suhu helium cair, 4 K, resistansinya tiba-tiba lenyap. Tonggak sejarah berikutnya adalah tahun 1933 pada waktu Walter Meissner (1882-1974) dan Robert Ochsenfeld (1901-1993) menemukan bahwa bahan superkonduktor akan menolak medan magnet – gejala yang disebut pengaruh Meissner – sehingga magnet dapat melayang di atas bahan superkonduktor. Sepuluh tahun berikutnya ditemukan beberapa logam, paduan, dan campuran bahan superkonduktor. Tahun 1941 niobium-nitride menjadi superkonduktor pada 16 K, tahun 1953 vanadium-silikon menjadi superkonduktor pada 17,5 K. Tahun 1962 para ilmuwan perusahaan Westinghouse mengembangkan kawat superkonduktor komersial, suatu paduan niobium dan titanium (NbTi). Pemercepat partikel dengan superkonduktor pertama kali digunakan di Fermilab Tevatron di Amerika Serikat pada tahun 1987.

Teori pertama yang diterima secara luas tentang superkonduktivitas adalah yang diajukan oleh John Bardeen (salah seorang penemu transistor), Leon Cooper, dan John Schrieffer. Teori penting lainnya tentang hal yang sama diajukan oleh Brian D. Josephson, mahasiswa pascasarjana Universitas

Cambridge pada tahun 1962. Ia meramalkan bahwa arus listrik dapat mengalir di antara dua bahan superkonduktor, meskipun kedua bahan itu dipisahkan oleh bahan bukan superkonduktor atau isolator. Gejala penerobosan (*tunnelling*) itu sekarang dikenal sebagai gejala Josephson.

### ***Sistem Analog dan Digital***

**Sistem** dapat didefinisikan sebagai suatu himpunan benda atau bagian-bagian yang bekerja bersama-sama atau terhubung sedemikian sehingga membentuk suatu keseluruhan. **Sistem analog** meliputi peralatan yang mengolah besaran fisik yang diwakili dalam bentuk analog. Dalam bentuk analog itu perwakilan besaran sebanding dengan nilai besaran diwakili secara sinambung. Sebagai contoh, amplitudo sinyal keluaran penguat suara dalam pesawat penerima radio dapat mempunyai nilai yang sinambung dari nol sampai ke nilai maksimum yang mampu ditahannya. **Sistem digital** adalah susunan peralatan yang dirancang untuk mengolah besaran fisik yang diwakili dalam besaran digital, yaitu dengan nilai-nilai diskrit yang perubahan antara suatu nilai dengan nilai berikutnya tidak sinambung melainkan langkah-demi-langkah. Peralatan itu pada saat ini umumnya merupakan peralatan elektronika, meskipun dapat juga berupa suatu peralatan mekanik atau pneumatik. Sistem digital yang umum dijumpai antara lain adalah komputer, kalkulator dan jam digital.

Dalam **pewakilan analog** suatu besaran diwakili oleh besaran yang lain yang berbanding lurus dengan besaran yang pertama itu. Kata **analog** dapat diartikan sebagai **sejalan**. Jarum *speedometer* (alat pengukur kecepatan) kendaraan bergerak sebanding dengan kecepatan kendaraan tersebut. Kedudukan sudut jarum penunjuk itu mewakili kecepatan kendaraan dan jarum tersebut mengikuti setiap perubahan yang terjadi pada kecepatan kendaraan yang diwakilinya. Contoh yang lain adalah termometer air raksa. Pada saat suhu yang diukur berubah, tinggi air raksa dalam pipa kapiler pada termometer itu juga berubah mengikuti perubahan suhu tersebut.

Besaran analog seperti yang diuraikan di atas mempunyai suatu karakteristik yang penting yaitu berubah dalam rentang nilai yang sinambung. Kecepatan kendaraan dapat mempunyai nilai antara nol sampai 200 km/jam. Demikian pula suhu yang diukur oleh termometer air raksa dapat bernilai dari 0°C sampai 100°C (misalnya 58.86546°C atau 27.8495373°C).

Dalam **pewakilan digital** besaran tidak diwakili oleh besaran lain yang sebanding, melainkan oleh lambang yang disebut **angka**. Suatu jam digital menunjukkan waktu dalam bentuk angka-angka desimal yang mewakili besaran jam dan menit (kadang-kadang juga detik). Seperti telah diketahui

bahwa waktu selalu berjalan terus secara sinambung, tetapi jam digital berubah secara tiba-tiba menit demi menit (kadang-kadang detik demi detik) tidak secara sinambung menunjukkan waktu. Jadi perwakilan waktu itu berubah dalam tahapan yang **diskrit**, yang berbeda dengan yang terjadi dalam jam analog dengan jarumnya yang bergerak secara sinambung.

Sifat diskrit perwakilan digital tersebut tidak akan menimbulkan kerancuan dalam pembacaan besaran digital, sedangkan nilai besaran analog sering kali tidak dapat secara tegas menunjukkan suatu nilai tertentu.

Pada saat ini, khususnya dalam bidang elektronika, penggunaan teknik digital telah banyak menggantikan kerja yang sebelumnya menggunakan teknik analog. Alasan utama terjadinya pergeseran menuju teknologi digital itu adalah sebagai berikut:

1. **Sistem digital lebih mudah dirancang.** Hal itu terjadi karena rangkaian yang digunakan adalah rangkaian pengalih (*switching circuit*), yang tidak memerlukan nilai tegangan atau arus yang pasti, hanya rentangnya (tinggi atau rendah) yang diperlukan.
2. **Penyimpanan informasi mudah dilakukan.** Penyimpanan informasi itu dapat dilaksanakan oleh rangkaian pengalih khusus yang dapat menyesuaikan informasi tersebut dan menahannya selama diperlukan.
3. **Ketepatan dan ketelitiannya lebih tinggi.** Sistem digital dapat menangani ketelitian sebanyak angka yang diperlukan hanya dengan menambahkan rangkaian pengalih saja. Dalam sistem analog, ketelitian biasanya terbatas hanya sampai tiga atau empat angka saja karena nilai-nilai tegangan dan arus di dalamnya bergantung langsung kepada nilai-nilai komponen rangkaiannya.
4. **Operasinya dapat dengan mudah diprogramkan.** Sangat mudah untuk merancang suatu sistem digital yang kerjanya dikendalikan program. Sistem analog juga dapat diprogram, tetapi variasi dan kerumitan operasinya sangat terbatas.
5. **Lebih kebal terhadap derau.** Perubahan tegangan yang tidak teratur (derau) tidak terlalu mengganggu sistem digital ketimbang dalam sistem analog. Dalam sistem digital nilai pasti untuk tegangan tidak penting, sepanjang derau itu tidak sebesar sinyal tinggi atau sinyal rendah yang telah ditetapkan.
6. **Lebih banyak rangkaian digital yang dapat dibuat dalam bentuk *chip* rangkaian terpadu (IC – *integrated circuit*).**

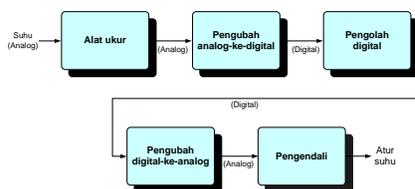
Meskipun rangkaian analog juga dapat dibuat dalam bentuk IC tetapi kerumitannya membuat sistem analog itu lebih mahal dalam bentuk IC.

Satu-satunya kekurangan sistem digital adalah karena dunia nyata sesungguhnya adalah sistem analog. Hampir semua besaran fisik di alam ini bersifat analog, dan besaran itulah yang merupakan masukan dan keluaran yang dapat dipantau, yang diolah dan dikendalikan oleh sistem. Contohnya adalah suhu, tekanan, kecepatan, letak, dan lain-lain. Umumnya manusia menyatakan besaran-besaran itu dengan angka (*digitally* - secara digital), misalnya dikatakan suhu udara adalah 24°C (24.34°C bila diinginkan untuk menyatakannya secara lebih saksama); tetapi sebenarnya yang dilakukan itu hanyalah melakukan pendekatan secara digital untuk suatu besaran yang sebenarnya analog.

Untuk memanfaatkan keunggulan teknik digital dalam berhubungan dengan masukan dan keluaran analog, diperlukan pengubah yang pada dasarnya terdiri atas tiga langkah berikut:

1. Mengubah masukan analog 'yang nyata' ke dalam bentuk digital.
2. Pengolahan dilakukan pada informasi dalam bentuk digital tersebut.
3. Mengubah kembali keluaran digital hasil olahan menjadi bentuk analog yang nyata.

Gambar dibawah ini menunjukkan diagram blok suatu sistem pengendali suhu. Seperti yang ditunjukkan dalam diagram tersebut, suhu analog diukur, dan nilai ukur itu diubah menjadi besaran digital oleh suatu pengubah analog



Gambar 17.7 Diagram blok sistem pengendali suhu

ke-digital (*analog-to-digital converter* – ADC). Besaran digital itu kemudian diolah oleh rangkaian digital yang dapat berupa komputer digital. Keluaran digital yang dihasilkan itu diubah kembali ke dalam bentuk analog oleh pengubah digital-ke-analog (*digital-to-analog converter* – DAC). Keluaran analog itu diberikan ke suatu pengendali yang selanjutnya melakukan pengaturan suhu.

Kebutuhan akan pengubah antara bentuk analog menjadi digital dan sebaliknya itu dipandang sebagai kerugian karena menambah kerumitan dan biaya. Faktor penting lainnya adalah hilangnya waktu karena perubahan tersebut. Dalam banyak pemakaian, faktor-faktor itu dapat dikalahkan oleh keunggulan penggunaan besaran digital seperti yang telah diuraikan sebelumnya. Oleh karena itu perubahan besaran analog menjadi digital dan sebaliknya itu sampai saat ini merupakan praktik yang umum dijumpai.

Tentu saja masih dijumpai keadaan yang lebih menguntungkan dan memudahkan bila hanya menggunakan teknik analog saja. Salah satu contohnya adalah proses penguatan sinyal, yang dapat dengan mudah dilakukan dengan rangkaian analog. Pada saat ini semakin banyak penggunaan teknik analog dan digital dalam suatu sistem untuk memanfaatkan keunggulannya masing-masing. Dalam merancang sistem hibrida semacam itu tahapan terpenting adalah menentukan bagian sistem mana yang menggunakan teknik analog dan mana yang memanfaatkan teknik digital. Dan dapat diramalkan di masa mendatang bahwa teknik digital akan menjadi lebih murah dan lebih memasyarakat.

## Bab 2

# Sejarah Perkembangan Elektronika

### Perkembangan elektronika

Perkembangan elektronika itu demikian pesatnya, bisa ditandai dengan dengan penemuan tabung sinar katoda oleh Hittorf dan Crookes pada tahun 1869. Perkembangan ini terus berlanjut sampai saat ini sebagai akibat dari berbagai kontribusi oleh para ilmuwan matematika, fisika, teknik dan para penemu lainnya. Perkembangan ini diantaranya seperti yang dikutip dari Buku Kuliah Elektronika I dari Sastra Kusuma Wijaya, sebagai berikut:

- Tahun 1869 Hittorf dan Crookes Mempelajari tabung sinar katoda
- Tahun yang sama Maxwell mengembangkan teori radiasi elektro magnetik.
- Tahun 1883 T.A. Edison mengamati konduksi elektron di dalam vakum
- Tahun 1888 Hertz mendemonstrasikan keberadaan gelombang radio seperti yang diprediksi oleh Maxwell.
- Tahun 1897 J. J. Tompson menentukan  $e/m$  dari elektron
- Tahun 1901 Marconi melakukan komunikasi wireless di lautan Atlantik.
- Tahun yang sama Einstein menemukan efek fotolistrik.
- Tahun 1904 Fleming membuat tabung elektron yang pertama, yaitu detektor dioda yang memanfaatkan efek Edison.
- Tahun 1906 De Forrest menemukan trioda yang dipakai sebagai amplifier
- Tahun 1912 Amstrong regeneratif detektor yang sensitif dan oscilator
- Tahun 1924 Zworykin menemukan tabung gambar.

- Tahun 1939 Zworykin menemukan fotomultiplier
- Tahun yang sama Watson-Watt ide pembuatan RADAR (radio detection and ranging)
- Tahun 1946 Eckert dan Mauchly membuat ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Computer) dengan menggunakan 18.000 tabung transistor.
- Tahun 1947 Shockley, Bardeen dan Brattain menemukan transistor dari bahan semikonduktor
- Tahun 1953 Townes memanfaatkan konsep Einstein untuk membuat MASER (microwave amplification of the stimulated emission and radiation).
- Tahun 1954 Pearson menemukan solar-cell.
- Tahun 1958 Kilby membuat rangkaian aktif dan pasif secara serentak.
- Tahun 1958 Noyce memberikan ide pembuatan rangkaian terintegrasi dalam satu chip monolithic.
- Tahun 1960 Maiman mengembangkan LASER ruby, ide dari Townes dan Schawlow
- Tahun 1969 Hoff membuat mikroprosesor yang setara ENIAC dalam satu chip silikon.
- Tahun yang sama Feymann memprediksi kematian elektronik, jika dapat mengatur pergerakan elektron per individu.

Revolusi besar-besaran terhadap elektronika terjadi sekitar tahun 1960-an, dimana saat itu mulai ditemukan suatu alat elektronika yang dinamakan Transistor, sehingga dimungkinkan untuk membuat suatu alat dengan ukuran yang kecil dimana sebelumnya alat-alat tersebut masih menggunakan tabung-tabung vakum yang ukurannya besar serta mengkonsumsi listrik yang besar. Hanya dalam kurun waktu 10 tahun sejak ditemukannya transistor, ditemukan sebuah rangkaian terintegrasi yang dikenal dengan IC ( Integrated Circuit ) merupakan sebuah rangkaian terpadu yang berisi puluhan bahkan jutaan transistor di dalamnya. Sehingga kita bisa melihat sebuah perangkat elektronika semakin kecil bentuknya tetapi semakin banyak fungsinya sebagai contoh telephone genggam ( Handphone ) yang anda pakai saat ini dengan telephone genggam yang anda

pakai beberapa tahun yang lalu. Semua itu berkat revolusi Silikon sebagai bahan dasar pembuatan Transistor dan IC atau CHIP.

### **Besaran Elektronika**

Rangkaian listrik sangat diperlukan untuk mengatur transfer energi dari dan ke suatu komponen elektronik. Komponen ini dipergunakan untuk *menghasilkan, memperkuat, memodulasi dan mendeteksi* sinyal elektronik. Untuk mengubah suatu bentuk energi ke bentuk energi lain atau untuk mengubah suatu bentuk informasi ke bentuk informasi lain diperlukan suatu *transducer*. Contohnya:

- Microphone dipakai untuk mengubah energi suara menjadi energi listrik.
- Speaker digunakan untuk mengubah energi listrik menjadi energi suara.
- Tabung CRT (Cathode Ray Tube) dipakai untuk mengubah informasi yang tersimpan di dalam memori *solid-state* menjadi informasi grafis di layar.
- CCD (Charge Couple Device) dipakai untuk mengubah informasi visual menjadi informasi listrik.

Sekumpulan komponen elektronik yang membentuk suatu rangkaian untuk maksud tertentu dikenal sebagai *sistem*. Contoh pada *sistem komunikasi* terdiri atas:

- Mikrofon sebagai transducer.
- Osilator yang menghasilkan frekuensi tinggi sebagai frekuensi *carrier* (pembawa).
- Modulator yang berfungsi menggabungkan (*modulasi*) gelombang bunyi agar dapat ditumpangi oleh gelombang pembawa.
- Antena yang dipergunakan untuk meradiasikan gelombang elektromagnet.
- Antena penerima.
- Detektor yang dipergunakan untuk memisahkan sinyal yang diinginkan dari pembawa.
- Amplifier untuk memperkuat sinyal.
- Power supply dan speaker untuk mengubah sinyal arus listrik menjadi replika dari sinyal akustik aslinya.

Untuk mempelajari suatu sistem elektronika pertama-tama perlu mengetahui besarnya, sistem satuan, simbol dan singkatan yang dipakai untuk besaran tersebut. Umumnya menggunakan sistem satuan SI (system International). Untuk menganalisa suatu sistem elektronika dapat dilakukan dengan analisa DC (*direct current*), analisa AC (*alternating current*), analisa transient dan analisa frekuensi domain.

Analisa rangkaian DC berkaitan dengan besaran arus dan tegangan konstan, terutama digunakan untuk pemberian tegangan (pembiasan) pada suatu

komponen elektronik. Sedangkan analisa rangkaian AC berkaitan dengan sinyal arus dan tegangan yang bervariasi terhadap waktu dengan nilai rata-ratanya terhadap waktu sama dengan nol. Besaran listrik AC dengan nilai rata-rata bukan nol juga penting, terutama pada saat pembahasan filter.

Dalam pengukuran besaran listrik maupun yang lain terdapat nilai dari satuan ukuran tersebut. Dalam pengukuran hal tersebut dikenal sebagai sistem satuan. Sistem satuan dalam pengukuran dapat dibedakan menjadi 2 jenis yaitu sistem satuan dasar dan sistem satuan turunan. Sistem satuan dasar dan turunan tersebut dapat diuraikan sebagai berikut.

### Satuan Dasar Dan Satuan Turunan

Ilmu pengetahuan dan teknik menggunakan dua jenis satuan, yaitu satuan dasar dan satuan turunan. Satuan-satuan dasar dalam mekanika terdiri dari panjang, massa dan waktu. Biasa disebut dengan satuan – satuan dasar utama. Dalam beberapa besaran fisis tertentu pada ilmu termal, listrik dan penerangan juga dinyatakan satuan-satuan dasar. Arus listrik, temperatur, intensitas cahaya disebut dengan satuan dasar tambahan. Sistem satuan dasar tersebut selanjutnya dikenal sebagai sistem internasional yang disebut sistem SI. Sistem ini memuat 6 satuan dasar seperti tabel berikut.

2-1 Besaran dasar dalam SI, satuan dan symbol

Besaran	Simbol Besaran	Dimensi	Satuan	Simbol Satuan
Panjang	$l$	L	meter	m
Massa	$m$	M	kilogram	kg
Waktu	$t$	T	sekon	s
Arus listrik	$i$	I	ampere	A
Suhu termodinamik	$T$	O	kelvin	K
Intensitas penerangan	$I$	I	candela	cd
Cacah zat	$n$	N	Mole	mol

Tabel 2-2 Besaran tambahan dalam SI, satuan dan simbol

Besaran	Simbol Besaran	Dimensi	Satuan	Simbol Satuan
Sudut bidang	$\alpha$	$\alpha$	radian	rad
Sudut ruang	$A$	A	stereoradian	Sr

Besaran turunan (jabaran), satuan turunan, dan simbolnya dinyatakan dalam Tabel 2.3

Tabel 2-3 Besaran turunan, satuan dan simbolnya

Besaran turunan	Simbol Besaran	Satuan	Simbol Satuan
muatan listrik	$Q$	coulomb	C
Potensial listrik	$V$	volt	V
Resistan	$R$	ohm	$\Omega$
Konduktans	$G$	siemen	S
Induktans	$L$	henry	H
Kapasitans	$C$	farad	F
Frekuensi	$f$	hertz	Hz
Gaya	$F$	newton	N
Energi	$E$	joule	J
Daya	$P$	watt	W
Fluks magnet	$\Phi$	weber	Wb
Kerapatan fluks magnet	$B$	<i>tesla</i>	T

Awalan untuk symbol-simbol satuan dalam Tabel 2-1, Tabel 2-2 dan Tabel 2-3 ditunjukkan dalam Tabel 2-4.

Tabel 2-4 Awalan dalam SI

Faktor	Awalan	Simbol
$10^{12}$	tera	T
$10^9$	giga	G
$10^6$	mega	M
$10^3$	kilo	K
$10^{-3}$	mili	m
$10^{-6}$	mikro	$\mu$
$10^{-9}$	nano	n
$10^{-12}$	piko	p
$10^{-15}$	femto	f
$10^{-18}$	atto	a

#### SISTEM SATUAN LAIN DAN FAKTOR PENGUBAH

Sistem satuan Inggris menggunakan kaki (*foot, ft*), pon-massa (*pound-mass-lb*), dan sekon berturut-turut sebagai satuan dasar untuk panjang, massa dan waktu. Pada Tabel 2-5 Diberikan beberapa faktor pengubah (faktor konversi) dari satuan Inggris ke satuan SI.

Tabel 2-5 Konversi satuan Inggris ke SI

Besaran	Satuan inggris	simbol	Ekivalensi metric	Kebalikan
Panjang	1 kaki	ft	30,8 cm	0,0328084
	1 inci	in	25, mm	0,0393701
Massa	1 pon	lb	0,5359237 kg	2,20462
Gaya	1 pondal	pdl	0,138255 N	7,23301
Energi	1 kaki pondal	Ft pdl	0,042101 J	23,7304
Temperatur	derajat fahrenheit	$^{\circ}\text{F}$	$5 (t - 32)/9 \text{ }^{\circ}\text{C}$	

## Bab 3

# Komponen Pasif Dalam Elektronika

Sebelum kita membahas lebih lanjut tentang komponen-komponen elektronika dasar, ada baiknya kita mengetahui terlebih dahulu tentang jenis-jenis komponen elektronika berdasarkan kebutuhan arus listrik. Dalam bidang elektronika dikenal ada dua jenis komponen elektronika yang dikelompokkan berdasarkan kriteria di atas. Komponen tersebut adalah komponen aktif dan komponen pasif dimana komponen ini selalu ada dalam setiap rangkaian elektronika.

Komponen aktif adalah jenis komponen elektronika yang memerlukan arus listrik agar dapat bekerja dalam rangkaian elektronika. Contoh komponen aktif ini adalah Transistor dan IC juga Lampu Tabung. Besarnya arus panjar bisa berbeda-beda untuk tiap komponen. Sedangkan komponen pasif adalah jenis komponen elektronika yang bekerja tanpa memerlukan arus listrik. Contoh komponen pasif adalah resistor, kapasitor, transformator / trafo, dioda dan lain sebagainya.

Dalam elektronika dasar penggunaan kedua jenis komponen ini hampir selalu digunakan bersama-sama, kecuali dalam rangkaian-rangkaian pasif yang hanya menggunakan komponen-komponen pasif saja misalnya rangkaian baxandall pasif, tapis pasif dan sebagainya.

Untuk IC (Integrated Circuit) adalah gabungan dari komponen aktif dan pasif yang disusun menjadi sebuah rangkaian elektronika dan diperkecil ukuran fisiknya.

Komponen pasif adalah *komponen elektronika yang dalam pengoperasian nya tidak memerlukan sumber tegangan atau sumber arus tersendiri.*

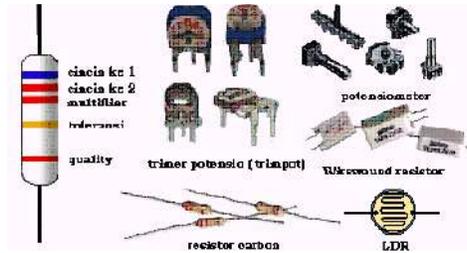
Adapun yang termasuk komponen pasif antara lain : Resistor, Condensator, Induktor, Transformator. Berikut ini penjelasan tentang komponen Pasif dalam elektronika.

### **Komponen Pasif :**

- **Resistor atau Hambatan**

Resistor atau Hambatan adalah komponen elektronika yang selalu digunakan dalam setiap rangkaian elektronika yang berfungsi sebagai pengatur arus listrik. Resistor disingkat dengan huruf "R", dengan satuan *Ohm*,

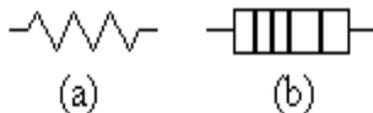
sesuai dengan nama ahli fisika bangsa Jerman yang menemukannya yaitu *George Simon Ohm* pada tahun 1787-1854.



**Gambar 1.** Berbagai macam bentuk Hambatan

Resistor dapat dibagi menjadi dua, yaitu : Resistor tetap dan Resistor tidak tetap.

*Resistor tetap* adalah resistor yang memiliki nilai hambatan yang tetap. Resistor ini memiliki batas kemampuan daya misalnya : 1/16 watt, 1/8 watt, 1/4 watt, 1/2 watt dan sebagainya. Artinya resistor hanya dapat dioperasikan dengan daya maksimal sesuai dengan kemampuan dayanya.



**Gambar 2.** Simbol Resistor Tetap.

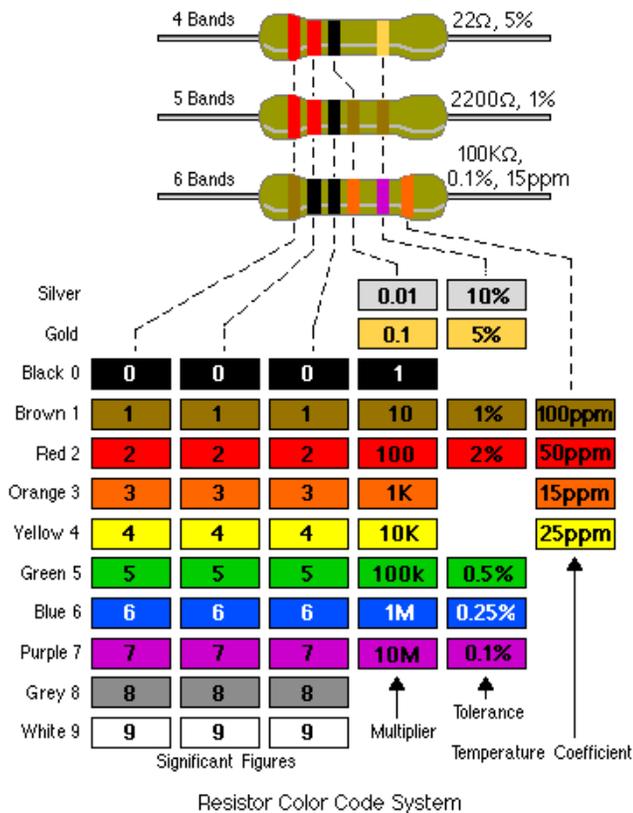
Untuk mengetahui nilai hambatan suatu resistor dapat dilihat atau dibaca dari warna yang tertera pada bagian luar badan resistor tersebut yang berupa gelang warna.

WARNA	GELANG KE		
	1 dan 2	3	4
Hitam	0	x 1	1%
Coklat	1	x 10	2%
Merah	2	x 100	2%
Jingga	3	x 1000	-
Kuning	4	x 10000	-

Hijau	5	x 100000	-
Biru	6	x 1000000	-
Ungu	7	x 10000000	-
Abu-abu	8	x 100000000	-
Putih	9	x 1000000000	-
Emas	-	x 0.1	5%
Perak	-	x 0.01	10%
Tidak Berwarna	-	-	20%

Tabel 1. Kode Warna Resistor.

Contoh Perhitungan nilai Resistor (R)



Gambar 3. Sistem kode pewarnaan pada resistor  
[<http://online.ctcd.edu/orientation/images/resistorcolor-code-all.gif>]

Keterangan untuk 4 band :

- Gelang ke-1 dan ke-2 menyatakan angka dari resistor tersebut.
- Gelang ke-3 menyatakan faktor pengali (banyaknya nol).
- Gelang ke-4 menyatakan toleransi.

Misalnya :

Resistor dengan warna : merah hitam kuning perak  
Maka nilainya : 2 0  $10^4$  10%  
Berarti nilai resistor tersebut adalah = 200.000 Ohm atau 200 Kohm dengan toleransi sebesar 10%.  
Range hambatan resistor tersebut adalah  
=  $200.000 \pm 10\%$   
=  $10\% \times 200.000 = 20.000$  Ohm  
= 200.000 – 20.000 sampai 200.000 + 20.000  
= 180.000 sampai 220.000 Ohm.

*Resistor tidak tetap (Variabel)* adalah resistor yang nilai hambatannya atau resistansinya dapat diubah-ubah. Jenisnya antara lain : hambatan geser, trimpot dan potensiometer. Yang banyak digunakan ialah trimpot dan potensiometer.

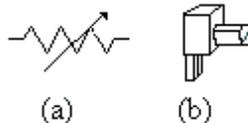
#### a. Potensiometer

Resistor yang nilai resistansinya dapat diubah-ubah dengan memutar poros yang telah tersedia. Potensiometer pada dasarnya sama dengan trimpot secara fungsional.



**Gambar 4.** Potensiometer

[<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/7a/Pot-pic.jpg>]



**Gambar 5.** Simbol Potensiometer

#### b. Trimpot

Resistor yang nilai resistansinya dapat diubah-ubah dengan cara memutar porosnya dengan menggunakan obeng. Untuk mengetahui nilai hambatan

dari suatu trimpot dapat dilihat dari angka yang tercantum pada badan trimpot tersebut.



**Gambar 6.** Trimpot



**Gambar 7.** Simbol Trimpot

[<http://www.navatekindia.com/images/Trimpot.jpg>]

Nilai resistansi resistor jenis ini dapat diatur dengan tangan, bila pengaturan dapat dilakukan setiap saat oleh operator (ada tombol pengatur) dinamakan potensiometer dan apabila pengaturan dilakukan dengan obeng dinamakan trimmer potensiometer (trimpot). Tahanan dalam potensiometer dapat dibuat dari bahan carbon dan ada juga dibuat dari gulungan kawat yang disebut potensiometer wirewound. Untuk digunakan pada voltage yang tinggi biasanya lebih disukai jenis wirewound.

- **Condensator atau Capacitor**

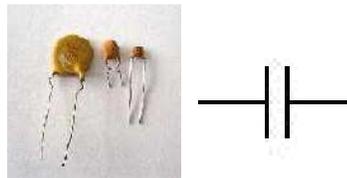
Kondensator (Capasitor) adalah suatu alat yang dapat menyimpan energi di dalam medan listrik, dengan cara mengumpulkan ketidakseimbangan internal dari muatan listrik. Kondensator memiliki satuan yang disebut Farad.

Ditemukan oleh Michael Faraday (1791-1867). Kondensator kini juga dikenal sebagai "kapasitor", namun kata "kondensator" masih dipakai hingga saat ini. Pertama disebut oleh Alessandro Volta seorang ilmuwan Italia pada tahun 1782 (dari bahasa Itali condensatore), berkenaan dengan kemampuan alat untuk menyimpan suatu muatan listrik yang tinggi dibanding komponen lainnya. Kebanyakan bahasa dan negara yang tidak menggunakan bahasa Inggris masih mengacu pada perkataan bahasa Italia "condensatore", seperti bahasa Perancis condensateur, Indonesia dan Jerman Kondensator atau Spanyol Condensador

Kondensator diidentikkan mempunyai dua kaki dan dua kutub yaitu positif dan negative serta memiliki cairan elektrolit dan biasanya berbentuk tabung.



Sedangkan jenis yang satunya lagi kebanyakan nilai kapasitasnya lebih rendah, tidak mempunyai kutub positif atau negatif pada kakinya, kebanyakan berbentuk bulat pipih berwarna coklat, merah, hijau dan lainnya seperti tablet atau kancing baju yang sering disebut kapasitor (capacitor).



Satuan dalam kondensator disebut Farad. Satu Farad =  $9 \times 10^{11} \text{ cm}^2$  yang artinya luas permukaan kepingan tersebut menjadi 1 Farad sama dengan 106 mikroFarad ( $\mu\text{F}$ ), jadi  $1 \mu\text{F} = 9 \times 10^5 \text{ cm}^2$ .

Satuan-satuan sentimeter persegi ( $\text{cm}^2$ ) jarang sekali digunakan karena kurang praktis, satuan yang banyak digunakan adalah:

- 1 Farad = 1.000.000  $\mu\text{F}$  (mikro Farad)
- 1  $\mu\text{F}$  = 1.000.000 pF (piko Farad)
- 1  $\mu\text{F}$  = 1.000 nF (nano Farad)
- 1 nF = 1.000 pF (piko Farad)
- 1 pF = 1.000  $\mu\mu\text{F}$  (mikro-mikro Farad)

Seperti halnya resistor, kapasitor mempunyai kode warna untuk menentukan besarnya kapasitansi.

**Tabel 2.** Kode Warna Kapasitor

WARNA	NILAI	FAKTOR PENGALI	TOLERANSI	TEGANGAN
Coklat	1	$\times 10^1$		100V
Merah	2	$\times 10^2$		250V
Jingga	3	$\times 10^3$		250V
Kuning	4	$\times 10^4$		400V
Hijau	5	$\times 10^5$		400V
Biru	6			630V
Ungu	7			630V
Abu-abu	8			630V
Putih	9		$\pm 10\%$	630V

Untuk mengetahui besarnya nilai kapasitas atau kapasitansi pada kapasitor dapat dibaca melalui kode angka pada badan kapasitor tersebut yang terdiri dari 3 angka.

Angka pertama dan kedua menunjukkan angka atau nilai,

Angka ketiga menunjukkan faktor pengali atau jumlah nol, dan satuan yang digunakan ialah pikofarad (pF).

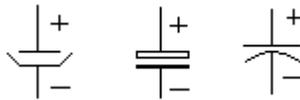
**Contoh :**

Pada badan kapasitor tertulis angka 103 artinya nilai kapasitas dari kapasitor tersebut adalah  $10 \times 10^3 \text{ pF} = 10 \times 1000 \text{ pF} = 10 \text{ nF} = 0,01 \text{ mF}$ . Kapasitor tetap yang memiliki nilai lebih dari atau sama dengan 1mF adalah kapasitor elektrolit (elco). Kapasitor ini memiliki polaritas (memiliki kutub positif dan kutub negatif) dan biasa disebutkan tegangan kerjanya. Misalnya : 100mF 16 V artinya elco memiliki kapasitas 100mF dan tegangan kerjanya tidak boleh melebihi 16 volt.

Berdasarkan kegunaannya kondensator kita bagi dalam:

**Kapasitor Tetap**

Kapasitor tetap merupakan kapasitor yang mempunyai nilai kapasitas yang tetap. Simbol Kapasitor Tetap :



**Gambar Kapasitor tetap**

<http://www.splung.com/fields/images/capacitors/capacitors.jpg>

**Kapasitor Tidak Tetap**

Kapasitor tidak tetap adalah kapasitor yang memiliki nilai kapasitansi atau kapasitas yang dapat diubah-ubah. Kapasitor ini terdiri dari :

**a. Kapasitor Trimer**

Kapasitor yang nilai kapasitansinya dapat diubah-ubah dengan cara memutar porosnya dengan obeng.

Simbol Trimmer :



**b. Variabel Capacitor (Varco)**

Kapasitor yang nilai kapasitansinya dapat diubah-ubah dengan memutar poros yang tersedia. (bentuk menyerupai potensiometer)

Simbol Varco :



**• Induktor**

Pengertian Induktor

Induktor adalah sejenis komponen elektronika pasif yang mayoritas bentuknya torus, bisa menjadi media penyimpan energi pd medan magnet yg dimunculkan akibat aliran listrik yang melaluinya. Komponen ini biasanya juga disebut dengan spul. Bahan pembuatannya dari bahan tembaga berupa kawat dengan email yang tipis. Satuan yang digunakan adalah Henry, dengan singkatan H.



**Fungsi Induktor**

Dari pengertiannya bisa diambil kesimpulan bahwa fungsinya adalah wadah lahirnya gaya magnet; melipat tegangan; dan membangkitkan getaran. Dari fungsi ini kita bisa menggunakannya untuk memproses sinyal pada rangkaian berupa analog; menghilangkan dengungan (noise); pencegah

intrusi frekuensi radio; komponen terpenting untuk membuat transformator; Alat filter pada rangkaian berupa power supply.

### **Jenis-Jenis Induktor**

Macam-macam induktor umumnya dibedakan berdasar inti yg dipakainya, yaitu:

1. Induktor-inti-udara / air-core-inductor
2. Induktor-frekuensi-radio / radio-frequency-inductor
3. Induktor-inti-Feromagnetik / ferromagnetic-core-inductor
4. Induktor-Variabel / Variable-inductor
5. Induktor-inti-Laminasi / Laminated-core-inductor
6. Induktor-inti-toroida / Toroidak-core-inductor
7. Induktor-inti-ferit / Ferrite-core-inductor

Dari semua pengertian, fungsi / kegunaan dan jenis-jenisnya tersebut itulah kita bisa membedakan karakteristik Induktor dengan komponen elektronika lainnya

### **Induktor Ruhmkorff**

Jenis Induktor ini dipakai buat mendatangkan tegangan tinggi dipakai untuk fungsi pengapian di jenis kendaraan bermotor. Komponen ini terbentuk atas dua buah kumparan, yaitu kumparan sekunder dan primer. Pembedanya adalah jumlah lilitan, dimana jumlah pada kumparan sekunder adalah lebih banyak daripada yang primer. Sumber tegangannya berupa baterai yang digandakan. Supaya dapat membuat pembaruan garis gaya di kumparan yang arusnya searah, maka baterainya harus dibuat putus-putus oleh interuptor / kontak pemutus-arus. Tegangan yg dibuat pada kumparan sekunder dapat hingga ke 10.000 s/d 20.000 v.

### **Cara Kerja Induktor**

Induktor dalam rangkaian listrik atau elektronik dapat diaplikasikan kedalam rangkaian relay, buzzer, bleeper dan speaker. Induktor berfungsi sebagai:

1. Tempat terjadinya gaya magnet
2. Pelipat tegangan
3. Pembangkit getaran

Berdasarkan kegunaannya inductor bekerja pada :

1. Frekwensi tinggi pada spul antenna dan osilator.
2. Frekwensi menengah pada spul MF
3. Frekwensi rendah pada trafo input, trafo output, spul speaker, trafo tenaga, spul relay dan spul penyaring.

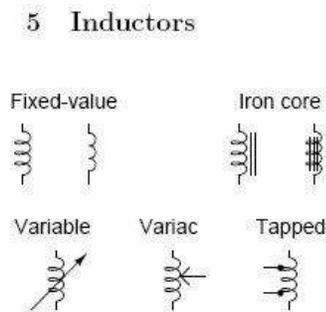
### **Simbol Induktor**

Terdapat lima buah simbol untuk induktor yang berbeda-beda, yaitu:

1. Fixed-value

2. Iron-core
3. Variable
4. Variac; dan
5. Tapped

Berikut lambang yang baku dipakai:



#### **Jenis-Jenis Lilitan Induktor:**

Lilitan ferit sarang-madu, yaitu dengan cara dililit saling-silang bertujuan mengurangi efek kapasitansi yang terdistribusi. Lilitan inti-toroid, adalah lilitan sederhana dengan bentuk silinder agar tercipta medan magnet dgn kutub utara dan selatan.

#### **• Transformator**

Fungsi transformator amat di butuhkan dalam suatu rangkaian elektronika. sebab transformator berperan untuk menyalurkan tenaga atau daya listrik dari tegangan tinggi ke tegangan yang rendah atau sebaliknya, dengan frekuensi yang sama. transformator atau dikenal juga dengan trafo adalah suatu peralatan listrik yang termasuk didalam klasifikasi mesin listrik statis.

Prinsip kerja transformator berdasar pada induksi elektromagnetik dimana tegangan masukan bolak-balik yang membentangi primer menyebabkan fluks magnet yang idealnya semua bersambung dengan lilitan sekunder. fluks bolak-balik ini kemudian menginduksikan gaya gerak listrik (ggl) dalam lilitan sekunder. bila efisiensi sempurna, semua daya pada lilitan primer akan dilimpahkan ke lilitan sekunder.

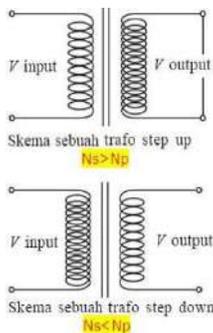
Dasar teori fungsi transformator adalah bila ada arus listrik bolak-balik yang mengalir melingkari satu inti besi kemudian inti besi itu akan beralih jadi magnet dan seandainya magnet tersebut dikelilingi oleh satu belitan maka pada kedua ujung belitan tersebut akan terjadi beda tegangan yang melingkari magnet, hingga akan timbul gaya gerak listrik (ggl).

Bagian utama dari fungsi transformator terdiri dari suatu inti besi, kumparan transformator, kumparan tersier dan minyak transformator. Masing-masing dari Fungsi Transformator ini amat di butuhkan didalam susunan suatu rangkaian.

Jenis-jenis transformator beraneka ragam, diantaranya ialah transformator step up, transformator step down, autotransformator dan transformator 3 fasa. transformator 3 fasa terdiri dari tiga transformator yang dihubungkan secara khusus satu sama lain. lilitan primer umumnya dihubungkan dengan bintang ( y ) dan lilitan sekunder dihubungkan dengan delta (  $\Delta$  ; ).

Sebagian besar dari transformator tenaga mempunyai kumparan-kumparan yang intinya direndam didalam minyak transformator, terlebih pada transformator-transformator tenaga yang berkapasitas besar. sebab minyak transformator memiliki sifat sebagai media pemindah panas serta juga berperan pula sebagai isolasi ( mempunyai daya tegangan tembus tinggi ) hingga berperan sebagai media pendingin dan isolasi sebagai Fungsi Transformator.

Transformator disingkat dengan Trafo. Trafo terdiri dari dua buah lilitan yaitu lilitan primer dan lilitan skunder. Trafo bekerja berdasarkan sistem perubahan gaya medan listrik, yang dapat digunakan untuk menaikkan atau menurunkan tegangan listrik AC. Simbol Trafo :



- Relay

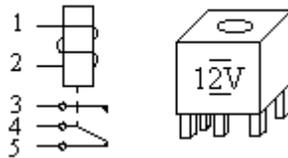
Relay adalah saklar (switch) elektrik yang bekerja berdasarkan medan magnet. Relay terdiri dari suatu lilitan dan switch mekanik. Switch mekanik akan bergerak jika ada arus listrik yang mengalir melalui lilitan. Susunan kontak pada relay adalah:

Normally Open : Relay akan menutup bila dialiri arus listrik.

Normally Close : Relay akan membuka bila dialiri arus listrik.

Changeover : Relay ini memiliki kontak tengah yang akan melepaskan diri dan membuat kontak lainnya berhubungan.

Simbol Relay :



Gambar



Gambar Relay

[[http://www.germesonline.com/direct/dbimage/50304012/Power\\_Relay.jpg](http://www.germesonline.com/direct/dbimage/50304012/Power_Relay.jpg)]

### c. Transducer / Sensor dengan Perubahan Resistansi

Komponen Transducer adalah komponen elektronika yang dapat mengalami perubahan dalam besaran listrik apabila merespon suatu perubahan bentuk energi yang mengenai fisik dari komponen yang disebut transducer tersebut. Transducer dalam dunia elektronika sering juga disebut sebagai sensor. Ada beberapa jenis transducer yang akan mengalami perubahan resistansi apabila merespon suatu perubahan energi pada fisik transducer atau sensor tersebut. Transducer yang memiliki karakteristik perubahan resistansi tersebut contohnya LDR, NTC dan PTC.

#### LDR (Light Emitting Dioda)

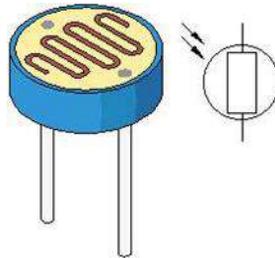
Sensor Cahaya LDR (Light Dependent Resistor) adalah salah satu jenis resistor yang dapat mengalami perubahan resistansinya apabila mengalami

perubahan penerimaan cahaya. Besarnya nilai hambatan pada Sensor Cahaya LDR (Light Dependent Resistor) tergantung pada besar kecilnya cahaya yang diterima oleh LDR itu sendiri.

LDR sering disebut dengan alat atau sensor yang berupa resistor yang peka terhadap cahaya. Biasanya LDR terbuat dari cadmium sulfida yaitu merupakan bahan semikonduktor yang resistansinya berubah-ubah menurut banyaknya cahaya (sinar) yang mengenainya.

Resistansi LDR pada tempat yang gelap biasanya mencapai sekitar  $10\text{ M}\Omega$ , dan ditempat terang LDR mempunyai resistansi yang turun menjadi sekitar  $150\ \Omega$ . Seperti halnya resistor konvensional, pemasangan LDR dalam suatu rangkaian sama persis seperti pemasangan resistor biasa.

Simbol LDR dapat dilihat seperti pada gambar berikut.



**Gambar 8.** LDR dan simbol

Sensor Cahaya LDR (Light Dependent Resistor) dapat digunakan sebagai : Sensor pada rangkaian saklar cahaya, Sensor pada lampu otomatis, Sensor pada alarm brankas, Sensor pada tracker cahaya matahari, Sensor pada kontrol arah solar cell, Sensor pada robot line follower, dan masih banyak lagi aplikasi rangkaian elektronika yang menggunakan LDR sebagai sensor cahaya.

Karakteristik Sensor Cahaya LDR (Light Dependent Resistor) adalah suatu bentuk komponen yang mempunyai perubahan resistansi yang besarnya tergantung pada cahaya. Karakteristik LDR terdiri dari dua macam yaitu

- *Laju Recovery dan*

Laju Recovery Sensor Cahaya LDR (Light Dependent Resistor) Bila sebuah “Sensor Cahaya LDR (Light Dependent Resistor)” dibawa dari suatu ruangan dengan level kekuatan cahaya tertentu ke dalam suatu ruangan yang gelap, maka bisa kita amati bahwa nilai resistansi dari LDR tidak akan segera berubah resistansinya pada keadaan ruangan gelap tersebut. Namun LDR tersebut hanya akan bisa mencapai harga di kegelapan setelah mengalami selang waktu tertentu.

Laju recovery merupakan suatu ukuran praktis dan suatu kenaikan nilai resistansi dalam waktu tertentu. Harga ini ditulis dalam K/detik, untuk LDR

tipe arus harganya lebih besar dari 200K/detik (selama 20 menit pertama mulai dari level cahaya 100 lux), kecepatan tersebut akan lebih tinggi pada arah sebaliknya, yaitu pindah dari tempat gelap ke tempat terang yang memerlukan waktu kurang dari 10 ms untuk mencapai resistansi yang sesuai dengan level cahaya 400 lux.

- *Respon Spektral*

Respon Spektral Sensor Cahaya LDR (Light Dependent Resistor) Sensor Cahaya LDR (Light Dependent Resistor) tidak mempunyai sensitivitas yang sama untuk setiap panjang gelombang cahaya yang jatuh padanya (yaitu warna). Bahan yang biasa digunakan sebagai penghantar arus listrik yaitu tembaga, aluminium, baja, emas dan perak. Dari kelima bahan tersebut tembaga merupakan penghantar yang paling banyak, digunakan karena mempunyai daya hantar yang baik (TEDC,1998)

Prinsip Kerja Sensor Cahaya LDR (Light Dependent Resistor) akan berubah seiring dengan perubahan intensitas cahaya yang mengenainya atau yang ada disekitarnya. Dalam keadaan gelap resistansi LDR seki-tar  $10M\Omega$  dan dalam keadaan terang sebesar  $1K\Omega$  atau kurang. LDR terbuat dari bahan semikonduktor seperti kadmium sulfida. Dengan bahan ini energi dari cahaya yang jatuh menyebabkan lebih banyak muatan yang dilepas atau arus listrik meningkat. Artinya resistansi bahan telah mengalami penurunan.

### **Termistor**

Termistor atau thermal resistor adalah suatu jenis resistor yang sensitive terhadap perubahan suhu. Prinsipnya adalah memberikan perubahan resistansi yang sebanding dengan perubahan suhu. Perubahan resistansi yang besar terhadap perubahan suhu yang relatif kecil menjadikan termistor banyak dipakai sebagai sensor suhu yang memiliki ketelitian dan ketepatan yang tinggi. Termistor yang dibentuk dari bahan oksida logam campuran (sintering mixture), kromium, kobalt, tembaga, besi, atau nikel, berpengaruh terhadap karakteristik termistor, sehingga Pemilihan bahan oksida tersebut harus dengan perbandingan tertentu. Dimana termistor merupakan salah satu jenis sensor suhu yang mempunyai koefisien temperatur yang tinggi.

Komponen dalam termistor ini dapat mengubah nilai resistansi karena adanya perubahan temperatur. Dengan demikian dapat memudahkan kita untuk mengubah energi panas menjadi energi listrik. Termistor dapat dibentuk dalam bentuk yang berbeda-beda, bergantung pada lingkunganyang akan dicatat suhunya. Lingkungan ini termasuk kelembaban udara, cairan, permukaan padatan, dan radiasi dari gambar dua dimensi. Maka, termistor bisa berada dalam alat-alat seperti disket, mesin cuci, tasbih (manik-manik), balok,dan satelit. Ukurannya kecil dibandingkan dengan termometer lain, ukurannya dalam range 0.2 mm sampai 2 mm.

Termistor dibedakan dalam 2 jenis, yaitu termistor yang mempunyai koefisien negatif, yang disebut NTC (Negative Temperature Coefisient), temistor yang mempunyai koefisien positif yang disebut PTC (Positive Temperature Coefisient). Kedua jenis termistor ini mempunyai fungsinya masing masing, tetapi di pasaran, yang lebih banyak digunakan adalah termistor NTC. Karena termistor NTC material penyusunnya yaitu metal oksida, dimana harganya lebih murah darimaterial penyusun PTC yaitu Kristal tunggal.

Prinsip dasar dari termistor adalah perubahan nilai tahanan (atau hambatan atau werstan atau resistance) jika suhu atau temperatur yang mengenai termistor ini berubah. Termistor ini merupakan gabungan antara kata termo (suhu) dan resistor (alat pengukur tahanan).

### NTC (Negative Temperature Coeffisient)

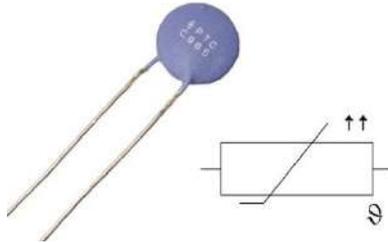
NTC (Negative Temperature Coeffisient) NTC adalah resistor yang nilai resistansinya dapat berubah-ubah sesuai dengan perubahan temperatur terhadapnya. Jika temperaturnya makin tinggi maka nilai resistansinya kecil dan sebaliknya bila temperaturnya makin rendah maka nilai resistansinya semakin besar. Gambar dan simbol NTC



Gambar 9. NTC dan simbol

### PTC (Positive Temperature Coeffisient)

PTC (Positive Temperature Coeffisient) PTC adalah resistor yang nilai resistansinya dapat berubah-ubah sesuai dengan temperatur terhadapnya. Jika temperaturnya makin tinggi maka nilai resistansinya semakin besar sedangkan bila temperaturnya makin rendah maka nilai resistansinya pun semakin kecil. Gambar dan simbol PTC



**Gambar 10.** Resistor Peka Terhadap suhu dan cahaya

Karakteristik dari thermistor:

- Resistansi tinggi 30  $\Omega$  sampai 41,5k $\Omega$
- Respon waktu cepat, untuk thermistor manik ½ detik
- Lebih murah daripada RTD
- Sensitivitas sangat tinggi (1000 kali lebih sensitif daripada RTD)
- Perubahan resistansi 10% per  $^{\circ}\text{C}$ . Misal resistansi nominal 10 $\Omega$  maka resistansi akan berubah 1  $\Omega$  utk setiap perubahan temperatur 1  $^{\circ}\text{C}$
- Tidak sensitif terhadap shock dan vibrasi
- Dilindungi capsul (plastik, teflon/material lembam)
- Memperlambat waktu respon karena kontak termal kurang baik

## Bab 4 Elektronika Analog Dasar

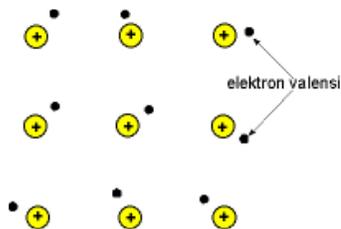
### Semikonduktor

#### Prinsip Dasar

Semikonduktor merupakan elemen dasar dari komponen elektronika seperti dioda, transistor dan sebuah IC (integrated circuit). Disebut semi atau setengah konduktor, karena bahan ini memang bukan konduktor murni.

Bahan- bahan logam seperti tembaga, besi, timah disebut sebagai konduktor yang baik sebab logam memiliki susunan atom yang sedemikian rupa, sehingga elektronnya dapat bergerak bebas. Sebenarnya atom tembaga dengan lambang kimia Cu memiliki inti 29 ion (+) dikelilingi oleh 29 elektron (-). Sebanyak 28 elektron menempati orbit-orbit bagian dalam membentuk inti yang disebut nucleus.

Dibutuhkan energi yang sangat besar untuk dapat melepaskan ikatan elektron-elektron ini. Satu buah elektron lagi yaitu elektron yang ke-29, berada pada orbit paling luar. Orbit terluar ini disebut pita valensi dan electron yang berada pada pita ini dinamakan elektron valensi. Karena hanya ada satu elektron dan jaraknya 'jauh' dari nucleus, ikatannya tidaklah terlalu kuat. Hanya dengan energi yang sedikit saja elektron terluar ini mudah terlepas dari ikatannya.



*Ikatan atom tembaga*

Pada suhu kamar, elektron tersebut dapat bebas bergerak atau berpindah-pindah dari satu nucleus ke nucleus lainnya. Jika diberi tegangan potensial listrik, elektron-elektron tersebut dengan mudah berpindah ke arah potensial yang sama. Phenomena ini yang dinamakan sebagai arus listrik. Isolator

adalah atom yang memiliki electron valensi sebanyak 8 buah, dan dibutuhkan energi yang besar untuk dapat melepaskan elektron-elektron ini.

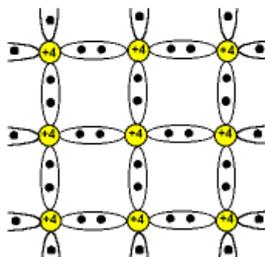
Dapat ditebak, semikonduktor adalah unsur yang susunan atomnya memiliki elektron valensi lebih dari 1 dan kurang dari 8. Tentu saja yang paling "semikonduktor" adalah unsur yang atomnya memiliki 4 elektron valensi.

### Susunan Atom

Semikonduktor Bahan semikonduktor yang banyak dikenal contohnya adalah Silicon (Si), Germanium (Ge) dan Galium Arsenida (GaAs). Germanium dahulu adalah bahan satu-satunya yang dikenal untuk membuat komponen semikonduktor. Namun belakangan, silikon menjadi populer setelah ditemukan cara mengekstrak bahan ini dari alam. Silikon merupakan bahan terbanyak ke dua yang ada di bumi setelah oksigen (O<sub>2</sub>).

Pasir, kaca dan batu-batuan lain adalah bahan alam yang banyak mengandung unsur silikon. Dapatkah anda menghitung jumlah pasir dipantai.

Struktur atom kristal silikon, satu inti atom (nucleus) masing-masing memiliki 4 elektron valensi. Ikatan inti atom yang stabil adalah jika dikelilingi oleh 8 elektron, sehingga 4 buah elektron atom Kristal tersebut membentuk ikatan kovalen dengan ion-ion atom tetangganya. Pada suhu yang sangat rendah (0oK), struktur atom silikon divisualisasikan seperti pada gambar berikut.



*struktur dua dimensi kristal Silikon*

Ikatan kovalen menyebabkan elektron tidak dapat berpindah dari satu inti atom ke inti atom yang lain. Pada kondisi demikian, bahan semikonduktor bersifat isolator karena tidak ada elektron yang dapat berpindah untuk menghantarkan listrik.

Pada suhu kamar, ada beberapa ikatan kovalen yang lepas karena energi panas, sehingga memungkinkan elektron terlepas dari ikatannya. Namun hanya beberapa jumlah kecil yang dapat terlepas, sehingga tidak memungkinkan untuk menjadi konduktor yang baik.

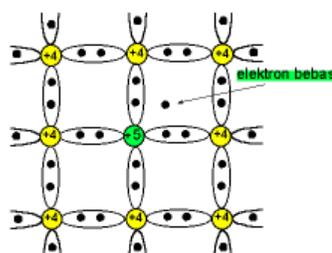
Ahli-ahli fisika terutama yang menguasai fisika quantum pada masa itu mencoba memberikan doping pada bahan semikonduktor ini.

Pemberian doping dimaksudkan untuk mendapatkan elektron valensi bebas dalam jumlah lebih banyak dan permanen, yang diharapkan akan dapat menghantarkan listrik. Kenyataannya demikian, mereka memang iseng sekali dan jenius.

### Tipe-N

Misalnya pada bahan silikon diberi doping phosphorus atau arsenic yang pentavalen yaitu bahan kristal dengan inti atom memiliki 5 elektron valensi.

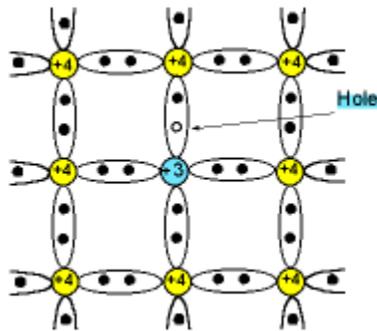
Dengan doping, Silikon yang tidak lagi murni ini (impurity semiconductor) akan memiliki kelebihan elektron. Kelebihan elektron membentuk semikonduktor tipe-n. Semikonduktor tipe-n disebut juga donor yang siap melepaskan elektron.



*doping atom pentavalen*

### Tipe-P

Kalau silikon diberi doping Boron, Gallium atau Indium, maka akan didapat semikonduktor tipe-p. Untuk mendapatkan silikon tipe-p, bahan dopingnya adalah bahan trivalen yaitu unsur dengan ion yang memiliki 3 elektron pada pita valensi. Karena ion silikon memiliki 4 elektron, dengan demikian ada ikatan kovalen yang bolong (hole). Hole ini digambarkan sebagai akseptor yang siap menerima elektron. Dengan demikian, kekurangan elektron menyebabkan semikonduktor ini menjadi tipe-p.



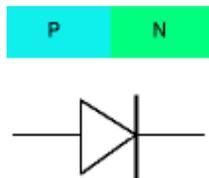
*doping atom trivalen*

### Resistansi

Semikonduktor tipe-p atau tipe-n jika berdiri sendiri tidak lain adalah sebuah resistor. Sama seperti resistor karbon, semikonduktor memiliki resistansi. Cara ini dipakai untuk membuat resistor di dalam sebuah komponen semikonduktor. Namun besar resistansi yang bisa didapat kecil karena terbatas pada volume semikonduktor itu sendiri.

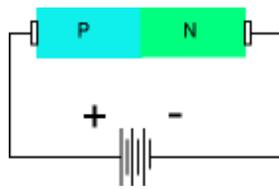
### Dioda PN

Jika dua tipe bahan semikonduktor ini dilekatkan-pakai lem, maka akan didapat sambungan P-N (p-n junction) yang dikenal sebagai dioda. Pada pembuatannya memang material tipe P dan tipe N bukan disambung secara harfiah, melainkan dari satu bahan (monolithic) dengan memberi doping (impurity material) yang berbeda



*sambungan p-n*

Jika diberi tegangan maju (*forward bias*), dimana tegangan sisi P lebih besar dari sisi N, elektron dengan mudah dapat mengalir dari sisi N mengisi kekosongan elektron (*hole*) di sisi P.



*forward bias*

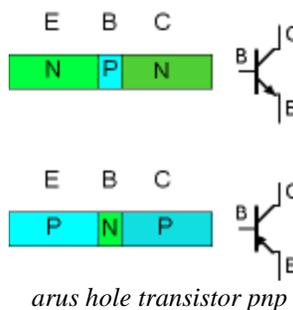
Sebaliknya jika diberi tegangan balik (reverse bias), dapat dipahami tidak ada elektron yang dapat mengalir dari sisi N mengisi hole di sisi P, karena tegangan potensial di sisi N lebih tinggi. Dioda akan hanya dapat mengalirkan arus satu arah saja, sehingga dipakai untuk aplikasi rangkaian penyearah (rectifier). Dioda, Zener, LED, Varactor dan Varistor adalah beberapa komponen semikonduktor sambungan PN yang dibahas pada kolom khusus.

### Transistor Bipolar

Transistor merupakan dioda dengan dua sambungan (junction). Sambungan itu membentuk PNP maupun NPN. Ujung-ujung terminalnya berturut-turut disebut emitor, base dan kolektor. Base selalu berada di tengah, di antara emitor dan kolektor.

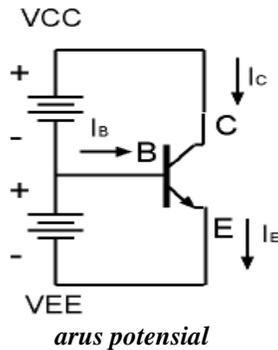
Transistor ini disebut transistor bipolar, karena struktur dan prinsip kerjanya tergantung dari perpindahan elektron di kutup negatif mengisi kekurangan elektron (hole) di kutup positif.  $bi = 2$  dan polar = kutup.

Adalah William Shockley pada tahun 19 yang pertama kali menemukan transistor bipolar.



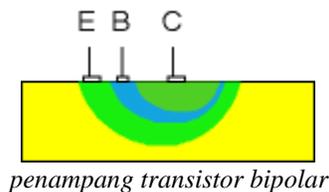
*arus hole transistor pnp*

Untuk memudahkan pembahasan prinsip bias transistor lebih lanjut, berikut adalah terminologi parameter transistor. Dalam hal ini arah arus adalah dari potensial yang lebih besar ke potensial yang lebih kecil.



- IC : arus kolektor
- IB : arus base
- IE : arus emitor
- VC : tegangan kolektor
- VB : tegangan base
- VE : tegangan emitor
- VCC : tegangan pada kolektor
- VCE : tegangan jepit kolektor-emitor
- VEE : tegangan pada emitor
- VBE : tegangan jepit base-emitor
- ICBO : arus base-kolektor
- VCB : tegangan jepit kolektor-base

Perlu diingat, walaupun tidak perbedaan pada doping bahan pembuat emitor dan kolektor, namun pada prakteknya emitor dan kolektor tidak dapat dibalik.

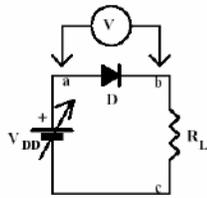


Dari satu bahan silikon (*monolithic*), emitor dibuat terlebih dahulu, kemudian base dengan doping yang berbeda dan terakhir adalah kolektor. Terkadang dibuat juga efek dioda pada terminal-terminalnya sehingga arus hanya akan terjadi pada arah yang dikehendaki.

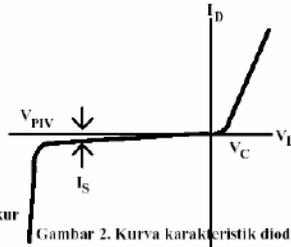
## DIODA

Kita dapat menyelidiki karakteristik statik dioda, dengan cara memasang dioda seri dengan sebuah catu daya dc dan sebuah resistor.

**Kurva karakteristik statik dioda** merupakan fungsi dari arus  $I_D$ , arus yang melalui dioda, terhadap tegangan  $V_D$ , beda tegang antara titik a dan b (lihat gambar 1 dan gambar 2)



Gambar 1. Rangkaian untuk mengukur karakteristik statik dioda



Gambar 2. Kurva karakteristik dioda

### karakteristik statik dioda

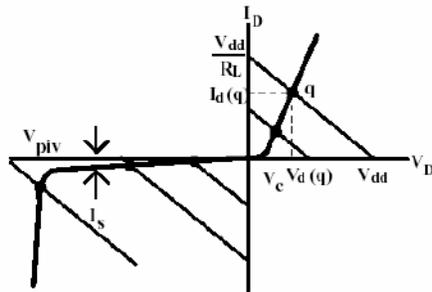
Karakteristik statik dioda dapat diperoleh dengan mengukur tegangan dioda ( $V_{ab}$ ) dan arus yang melalui dioda, yaitu  $I_D$ . Dapat diubah dengan dua cara, yaitu mengubah  $V_{DD}$ . Bila arus dioda  $I_D$  kita plotkan terhadap tegangan dioda  $V_{ab}$ , kita peroleh karakteristik statik dioda. Bila anoda berada pada tegangan lebih tinggi daripada katoda ( $V_D$  positif) dioda dikatakan mendapat bias forward. Bila  $V_D$  negatif disebut bias reserve atau bias mundur.

Pada gambar 2  $V_C$  disebut cut-in-voltage,  $I_S$  arus saturasi dan  $V_{PIV}$  adalah peak-inverse voltage. Bila harga  $V_{DD}$  diubah, maka arus  $I_D$  dan  $V_D$  akan berubah pula. Bila kita mempunyai karakteristik statik dioda dan kita tahu harga  $V_{DD}$  dan  $R_L$ , maka harga arus  $I_D$  dan  $V_D$  dapat kita tentukan sebagai berikut. Dari gambar 1.

$$V_{DD} = V_{ab} + (I \cdot R_L) \quad \text{atau}$$

$$I = -(V_{ab}/R_L) + (V_{DD} / R_L)$$

Bila hubungan di atas kita lukiskan pada karakteristik statik dioda kita akan mendapatkan garis lurus dengan kemiringan  $(1/R_L)$ . Garis ini disebut garis beban (load line). Ini ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3. Kurva karakteristik dan garis beban

Kita lihat bahwa garis beban memotong sumbu  $V$  dioda pada harga  $V_{DD}$  yaitu bila arus  $I=0$ , dan memotong sumbu  $I$  pada harga  $(V_{DD}/R_L)$ . Titik potong antara karakteristik statik dengan garisbeban memberikan harga tegangan dioda  $V_D(q)$  dan arus dioda  $I_D(q)$ .

Dengan mengubah harga  $V_{DD}$  kita akan mendapatkan garis-garis beban sejajar seperti pada gambar 3.

Bila  $V_{DD} < 0$  dan  $|V_{DD}| < V_{PIV}$  maka arus dioda yang mengalir adalah kecil sekali, yaitu arus saturasi  $I_S$ . Arus ini mempunyai harga kira-kira  $1 \mu A$  untuk dioda silikon. Pengenalan vacuum Tube Pada bagian ini penulis bermaksud mengajak pararekan rekan tube mania untuk ngobrol mengenai prinsip kerja dari Tabung.

### ***Emisi Electron***

Membahas mengenai cara kerja tabung tak akan bisa lepas dari Proses Emisi Electron karena sesungguhnya cara kerja tabung yang paling mendasar ialah proses emisi elektron dan pengendaliannya. Emisi elektron ialah proses pelepasan elektron dari permukaan suatu substansi atau material yang disebabkan karena elektron tersebut mendapat energi dari luar.

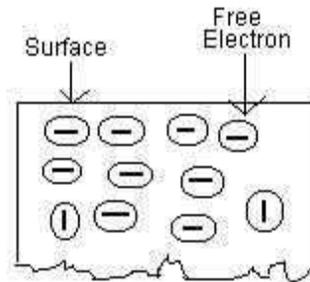


Figure 1

Dalam realita yang ada proses emisi elektron cenderung terjadi pada logam dibandingkan pada bahan lainnya, hal ini disebabkan karena logam banyak memiliki elektron bebas yang selalu bergerak setiap saat. Banyaknya elektron bebas pada logam disebabkan karena daya tarik inti atom logam terhadap elektron, terutama pada elektron yang terletak pada kulit terluar dari atom logam (elektron valensi) tidak terlalu kuat dibandingkan yang terjadi pada bahan lainnya. Akan tetapi walaupun daya tarik tersebut tidak terlalu kuat, masihlah cukup untuk menahan elektron agar tidak sampai lepas dari atom logam. Agar supaya elektron pada logam bisa melompat keluar melalui permukaan logam, sehingga terjadi proses emisi elektron, maka diperlukanlah sejumlah energi untuk mengatasi daya tarik inti atom terhadap elektron. Besarnya energi yang diperlukan oleh sebuah elektron untuk mengatasi daya tarik inti atom sehingga bisa melompat keluar dari permukaan logam, didefinisikan sebagai Fungsi Kerja (*Work Function*). Fungsi kerja biasanya dinyatakan dalam satuan eV (electron volt), besarnya fungsi kerja adalah berbeda untuk setiap logam.

Proses penerimaan energi luar oleh elektron agar bisa beremisi dapat terjadi dengan beberapa cara, dan jenis proses penerimaan energi inilah yang membedakan proses emisi elektron yaitu :

1. Emisi Thermionic (Thermionic emission)
2. Emisi medan listrik (Field emission)
3. Emisi Sekunder (Secondary emission)
4. Emisi Fotolistrik (Photovoltaic emission)

### ***Emisi Thermionic***

Pada emisi jenis ini, energi luar yang masuk ke bahan ialah dalam bentuk energi panas. Oleh elektron energi panas ini diubah menjadi energi kinetik.

Semakin besar panas yang diterima oleh bahan maka akan semakin besar pula kenaikan energi kinetik yang terjadi pada elektron, dengan semakin besarnya kenaikan energi kinetik dari elektron maka gerakan elektron menjadi semakin cepat dan semakin tidak menentu. Pada situasi inilah akan terdapat elektron yang pada akhirnya terlepas keluar melalui permukaan bahan.

Pada proses emisi thermionic dan juga pada proses emisi lainnya, bahan yang digunakan sebagai asal ataupun sumber elektron disebut sebagai "emiter atau lebih sering disebut "katoda" (cathode), sedangkan bahan yang menerima elektron disebut sebagai anoda. Dalam konteks tabung hampa (vacuum tube) anoda lebih sering disebut sebagai "plate". Dalam proses emisi thermionik dikenal dua macam jenis katoda yaitu :

- a) Katoda panas langsung (Direct Heated Cathode, disingkat DHC)
- b) Katoda panas tak langsung (Indirect Heated Cathode, disingkat IHC)

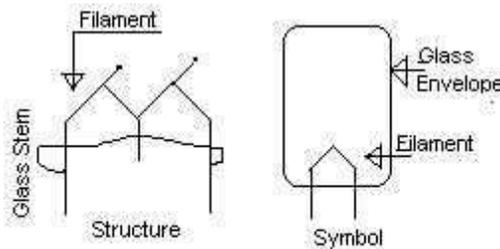


Figure 2  
Directly Heated Cathode (DHC)

Pada Figure 2 dapat dilihat struktur yang disederhanakan dan juga simbol dari DHC, pada katoda jenis ini katoda selain sebagai sumber elektron juga dialiri oleh arus heater (pemanas).

Struktur yang disederhanakan dan juga simbol dari IHC dapat dilihat pada Figure 3.

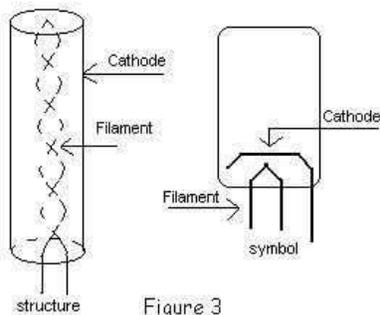


Figure 3  
Indirect Heated Cathode (IHC)

Katoda jenis ini tidak dialiri langsung oleh arus heater, panas yang dibutuhkan untuk memanasi katoda dihasilkan oleh heater element (elemen pemanas) dan panas ini dialirkan secara konduksi dari heater elemen ke katoda dengan perantara insulasi listrik, yaitu bahan yang baik dalam menghantarkan panas tetapi tidak mengalirkan arus listrik.

Pada proses emisi termionik bahan yang akan digunakan sebagai katoda harus memiliki sifat-sifat yang memadai untuk berperan dalam proses yaitu :

- Memiliki fungsi kerja yang rendah, dengan fungsi kerja yang rendah maka energi yang dibutuhkan untuk menarik elektron menjadi lebih kecil sehingga proses emisi lebih mudah terjadi.
- Memiliki titik lebur (melting point) yang tinggi. Pada proses emisi termionik katoda dipanaskan pada suhu yang cukup tinggi untuk memungkinkan terjadinya lompatan elektron, dan suhu ini bisa mencapai 1500 derajat celsius.
- Memiliki ketahanan mekanik (mechanical strength) yang tinggi. Pada saat terjadinya emisi maka terjadi pula lompatan ion positif dari plate menuju ke katoda. Lompatan ion positif tersebut oleh katoda akan dirasakan sebagai benturan, sehingga agar supaya katoda tidak mengalami deformasi maka bahan dari katoda harus memiliki mechanical strength yang tinggi.

Pada aplikasi yang sesungguhnya ada tiga jenis material yang digunakan untuk membuat katoda, yaitu :

### ***Tungsten***

Material ini adalah material yang pertama kali digunakan orang untuk membuat katode. Tungsten memiliki dua kelebihan untuk digunakan sebagai katoda yaitu memiliki ketahanan mekanik dan juga titik lebur yang tinggi (sekitar 3400 derajat Celcius), sehingga tungsten banyak digunakan untuk

aplikasi khas yaitu tabung X-Ray yang bekerja pada tegangan sekitar 5000V dan temperature tinggi. Akan tetapi untuk aplikasi yang umum terutama untuk aplikasi Tabung Audio dimana tegangan kerja dan temperature tidak terlalu tinggi maka tungsten bukan material yang ideal, hal ini disebabkan karena tungsten memiliki fungsi kerja yang tinggi( 4,52 eV) dan juga temperature kerja optimal yang cukup tinggi (sekitar 2200 derajat celcius) tidak terlalu tinggi maka tungsten bukan material yang ideal, hal ini disebabkan karena tungsten memiliki fungsi kerja yang tinggi( 4,52 eV) dan jugatemperature kerja optimal yang cukup tinggi (sekitar 2200 derajat celcius)

### ***Thoriated Tungsten***

Material ini ialah campuran antara tungsten dan thorium. Thorium adalah material yang secara individual memiliki fungsi kerja 3,4 eV, campuran antara thorium dan tungsten memiliki fungsi kerja 2,63eV, yaitu suatu nilai fungsi kerja yang lebihrendah dibandingkan dengan fungsi kerja tungsten ataupun thorium dalam keadaan tidak dicampur.

Selain itu hasil pencampuran kedua logam tersebut memiliki temperature kerja optimal yang lebih rendah daripada tungsten yaitu 1700 derajat celcius hal ini berarti besarnya energi yang dibutuhkan untuk pemanasan pada aplikasi pemakaian logam campuran ini juga lebih rendah.

### ***Katoda berlapis oksida (Oxide-Coated Cathode)***

Katoda tipe ini terbuat dari lempengan nickel yang dilapis dengan barium dan oksida strontium. Sebagai hasil dari pelapisan tersebut maka dihasilkanlah katoda yang memiliki fungsi kerja yang dan temperature kerja optimal rendah yaitu sekitar 750 derajat celsius. Katoda jenis ini umumnya digunakanuntuk aplikasi yang menggunakan tegangan tidak lebih dari 1000 V.

### ***Emisi Medan Listrik (Field Emission)***

Pada emisi jenis ini yang menjadi penyebab lepasnya elektron dari bahan ialah adanya gaya tarik medan listrik luar yang diberikan pada bahan. Pada katoda yang digunakan pada proses emisi ini dikenakan medan listrik yang listrik pada elektron menyebabkan elektron memiliki energi yang cukup untuk lompat keluar dari permukaan katoda. Emisi medan listrik adalah salah satu emisi utama yang terjadi pada vacuum tube selain emisi thermionic.

### ***Emisi Sekunder ( Secondary emission)***

Pada emisi sekunder ini energi yang menjadi penyebabnya elektron datang dalam bentuk energi mekanik yaitu energi yang diberikan dalam proses tumbukan antara elektron luar yang datang dengan elektron yang ada pada katoda. Pada proses tumbukan terjadi pemindahan sebagian energi kinetik dari elektron yang datang ke elektron yang ada pada katoda sehingga elektron yang ada pada katoda tersebut terpental keluar dari permukaan katoda.

Pada kenyataannya proses emisi sekunder tidak dapat berlangsung sukses dengan sendirinya untuk melepaskan elektron dari permukaan akan tetapi proses emisi ini masih membutuhkan dukungan dari emisi jenis lainnya secara bersamaan yaitu emisi medan listrik. Dukungan proses emisi medan listrik dibutuhkan pada proses emisi sekunder, karena walaupun elektron sudah terpental keluar dari permukaan katoda akan tetapi energi yang dimiliki oleh elektron ini seringkali tidak cukup untuk menjangkau anoda sehingga dibutuhkanlah dukungan energi dari proses emisi medan listrik.

#### ***Emisi Fotolistrik (Photo Electric Emission)***

Pada emisi foto listrik energi diberikan ke elektron pada katoda melalui foton yaitu paket-paket energi cahaya, yang oleh elektron kemudian diubah menjadi energi mekanik sehingga elektron tersebut dapat terlepas dari permukaan katoda. Sama seperti proses emisi sekunder emisi fotolistrik juga tidak dapat berjalan dengan sempurna tanpa bantuan proses emisi medan listrik, hal ini disebabkan karena energi yang didapat oleh elektron dari foton belum cukup untuk membuat elektron tersebut mampu menjangkau anoda.

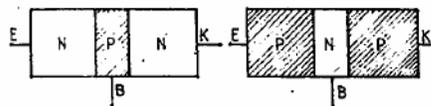
## Bab 5 Komponen Aktif dalam Elektronika

### 1. Transistor Bipolar

Transistor adalah piranti elektronik yang menggantikan fungsi tabung elektron-*trioda*, dimana transistor ini mempunyai tiga elektroda , yaitu *Emiter*, *Kolektor* dan *Basis*.

Fungsi utama atau tujuan utama pembuatan transistor adalah sebagai penguat (amplifier), namun dikarenakan sifatnya, transistor ini dapat digunakan sebagai saklar elektronis.

Susunan fisik transistor adalah merupakan gandingan dari bahan semikonduktor tipe P dan N seperti digambarkan pada gambar berikut,



Gambar . Susunan fisik lapis transistor

Sedangkan gambar rangkaian pengantinya sama dengan dua buah dioda yang dipasang saling bertolak seperti terlihat pada gambar.



Gambar Rangkaian pengganti transistor

Gambar berikut memperlihatkan beberapa bangun fisik dan konstruksi transistor bipolar, dikatakan bipolar karena terdapat dua pembawa muatan , yaitu elektron bebas dan hole. Sedangkan jenisnya ada dua macam, yaitu jenis PNP dan NPN yang simbolnya diperlihatkan pada gambar dibawah ini.



Berikut ini adalah huruf-huruf kedua yang dimaksud :

- C = transistor frekuensi rendah
- D = transistor daya untuk frekuensi rendah
- F = transistor frekuensi tinggi
- L = transistor daya frekuensi tinggi

Contoh penerapan kode ini diantaranya adalah BF 121, AD 101, BC 108 dan ASY 12

### **Pengujian Transistor**

Dengan menganggap transistor adalah gabungan dua buah dioda, maka anda dapat menguji kemungkinan kerusakan suatu transistor dengan menggunakan ohmmeter dari suatu multimeter.

Kemungkinan terjadinya kerusakan transistor ada tiga penyebab yaitu :

- a. Salah pemasangan pada rangkaian
- b. Penanganan yang tidak tepat saat pemasangan
- c. Pengujian yang tidak professional

Sedangkan kemungkinan kerusakan transistor juga ada tiga jenis, yaitu :

- a. Pemutusan
- b. Hubung singkat
- c. Kebocoran

Pada pengujian transistor kita tidak hanya menguji antara kedua dioda tersebut, tapi kita juga harus melakukan pengujian pada elektroda kolektor dan emitemnya.

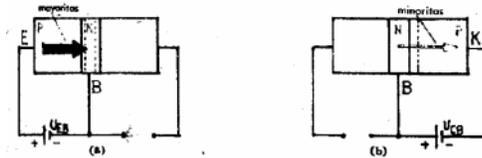
### **Nilai batas suhu Transistor**

Sebagaimana telah disebutkan bahwa bahan semikonduktor akan berubah sifat jika menerima panas yang berlebihan. Suhu maksimal suatu transistor Germanium adalah sekitar 75o C sedangkan jenis Silikon sekitar 150o C.

Daya yang disalurkan pada sebuah transistor harus sedemikian rupa sehingga suhu maksimalnya tidak dilampaui dan untuk itu diperlukan bantuan pendingin baik dengan *Heat Sink* atau dengan kipas kecil (Fan). Pada saat penyolderan kaki-kaki transistor, harus dipertimbangkan juga temperatur solder dan selain itu biasanya digunakan alat pembantu dengan jepitan (tang) guna pengalihan penyaluran panas. Peralihan panas transistor ke pendingin yang baik adalah dengan bantuan *Pasta Silikon* yang didapatkan antara transistor dengan badan pendinginnya. Selain itu ada juga biasanya pendingin tersebut diberi cat warna hitam guna memudahkan penyaluran panas

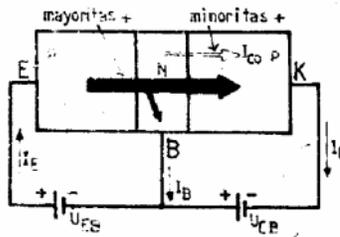
### Prinsip Kerja Transistor

Untuk memberi gambaran bagaimana suatu transistor bekerja, pada gambar diperlihatkan operasi dasar sederhana transistor jenis PNP.



Gambar Operasi dasar transistor

Pada gambar (a) diperlihatkan bias basis dan kolektor tidak tersambung, sehingga dalam keadaan ini yang bekerja hanya basis dan emiter saja dalam hubungan arah maju. Dalam kondisi ini daerah deplesi akan menyempit sehingga muatan mayoritas hole dari P akan mengalir menuju lapisan N dengan deras. Gambar (b) memperlihatkan basis dan kolektor diberi bias mundur dan dalam kondisi ini daerah deplesi akan melebar sehingga yang mengalir hanya muatan minoritas dari N menuju P. Jika sekarang kedua potensial secara bersama dipasang seperti gambar, maka akan tampak kedua aliran mayoritas dan minoritasnya.



Gambar Aliran mayoritas dan minoritas

Pada gambar terlihat sejumlah besar muatan mayoritas menyebrang dari P menuju N sebagai arus basis (\$I\_B\$) dan juga langsung menuju P (kolektor) sebagai arus kolektor (\$I\_C\$). Karena potensial kolektor lebih negatif dibandingkan dengan basis, maka muatan mayoritas ini sebagian besar akan menuju lapisan P (kolektor) sedangkan sisanya akan menuju ke basis. Jika kita gunakan hukum Kirchhoff, maka

$$I_E = I_C + I_B$$

Jika besar tegangan antara kolektor dan basis (UCB) konstan, maka perbandingan perubahan arus kolektor IC dengan perubahan arus emitter IE disebut *faktor penguatan basis bersama* dan diberi simbol  $\alpha$  (alpha) dan besarnya berkisar dari 0 sampai 0,998. Secara pendekatan rumus alpha ini adalah

$$\alpha = \frac{I_C}{I_E}$$

Harga  $\alpha$  lebih besar dari nol tapi lebih kecil dari satu sehingga sering ditulis sebagai

$$0 < \alpha < 1$$

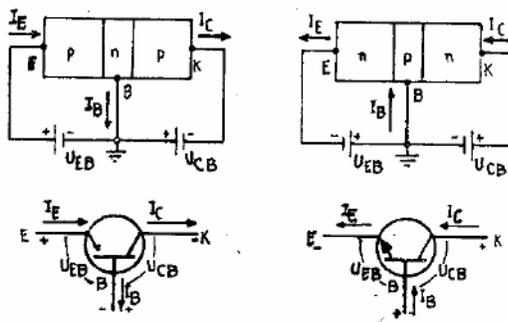
### Konfigurasi Penguat Transistor

Transistor adalah piranti aktif, dimana outputnya adalah merupakan hasil perubahan dari inputnya. Dengan membandingkan antara output dengan inputnya, maka akan diperoleh *faktor penguatan* (amplification). Dengan demikian, maka transistor ini dibuat atau dipersiapkan sebagai piranti penguat. Sebagai piranti elektronik, transistor mempunyai tiga elektroda yang tersusun sedemikian rupa sehingga berfungsi sebagai sebuah penguat.

Ada tiga system sambungan (konfigurasi) dari penguat transistor, yaitu konfigurasi *Basis Bersama* (*Common Base*), *Emiter Bersama* (*Common Emitter*) dan *Kolektor Bersama* (*Common Collector*).

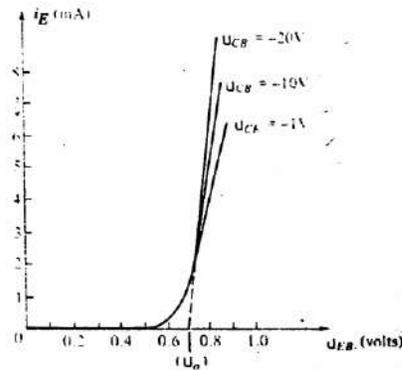
#### Konfigurasi Basis Bersama

Rangkaian pada gambar berikut ini memperlihatkan rangkaian konfigurasi Basis Bersama (CB) dengan potensial UEB dan UCB untuk kedua jenis transistor PNP dan NPN. Untuk jenis PNP, emiter positif terhadap basis sedangkan kolektornya negatif. Sedangkan untuk jenis NPN sebaliknya emiter negatif terhadap basis dan kolektornya positif.



*Gambar Konfigurasi Basis Bersama*

Karakteristik input atau karakteristik emitter konfigurasi basis bersama diperlihatkan pada gambar,

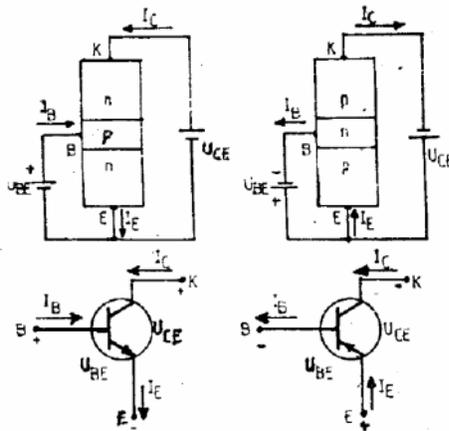


*Gambar Karakteristik input konfigurasi basis bersama (CB)*

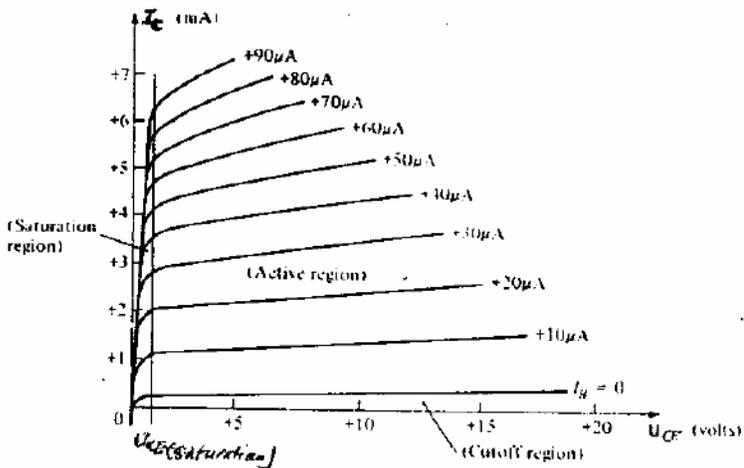
Dari karakteristik terlihat bahwa dalam mode arus searah, tegangan hantar untuk sambungan basis ke emitter sekitar 0,6 s/d 0,7 volt, ini menandakan berlaku bagi bahan dasar silikon, sedangkan untuk bahan dasar germanium sekitar 0,3 volt.

### ***Konfigurasi Emitter Bersama***

Konfigurasi emitter bersama (CE) sambungannya diperlihatkan pada gambar tampak bahwa emitter digandeng bersama baik dengan kolektor maupun basisnya.



Gambar Konfigurasi Emiter Bersama (CE)

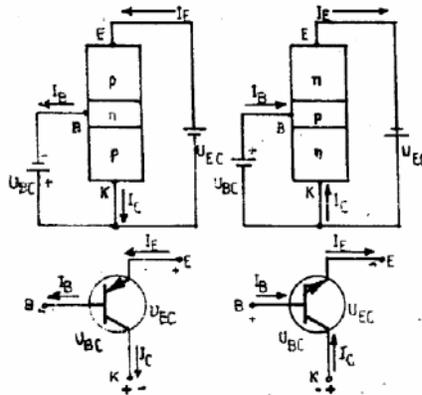


Gambar Karakteristik Output Emiter Bersama

Perbandingan arus kolektor dengan arus basis dengan tegangan kolektor-emiter konstan disebutkan sebagai *faktor penguatan arus maju emiter bersama* disimbolkan dengan huruf Yunani  $\beta$  (betha).

### Konfigurasi Kolektor Bersama

Konfigurasi kolektor bersama (CC) sambungannya diperlihatkan seperti gambar. Konfigurasi ini sering digunakan sebagai *penyama-impedansi* (*matching impedance*), dimana dengan impedansi input tinggi dan outputnya rendah.



Gambar Konfigurasi Kolektor Bersama (CC)

Karakteristik output konfigurasi CC serupa dengan karakteristik output CE.

### Penggunaan Transistor

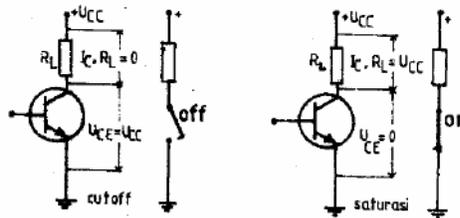
Sebagaimana tujuan dari pembuatan transistor, maka transistor awalnya dibuat untuk menguatkan signal-signal, daya, arus, tegangan dan sebagainya. Namun dikarenakan karakteristik listriknya, penggunaan transistor jauh lebih luas dimana transistor ini banyak digunakan juga sebagai saklar elektronik dan juga penstabil tegangan.

#### *Transistor sebagai saklar*

Dengan memanfaatkan sifat hantar transistor yang tergantung dari tegangan antara elektroda basis dan emitter ( $U_{be}$ ), maka kita dapat menggunakan transistor ini sebagai sebuah saklar elektronik, dimana saklar elektronik ini mempunyai banyak kelebihan dibandingkan dengan saklar mekanik, seperti :

- Fisik relative jauh lebih kecil,
- Tidak menimbulkan suara dan percikan api saat pengontakan.
- Lebih ekonomis.

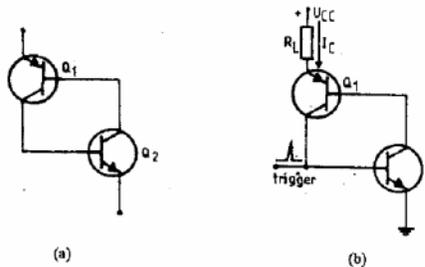
Prinsip saklar elektronik dengan transistor diperlihatkan seperti gambar dimana dalam gambar tersebut diperlihatkan kondisi ON dan OFF nya



Gambar Prinsip Saklar Transistor

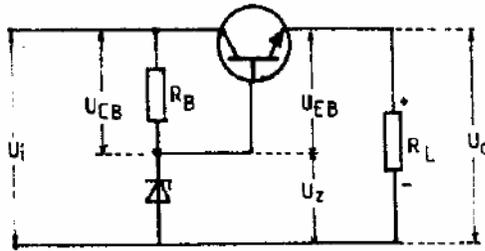
Kondisi OFF terjadi jika  $I_C \cdot R_L = 0$ , dimana dalam kondisi ini tegangan  $U_{BE}$  lebih kecil dari tegangan konduk transistor, sehingga tegangan  $U_{CE} = U_{CC}$ . Sedangkan kondisi ON atau disebut juga *kondisi saturasi* akan terjadi jika  $I_C \cdot R_L = U_{CC}$ , dimana dalam kondisi ini  $U_{BE}$  sudah mencapai tegangan konduk transistor sehingga  $U_{CE} = 0$ .

Selain itu prinsip switching ini juga diterapkan dalam *rangkaian kaskade*, yaitu rangkaian yang terdiri dari dua buah transistor dengan pengutuban berbeda PNP dan NPN yang dihubung seri seperti gambar 2.15., dimana saklar ini akan terbuka jika persambungan antara Kolektor transistor-1 ( $Q_1$ ) dan Basis transistor-2 ( $Q_2$ ) diberikan *signal penyulut* (trigger).



Gambar Rangkaian Kaskade Transistor

**Transistor sebagai pengatur tegangan (Voltage-Regulator)**

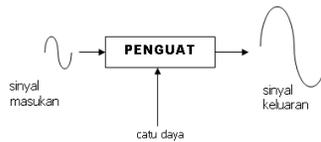


Gambar Regulator Tegangan dengan Transistor

Jika terjadi fluktuasi tegangan jala-jala pada sisi input atau jika ada perubahan beban  $R_L$ , maka tegangan  $U_{CB}$  akan berubah dengan jumlah yang sama, karena  $U_Z$  tetap konstan sedangkan  $U_i = U_{CB} + U_Z$ . Pada saat terjadi perubahan tegangan ini,  $U_o$  akan konstan karena  $U_{BE}$  praktis tidak terpengaruh oleh perubahan  $U_{CB}$ .

### Transistor sebagai Penguat.

Penguat adalah suatu peranti yang berfungsi menguatkan daya sinyal masukan.



Gambar Prinsip Penguat

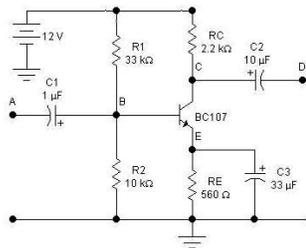
Salah satu syarat yang dituntut pada penguat adalah bahwa sinyal keluaran harus tepat benar bentuknya seperti sinyal masukan, hanya saja *amplitudo*-nya lebih tinggi. Kalau bentuk sinyal keluaran tidak tepat sama dengan sinyal masukan, meskipun beda bentuk ini hanya kecil saja, maka dikatakan sinyal keluarannya cacat.

Penguat paling sederhana terdiri dari satu buah transistor. Ada tiga kemungkinan pemasangan transistor sebagai penguat, yaitu :Tunggal Emitor (*Common Emiter*), Tunggal Kolektor (*Common Collector*), Tunggal Basis (*Common Base*). Masing-masing pola diatas mempunyai karakteristik yang berbeda. Perbandingan antara ketiga pola tersebut dapat dilihat pada tabel berikut :

No	Karakteristik	Tunggal Emiter	Tunggal Kolektor	Tunggal Basis
1	Penguatan tegangan	100	1	100
2	Penguatan arus	120	120	1
3	Penguatan daya	12000	120	100
4	Impedansi masukan	3 k Ohm	50 k Ohm	25 Ohm
5	Impedansi keluaran	125 k Ohm	25 Ohm	15 M Ohm

Harga-harga di atas adalah harga untuk :  $I_E = 1 \text{ mA}$ ,  $r_C = 2,5 \text{ k Ohm}$  (untuk tunggal emitor dan tunggal kolektor), serta  $r_E = 390 \text{ Ohm}$  untuk tunggal kolektor.

### Penguat Tunggal Emitor



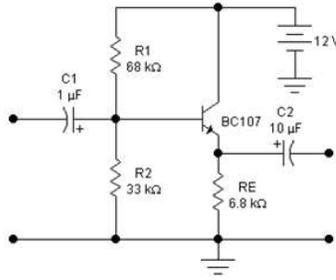
Gambar Rangkaian Penguat Tunggal Emitor

Beberapa rumus praktis pada rangkaian Tunggal Emitor:

Penguatan tegangan tanpa $C_3$	: $A_v = R_C / R_E$
Penguatan tegangan dengan $C_3$	: $A_v = R_C / r_E$
Penguatan arus	: $A_i = R_2 / R_E$
Impedansi keluaran	: $Z_o = R_C$
Impedansi masukan tanpa $C_3$	: $Z_i = R_1 // R_2 // Z_{ib}$ dengan $Z_{ib} = h_{fe}(r_E + r_e')$

Impedansi masukan dengan  $C_3$  :  $Z_i = R_1 // R_2 // Z_{ib}$  dengan  $Z_{ib} = h_{fe} r_e'$

### Penguat Tunggal Kolektor

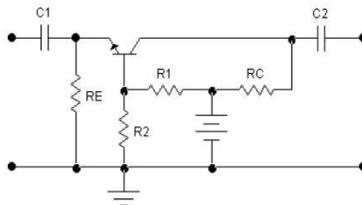


Gambar Rangkaian Penguat Tunggal Kolektor

Beberapa rumus praktis pada rangkaian Tunggal Kolektor :

Penguatan tegangan  $A_v = r_E / (r_E + r_e') \approx 1$  (sebab  $r_E \gg r_e'$ )  
 Penguatan arus :  $A_i = h_{fe}$   
 Impedansi keluaran :  $Z_o = r_e'$   
 Impedansi masukan :  $Z_i = R_1 // R_2 // Z_{ib}$  dengan  $Z_{ib} = h_{fe} (r_E + r_e')$

### Penguat Tunggal Basis



Gambar Rangkaian Penguat Tunggal Basis

Beberapa rumus praktis pada rangkaian Tunggal Basis :

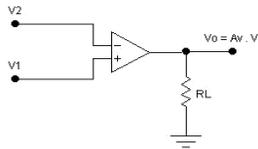
Penguatan tegangan :  $A_v = r_C / r_e'$   
 Penguatan arus :  $A_i = h_{fe}$   
 Impedansi keluaran :  $Z_o = r_E$   
 Impedansi masukan :  $Z_i = R_E // r_e' \approx r_e'$  (karena  $R_E \gg r_e'$ )

### Penguat Operasi (Op-Amp)

Penguat operasi (*operating amplifier*, dikenal sebagai *op-amp*) adalah suatu penguat gandengan langsung dengan bati (*gain*) tinggi dan dilengkapi dengan umpan balik untuk mengendalikan kinerjanya secara menyeluruh. Penguat operasi biasanya diperoleh dalam rangkaian terintegrasi (*integrated circuit = IC*) analog. Penguat operasi telah memperoleh pengakuan secara luas sebagai suatu komponen elektronik yang serba guna, dapat diandalkan dan ekonomis.

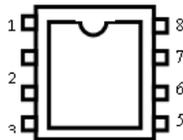
Suatu penguat operasi ideal mempunyai beberapa karakteristik (tanpa umpan balik):

- impedansi masukan  $Z_i$  = tak terhingga
- impedansi keluaran  $Z_o$  = 0
- penguatan tegangan  $A_v$  = - tak terhingga
- lebar pita BW = tak terhingga
- keseimbangan sempurna  $V_o = 0$  bila  $V_1 = V_2$
- karakteristik tak berubah karena suhu



Gambar Penguat Operasi Dasar

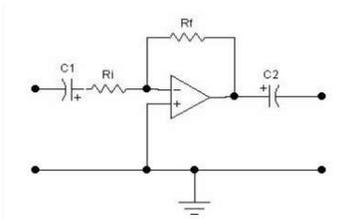
Suatu penguat operasi dapat digunakan untuk berbagai keperluan, misalnya penguat membalik, penguat tak membalik, penjumlah, penggeser fasa, pengubah tegangan ke arus, pengubah arus ke tegangan, pengikut tegangan DC dan sebagainya. Berikut ini akan dibahas dua penguat dasar, yaitu penguat membalik (*inverting amplifier*) dan penguat tak membalik (*non inverting amplifier*). Penguat operasi yang dipakai disini adalah tipe 741 yang telah banyak dikenal. IC ini mempunyai delapan kaki, dengan keterangan sebagai berikut:



Gambar Tata Letak Kaki IC 741

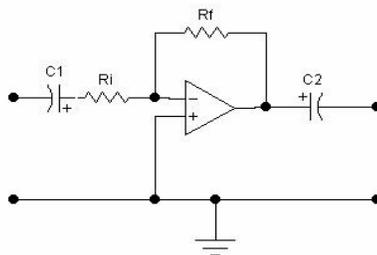
- Kaki 1 & 5 : *offset null*
- Kaki 2 : masukan membalik (*inverting input*)

- Kaki 3 : masukan tak membalik (*non inverting input*)
- Kaki 4 : tanah (*ground*)
- Kaki 6 : keluaran
- Kaki 7 : catu tegangan positif
- Kaki 8 : tak digunakan



Gambar 43. Penguat Membalik (*Inverting Amplifier*)

Penguat membalik mempunyai ciri yaitu yang dipakai sebagai masukan adalah masukan membalik, sementara masukan tak membalik dihubungkan ke tanah (*ground*). Keluaran dari penguat ini mempunyai fasa yang berlawanan dengan masukannya.



Gambar 43. Penguat Membalik (*Inverting Amplifier*)

Beberapa rumus praktis pada penguat membalik (dengan umpan balik):

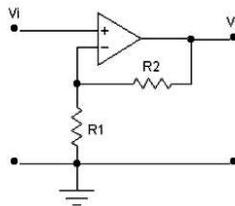
Penguatan tegangan	:	$A_{Vf}$	=	$- R_f / R_i$
Impedansi masukan	:	$Z_{if}$	=	$R_i$

$$Z_{of} = \frac{Z_o}{1 + A \frac{R_i}{R_i + R_f}}$$

Impedansi keluaran :  
 dimana

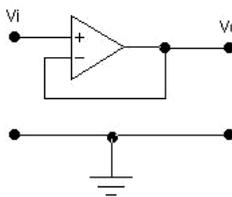
$Z_o$  = impedansi keluaran tanpa umpan balik  
 $A$  = penguatan tanpa umpan balik

Nilai  $A$  dan  $Z_o$  terdapat pada lembaran data IC. Penguat tak membalik mempunyai ciri yaitu masukan yang dipakai adalah masukan tak membalik (non inverting input) dan keluarannya sefasa dengan masukannya.



Gambar Penguat Tak Membalik (Non Inverting Amplifier)

Gambar Penguat Tak Membalik (Non Inverting Amplifier) Salah satu terapan khusus dari penguat tak membalik adalah penguat dengan penguatan satu. Rangkaian untuk terapan ini adalah sebagai berikut:



Gambar Penguat Tak Membalik dengan Penguatan Satu

Untuk penguat ini, tegangan keluaran sama dan sefasa dengan tegangan masukan, atau  $V_o = V_i$ . Impedansi masukannya sangat tinggi, sementara impedansi keluarannya mendekati nol. Karena karakteristiknya tersebut, penguat ini sering dipakai sebagai penyangga tegangan (*buffer voltage*).

## Filter

Filter adalah suatu sistem yang dapat memisahkan sinyal berdasarkan frekuensinya; ada frekuensi yang diterima, dalam hal ini dibiarkan lewat; dan ada pula frekuensi yang ditolak, dalam hal ini secara praktis dilemahkan. Hubungan keluaran-masukan suatu filter dinyatakan dengan fungsi alih (*transfer function*):

$$\text{fungsi alih} = \frac{\text{kuantitas output}}{\text{kuantitas input}} = T$$

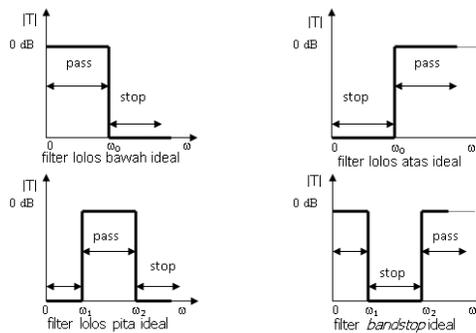
Magnitude (nilai besar) dari fungsi alih dinyatakan dengan  $|T|$ , dengan satuan dalam desibel (dB). Filter dapat diklasifikasikan menurut fungsi yang ditampilkan, dalam term jangkauan frekuensi, yaitu *passband* dan *stopband*.

Dalam *pass band* ideal, *magnitude*-nya adalah 1 (= 0 dB), sementara pada *stop band*, *magnitude*-nya adalah nol (=  $-\infty$  dB).

Berdasarkan hal ini filter dapat dibagi menjadi 4.

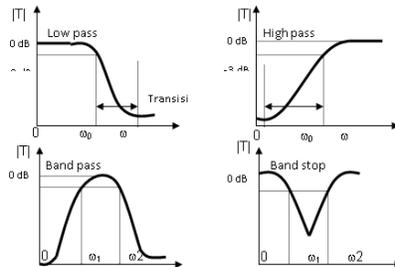
1. Filter lolos bawah (*low pass filter*), *pass band* berawal dari  $\omega = 2\pi f = 0$  radian/detik sampai dengan  $\omega = \omega_0$  radian/detik, dimana  $\omega_0$  adalah frekuensi *cut-off*.
2. Filter lolos atas (*high pass filter*), berkebalikan dengan filter lolos bawah, *stop band* berawal dari  $\omega = 0$  radian/detik sampai dengan  $\omega = \omega_0$  radian/detik, dimana  $\omega_0$  adalah frekuensi *cut-off*.
3. Filter lolos pita (*band pass filter*), frekuensi dari  $\omega_1$  radian/detik sampai  $\omega_2$  radian/detik adalah dilewatkan, sementara frekuensi lain ditolak.
4. Filter *stop band*, berkebalikan dengan filter lolos pita, frekuensi dari  $\omega_1$  radian/detik sampai  $\omega_2$  radian/detik adalah ditolak, sementara frekuensi lain diteruskan.

Berikut ini gambaran karakteristik filter ideal dalam grafik *magnitude* terhadap frekuensi (dalam radian/detik).



Gambar 46. Karakteristik Filter Ideal

Karakter filter riil tidaklah sama dengan karakter filter ideal. Dalam filter riil, frekuensi *cut-off* mempunyai *magnitude* -3 dB, bukan 0 dB. Pada filter riil juga terdapat apa yang disebut pita transisi (*transition band*), yang kemiringannya dinyatakan dalam dB/oktav atau dB/dekade.



Menurut pemakaian komponen aktif, filter dapat dibedakan menjadi filter pasif dan filter aktif.

### Filter Pasif

Yaitu filter yang tidak menggunakan komponen aktif. Komponen filter hanya terdiri dari komponen-komponen pasif : tahanan (R), induktor (L) dan kapasitor (C), RC, LC atau RLC. Filter ini mempunyai beberapa kelemahan, antara lain:

- peka terhadap masalah kesesuaian impedansi
- relatif berukuran besar dan berat, khususnya filter yang menggunakan induktor (L)
- non linieritas, khususnya untuk frekuensi rendah atau untuk arus yang cukup besar

### Filter Aktif

Yaitu filter yang menggunakan komponen aktif, biasanya transistor atau penguat operasi (*op-amp*). Kelebihan filter ini antara lain:

- untuk frekuensi kurang dari 100 kHz, penggunaan induktor (L) dapat dihindari
- relatif lebih murah untuk kualitas yang cukup baik, karena komponen pasif yang presisi harganya cukup mahal

Beberapa macam filter yang termasuk ke dalam filter aktif adalah :

#### Filter Lolos Bawah (*Low Pass Filter*)

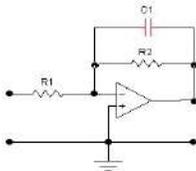
Suatu filter lolos bawah orde satu dapat dibuat dari satu tahanan dan satu kapasitor seperti pada Gambar 19. Filter orde satu ini mempunyai pita

transisi dengan kemiringan  $-20$  dB/dekade atau  $-6$  dB/oktav. Penguatan tegangan untuk frekuensi lebih rendah dari frekuensi *cut off* adalah:

$$A_v = - R_2 / R_1$$

sementara besarnya frekuensi *cut off* didapat dari:

$$f_c = 1 / (2\pi R_2 C_1)$$



### Filter Lolos Atas (High Pass Filter)

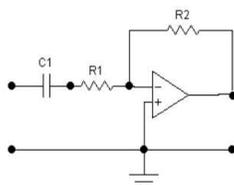
Suatu filter lolos bawah orde satu dapat dibuat dari satu tahanan dan satu kapasitor seperti pada Gambar 49 (perhatikan perbedaannya dengan Gambar 48 pada penempatan  $C_1$ ). Filter orde satu ini mempunyai pita transisi dengan kemiringan  $20$  dB/dekade atau  $6$  dB/oktav. Penguatan tegangan untuk frekuensi lebih tinggi dari frekuensi *cut off* adalah:

$$A_v = - R_2 / R_1$$

sementara besarnya frekuensi *cut off* didapat dari:

$$f_c = 1 / (2\pi R_1 C_1)$$

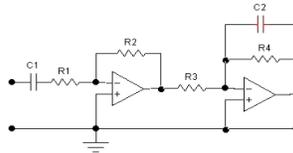
(Catatan : perhatikan perbedaan dengan rumus pada filter lolos bawah).



Gambar 49. Filter Lolos Atas Orde 1

### Filter Lolos Pita (Band Pass Filter)

Suatu filter lolos pita dapat disusun dengan menggunakan dua tahap, pertama adalah filter lolos atas dan kedua adalah filter lolos bawah seperti pada gambar berikut:



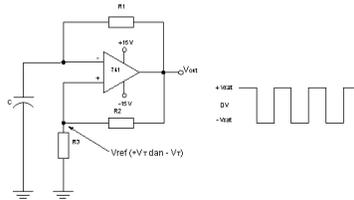
Gambar 50. Filter Lolos Pita

Penguatan tegangan untuk pita lolos adalah:  $A_V = (-R_2 / R_1) (-R_4 / R_3)$   
 Besarnya frekuensi *cut off* atas didapat dari:  $f_{CH} = 1 / (2\pi R_1 C_1)$   
 Besarnya frekuensi *cut off* bawah didapat dari:  $f_{CL} = 1 / (2\pi R_4 C_2)$

**Osilator**

Yang termasuk ke dalam golongan osilator adalah

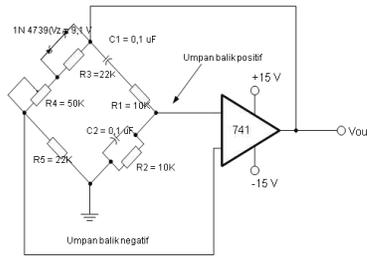
- 1) Pembangkit Gelombang Kotak. Pembangkit gelombang kotak disebut juga multivibrator astabil atau multivibrator bergerak bebas (*free-running*), karena keluaran terus menerus berubah keadaannya (tinggi dan rendah) tanpa adanya masukan.



Gambar Pembangkit Gelombang kotak

- 2) Pembangkit Gelombang Sinus. Terdapat berbagai macam pembangkit gelombang sinus dalam rangkaian elektronika, salah satunya adalah generator gelombang sinus dengan osilator jembatan Wien.

Dalam Gambar berikut diperlihatkan sebuah contoh penerapan osilator jembatan Wien untuk menghasilkan gelombang sinus dengan menggunakan op-amp 741



Gambar Pembangkit Gelombang Sinus Jembatan Wien

Frekuensi keluaran dapat ditentukan dengan rumus :

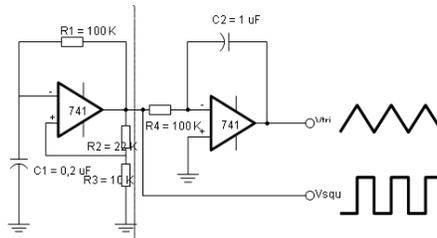
$$f_{out} = \frac{1}{\sqrt{2 \pi R_1 R_2 C_1 C_2}}$$

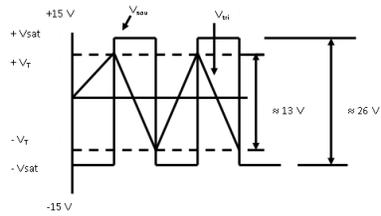
Atau bila  $R_1 = R_2$  dan  $C_1 = C_2$ , maka:

$$f_{out} = \frac{1}{2 \pi R_1 C_1}$$

### 3) Pembangkit Gelombang Segitiga

Untuk pembangkitan gelombang segitiga digunakan dua buah op-amp. Sebuah op-amp dipakai untuk membuat rangkaian dasar yakni pembangkit gelombang kotak, sebuah lagi untuk membuat integrator.





Gambar  
Rangkaian Gelombang Segitiga dan Bentuk Gelombang Keluaran

## Bab 6

# Komponen Aktif dalam Elektronika

### Transistor Efek Medan

#### JFET dan MOSFET

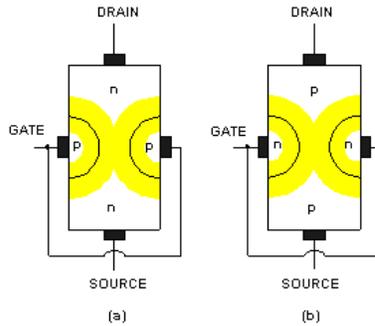
Transistor Bipolar dinamakan demikian karena bekerja dengan 2 (bi) muatan yang berbeda yaitu elektron sebagai pembawa muatan negatif dan hole sebagai pembawa muatan positif. Ada satu jenis transistor lain yang dinamakan FET (*Field Effect Transistor*). Berbeda dengan prinsip kerja transistor bipolar, transistor FET bekerja bergantung dari satu pembawa muatan, apakah itu elektron atau hole. Karena hanya bergantung pada satu pembawa muatan saja, transistor ini disebut komponen unipolar.

Umumnya untuk aplikasi linear, transistor bipolar lebih disukai, namun transistor FET sering digunakan juga karena memiliki impedansi input (input impedance) yang sangat besar. Terutama jika digunakan sebagai *switch*, FET lebih baik karena resistansi dan disipasi dayanya yang kecil.

Ada dua jenis transistor FET yaitu **JFET** (*junction FET*) dan **MOSFET** (*metal-oxide semiconductor FET*). Pada dasarnya kedua jenis transistor memiliki prinsip kerja yang sama, namun tetap ada perbedaan yang mendasar pada struktur dan karakteristiknya.

#### TRANSISTOR JFET

Gambar dibawah menunjukkan struktur transistor JFET kanal n dan kanal p. Kanal n dibuat dari bahan semikonduktor tipe n dan kanal p dibuat dari semikonduktor tipe p. Ujung atas dinamakan **Drain** dan ujung bawah dinamakan **Source**. Pada kedua sisi kiri dan kanan terdapat implant semikonduktor yang berbeda tipe. Terminal kedua sisi implant ini terhubung satu dengan lainnya secara internal dan dinamakan **Gate**.

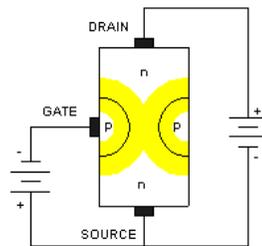


Struktur JFET (a) kanal-n (b) kanal-p

Istilah *field effect* (**efek medan listrik**) sendiri berasal dari prinsip kerja transistor ini yang berkenaan dengan **lapisan deplesi** (*depletion layer*). Lapisan ini terbentuk antara semikonduktor tipe n dan tipe p, karena bergabungnya elektron dan hole di sekitar daerah perbatasan. Sama seperti medan listrik, lapisan deplesi ini bisa membesar atau mengecil tergantung dari tegangan antara gate dengan source. Pada gambar di atas, lapisan deplesi ditunjukkan dengan warna kuning di sisi kiri dan kanan.

### JFET kanal-n

Untuk menjelaskan prinsip kerja transistor JFET lebih jauh akan ditinjau transistor JFET kanal-n. Drain dan Source transistor ini dibuat dengan semikonduktor tipe n dan Gate dengan tipe p. Gambar berikut menunjukkan bagaimana transistor ini di beri tegangan bias. Tegangan bias antara gate dan source adalah tegangan *reverse bias* atau disebut bias negatif. Tegangan bias negatif berarti tegangan gate lebih negatif terhadap source. Perlu catatan, Kedua gate terhubung satu dengan lainnya (tidak tampak dalam gambar).

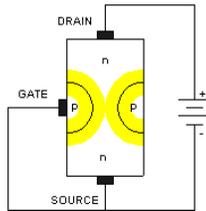


Lapisan deplesi jika gate-source diberi bias negative

Dari gambar di atas, elektron yang mengalir dari source menuju drain harus melewati lapisan deplesi. Di sini lapisan deplesi berfungsi semakan keran air. Banyaknya elektron yang mengalir dari source menuju drain

tergantung dari ketebalan lapisan deplesi. Lapisan deplesi bisa menyempit, melebar atau membuka tergantung dari tegangan gate terhadap source.

Jika gate semakin negatif terhadap source, maka lapisan deplesi akan semakin menebal. Lapisan deplesi bisa saja menutup seluruh kanal transistor bahkan dapat menyentuh drain dan source. Ketika keadaan ini terjadi, tidak ada arus yang dapat mengalir atau sangat kecil sekali. Jadi jika tegangan gate semakin negatif terhadap source maka semakin kecil arus yang bisa melewati kanal drain dan source.



Lapisan deplesi pada saat tegangan gate-source = 0 volt

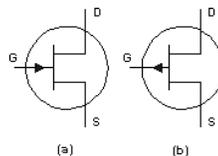
Jika misalnya tegangan gate dari nilai negatif perlahan-lahan dinaikkan sampai sama dengan tegangan Source. Ternyata lapisan deplesi mengecil hingga sampai suatu saat terdapat celah sempit. Arus elektron mulai mengalir melalui celah sempit ini dan terjadilah konduksi Drain dan Source. Arus yang terjadi pada keadaan ini adalah arus maksimum yang dapat mengalir berapapun tegangan drain terhadap source. Hal ini karena celah lapisan deplesi sudah maksimum tidak bisa lebih lebar lagi. Tegangan gate tidak bisa dinaikkan menjadi positif, karena kalau nilainya positif maka gate-source tidak lain hanya sebagai dioda.

Karena tegangan bias yang negatif, maka arus gate yang disebut  $I_G$  akan sangat kecil sekali. Dapat dimengerti **resistansi input (input impedance)** gate akan sangat besar. Impedansi input transistor FET umumnya bisa mencapai satuan MOhm. Sebuah transistor JFET diketahui arus gate 2 nA pada saat tegangan *reverse* gate 4 V, maka dari hukum Ohm dapat dihitung resistansi input transistor ini adalah :

$$R_{in} = 4V/2nA = 2000 \text{ Mohm}$$

### Simbol JFET

Untuk menggambarkan JFET pada skema rangkaian elektronika, bisa dipakai simbol seperti pada gambar di bawah berikut.



*Simbol komponen (a)JFET-n (b)JFET-p*

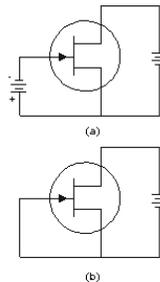
Karena struktur yang sama, terminal drain dan source untuk aplikasi frekuensi rendah dapat dibolak balik. Namun biasanya tidak demikian untuk aplikasi frekuensi tinggi. Umumnya JFET untuk aplikasi frekuensi tinggi memperhitungkan kapasitansi bahan antara gate dengan drain dan juga antara gate dengan source. Dalam pembuatan JFET, umumnya ada perbedaan kapasitansi gate terhadap drain dan antara gate dengan source.

**JFET kanal-p**

Transistor JFET kanal-p memiliki prinsip yang sama dengan JFET kanal-n, hanya saja kanal yang digunakan adalah semikonduktor tipe p. Dengan demikian polaritas tegangan dan arah arus berlawanan jika dibandingkan dengan transistor JFET kanal-n. Simbol rangkaian untuk tipe p juga sama, hanya saja dengan arah panah yang berbeda.

**Kurva Drain**

Gambar berikut adalah bagaimana transistor JFET diberi bias. Kali ini digambar dengan menggunakan simbol JFET. Gambar (a) adalah jika diberi bias negatif dan gambar (b) jika gate dan source dihubung singkat.

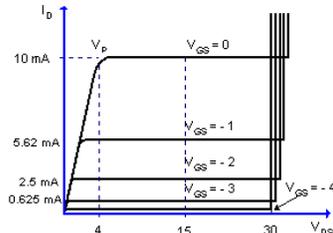


*Tegangan bias transistor JFET-n*

Jika gate dan source dihubung singkat, maka akan diperoleh arus drain maksimum. Ingat jika  $V_{GS}=0$  lapisan deplesi kiri dan kanan pada posisi yang hampir membuka. Perhatikan contoh kurva drain pada gambar berikut, yang menunjukkan karakteristik **arus drain  $I_D$**  dan **tegangan drain-source  $V_{DS}$** . Terlihat arus drain  $I_D$  tetap (konstan) setelah  $V_{DS}$  melewati suatu besar tegangan tertentu yang disebut  $V_p$ .

Pada keadaan ini ( $V_{GS}=0$ ) celah lapisan deplesi hampir bersingungan dan sedikit membuka. Arus  $I_D$  bisa konstan karena celah deplesi yang sempit itu mencegah aliran arus  $I_D$  yang lebih besar. Perumpamaannya sama seperti selang air plastik yang ditekan dengan jari, air yang mengalir juga tidak bisa lebih banyak lagi. Dari sinilah dibuat istilah **pinchoff voltage (tegangan jepit)** dengan simbol  $V_p$ . Arus  $I_D$  maksimum ini di sebut  $I_{DSS}$  yang berarti

arus drain-source jika gate dihubung singkat (*shorted gate*). Ini adalah arus maksimum yang bisa dihasilkan oleh suatu transistor JFET dan karakteristik  $I_{DSS}$  ini tercantum di datasheet.



kurva drain  $I_{DS}$  terhadap  $V_{DS}$

JFET berlaku sebagai sumber arus konstan sampai pada tegangan tertentu yang disebut  $V_{DS(max)}$ . Tegangan maksimum ini disebut **breakdown voltage** dimana arus tiba-tiba menjadi tidak terhingga. Tentu transistor tidaklah dimaksudkan untuk bekerja sampai daerah breakdown. Daerah antara  $V_P$  dan  $V_{DS(max)}$  disebut **daerah active (active region)**. Sedangkan 0 volt sampai tegangan  $V_P$  disebut **daerah Ohmic (Ohmic region)**.

### Daerah Ohmic

Pada tegangan  $V_{DS}$  antara 0 volt sampai tegangan *pinchoff*  $V_P=4$  volt, arus  $I_D$  menaik dengan kemiringan yang tetap. Daerah ini disebut daerah Ohmic. Tentu sudah maklum bahwa daerah Ohmic ini tidak lain adalah resistansi drain-source dan termasuk celah kanal diantara lapisan deplesi. Ketika bekerja pada daerah ohmic, JFET berlaku seperti resistor dan dapat diketahui besar resistansinya adalah :

$$R_{DS} = V_P / I_{DSS}$$

$R_{DS}$  disebut *ohmic resistance*, sebagai contoh di dataseet diketahui  $V_P = 4V$  dan  $I_{DSS} = 10$  mA, maka dapat diketahui :

$$R_{DS} = 4V / 10mA = 400 \text{ Ohm}$$

### Tegangan *cutoff gate*

Dari contoh kurva drain di atas terlihat beberapa garis-garis kurva untuk beberapa tegangan  $V_{GS}$  yang berbeda. Pertama adalah kurva paling atas dimana  $I_{DSS}=10$  mA dan kondisi ini tercapai jika  $V_{GS}=0$  dan perhatikan juga tegangan *pinchoff*  $V_P=4V$ . Kemudian kurva berikutnya adalah  $V_{GS} = -1V$  lalu  $V_{GS}=-2V$  dan seterusnya. Jika  $V_{GS}$  semakin kecil terlihat arus  $I_D$  juga semakin kecil.

Perhatikan kurva yang paling bawah dimana  $V_{GS}=-4V$ . Pada kurva ternyata arus  $I_D$  sangat kecil sekali dan hampir nol. Tegangan ini dinamakan tegangan ***cutoff gate-source (gate source cutoff voltage)*** yang ditulis

sebagai  $V_{GS(off)}$ . Pada saat ini lapisan deplesi sudah bersingungan satu sama lain, sehingga arus yang bisa melewati kecil sekali atau hampir nol.

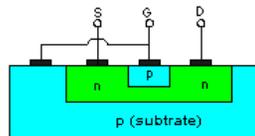
Bukan suatu kebetulan bahwa kenyataannya bahwa  $V_{GS(off)} = -4V$  dan  $V_P = 4V$ . Ternyata memang pada saat demikian lapisan deplesi bersentuhan atau hampir bersentuhan.

Maka di datasheet biasanya hanya ada satu besaran yang tertera  $V_{GS(off)}$  atau  $V_P$ . Oleh karena sudah diketahui hubungan persamaan :

$$V_{GS(off)} = -V_P$$

### Pabrikasi JFET

Kalau sebelumnya sudah dijelaskan bagaimana struktur JFET secara teoritis, maka gambar berikut adalah bagaimana sebenarnya transistor JFET-n dibuat.



Struktur penampang JFET-n

Transistor JFET-n dibuat di atas satu lempengan semikonduktor tipe-p sebagai **substrat (substrate)** atau dasar (*base*). Untuk membuat kanal n, di atas substrat di-implant semikonduktor tipe n yaitu dengan memberikan doping elektron. Kanal-n ini akan menjadi drain dan source. Kemudian di atas kanal-n dibuat implant tipe-p, caranya adalah dengan memberi doping p (*hole*). Implant tipe p ini yang menjadi gate. Gate dan substrat disambungkan secara internal.

### TRANSISTOR MOSFET

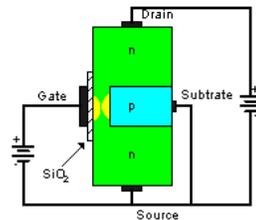
Mirip seperti JFET, transistor **MOSFET (Metal oxide FET)** memiliki drain, source dan gate. Namun perbedaannya gate terisolasi oleh suatu **bahan oksida**. Gate sendiri terbuat dari bahan **metal** seperti aluminium. Oleh karena itulah transistor ini dinamakan *metal-oxide*. Karena gate yang terisolasi, sering jenis transistor ini disebut juga **IGFET** yaitu *insulated-gate FET*.

Ada dua jenis MOSFET, yang pertama jenis *depletion-mode* dan yang kedua jenis *enhancement-mode*. Jenis MOSFET yang kedua adalah komponen utama dari gerbang logika dalam bentuk IC (*integrated circuit*), uC (*micro controller*) dan uP (*micro processor*) yang tidak lain adalah komponen utama dari komputer modern saat ini.

### MOSFET Depletion-mode

Gambar berikut menunjukkan struktur dari transistor jenis ini. Pada sebuah kanal semikonduktor tipe n terdapat semikonduktor tipe p dengan

menyisakan sedikit celah. Dengan demikian diharapkan elektron akan mengalir dari source menuju drain melalui celah sempit ini. Gate terbuat dari metal (seperti aluminium) dan terisolasi oleh bahan oksida tipis  $\text{SiO}_2$  yang tidak lain adalah kaca.



struktur MOSFET depletion-mode

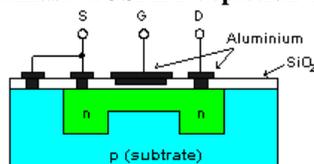
Semikonduktor tipe p di sini disebut substrat p dan biasanya dihubungkan dengan source. Ingat seperti pada transistor JFET lapisan deplesi mulai membuka jika  $V_{GS} = 0$ .

Dengan menghubungkan singkat substrat p dengan source diharapkan ketebalan lapisan deplesi yang terbentuk antara substrat dengan kanal adalah maksimum. Sehingga ketebalan lapisan deplesi selanjutnya hanya akan ditentukan oleh tegangan gate terhadap source. Pada gambar, lapisan deplesi yang dimaksud ditunjukkan pada daerah yang berwarna kuning.

Semakin negatif tegangan gate terhadap source, akan semakin kecil arus drain yang bisa lewat atau bahkan menjadi 0 pada tegangan negatif tertentu. Karena lapisan deplesi telah menutup kanal. Selanjutnya jika tegangan gate dinaikkan sama dengan tegangan source, arus akan mengalir. Karena lapisan deplesi mulai membuka. Sampai di sini prinsip kerja transistor MOSFET depletion-mode tidak berbeda dengan transistor JFET.

Karena gate yang terisolasi, tegangan kerja  $V_{GS}$  boleh positif. Jika  $V_{GS}$  semakin positif, arus elektron yang mengalir dapat semakin besar. Di sini letak perbedaannya dengan JFET, transistor MOSFET depletion-mode bisa bekerja sampai tegangan gate positif.

### Pabrikasi MOSFET depletion-mode



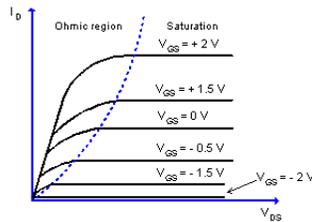
Penampang D-MOSFET (depletion-mode)

Struktur ini adalah penampang MOSFET depletion-mode yang dibuat di atas sebuah lempengan semikonduktor tipe p. Implant semikonduktor tipe n

dibuat sedemikian rupa sehingga terdapat celah kanal tipe n. Kanal ini menghubungkan drain dengan source dan tepat berada di bawah gate. Gate terbuat dari metal aluminium yang diisolasi dengan lapisan SiO<sub>2</sub> (kaca). Dalam beberapa buku, transistor MOSFET *depletion-mode* disebut juga dengan nama **D-MOSFET**.

### Kurva drain MOSFET depletion mode

Analisa kurva drain dilakukan dengan mencoba beberapa tegangan gate  $V_{GS}$  konstan, lalu dibuat grafik hubungan antara arus drain  $I_D$  terhadap tegangan  $V_{DS}$ .



Kurva drain transistor MOSFET depletion-mode

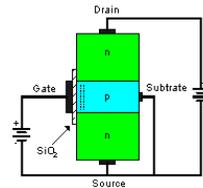
Dari kurva ini terlihat jelas bahwa transistor MOSFET *depletion-mode* dapat bekerja (**ON**) mulai dari tegangan  $V_{GS}$  negatif sampai positif. Terdapat dua daerah kerja, yang pertama adalah **daerah ohmic** dimana resistansi drain-source adalah fungsi dari :

$$R_{DS(on)} = V_{DS}/I_{DS}$$

Jika tegangan  $V_{GS}$  tetap dan  $V_{DS}$  terus dinaikkan, transistor selanjutnya akan berada pada **daerah saturasi**. Jika keadaan ini tercapai, arus  $I_{DS}$  adalah konstan. Tentu saja ada tegangan  $V_{GS(max)}$ , yang diperbolehkan. Karena jika lebih dari tegangan ini akan dapat merusak isolasi gate yang tipis alias merusak transistor itu sendiri.

### MOSFET Enhancement-mode

Jenis transistor MOSFET yang kedua adalah MOSFET *enhancement-mode*. Transistor ini adalah evolusi jenius berikutnya setelah penemuan MOSFET *depletion-mode*. Gate terbuat dari metal aluminium dan terisolasi oleh lapisan SiO<sub>2</sub> sama seperti transistor MOSFET depletion-mode. **Perbedaan** struktur yang mendasar adalah, subtrat pada transistor MOSFET *enhancement-mode* sekarang dibuat sampai **menyentuh gate**, seperti terlihat pada gambar beritu ini. Lalu bagaimana elektron dapat mengalir ?. Silahkan terus menyimak tulisan berikut ini.



Struktur MOSFET *enhancement-mode*

Gambar atas ini adalah transistor MOSFET *enhancement mode* kanal n. Jika tegangan gate  $V_{GS}$  dibuat negatif, tentu saja arus elektron tidak dapat mengalir. Juga ketika  $V_{GS}=0$  ternyata arus belum juga bisa mengalir, karena **tidak ada lapisan deplesi** maupun celah yang bisa dialiri elektron. Satu-satunya jalan adalah dengan memberi tegangan  $V_{GS}$  **positif**. Karena substrat terhubung dengan source, maka jika tegangan gate positif berarti tegangan gate terhadap substrat juga positif.

Tegangan positif ini akan menyebabkan **elektron tertarik** ke arah substrat p. Elektron-elektron akan bergabung dengan hole yang ada pada substrat p. Karena potensial gate lebih positif, maka elektron terlebih dahulu tertarik dan menumpuk di sisi substrat yang berbatasan dengan gate. Elektron akan terus menumpuk dan tidak dapat mengalir menuju gate karena terisolasi oleh bahan insulator  $SiO_2$  (kaca).

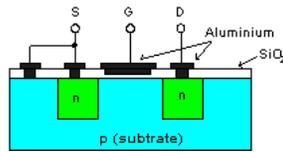
Jika tegangan gate cukup positif, maka tumpukan elektron akan menyebabkan terbentuknya **semacam lapisan n yang negatif** dan seketika itulah arus drain dan source dapat mengalir. Lapisan yang terbentuk ini disebut dengan istilah *inversion layer*. Kira-kira terjemahannya adalah lapisan dengan tipe yang berbalikan. Di sini karena substratnya tipe p, maka lapisan *inversion* yang terbentuk adalah bermuatan negatif atau tipe n.

Tentu ada tegangan minimum dimana lapisan *inversion* n mulai terbentuk. **Tegangan minimum** ini disebut tegangan **threshold**  $V_{GS(th)}$ . Tegangan  $V_{GS(th)}$  oleh pabrik pembuat tertera di dalam datasheet.

Di sini letak perbedaan utama prinsip kerja transistor MOSFET *enhancement-mode* dibandingkan dengan JFET. Jika pada tegangan  $V_{GS} = 0$ , transistor JFET sudah bekerja atau ON, maka transistor MOSFET *enhancement-mode* masih OFF. Dikatakan bahwa JFET adalah komponen **normally ON** dan MOSFET adalah komponen **normally OFF**.

### Pabrikasi MOSFET *enhancement-mode*

Transistor MOSFET *enhancement mode* dalam beberapa literatur disebut juga dengan nama **E-MOSFET**.

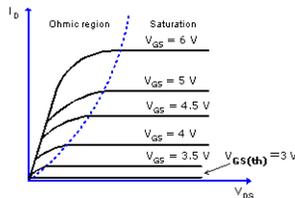


Penampang E-MOSFET (enhancement-mode)

Gambar diatas adalah bagaimana transistor MOSFET *enhancement-mode* dibuat. Sama seperti MOSFET *depletion-mode*, tetapi perbedaannya disini tidak ada kanal yang menghubungkan drain dengan source. Kanal n akan terbentuk (*enhanced*) dengan memberi tegangan  $V_{GS}$  diatas tegangan *threshold* tertentu. Inilah struktur transistor yang paling banyak di terapkan dalam IC digital.

### Kurva Drain MOSFET *enhancement-mode*

Mirip seperti kurva D-MOSFET, kurva drain transistor E-MOSFET adalah seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut. Namun di sini  $V_{GS}$  semua bernilai positif. Garis kurva paling bawah adalah garis kurva dimana transistor mulai ON. Tegangan  $V_{GS}$  pada garis kurva ini disebut tegangan *threshold*  $V_{GS(th)}$ .



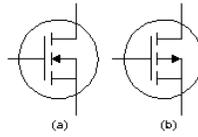
Kurva drain E-MOSFET

Karena transistor MOSFET umumnya digunakan sebagai saklar (*switch*), parameter yang penting pada transistor E-MOSFET adalah resistansi drain-source. Biasanya yang tercantum pada datasheet adalah resistansi pada saat transistor ON. Resistansi ini dinamakan  $R_{DS(on)}$ . Besar resistansi bervariasi mulai dari 0.3 Ohm sampai puluhan Ohm. Untuk aplikasi *power switching*, semakin kecil resistansi  $R_{DS(on)}$  maka semakin baik transistor tersebut. Karena akan memperkecil rugi-rugi disipasi daya dalam bentuk panas. Juga penting diketahui parameter arus drain maksimum  $I_{D(max)}$  dan disipasi daya maksimum  $P_{D(max)}$ .

### Simbol transistor MOSFET

Garis putus-putus pada simbol transistor MOSFET menunjukkan struktur transistor yang terdiri drain, source dan subtrat serta gate yang terisolasi. Arah panah pada subtrat menunjukkan type lapisan yang terbentuk pada

substrat ketika transistor ON sekaligus menunjukkan type kanal transistor tersebut.

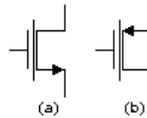


Simbol MOSFET, (a) kanal-n (b) kanal-p

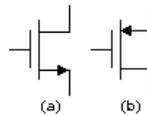
Kedua simbol di atas dapat digunakan untuk menggambarkan D-MOSFET maupun E-MOSFET.

**NMOS dan PMOS**

Transistor MOSFET dalam berbagai referensi disingkat dengan nama transistor **MOS**. Dua jenis tipe n atau p dibedakan dengan nama **NMOS** dan **PMOS**. Simbol untuk menggambarkan MOS tipe depletion-mode dibedakan dengan tipe enhancement-mode. Perbedaan ini perlu untuk rangkaian-rangkaian rumit yang terdiri dari kedua jenis transistor tersebut.

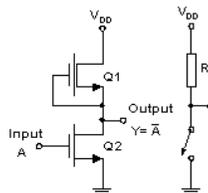


Simbol transistor (a)NMOS (b)PMOS tipe depletion mode



Simbol transistor (a)NMOS (b)PMOS tipe enhancement mode

Transistor MOS adalah tipe transistor yang paling banyak dipakai untuk membuat rangkaian gerbang logika. Ratusan bahkan ribuan **gerbang logika** dirangkai di dalam sebuah IC (*integrated circuit*) menjadi komponen yang canggih seperti mikrokontroler dan mikroprosesor. Contoh gerbang logika yang paling dasar adalah sebuah **inverter**.

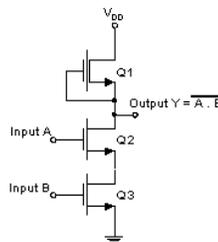


Gerbang NOT Inverter MOS

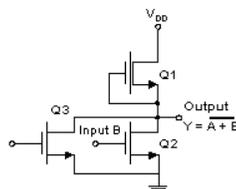
Gerbang inverter MOS di atas terdiri dari 2 buah transistor Q1 dan Q2. Transistor Q1 adalah transistor NMOS *depletion-mode* yang pada rangkaian ini berlaku sebagai beban  $R_L$  untuk transistor Q2. Seperti yang sudah dimaklumi, beban  $R_L$  ini tidak lain adalah resistansi  $R_{DS(on)}$  dari transistor Q1. Transistor Q2 adalah transistor NMOS *enhancement-mode*. Di sini transistor Q2 berfungsi sebagai saklar (*switch*) yang bisa membuka atau menutup (ON/OFF). Transistor ON atau OFF tergantung dari tegangan input.

Jika tegangan input A = 0 volt (logik 0), maka saklar Q2 membuka dan tegangan output  $Y = V_{DD}$  (logik 1). Dan sebaliknya jika input A =  $V_{DD}$  (logik 1) maka saklar menutup dan tegangan output  $Y = 0$  volt (logik 0). Inverter ini tidak lain adalah **gerbang NOT**, dimana keadaan output adalah kebalikan dari input.

Gerbang dasar lainnya adalah seperti gerbang **NAND** dan **NOR**. Contoh diagram berikut adalah gerbang NAND dan NOR yang memiliki dua input A dan B.



Gerbang NAND transistor MOS



Gerbang NOR transistor MOS

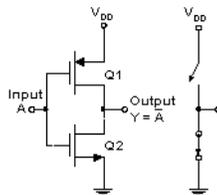
Bagaimana caranya membuat gerbang AND dan OR. Tentu saja bisa dengan menambahkan sebuah inverter di depan gerbang NAND dan NOR.

### Transistor CMOS

CMOS adalah evolusi dari komponen digital yang paling banyak digunakan karena memiliki karakteristik konsumsi daya yang sangat kecil. CMOS adalah singkatan dari **Complementary MOS**, yang strukturnya terdiri

dari dua jenis transistor PMOS dan NMOS. Keduanya adalah transistor **MOS tipe enhancement-mode**.

Inverter gerbang NOT dengan struktur CMOS adalah seperti gambar yang berikut ini. Beban  $R_L$  yang sebelumnya menggunakan transistor NMOS tipe depletion-mode, digantikan oleh transistor PMOS enhancement-mode.



Gerbang NOT inverter CMOS

Namun disini Q1 bukan sebagai beban, tetapi kedua transistor berfungsi sebagai *complementary switch* yang bekerja bergantian. Jika input 0 (*low*) maka transistor Q1 menutup dan sebaliknya Q2 membuka, sehingga keluaran tersambung ke VDD (*high*). Sebaliknya jika input 1 (*high*) maka transistor Q1 akan membuka dan Q2 menutup, sehingga keluaran terhubung dengan ground 0 volt (*low*).

### Penutup

Transistor FET termasuk perangkat yang disebut *voltage-controlled device* yang mana tegangan masukan (input) mengatur arus keluaran (output). Pada transistor FET, besar tegangan gate-source ( $V_{GS}$ ) menentukan jumlah arus yang dapat mengalir antara drain dan source.

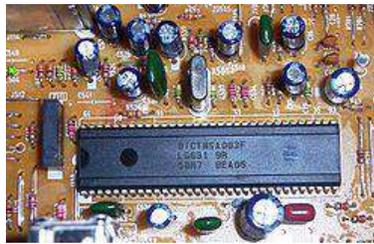
Transistor MOSFET yang dikenal dengan sebutan transistor MOS umumnya gampang rusak. Ada kalanya karena tegangan gate yang melebihi tegangan  $V_{GS(max)}$ . Karena lapisan oksida yang amat tipis, transistor MOS **rentan terhadap tegangan statik (*static voltage*)** yang bisa mencapai ribuan volt. Untuk itulah biasanya MOS dalam bentuk transistor maupun IC selalu dikemas menggunakan **anti static**. Terminal atau kaki-kakinya di hubung singkat untuk menghindari tegangan statik ini. Transistor MOS yang mahal karena  $R_{DS(on)}$  yang kecil, biasanya dilengkapi dengan zener didalamnya. Zener diantara gate dan source ini berfungsi sebagai proteksi tegangan yang berlebih. Walaupun zener ini sebenarnya akan menurunkan impedansi input gate, namun cukup seimbang antara performance dan harganya itu.

## Bab 7

# Komponen Aktif dalam Elektronika

### Integreted Circuit

Rangkaian Terintegrasi (Integrated Circuit/IC), sering juga disebut sirkuit terpadu, terdiri dari beberapa transistor, resistor, dll yang terinterkoneksi satu sama lain dalam package (paket) kecil dengan terminal-terminal sambungan. IC itu sudah lengkap, hanya memerlukan sambungan input dan output dan sebuah tegangan supply untuk bisa berfungsi. Cara lain, beberapa komponen eksternal harus dihubungkan agar IC itu bisa beroperasi.



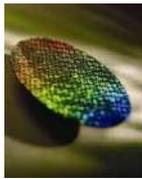
IC di dalam sebuah sirkuit elektronik

IC dapat diklasifikasikan menurut fungsinya, sebagai IC analog atau IC digital. IC analog (juga disebut IC linier) bisa berupa amplifier, voltage regulator, dll. IC digital biasanya berisi transistor-transistor baik yang dalam keadaan switced-off atau dalam keadaan switced-on. Gerbang-gerbang logika, counting circuits, dan yang semacam terdapat dalam bentuk IC. Metoda lain mengklasifikasi IC adalah menurut ukurannya small-scale integration (SSI), medium-scale integration (MSI), large-scale integration (LSI), dan very large-scale integration (VLSI). Selang ini dari kurang 12 rangkaian individual per paket sampai di atas 50.000 rangkaian dalam sebuah paket tunggal. Teknik-teknik yang digunakan dalam manufaktur IC lebih dari satu metoda klasifikasi. Teknik manufaktur yang utama adalah fabrikasi monolitik, thin-film, thick-film, dan hybrid.

### IC Monolitik

Di dalam IC Monolitik semua komponen difabrikasi dengan proses difusi pada chip silikon tunggal. Interkoneksi di antara komponen dilakukan di atas permukaan struktur, dan pengawatan sambungan eksternal dihubungkan dengan terminal.

Rangkaian Terintegrasi (integrated circuit/IC) adalah realisasi secara fisik dari komponen-komponen diskrit yang terpisah tapi merupakan satu kesatuan yang berada di atas atau di dalam suatu substrat yang membentuk sebuah rangkaian terintegrasi yang bekerja dengan fungsi khusus.



Bahan dasar sebuah substrat adalah semikonduktor kristal tunggal yang dipotong-potong menjadi beberapakeping wafer. Ukuran sekeping wafer mempunyai tebal 0,2 mm dan diameter 2 cm sampai 12 cm. Di atas keping wafer ini kemudian dibuat rangkaian-rangkaian yang diinginkan. Sekeping wafer dibagi menjadi sejumlah chip yang berukuran 10 mm x 10 mm. Chip-chip ini selanjutnya dirakit menjadi sebuah *package* (kemasan). Implementasi rangkaian logika ke dalam wafer silikon merupakan seni tersendiri. Pemahaman tentang langkah-langkah pengolahan silikon sangat diperlukan agar diperoleh keyakinan dalam mendisain pola rangkaian. Ada aturan disain (*design rule*) agar sesuai dengan toleransi peralatan proses fabrikasi. Disainer rangkaian terintegrasi menggambar pola berdasarkan aturan itu.

Menggambar pola rangkaian dapat dilakukan secara manual atau dibantu komputer. Tujuannya agar disainer dapat menggunakan fasilitas proses fabrikasi dengan baik dalam merealisasikan rangkaian terintegrasi.

Divais dapat direalisasikan menjadi rangkaian terintegrasi dengan beberapa teknologi, antara lain **teknologi bipolar** dan **teknologi MOS**. Teknologi bipolar mempunyai keterbatasan untuk rangkaian yang padat. Teknologi MOS berkembang untuk rangkaian terintegrasi padat seperti VLSI.

Langkah pengolahan dasar yang dipakai untuk fabrikasi beberapa divais silikon, seperti dioda, transistor, dan IC, dapat dikategorikan sebagai berikut.

1. Ion implantation
2. Diffusion

3. Oxidation
4. Photolithography
5. Chemical-vapor deposition (termasuk epitaxy)
6. Metalization

Berawal dengan wafer silikon kristal tunggal, pengolahan yang tercantum di atas tadi dapat dipakai untuk menghasilkan divais diskrit yang berfungsi (yaitu, dioda dan transistor individual) dan IC. Divais atau IC ini dalam bentuk wafer, dengan puluhan, ratusan, atau bahkan ribuan divais atau IC pada wafer silikon yang sama. Wafer itu kemudian harus dipotong-potong untuk mendapatkan *dice* atau chip. Chip ini kemudian dijadikan kapsul (*encapsulated*) atau dikemas (*packaged*), dengan bermacam-macam kemasan dengan metoda pengemasan yang ada. Ada tiga tujuan dasar pengemasan.

1. membuat kapsul pada chip untuk melindungi chip dari pengaruh lingkungan,
2. memberikan kemudahan akses ke beberapa bagian dari chip melalui struktur pin sedemikian rupa sehingga divais dapat dengan mudah ditancapkan (*plug*) pada atau dihubungkan pada bagian yang lain dari suatu sistem, dan
3. memberi fasilitas *heat transfer* untuk keluar dari divais ke udara.

Proses fabrikasi dasar yang tercantum di atas tadi biasanya diaplikasikan berkali-kali secara berturut-turut, terutama dalam kasus IC, dimana sebanyak 20 pengulangan dari langkah-langkah fotolitografi, oksidasi, implantasi ion, dan difusi yang bisa dilakukan.

### **Persiapan Wafer Silikon**

Material awal untuk pengolahan divais silikon adalah wafer silikon kristal tunggal yang jenis dan doping-nya yang sesuai konduktivitasnya. Urutan persiapan wafer silikon terdiri dari langkah-langkah dasar berikut ini.

1. Pertumbuhan kristal dan doping
2. Ingot trimming dan grinding
3. Ingot slicing
4. Wafer polishing dan etching

## 5. Wafer cleaning

### Pertumbuhan Kristal

Dalam proses pertumbuhan kristal, *ingot* silikon kristal tunggal dengan tingkat dan jenis doping yang cukup untuk diproduksi. Material awal untuk pertumbuhan kristal adalah silikon polikristalin yang tingkat kemurniannya tinggi yang disebut *semiconductor grade silicon*.

Tingkat kemurnian dari material ini dalam selang lebih dari 99,9999999 atau kemurnian 9-nines. Ini terkait dengan suatu konsentrasi impuriti sebesar lebih dari 1 part per billion atoms (>1 ppba), yaitu kurang dari satu atom impuriti untuk setiap miliar ( $10^9$ ) atom silikon. Banyaknya atom per satuan isi adalah  $5.0 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ , sehingga konsentrasi impuriti sebesar 1 ppba berkaitan dengan kerapatan sebesar  $5 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ . Kebanyakan dari kerapatan impuritas residual ini merupakan impuritas akseptor seperti boron, dan resistivitas yang terkait dengan kerapatan impuritas di atas tadi hampir 300 ohm-cm. Polycrystalline silicon dengan konsentrasi impuritas kurang dari 0,1 ppba itu ada.

Proses pertumbuhan kristal Czochralski merupakan proses yang paling sering digunakan untuk memproduksi *ingot* silikon kristal tunggal. Polycrystalline silicon bersama dengan sejumlah *dopant* yang cukup atau silikon yang didoping dimasukkan ke dalam sebuah *quartz crucible*, yang kemudian dimasukkan sebuah tungku pertumbuhan kristal.

Bahan itu kemudian dipanasi sampai pada suhu sedikit di atas titik cair/leleh silikon yaitu  $1420^\circ\text{C}$ . Sebuah batang kecil silikon kristal tunggal yang disebut sebuah *seed crystal* kemudian dicelupkan ke dalam cairan/lelehan silikon dan perlahan-lahan ditarik, seperti pada gambar di bawah ini. Konduksi panas pada *seed crystal* itu akan menurunkan suhu lelehan silikon yang terhubung dengan *seed crystal* itu sedikit di bawah titik leleh silikon.

### Fabrikasi dan Karakteristik IC

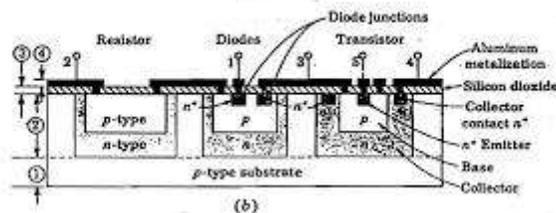
Sebuah rangkaian terintegrasi (integrated circuit/IC) difabrikasi dengan chip silikon kristal tunggal, biasanya dengan permukaan 50 kali 50 mil, mengandung komponen-komponen baik yang aktif maupun yang pasif dengan interkoneksinya. IC seperti itu dibuat melalui proses-proses yang sama dengan proses fabrikasi membuat komponen diskrit seperti transistor, dan dioda. Proses-proses itu terdiri dari pertumbuhan epitaksial, difusi impuriti dengan masker, pertumbuhan oksida, dan pengikisan oksida dengan proses fotolitografi untuk membuat polanya.

Dengan menggunakan metoda yang dinamakan *batch processing* maka dapat dilakukan pengulangan dengan baik yang dapat diterapkan untuk memproduksi IC secara besar-besaran berbiaya rendah.

### Teknologi Rangkaian Terintegrasi

Fabrikasi IC berdasarkan atas bahan-bahan, proses-proses, dan prinsip-prinsip perancangan yang digunakan, yang menimbulkan teknologi semikonduktor (teknologi silikon) atau teknologi rangkaian terintegrasi atau teknologi mikroelektronika yang sedang berkembang dengan cepat.

Struktur dasar sebuah IC sederhana seperti gambar di bawah ini, yaitu struktur IC gerbang Diode Transistor Logic Inverter (DTL Inverter) dengan satu input, yang terdiri empat lapisan bahan yang berlainan.



Lapisan terbawah (1) adalah silikon jenis-p (tebal 6 mil) sebagai substrat, yang di atasnya akan dibentuk IC-nya. Lapisan kedua (2) adalah lapisan jenis-n yang tipis (biasanya 25 mikrometer = 1 mil) yang ditumbuhkan sebagai kelanjutan lapisan substrat kristal tunggal. Semua komponen baik yang aktif maupun yang pasif dibentuk di dalam lapisan kedua (jenis-n) yang tipis ini dengan menggunakan serangkaian proses difusi. Komponen-komponen itu adalah transistor, dioda, kapasitor, dan resistor, yang dibuat dengan jalan mendifusikan impuriti jenis-p dan impuriti jenis-n.

Komponen yang paling rumit difabrikasi adalah transistor, sedangkan komponen-komponen yang lain diproses melalui salah satu atau lebih cara proses untuk membuat transistor itu.

Dalam fabrikasi semua komponen di atas tadi diperlukan untuk mendistribusikan impuriti pada bagian-bagian tertentu secara tepat ke dalam lapisan (2) adalah jenis-n. Difusi impuriti itu dilakukan secara selektif dengan menggunakan lapisan pelindung [silikon dioksida](#) ( $\text{SiO}_2$ ) untuk melindungi bagian wafer yang lain terhadap perembesan impuriti. Jadi, lapisan (3) adalah silikon dioksida ( $\text{SiO}_2$ ), dan silikon dioksida itu juga sebagai pelindung permukaan wafer dari kontaminasi.

Pada bagian-bagian yang akan dilaksanakan difusi, lapisan silikon oksidanya dikikis (di-*etching*) habis, bagian silikon sisanya tetap terlindungi dari proses difusi. Untuk pengikisan silikon dioksida secara selektif dikerjakan dengan proses fotolitografi pada lapisan silikon dioksida. Terakhir, untuk membuat interkoneksi antar komponen, di atas permukaan wafer di lapisi dengan lapisan metalik (aluminum) sebagai lapisan keempat (4). Kemudian dengan proses fotolitografi dan proses *etching* di atas lapisan (4) dibuat pola interkoneksinya.

### Gerbang DTL Inverter

Untuk membuat IC gerbang *DTL Inverter* (*Diode Transistor Logic Inverter*) dengan satu input di bawah ini dalam bentuk terintegrasi (terpadu) maka diperlukan teknik dan proses yang akan dibahas disini. Konfigurasi ini dinamakan IC monolitik karena IC ini difabrikasi di dalam chip silikon kristal tunggal. Kata 'monolitik' berasal dari bahasa Yunani 'monos' yang berarti 'tunggal' dan 'lithos' yang berarti 'batu'. Jadi, IC monolitik itu difabrikasi pada 'batu tunggal', atau 'kristal tunggal'.

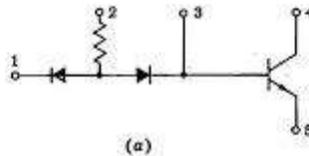


Diagram Skema Gerbang DTL Inverter

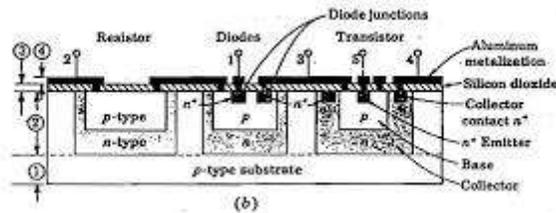
Prinsip kerja (*Operation principle*) dari gerbang DTL dapat dianalisis dengan memberi berturut-turut input LOW dan input HIGH. Pertama diberi input LOW. Dioda input menjadi *forward bias*, dan dioda di belakangnya *reversed bias*, sehingga transistor output menjadi *cutoff*. Output DTL menjadi HIGH. Jika rangkaian ini diberi input HIGH, maka dioda input menjadi *reversed bias* dan dioda di belakangnya *forward bias*, sehingga transistor output menjadi *saturation*. Output DTL menjadi LOW. Maka jika dibuat tabel kebenarannya (*truth tabel*) diperoleh tabel berikut ini.

INP	OUT
L	H
H	L

Tabel di atas ini merupakan tabel kebenaran INVERTER atau gerbang NOT.

Karena itu rangkaian di atas tadi disebut DTL INVERTER yang standard atau gerbang NOT>

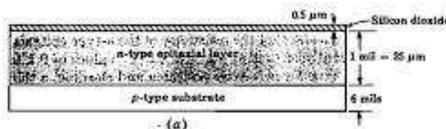
Disini akan dibahas secara kualitatif fabrikasi gerbang DTL INVERTER menjadi bentuk IC. Selanjutnya akan dijelaskan proses-proses: epitaksial, fotolitografi, dan difusi secara rinci. Gerbang logika DTL INVERTE di atas ini mengandung komponen-komponen yang banyak digunakan dalam IC: resistor, dioda, dan transistor, (kapasitor dengan nilai kapasitansi rendah, bila ada).



Penampang Struktur IC Gerbang DTL INVERTER

### Tahap 1. Pertumbuhan Epitaksial

Diawali dengan menumbuhkan lapisan epitaksial, biasanya setebal 25 mikrom, di atas substrat jenis-p yang resistivitasnya biasanya sebesar 10 ohm.cm untuk  $N_A = 1,4 \times 10^{15}$  atom/cm<sup>3</sup>. Untuk lapisan epitaksial jenis-n disini dipilih yang berharga 0,1 sampai 0,5 ohm.cm. Sesudah dipoles dan dibersihkan, seluruh permukaan wafer dilapisi dengan lapisan silikon oksida (SiO<sub>2</sub>) tipis setebal 0,5 mikrometer = 5.000 angstrom.



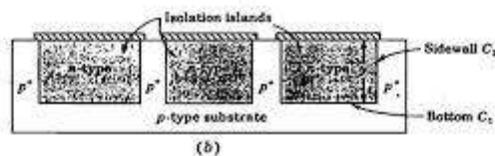
Pertumbuhan Epitaksial

Lapisan SiO<sub>2</sub> itu ditumbuhkan dengan jalan dimasukkan ke dalam lingkungan oksigen sambil dipanasi dengan suhu 1.000°C. Sifat SiO<sub>2</sub> tidak tembus difusi impuriti. Sifat ini dimanfaatkan pada tahap-tahap berikutnya.

### Tahap 2. Difusi Isolasi

Pada gambar di bawah ini, lapisan silikon dioksida sudah dibuang dari permukaan wafer. Pembuangan lapisan silikon dioksida itu dilakukan dengan menggunakan peralatan *etching* (pengikisan) dalam proses fotolitografi. Silikon dioda yang tidak terkikis menjadi penutup/pelindung dari difusi impuriti akseptor (dalam hal ini, impuriti boron).

Sekarang pada wafer itu dikerjakan proses yang disebut *isolation diffusion* (difusi isolasi) yang dilaksanakan pada suhu dan selama selang waktu yang diperlukan oleh impuriti jenis-p untuk bisa merembes masuk ke dalam lapisan epitaksial jenis-p dan bisa mencapai substrat jenis-p. Jadi, menghasilkan bagian-bagian jenis-n seperti yang terlihat pada gambar di bawah ini.



Difusi Isolasi

Bagian-bagian jenis-n itu dinamakan *isolation island*, atau *isolated region*, karena bagian-bagian jenis-n itu terpisah oleh dua buah *back-to-back pn junction* (*back-to-back diode*). Tujuannya agar di antara komponen-komponen IC yang berlainan itu terdapat *elektrical isolation* (isolasi elektrik). Misalnya, akan menjadi jelas nanti bahwa sebuah *isolation region* yang berlainan harus digunakan untuk collector dari setiap transistor yang terpisah. Substrat jenis-p harus selalu dihubungkan pada sebuah potensial negatif terhadap *isolation island* sehingga pn junction menjadi *reverse-biased*. Jika dioda-dioda ini menjadi *forward-biased* dalam IC yang sedang bekerja, maka, tentu saja, isolasinya akan lenyap.

Konsentrasi atom akseptor ( $N_A = 5 \times 10^{20}$  atom/cm<sup>3</sup>) di bagian *isolation island* biasanya jauh lebih besar (dan karena itu diberi tanda p<sup>+</sup>) dibandingkan dengan yang di bagian substrat jenis-p. Alasannya kenapa kerapatannya lebih tinggi adalah untuk menghindari timbulnya *depletion region* dari *isolation-to-substrate junction* yang *reverse-biased* itu melebar sampai pada bahan jenis-p<sup>+</sup>, sehingga ada kemungkinan terjadi hubungan antara dua *isolation island*.

### Kapasitansi Parasitis

*Isolation Region*, atau *junction*, terhubung oleh yang dinamakan *significant barrier*, atau kapasitansi transisi  $C_{Ts}$ , dengan substrat jenis-p, adanya

kapasitansi itu dapat mempengaruhi bekerjanya IC. Karena,  $C_{Ts}$  itu hasil sampingan yang tidak diinginkan dari proses isolasi, sehingga  $C_{Ts}$  disebut kapasitansi parasitis.

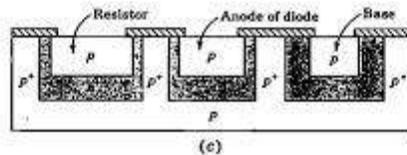
Kapasitansi parasitis merupakan jumlah dua komponen, yaitu kapasitansi  $C_1$  dari setelah bawah bagian jenis-n ke substrat, dan  $C_2$  dari sisi samping *isolation island* ke bagian  $p^+$ .

Komponen sebelah bawah,  $C_1$ , timbul akibat dari *step junction* sehingga berubah berbanding terbalik dengan akar kuadrat tegangan  $V$  antara *isolation region* dengan substrat.

Kapasitansi sisi samping,  $C_2$ , berhubungan dengan *graded junction* berubah berbanding lurus dengan  $V^{-1/2}$ . Untuk komponen ini, luas *junction* sama dengan keliling *isolation region* kali ketebalan lapisan epitaksial jenis-n,  $y$ . Kapasitansi total itu dalam orde beberapa pikofarad.

### Tahap 3. Difusi Base

Di atas wafer dibuat lapisan silikon dioksida baru, dan digunakan lagi proses fotolitografi untuk menggambar pola pembukaan lubang-lubang seperti gambar berikut ini.

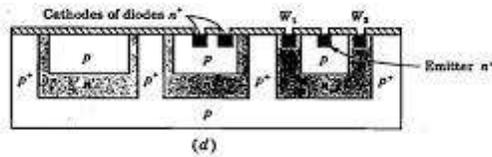


Difusi *Base Impuriti* jenis-p (*boron*) didifusikan melalui lubang-lubang bukaan itu. Dengan cara ini dibuat base dari transistor sekaligus membuat resistor, anoda dari dioda, dan kapasitor junction (bila ada).

Kedalaman difusi base harus dikontrol sedemikian rupa sehingga kedalamannya tidak sampai mencapai substrat. Resistivitas lapisan base jauh lebih besar dari pada resistivitas *isolation region*.

### Tahap 4. Difusi Emiter

Sekali lagi di seluruh permukaan wafer dibuat lapisan silikon dioksida, dilanjutkan dengan proses pemasangan masker dan pengikisan dikerjakan lagi untuk membuka yang dinamakan *window* pada bagian jenis-n seperti pada gambar di bawah ini.



Difusi Emiter

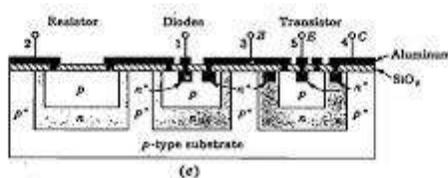
Melalui lubang bukaan ini didifusikan impuriti jenis-n (fosfor) untuk membuat emitter dari transistor, dan bagian katoda dari dioda, serta kapasitor junction (kalau ada).

*Window* tambahan (seperti W1 dan W2 seperti dalam gambar di atas ini) sering dibuat pada bagian jenis-n, tempat menghubungkan sambungan dengan menggunakan aluminium sebagai *ohmic contact*, atau logam interkoneksi.

Selama dikerjakan difusi fosfor pada titik-titik yang akan menjadi tempat-tempat kontak dengan aluminium, terbentuk suatu konsentrasi yang pekat (yang disebut  $n^+$ ). Aluminium merupakan impuriti jenis-p dalam silikon, dan konsentrasi fosfor yang tinggi untuk menghindari terbentuknya pn-junction bila aluminium dicampur untuk membentuk *ohmic contact*.

### Tahap 5. Metalisasi Aluminium

Semua pn-junction dan resistor untuk IC telah selesai dibuat pada tahap-tahap sebelum ini. Beberapa komponen IC itu sekarang tinggal diinterkoneksi sesuai dengan rangkaiannya, dalam proses *metalisasi aluminium*. Untuk membuat sambungan itu dilakukan pembuatan lubang-lubang *window* pada lapisan silikon oksida yang baru dibuat, seperti yang terlihat pada gambar di bawah ini, pada titik-titik tempat kontak akan dibuat.



Metalisasi Aluminium

Untuk membuat interkoneksinya, pertama-tama dengan menggunakan *Vacuum Deposition* untuk membuat lapisan aluminium tipis merata di seluruh permukaan wafer. Kemudian dengan teknik fotorevisi, dikerjakan

pengikisan lapisan aluminium tipis yang tidak dikehendaki, menyisakan pola interkoneksi yang diinginkan di antara resistor-resistor, dioda-dioda, dan transistor, seperti pada gambar di atas.

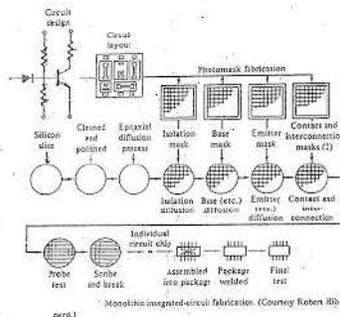
Untuk memproduksi suatu IC yang identik seperti itu dalam jumlah besar (beberapa ratus) dilakukan manufaktur secara simultan pada wafer tunggal. Sesudah proses metalisasi selesai, wafer itu dipotong-potong dengan alat yang berujung berlian, dipisahkan menjadi chip individual. Kemudian setiap chip diletakkan pada sebuah wafer keceramik dan dipasang pada yang dinamakan *header*. Sambungan-sambungan paket dihubungkan pada IC dengan *stitch bonding* berupa kawat aluminium atau emas 1 mil dari *terminal pad* pada IC ke sambungan paket (kemasan).

### Rangkuman

Di atas tadi telah dijelaskan metoda difusi epitaksial dari fabrikasi IC. Telah diterangkan proses-proses berikut ini.

1. Pertumbuhan kristal dari sebuah substrat
2. Pertumbuhan silikon dioksida
3. Proses *photoetching*
4. Proses difusi
5. Proses *vacuum evaporation* aluminium

Dengan menggunakan teknik-teknik ini, dimungkinkan untuk memproduksi komponen-komponen dalam chip yang sama: transistor, dioda, resistor, kapasitor, dan interkoneksi aluminium.



Fabrikasi IC Monolitik

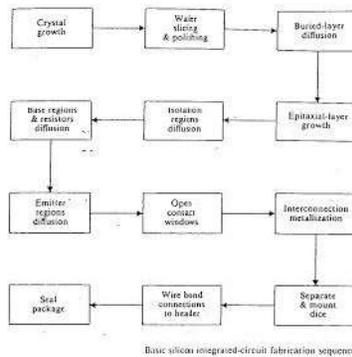
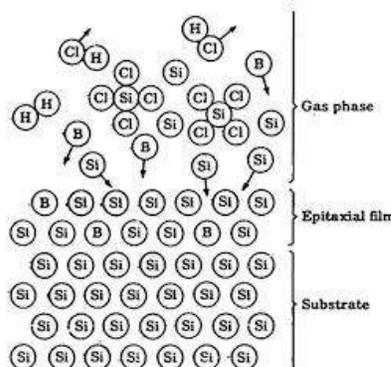


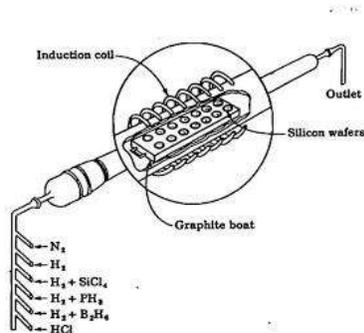
Diagram Alir Fabrikasi IC Silikon

### Pertumbuhan Epitaksial

Proses epitaksial menghasilkan lapisan film tipis (*thin film*) silikon kristal tunggal dari fase gas di atas wafer kristal yang ada dari bahan yang sama. Lapisan epitaksial itu biasanya yang jenis-p maupun yang jenis-n. Pertumbuhan suatu lapisan film tipis epitaksial dengan atom-atom boron yang terperangkap dalam penumbuhan lapisan tipis seperti gambar dibawah ini.

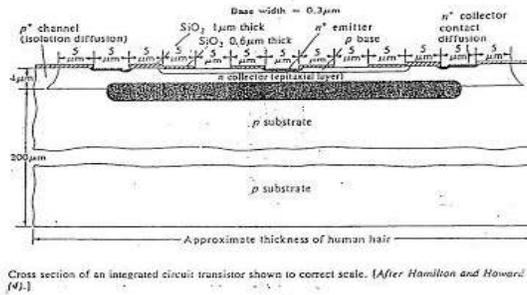


Disini diinginkan membuat lapisan film tipis epitaksial dengan konsentrasi impuriti yang spesifik, maka harus menggunakan impuriti-impuriti misalnya *phosphine* untuk doping jenis-n atau *borane* untuk doping jenis-p yang dimasukkan ke dalam aliran *gastetrachloride-hydrogen*. Peralatan untuk memproduksi suatu lapisan epitaksial seperti pada gambar berikut ini.



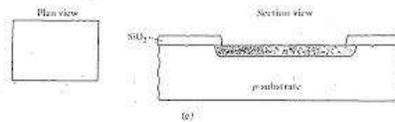
Dalam sistem ini, tabung kuartz panjang yang berbentuk silinder dililiti dengan kumparan induksi frekuensi tinggi. Wafer-wafer silikon diletakkan pada papan *graphite* segiempat yang disebut *boat*. *Boat* itu dimasukkan ke dalam ruang reaksi, dan *graphite* itu panasi secara induktip sampai sekitar  $1.200^{\circ}C$ . Pada masukan ruang reaksi terdapat yang dinamakan *control console* untuk mengatur pemasukan beberapa macam gas yang diperlukan dalam penumbuhan lapisan-lapisan epitaksial yang cocok. Jadi, dimungkinkan untuk membentuk pn-junction yang hampir *abrupt step*.

### Struktur IC Transistor Bipolar

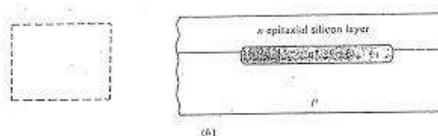


Penampang tegak sebuah transistor bipolar dalam bentuk IC dengan skala tepat

Urutan proses fabrikasi IC transistor bipolar seperti yang terlihat pada gambar-gambar di bawah ini. Dengan membuat perancangan pola yang akurat, maka pembuatan komponen IC dapat dibuat sekaligus di atas permukaan wafer.

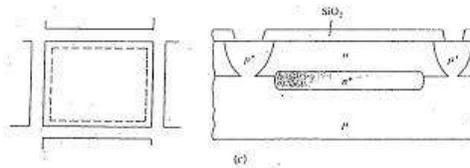


(a) Suatu lapisan tipis silikon dioksida dibuat di atas permukaan silikon jenis-p dengan jalan mengenakan wafer itu pada oksigen atau uap air dalam tungku listrik. Dengan memakai masker yang pertama, ditentukan daerah yang dinamakan *subcollector* n+ atau *buried layer* (lapisan terpendam), yang bertahanan rendah yang menghubungkan daerah base-collector aktif (terletak di tengah-tengah komponen bila sudah jadi) dengan daerah kontak collector di permukaan atas. Dengan difusi termal atau dengan implantasi ion terbentuk *buried layer* jenis-n yang *heavily doping*.

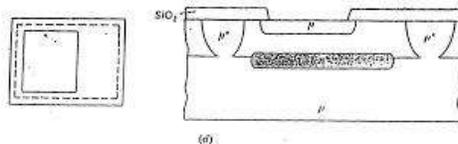


(b) Lapisan pelindung silikon dioksida dibuang, seluruh permukaan wafer

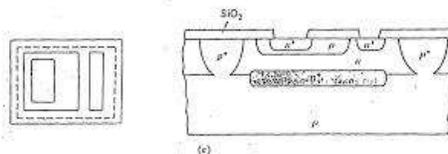
silikon menjadi terbuka. Dengan proses *chemical vapor deposition* (CVD) bersuhu tinggi kemudian terbentuk lapisan epitaksial, suatu lapisan silikon jenis-n kristal tunggal setebal 2 sampai 5 mikro m di atas seluruh permukaan wafer. Selama pembuatan lapisan epitaksial, bahan doping jenis-n yang sebelumnya digunakan pada pembuatan *buried layer* didifusikan ke seluruh permukaan. Penampang wafer pada tahap ini seperti terlihat gambar di atas.



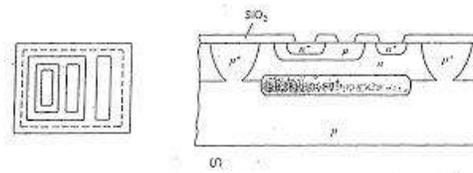
(c) Sekarang terbentuk lapisan silikon dioksida baru. Penggunaan masker kedua untuk menentukan batas-batas yang mengelilingi seluruh daerah silikon jenis-n yang akan menjadi collector transistor yang terisolasi secara elektrik. Kemudian proses difusi jenis-p dilakukan ke dalam daerah perbatasan dilanjutkan sampai lapisan epitaksial tertembus seperti terlihat pada gambar di atas. Jadi, daerah (*island*) silikon jenis-n dikelilingi silikon jenis-p pada sisi-sisinya. Dengan jalan memasang tegangan sedemikian rupa sehingga *pn junction* menjadi *reverse bias* maka terjadi isolasi secara elektrik. Di atas daerah-daerah terisolasi ini kemudian ditumbuhkan lapisan oksida termal baru.



(d) Masker ketiga digunakan untuk menentukan daerah base dari transistor npn. Pola untuk resistor dibuat bersamaan di dalam daerah jenis-p terisolasi yang terpisah. Kemudian boron didifusikan atau diimplantasikan untuk membentuk base atau resistor. Bahan collector (jenis-n) mengalami konversi sampai menjadi jenis-p, yaitu ketika kerapatan impuriti melampaui impuriti jenis-n, suatu keadaan yang disebut *overcompensation*. Struktur sesudah ini seperti terlihat pada gambar di atas.



(e) Masker keempat digunakan untuk menentukan emitter dari transistor npn dan daerah jenis-n sebagai kontak bertahanan rendah untuk collector. Disini terjadi lagi konversi bahan base jepis-p menjadi jenis-n yang memerlukan proses *overcompensation*. Tidak hanya itu, setiap lapisan yang mengalami difusi secara berurutan harus diberi doping yang lebih banyak dibandingkan dengan lapisan yang mengalami *overcompensation*.



(f) Masker kelima digunakan untuk menentukan daerah-daerah yang akan ditempati kontak-kontak collector, base, dan emitter, seperti yang terlihat pada gambar di atas. Kemudian pada seluruh permukaannya dilapisi dengan aluminium tipis melalui proses evaporasi. Sesudah itu dilakukan proses *etching* (pengikisan) menggunakan masker keenam untuk membentuk pola interkoneksi yang diinginkan.

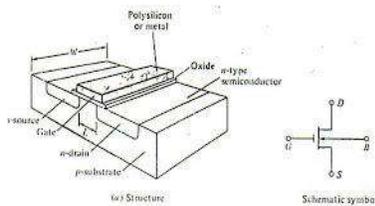
Selanjutnya, di atas seluruh permukaan dibuat suatu lapisan pelindung (sering disebut *scratch protection* atau cukup disebut *scratch*). Masker terakhir digunakan untuk membuang lapisan pelindung yang terletak pada *pad*, tempat kontak dibuat. IC itu kemudian akan dtest dengan menggunakan *probe* yang berbentuk seperti jarum pada *contact pad*. Unit-unit yang rusak diberi tanda titik dengan tinta, dan kemudian wafer itu dipotong-potong menjadi chip-chip. Chip-chip yang baik lalu dibuatkan *package* (kemasan) dan dilanjutkan dengan dilakukan *final test*.

Urutan proses yang dibahas di atas merupakan fabrikasi yang paling sederhana yang dapat menghasilkan IC transistor bipolar dengan kinerja tinggi. Proses fabrikasi yang lebih rumit menggunakan lebih banyak masker untuk memperoleh kinerja yang lebih unggul, kerapatan yang lebih besar, dan lain-lain. Dengan menggunakan ion implanter, tempat dan konsentrasi atom impuriti dapat dikendalikan lebih ketat. Kerapatan IC masih mungkin diperbaiki menjadi lebih memadai bila daerah isolasi jenis-p diganti dengan silikon dioksida ( $\text{SiO}_2$ ), dengan menggunakan proses oksidasi lokal yang selektif. Proses IC bipolar sering dilakukan penambahan dengan jalan membuat lapisan metalisasi interkoneksi yang kedua.

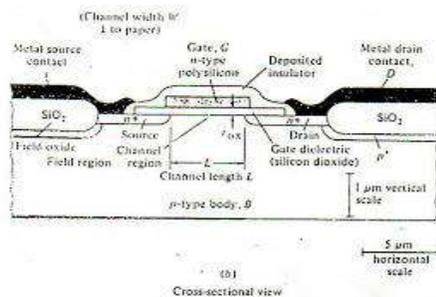
### Struktur dan Prinsip Kerja Transistor Metal Oxide Semiconductor (MOS)

Analisis dan perancangan IC sangat tergantung pada pemilihan model yang cocok sebagai komponen IC. Untuk analisis secara manual, cukup digunakan model-model yang sederhana. Untuk analisis dengan komputer, digunakan model-model yang lebih rumit.

Karena untuk analisis, atau perancangan, hanya seakurat seperti model-model yang digunakan, maka pemahaman model-model yang mendalam dan derajat pendekatan yang diambil adalah penting. Karena itu, struktur internal dan proses konduksi di dalam transistor dan dioda perlu dikaji dengan baik. Dalam analisis dan perancangan IC digital perlu mengetahui model yang digunakan sebagai pendekatan divais.



Di atas ini adalah gambar perspektip dan simbol skematis dari transistor MOS kanal-n dengan gate silikon



Penampang transistor MOS di atas ini digambar dengan jelas dan secara rinci untuk menerangkan prinsip kerja transistor nMOS. Bila suatu tegangan dikenakan pada elektroda gate maka timbul suatu medan elektrik untuk mengatur konduksi di antara bagian source dan bagian drain yang *heavily*

*doping* ( $n^+$ ). Karena menggunakan medan elektrik, divais ini adalah salah satu bentuk dari *field-effect transistor* (FET).

Karena gate tersekat sama sekali dari elektroda-elektroda yang lain, divais ini disebut juga *insulated gate field-effect transistor* (IGFET). Masih ada nama lain, yaitu transistor unipolar. Disebut transistor unipolar, karena hanya ada satu macam pembawa muatan (elektron di dalam nMOS) yang diperlukan untuk operasi divais ini. Hole yang 'bergerak' dalam substrat jenis-p pada transistor nMOS tidak terlibat dalam operasi yang normal. Berlainan dengan sebuah nMOS atau transistor unipolar lain, sebuah transistor bipolar npn atau pnp harus melibatkan baik elektron maupun hole dalam operasinya.

Belum ada terminologi yang baku yang diterima secara luas, sehingga istilah MOST, MOSFET, FET, dan IGFET masih banyak digunakan untuk menyebut divais MOS ini.

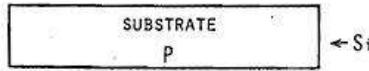
Struktur divais transistor nMOS ini untuk menjadi IC dengan urutan langkah-langkah: oksidasi, *pattern definition* (penentuan pola), difusi, implantasi ion, dan proses-prose deposisi, serta pembuangan material.

Pada divais transistor pMOS, polaritas tegangan simetris tapi berlawanan dengan polaritas tegangan divais transistor nMOS. Pembahasan divais nMOS di atas tadi juga berlaku untuk pembahasan divais pMOS. Mengenai penentuan polaritas positif, negatif dan jenis-n, jenis-p saling dipertukarkan bila keduanya muncul bersamaan.

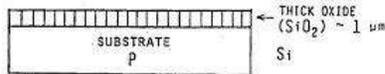
### **Proses fabrikasi Transistor nMOS dengan Teknologi MOS**

Untuk memahami aspek-aspek perancangan berbasis proses, maka pertamanya perlu dipelajari yang dinamakan *polysilicon gate self-aligning nMOS process*. Disini akan dibahas pembuatan *enhancement mode transistor* dalam bentuk IC di dalam substrat silikon.

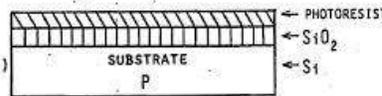
**Tahap 1** Sebuah wafer tipis silikon murni dengan diameter 75 sampai 100 mm dan tebal 0,4 mm mengalami doping dengan impuriti atom boron dengan konsentrasi  $10^{15}$  sampai  $10^{16}$  atom/cm<sup>3</sup> dan wafer dengan resistivitas 25 sampai 26 ohm.cm.



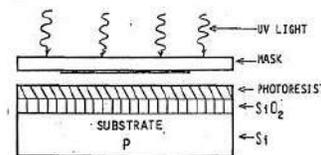
**Tahap 2** Seluruh permukaan wafer kemudian dibuat lapisan silikon dioksida ( $\text{SiO}_2$ ) setebal 1 mikro m sebagai lapisan pelindung terhadap dopant (bahan doping) selama dilakukan proses.



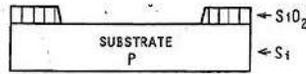
**Tahap 3** Sekarang, di atas seluruh permukaan dilapisi dengan *photoresist* dan diputar untuk mendapatkan lapisan yang rata dengan ketebalan tertentu.



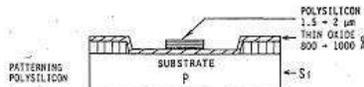
**Tahap 4** Selanjut lapisan photoresist disinari dengan ultraviolet melewati masker untuk menentukan tempat-tempat yang akan dilakukan difusi. Pada tempat yang terkena radiasi sinar ultraviolet terjadi polimerisasi (mengeras), tapi pada tempat yang tidak tembus sinar ultraviolet tidak terjadi polimerisasi.



**Tahap 5** Kemudian dilakukan proses *development* (pengembangan) untuk membersihkan *photoresist* yang tidak mengalami polimerisasi. Selanjutnya dilakukan proses *etching* untuk mengikis silikon dioksida yang tidak dilindungi *photoresist*. Sekarang ada permukaan wafer yang terbuka, tidak ditutupi oleh silikon oksida.



**Tahap 6** Sisa photoresist dibersihkan/dihapus dan selanjutnya di seluruh permukaan wafer ditumbuhkan lapisan silikon tipis setebal 0,1 mikro m dan di atas silikon dioksida tipis dituang polsilikon untuk membuat gate.



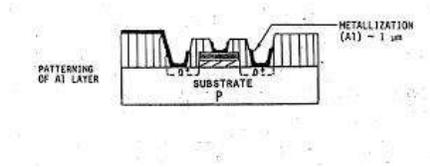
**Tahap 7** Sekali lagi dilakukan pelapisan photoresist dan dengan menggunakan masker untuk membuat pola polisilikon dan lapisan silikon di bawahnya dikikis untuk membuka tempat-tempat dilakukan difusi impuriti jenis-n untuk membuat source dan drain. Difusi ini dikerjakan dengan jalan memanasi wafer pada suhu tinggi dan di atas permukaan waafer dilitwatkan gas pembawa impuriti fosfor. Selama difusi polisilikon, silikon dioksida menjadi pelindung, proses itu disebut *self-aligning*.



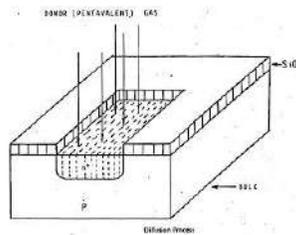
**Tahap 8** Penumbuhan lapisan silikon dioksida tebal di seluruh permukaan lagi, dan di atasnya dilapisi dengan photoresist untuk membuka tempat-tempat di gate polisilikon, di source dan drain untuk membuat sambungan.



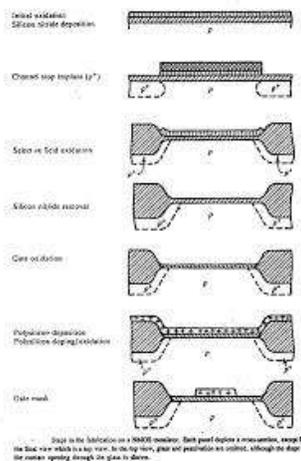
**Tahap 9** Kemudian di atas seluruh permukaan wafer dituangkan lapisan aluminium setebal 1 mikro m. Selanjutnya lapisan aluminium dilapisi photoresist dan di atasnya diberi masker untuk membentuk pola interkoneksi yang diinginkan.

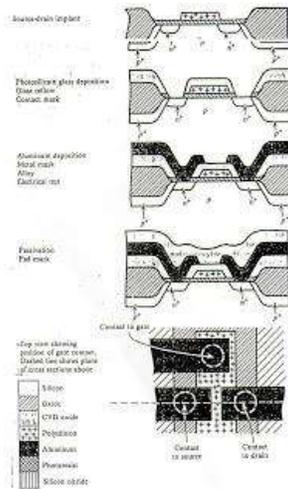


Jadi, proses fabrikasi IC dengan teknologi MOS merupakan pengulangan-pengulangan di seputar pembentukan atau penuangan (*deposition*), membuat pola (*patterning*) tiga lapisan, dipisahkan dengan penyekat (*insulation*) silikon dioksida. Lapisan-lapisan itu terdiri dari lapisan difusi dalam substrat, polisilikon di atas silikon dioksida pada substrat, dan lapisan metal yang tersekat terhadap silikon dioksida.



Urutan proses fabrikasi IC transistor nMOS digambarkan dengan penampang tegaknya sebagai berikut.

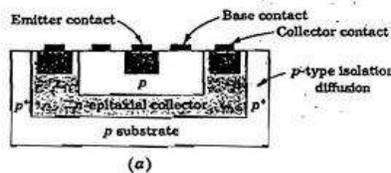




Pada gambar *top view* (tampak atas), lapisan kaca dan *passivation* tidak digambarkan, meskipun bentuk bukaan kontak terlihat melalui lapisan kaca. Gambar *top view* menunjukkan posisi gate. Garis terputus-putus menunjukkan bidang penampang tegak.

### Transistor dalam IC Monolitik

Penampang tegak sebuah transistor planar dalam IC monolitik, yang difabrikasi dengan proses epitaksial dan difusi, seperti gambar berikut ini.

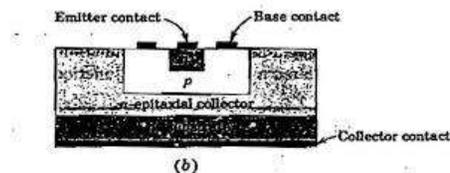


### Cross section of a monolithic IC transistor

Disini collector terpisah dari substrat secara elektrik karena dioda-dioda isolasinya dalam keadaan *reverse biased*. Anoda dari dioda isolasi meliputi seluruh bagian belakang wafer, sehingga kontak collector harus dibuat di atas, seperti terlihat pada gambar di atas tadi.

Jadi jelas sekarang, bahwa dioda isolasi dari transistor dalam IC mempunyai dua pengaruh yang tidak diinginkan. Yaitu, dioda isolasi memperbesar kapasitansi shunt yang parasitik pada collector dan memperpanjang jalur arus bocor. Selain itu, keharusan menempatkan sambungan collector di atas dapat memperpanjang jalur arus-collector akibatnya resistansi collector dan  $V_{CE,sat}$  semakin besar.

Semua pengaruh yang tidak diinginkan itu tidak terdapat pada transistor epitaksial yang diskrit, seperti yang terlihat pada gambar berikutt ini.



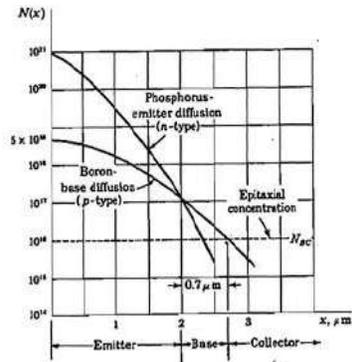
**Cross section of a discrete planar epitaxial transistor**

Kemudian, apa gunanya membuat transistor IC monolitik. Salah satunya adalah perbaikan yang signifikan dalam kinerja, karena transistor-transistor dalam IC secara fisik terletak saling berdekatan, dan karakteristik elektriknya hampir padan (*matched*). Misalnya, spasi transistor-transistor dalam IC sekitar 30 mil (0,03 in), mempunyai  $V_{BE}$  sebesar 5 mV dengan koefisien suhu  $10 \mu V/^{\circ}C$ . Transistor-transistor ini cocok untuk membuat sebuah *difference amplifier* unggulan.

Karakteristik elektrik sebuah transistor tergantung pada ukuran dan geometri transistor, *doping level*, jadwal difusi, bahan dasar silikon. Dari semua faktor ini ukuran dan geometri memberikan fleksibilitas perancangan yang terbesar. *Doping level* dan jadwal difusi ditentukan oleh jadwal difusi standard yang dipakai untuk membuat transistor-transistor yang diinginkan dalam IC.

### **Profil Impuriti Untuk Transistor IC Monolitik**

Transistor dalam IC Monolitik biasanya mempunyai profil impuriti sebagai berikut.



**A typical impurity profile in a monolithic IC transistor. (Note that  $N(x)$  is plotted on a logarithmic scale)**

*Background concentration*  $N_{BC}$  (konsentrasi latarbelakang), atau *epitaxial-collector concentration*, digambarkan dengan garis terputus-putus dalam grafik profil di atas ini. Difusi base dari impuriti jenis-p (boron) dimulai dengan konsentrasi dipermukaan sebanyak  $5 \times 10^{18}$  atom/cm<sup>3</sup>, dan didifusikan sampai kedalaman  $2,7 \mu\text{m}$ , pada tempat *collector junction* terbentuk.

Difusi emitter (fosfor) dimulai dengan konsentrasi permukaan yang jauh lebih banyak (mendekati *solid solubility*-nya) sekitar  $10^{21}$  atom/cm<sup>3</sup>, dan didifusikan sampai kedalaman  $2 \mu\text{m}$ , tempat *emitter junction* terbentuk. Junction ini merupakan titik potong grafik distribusi impuriti base dengan grafik distribusi impuriti emitter.

Sekarang terlihat bahwa ketebalan base untuk transistor dalam IC monolitik ini adalah  $0,7 \mu\text{m}$ . *Emitter-to-base junction* biasanya merupakan sebuah *step-graded junction*, sedangkan *base-to-collector junction* merupakan sebuah *linearly graded junction*.

### Tataletak Transistor IC Monolitik

Ukuran fisik sebuah transistor menentukan kapasitansi isolasi parasitik juga kapasitansi junction. Karena itu biasanya digunakan transistor-transistor dengan geometri kecil jika IC itu dirancang untuk bekerja pada frekuensi tinggi atau bekerja pada kecepatan *switching* tinggi. Geometri transistor dalam IC monolitik biasanya seperti gambar berikut ini.



TABLE 7-1 Characteristics for 1- by 1.5-mil double-base stripe monolithic transistors<sup>2</sup>

Transistor parameter	0.5 $\Omega$ -cm	0.1 $\Omega$ -cm †
$BV_{CEO}$ , V.....	55	25
$BV_{EBO}$ , V.....	7	5.5
$BV_{CBO}$ , V.....	23	14
$C_{T, \text{forward bias}}$ , pF.....	6	10
$C_{T, \text{at } 0.5 \text{ V}}$ , pF.....	1.5	2.5
$C_{T, \text{at } 5 \text{ V}}$ , pF.....	0.7	1.5
$h_{FE}$ at 10 mA.....	50	50
$R_{ca}$ , $\Omega$ .....	75	15
$V_{CE, sat}$ at 5 mA, V.....	0.5	0.26
$V_{BE}$ at 10 mA, V.....	0.85	0.85
$f_T$ at 5 V, 5 mA, MHz.....	440	520

† Gold-doped.

### Buried Layer

Karena kontak *collector*-nya berada di atas, transistor dalam IC mempunyai resistansi collector seri lebih besar dari pada transistor jenis diskrit yang sama. Salah satu metoda yang biasa digunakan untuk mengurangi resistansi collector seri adalah dengan jalan membuat sebuah *buried layer* (lapisan terpendam) jenis- $n^+$  yang *heavily doping*, yang di-*sandwiched* di antara substrat jenis-p dan collector epitaksial jenis-n, seperti terlihat pada gambar berikut ini.

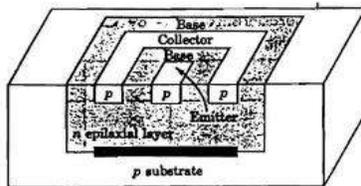


### Utilization of 'buried' $n^+$ layer to reduce collector series resistance

Struktur lapisan terpendam dapat dibuat dengan jalan mendifusikan lapisan  $n^+$  ke dalam substrat sebelum collector epitaksial jenis-n ditumbuhkan, atau dengan jalan menumbuhkan lapisan jenis-n secara selektif, dengan menggunakan *masked epitaxial technique*.

### Transistor p-n-p Lateral

Transistor dalam IC yang standard adalah jenis n-p-n, seperti yang sudah dibahas disini. Dalam beberapa aplikasi sering memerlukan transistor baik yang n-p-n maupun yang p-n-p pada chip yang sama. Struktur p-n-p lateral terlihat pada gambar berikut ini merupakan bentuk transistor p-n-p yang paling sering digunakan.



### A pnp lateral transistor

Transistor p-n-p ini menggunakan teknik difusi yang standard seperti yang digunakan untuk n-p-n, difusi n yang terakhir (yang digunakan transistor n-p-n) tidak dilaksanakan

### Transistor p-n-p Vertikal

Transistor ini menggunakan subtrat sebagai collector p, lapisan epitaksial n sebagai base, dan base p dari transistor n-p-n standard sebagai emitter dari transistor p-n-p ini. Seperti sudah dibahas disini bahwa subtrat harus dihubungkan pada potensial yang paling negatip dalam IC. Karena itu, transistor p-n-p vertikal dapat digunakan hanya bila collector-nya bertegangan negatip tetap. Konfigurasi seperti itu dinamakan *emitter follower*.

### Transistor n-p-n Supergain

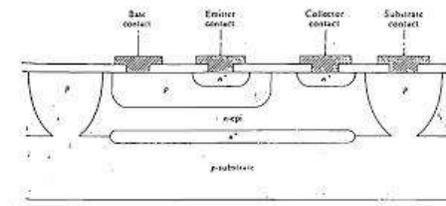
Jika emitter didifusikan sedemikian rupa sehingga mengurangi ketebalan efektif dari base hampir mendekati yang dinamakan titik *punch-through*, *current gain* bisa meningkat secara drastis (biasanya, 5.000). Tapi, *breakdown voltage* berkurang sampai pada harga yang sangat rendah (misalnya 5 volt).

Jika sebuah transistor seperti itu dalam konfigurasi *common emitter*(CE) dihubungkan seri dengan sebuah transistor dalam konfigurasi *common base* (CB) di dalam IC standard (sebuah kombinasi seperti itu dinamakan

rangkaian *cascode*), maka diperoleh *superhigh gain* dengan arus yang sangat kecil dan dengan *breakdown voltage* di atas 50 volt.

### Rancangan Tataletak Transistor n-p-n

Untuk rancangan tataletak transistor n-p-n terdapat bermacam-geometri permukaan. Yang dibahas disini rancangan tataletak sebuah *single base stripe single collector stripe isolated n-p-n transistor* dengan penampang tegak sebagai berikut

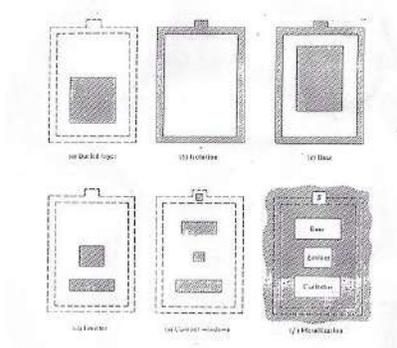


### Cross section of a single-base stripe single-collector stripe isolated npn transistor

Bila semua isolasi sudah selesai dikerjakan dalam proses difusi isolasi dan seluruh permukaan wafer sudah dilapisi silikon dioksida, maka fabrikasi transistor dalam IC masih memerlukan masker-masker untuk difusi:

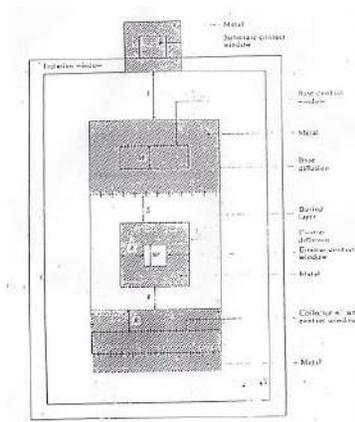
- buried layer jenis-n<sup>+</sup>
- isolasi jenis-p
- base jenis-n
- emitter n<sup>+</sup>
- window untuk contact
- lapisan metalisasi

Pada umumnya, kecuali bila diperlukan jarak antar transistornya yang *closed matching*, kinerja suatu transistor IC tidak tergantung pada geometri permukaan. Karena itu transistor yang paling sering terpakai dalam IC adalah transistor yang memerlukan luas permukaan yang kecil. Luas permukaan kecil yang diperlukan itu tergantung pada ukuran window yang minimum, lebar *line* yang minimum, dan toleransi urutan proses yang digunakan. Untuk transistor npn tunggal (*isolated npn transistor*) memerlukan satu set masker seperti gambar berikut ini.



### A set of masks for npn transistor

Untuk menunjukkan hubungan antara masker yang satu dengan masker yang lain (*inter relationship*) maka pada gambar berikut ini ditunjukkan dalam susunan *superimpose*:

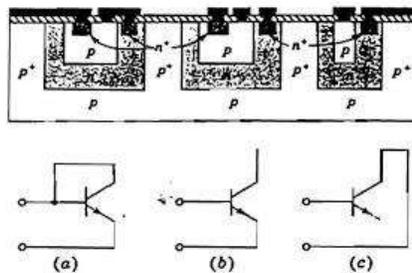


### Dioda dalam bentuk IC Monolitik

Dioda dalam IC dibuat dengan menggunakan salah satu struktur transistor dari enam konfigurasi yang mungkin.

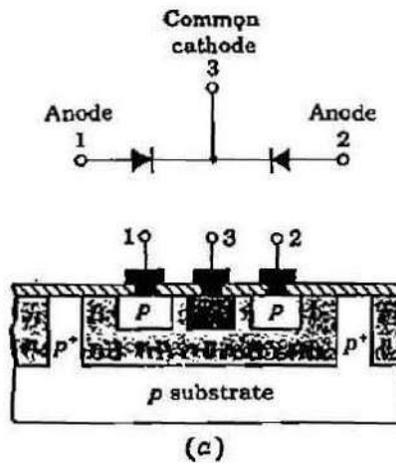
Diode configuration	Series resistance	$V_f$ at 10 mA (mV)	Breakdown voltage	Storage time (ns)
1.	$I_C = 0$ $r_{be}$	$\sim 900$	$BV_{EBO}$	$\sim 70$
2.	$I_B = 0$ $r_{be} + r_{bc}$	$\sim 950$	$BV_{CBO}$	$\sim 130$
3.	$I_B = 0$ (no emitter N <sup>+</sup> diffusion) $r_{be} + r_{bc}$	$\sim 950$	$BV_{CBO}$	$\sim 80$
4.	$V_{CE} = 0$ $r_{be}/\beta$	$\sim 850$	$BV_{EBO}$	$\sim 8$
5.	$V_{EB} = 0$ $r_{be}/\beta_{bc} + r_{bc}$	$\sim 940$	$BV_{CBO}$	$\sim 90$
6.	$V_{CE} = 0$ $r_{be}$	$\sim 920$	$BV_{EBO}$	$\sim 150$

Tiga dari enam konfigurasi dioda yang paling banyak digunakan seperti pada gambar berikut.

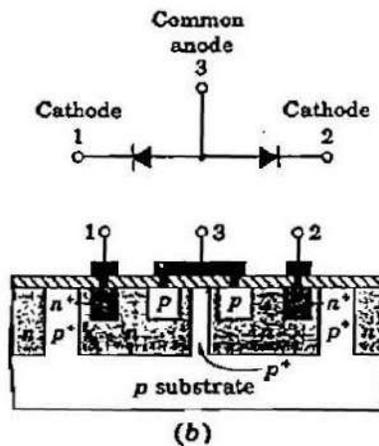


Ketiga struktur dioda itu dibuat dari struktur transistor dengan jalan menggunakan dioda emitter-base, dengan collector dihubungkan-singkat pada base (a); dioda emitter-base, dengan collector dibiarkan terbuka (b); dan dioda collector-base, dengan emitter dihubungkan-terbuka (atau tidak difabrikasi sama sekali) (c). Pemilihan dioda yang akan digunakan tergantung pada aplikasi dan kinerja IC yang diinginkan.

Dioda-dioda collector-base mempunyai tingkat *collector-base voltage-breaking* dari *collector junction* yang lebih besar (minimum 12 volt), dan dioda-dioda collector-base cocok untuk *common-cathode diode arrays* yang didifusikan ke dalam sebuah *isolation island* tunggal, seperti gambar berikut ini.



Common-anode diode arrays dapat juga dibuat dengan *collector-base diffusion*, seperti terlihat pada gambar berikut ini.

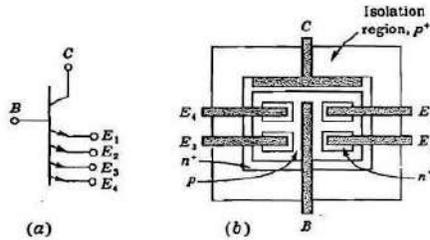


Untuk setiap dioda diperlukan daerah isolasi yang terpisah, dan anoda dihubungkan dengan metalisasi.

Difusi dioda emitter-base banyak digunakan untuk fabrikasi dioda yang mempunyai persyaratan *reverse-voltage* dari IC yang meliwati batas bawah *base-emitter breakdown voltage* (sekitar 7 volt).

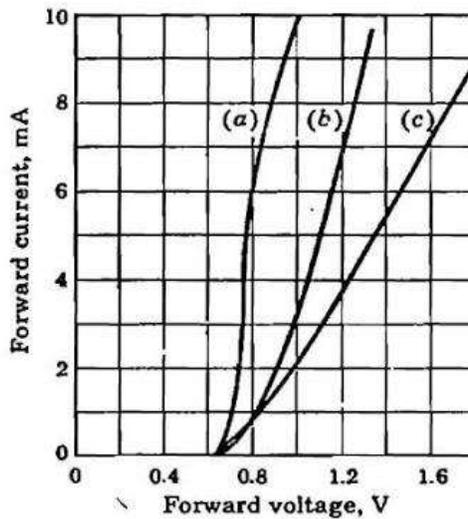
Common-anode diode arrays dapat dengan mudah dibuat dengan difusi emitter-base dengan jalan menggunakan transistor multi-emitter dalam

daerah isolasi tunggal, seperti terlihat pada gambar berikut ini.



Collector bisa terbuka atau dihubung-singkat pada base.

**Karakteristik Dioda** Karakteristik *forward* volt-ampere dari tiga macam dioda itu terlihat pada gambar berikut ini.



Karakteristik volt-ampere untuk ketiga macam dioda pada grafik di atas ini.

- base-emitter (collector dihubung-singkat dengan base)
- base-emitter (collector terbuka)
- collector-base (emitter terbuka)

Terlihat dalam karakteristik dioda diatas ini, transistor yang dihubungkan sebagai dioda (dioda emitter-base dengan collector dihubung-singkat pada

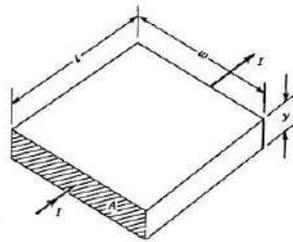
base) mempunyai konduksi yang terbesar pada suatu tegangan *forward* tertentu. *Reverse recovery time* untuk dioda ini lebih cepat, sepertiga sampai seperempat dari dioda collector-base.

### Resistor dalam IC Monolitik

Resistor dalam IC monolitik sering diperoleh dengan menggunakan *bulk resistivity* dari salah satu daerah yang didifusikan. Difusi base jenis-p paling sering digunakan, meskipun difusi emitter jenis-n juga digunakan. Karena lapisan difusi ini sangat tipis, maka lebih mudah mendefinisikan besaran yang disebut *sheet resistance* ( $R_s$ ).

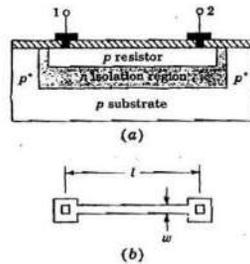
### Sheet Resistance

Jika, pada gambar berikut ini, lebar  $W$  sama dengan panjang  $L$ , maka diperoleh sebuah bujursangkar  $L$  kali  $L$  dari bahan dengan resistivitas  $\rho$ , ketebalan  $y$ , dan luas penampang tegak  $A = Ly$ .



Resistansi konduktor bujursangkar ini (dalam ohm per square) adalah:  $R = \rho \cdot L/A = \rho \cdot L/Ly$  sehingga  $R = \rho/y$  yang dinamakan *sheet resistance*  $R_s$  dengan satuan ohm/sq.

Hendaknya dicatat disini bahwa  $R_s$  tidak tergantung pada ukuran bujursangkar (square). Biasanya, *sheet resistance* difusi base dan difusi emitter berturut-turut adalah 200 ohm/sq dan 2,2 ohm/sq. Konstruksi sebuah resistor difusi base terlihat seperti pada gambar berikut ini.



Dan tampak atasnya terlihat pada gambar di atas ini. Harga resistansi dapat dihitung sebagai berikut

$$R = \rho \cdot L/A = \rho \cdot L/yW = (\rho/y)(L/W) \text{ maka } R = R_s \cdot (L/W)$$

Dimana  $L$  dan  $W$  adalah panjang dan lebar daerah difusi seperti yang terlihat pada tampak atas. Misalnya sebuah *base-diffused-resistor stripe* dengan lebar 1 mil dan panjang 10 mil mempunyai harga  $10 \times 200$  sama dengan 2000 ohm. Koreksi untuk kontak ujung, biasanya secara empiris dimasukkan dalam perhitungan harga  $R$ .

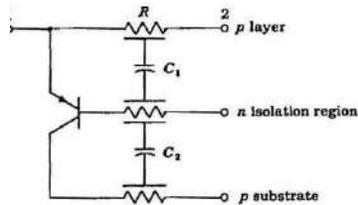
### Resistance Value

Karena *sheet resistance* dari difusi base dan dari difusi emitter itu tetap, satu-satunya parameter yang ada untuk disain resistor difusi adalah panjang *stripe* dan lebar *stripe*.

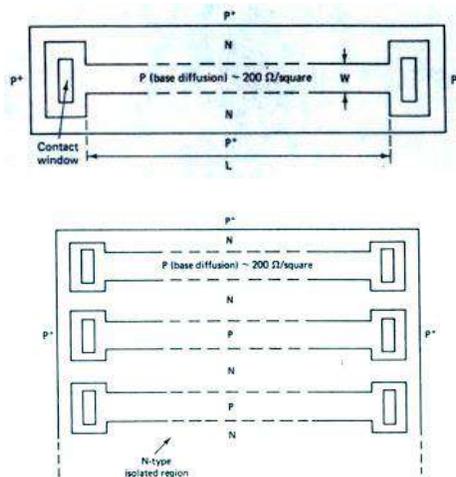
Lebar *stripe* yang kurang dari 1 mil (0,001 inci) tidak biasa digunakan, karena ada yang dinamakan *line-width variation* sebesar 0,001 inci akibat dari *mask drawing error*, atau *mask misalignment*, atau *photographic-resolution error* yang dapat menimbulkan *resistor-toleranc error* (kesalahan toleransi resistor) sebesar 10%.

### Rangkaian Ekuivalen

Sebuah model resisstor difusi yang terlihat pada gambar berikut ini termasuk di dalamnya kapasitansi-kapasitansi isolasi-base ( $C_1$ ) dan junction-junction isolasi-substrat ( $C_2$ ). Selain itu, dapat terlihat adanya transistor parasitik p-n-p, substrat sebagai collector, daerah isolasi jenis-n sebagai base, bahan jenis-p dari resistor sebagai emitter.

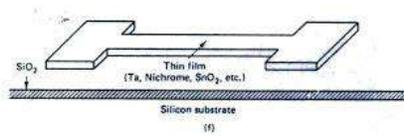


Collector dari transistor parasitik itu dalam keadaan *reverse-bias* karena subtrat jenis-p berada pada potensial yang paling negatif. Emiter harus juga *reverse-bias* agar transistor parasitik tetap dalam keadaan *cutoff*. Keadaan ini dapat diperoleh dengan jalan menempatkan semua resistor dalam *isolation region* yang sama dan menghubungkan *isolation region* jenis-n di sekeliling resistor-resistor pada tegangan yang paling positif yang ada di dalam IC. Transistor parasitik mempunyai harga  $h_f$  biasanya dalam selang dari 0,5 sampai 5.



### Thin-film Resistor

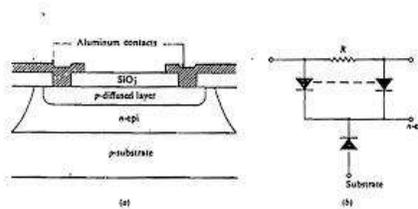
Dengan menggunakan teknik yang disebut *vapor thin-film deposition* dapat juga difabrikasi resistor-resistor untuk IC. Di atas lapisan silikon dioksida dibuat lapisan film metal (biasanya nichrome NiCr) dengan ketebalan kurang dari 1 mikrometer, dan dengan proses *etching* memakai masker dibuat geometri yang diinginkan.



Kemudian di atas resistor logam itu dibuat lapisan insulator, sedangkan lubang-lubang bukaan (*window*) untuk *ohmic contact* dibuat melalui lapisan insulator ini. Resistor-resistor *thin-film* nichrome mempunyai harga *sheet-resistance* sebesar 40 sampai 400 ohm/sq yang dapat menimbulkan resistansi dari sekitar 20 ohm sampai 50 kiloohm

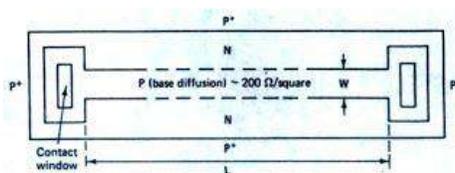
### Rancangan Tataletak Resistor Difusi

Dalam IC sering diperlukan resistansi yang besar. Untuk memfabrikasi sebuah resistor difusi dalam IC biasanya dilakukan dengan difusi impuriti-p, seperti halnya difusi base untuk transistor n-p-n dalam IC. Resistor difusi dalam IC mempunyai penampang tegak dengan struktur sebagai berikut.



Harga resistansi ditentukan oleh geometri (panjang  $L$  dan lebar  $W$ ) dari tampak atas permukaan resistor difusi, disamping ditentukan karakteristik profil impuritinya.

$$R = R_s (L/W)$$

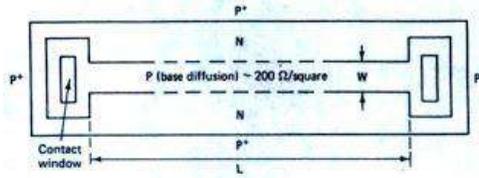


$L/W$  disebut *aspect ratio* dari geometri permukaan resistor, Karena itu, *aspect ratio*  $L/W$  menunjukkan banyaknya *square* yang efektif yang terdapat dalam resistor difusi. Bila semua isolasi sudah selesai dikerjakan

dengan proses difusi isolasi dan seluruh permukaan wafer sudah selesai dilapisi silikon dioksida, maka fabrikasi resistor difusi masih memerlukan masker-masker untuk proses-proses:

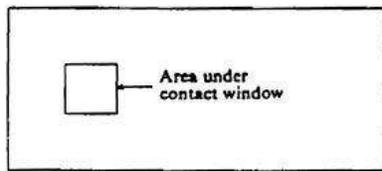
1. difusi jenis-p
2. pembuatan lubang-lubang kontak (*window*)
3. pembuatan lapisan metalisasi interkoneksi

Masker-masker yang diperlukan dalam fabrikasi resistor difusi itu juga dibuat dengan menggunakan sistem fotografi seperti pada pembuatan masker-masker untuk kapasitor MOS. Jika sheet resistance  $R_s$  diketahui maka *aspect ratio*  $L/W$  dapat dihitung dengan  $L/W = R R_s$ .

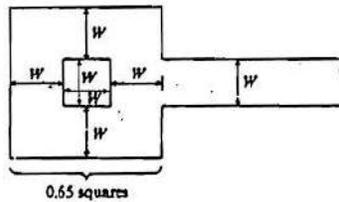


Dalam merancang tataletak resistor difusi harus diketahui bagaimana kontak untuk resistor itu dibuat, karena geometri resistor mempengaruhi harga resistansinya. Antara aluminium dan silikon terdapat yang dinamakan *ohmic contact* yang konduktansinya 0,08 mho/mil<sup>2</sup>. Artinya, *contact window* seluas 1 mil<sup>2</sup> dapat menimbulkan resistansi sebesar  $1/0,08 = 12,5$  ohm, yang harus dimasukkan dalam perancangan tataletak resistor difusi.

*Contact window* tidak boleh *overlapping* (tumpang tindih) dengan bagian tepi dari resistor, karena harus memenuhi kesalahan registrasi, maksimum sebesar 1 mil. Bila dimensi *contact window* itu minimum 1 x 1 mil, maka berarti lebar badan resistor itu  $W = 1 + 1 + 1 = 3$  mil.



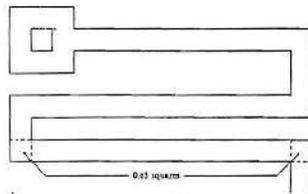
Yang sering terjadi, lebar badan resistor itu  $W = 1$  mil. Sehingga untuk mendapatkan *registration clearance*, bagian ujung resistor (disebut *end pad*) harus diperlebar seperti terlihat pada gambar berikut ini.



Meskipun *end pad* itu  $3 \times 3$  mil, tapi nilainya hanya  $0,65 \text{ square}$ , bukan  $9 \text{ square}$ .

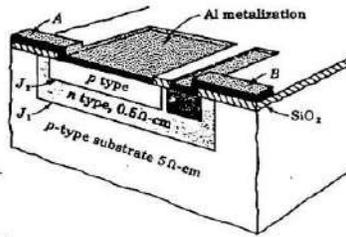
Bila diperlukan resistansi yang jauh lebih besar, maka timbul masalah. Misalnya, diperlukan sebuah resistor 100 kilo-ohm dalam sebuah chip yang berukuran  $100 \times 100$  mil. Dengan *sheet resistance*  $R_s = 200 \text{ ohm/sq}$  dan lebar  $W = 1$  mil, maka resistor mempunyai kurang lebih  $L = 500$  mil.

Sehingga tataletak resistor itu tidak mungkin dibuat memanjang lurus. Dalam hal ini harus diterapkan tataletak dengan geometri zig-zag atau *maze*, seperti pada gambar berikut ini.



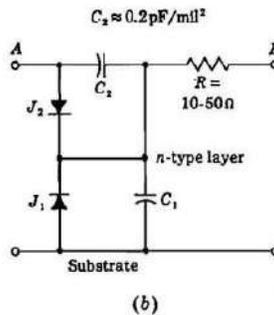
Tapi, pada lebar badan resistor ada garis-garis gaya medan listrik yang tidak rata, yaitu lebih rapat pada bagian sudut dalam. Sehingga satu *square* pada sudut resistor tidak lagi  $1 \text{ sq}$  tapi sekitar  $0,65 \text{ sq}$ . Jadi, kalau dipandang perlu untuk menekuk resistor itu, maka hal ini harus diperhitungkan.





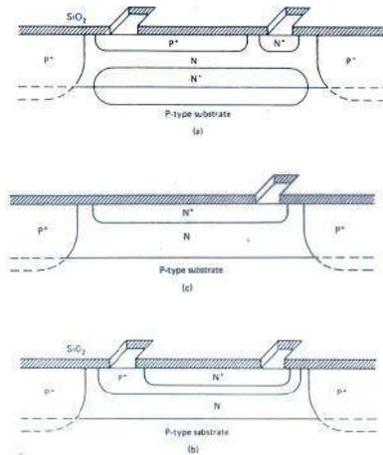
Kapasitor terbentuk oleh junction  $J_2$  yang *reverse-biased* yang memisahkan lapisan epitaksial jenis-n dari daerah difusi jenis-p di atasnya. Sebuah junction tambahan  $J_1$  yang timbul antara bidang epitaksial jenis-n dan substrat, merupakan kapasitansi parasitik  $C_1$  yang terkait dengan junction yang *reverse biased*.

Rangkaian ekivalen dari kapasitor junction terlihat berikut ini, dimana kapasitansi yang diinginkan  $C_2$  harus relatif sebesar mungkin terhadap  $C_1$ .



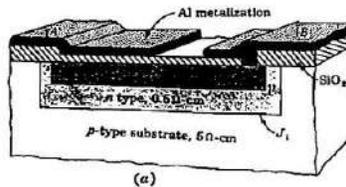
Harga  $C_2$  tergantung pada luas junction dan konsentrasi impuriti. Resistansi seri  $R$  (10 sampai 50 ohm) merupakan resistansi lapisan jenis-n.

Jadi jelas, bahwa substrat itu harus berada pada tegangan yang paling negatif agar meminimasi  $C_1$  dan mengisolasi kapasitor dari elemen-elemen yang lain dengan jalan junction  $J_1$  tetap dalam keadaan *reverse biased*. Harus diingat bahwa kapasitor junction  $C_2$  adalah kapasitor polar, karena p-n junction  $J_2$  harus selalu dalam keadaan *reverse biased*.



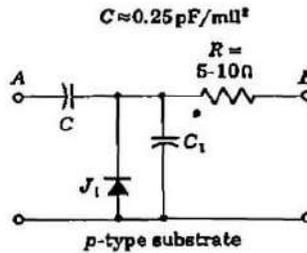
### Kapasitor MOS

Kapasitor metal-oxide-semiconductor (MOS) nonpolar mempunyai penampang tegak seperti yang terlihat pada gambar berikut ini. Struktur ini merupakan kapasitor keping sejajar dengan silikon dioksida sebagai dielektrik. Keping atasnya adalah sebuah lapisan *thin film* logam (aluminium). Keping bawah terdiri dari *heavily doped n<sup>+</sup> region* yang terbentuk ketika difusi emitter dilakukan.



Harga kapasitansinya biasanya 0,4 pF/mil<sup>2</sup> untuk ketebalan silikon dioksida 500 Å, kapasitansi itu berubah mengikuti ketebalannya.

Rangkaian ekivalen kapasitor MOS seperti pada gambar berikut ini, dimana C<sub>1</sub> menyatakan kapasitansiparazitik J<sub>1</sub> dari *collector-substrate junction*, dan R adalah resistansi seri kecil dari n<sup>+</sup> *region*.



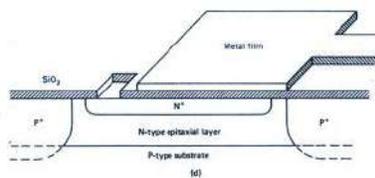
(b)

Tabel berikut ini merupakan daftar selang harga parameter-parameter dari kapasitor junction dan kapasitor MOS.

TABLE 7-2 Integrated capacitor parameters

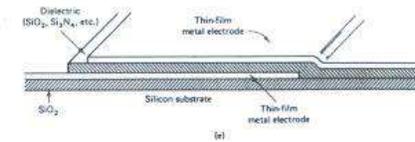
Characteristic	Diffused-junction capacitor	Thin-film MOS
Capacitance, pF/mil <sup>2</sup> .....	0.2	0.25-0.4
Maximum area, mil <sup>2</sup> .....	$2 \times 10^3$	$2 \times 10^4$
Maximum value, pF.....	400	800
Breakdown voltage, V.....	5-20	50-200
Voltage dependence.....	$kV^{-1}$	0
Tolerance, percent.....	$\pm 20$	$\pm 20$

Sering kali penampang tegak kapasitor MOS digambarkan juga dengan struktur sebagai berikut.

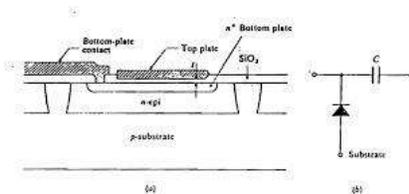


### Kapasitor *Thin Film*

Penampang tegak kapasitor *thin film* mempunyai struktur sebagai berikut.



**Rancangan Kapasitor MOS** Sekarang akan dibahas rancangan sebuah kapasitor MOS dalam IC dengan struktur penampang tegaknya seperti berikut ini.



Kapasitor MOS dalam IC merupakan kapasitor keping sejajar. Keping bawah dibuat dengan proses difusi n+ yang *heavily doping*, dikerjakan bersamaan dengan proses difusi emitter untuk transistor n-p-n dalam IC. Lapisan dielektriknya merupakan lapisan silikon dioksida tipis. Sebagai keping atasnya adalah lapisan metalisasi tipis yang dikerjakan bersamaan dengan pembuatan lapisan metalisasi untuk interkoneksi.

Bila semua isolasi sudah selesai dikerjakan dengan proses difusi isolasi, dan seluruh permukaan sudah dilapisi silikon dioksida, maka fabrikasi kapasitor MOS masih memerlukan masker-masker untuk proses-proses.

1. difusi n+
2. pembuatan lapisan silikon dioksida
3. pembuatan lubang kontak (*window*)
4. pembuatan lapisan metalisasi untuk keping atas metal dan konduktor interkoneksi.

Dalam pembuatan masker, dimensi keping kapasitor ditentukan dengan asumsi bahwa yang dinamakan *fringing effect* boleh diabaikan, sehingga kapasitansi kapasitor MOS dapat dihitung rumus kapasitor keping sejajar ini.

$$C = (K_o \epsilon_o A )/d$$

dimana

$K_o$	= konstante dielektrik relatif silikon dioksida = 3,9
$\epsilon_o$	= permitiviti ruang bebas = $88,6 \times 10^{-12}$
$d$	= ketebalan dielektrik silikon dioksida
$A$	= luas keping atas yang efektif

Dalam kapasitor MOS, luas keping bawah harus lebih besar dari keping atas, karena *fringing effect* boleh diabaikan, sehingga luas keping atas dianggap luas  $A$  yang efektif

Keping bawah kapasitor MOS harus lebih luas dari pada keping atasnya. Karena *fringing effect* dapat diabaikan, sehingga luas keping atas harus dibuat seminimum mungkin, untuk dapat dianggap sebagai luas yang efektif. Selain itu, untuk memperoleh kapasitansi yang besar, ketebalan dielektrik harus dibuat yang setipis mungkin. Dengan teknologi yang ada saat ini ketebalan dielektrik dapat dibuat sampai setipis 500 Å.

Dalam merancang tataletak kapasitor MOS, pertama-tama harus dihitung dimensi keping atas. Sebelum diimplementasikan, hasil hitungan itu harus disesuaikan dengan parameter-parameter pembuatan masker, dan juga disesuaikan dengan teknologi difusi yang digunakan

Karena dimensi masker itu sangat kecil, terlebih dahulu harus dibuat yang dinamakan *artwork* dalam dimensi yang jauh lebih besar. Kemudian *artwork* itu diperkecil (direduksi) dengan sistem fotografi sampai mendapatkan masker dengan dimensi yang diinginkan.

Jadi, sebelum membuat *artwork* harus diketahui dan dipahami sistem fotografi yang digunakan dalam pembuatan masker. Selain itu, juga harus dipahami berapa besar rasio fotoreduksi, dan jenis fotoreduksi yang digunakan.

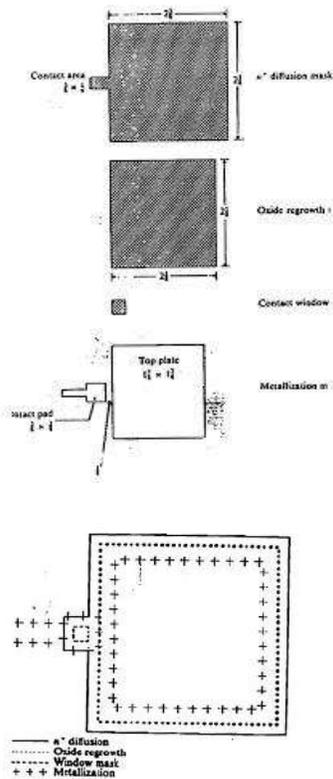
Biasanya yang sering digunakan:

1. sistem fotoreduksi dua tahap, memakai dua *image reversal* (pembalik citra).
2. *total reduction ratio* sebesar 125 kali
3. fotoreduksi negatif

Jika menggunakan fotoreduksi negatif, maka bagian fotoreduksi negatif yang terkena sinar ultraviolet yang menembus bagian masker yang transparan, menjadi tidak larut (mengeras) dalam larutan yang disebut *developer*. Sehingga bagian silikon dioksida yang akan dibuka sebagai *window* harus diletakkan di bawah fotoreduksi yang tidak terkena sinar ultraviolet.

Selain itu, juga harus dipahami berapa dimensi bukaan *window* yang diperbolehkan, berapa besar *registration errors* maksimum selama dikerjakan *alignment* masker-masker berurutan di atas wafer. Biasanya lubang bukaan *window* minimum 1 x 1 mil, dan *registration errors* maksimum 1 mil.

**Contoh Soal** Buatlah rancangan tataletak sebuah kapasitor MOS dalam IC dengan kapasitansi sebesar 100 pF.



### Induktor dalam IC

Induktor untuk IC mempunyai masalah khusus. Divais IC pada dasarnya dua dimensi, dalam dimensi kedalaman biasanya sangat tipis (sekitar 1 sampai 10  $\mu\text{m}$ ) dibandingkan dengan dimensi lateralnya. Induktor untuk IC dapat

dibuat dalam bentuk sebuah spiral *thin-film* metalik yang datar, tapi induktansinya hanya beberapa nanohenry.

Kombinasi harga induktansi yang sangat rendah dengan resistansi seri dari spiral metalisasi *thin-film* akan menghasilkan faktor-Q yang sangat rendah, jadi kegunaan jenis induktor ini sangat terbatas. Untuk setiap harga induktansi yang wajar, diperlukan sebuah struktur kumparan tiga-dimensi dengan banyaknya lilitan yang besar agar menghasilkan kerapatan flux magnetik dan sejumlah *flux-linkage* yang sangat besar.

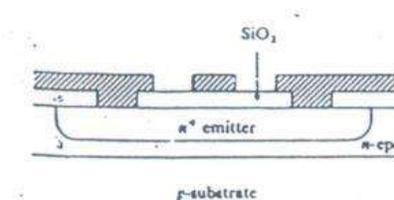
Dalam banyak hal, penggunaan induktansi sebisa mungkin dihindari pada pembuatan disain sistem IC. Pada rangkaian *feedback* banyak yang menggunakan RC *network* sebagai pengganti LC *tuned circuit* atau membuat sebuah *net input admittance* yang bersifat induktif.

Untuk aplikasi yang lain, misalnya pada rangkaian RF dan IF, dimana penggunaan induktor itu mutlak, maka harus digunakan induktor eksternal pada paket IC itu. Perkecualian pada hal ini adalah *thin-film hybrid microwave integrated circuits* (MMICs), boleh menggunakan *thin-film spirals*.

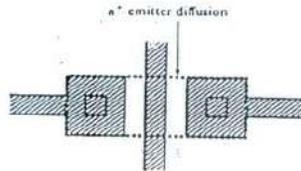
### Crossover dalam IC monolitik

Seringkali terjadi tataletak dalam IC monolitik memerlukan dua jalur konduktor yang bersilangan satu sama lain. *Crossing* seperti ini tidak mungkin dibuat langsung karena akan berakibat terjadi kontak elektrik antara dua bagian.

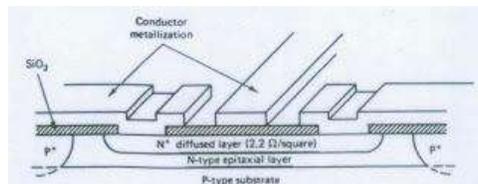
Salah satu cara yang tidak memerlukan penambahan atau perubahan tahap fabrikasi adalah dengan jalan membuat yang disebut *buried crossover*, yang penampangnya sebagai berikut.



Sedangkan tampak atas geometri permukaan *buried crossover* ini seperti yang terlihat berikut ini.

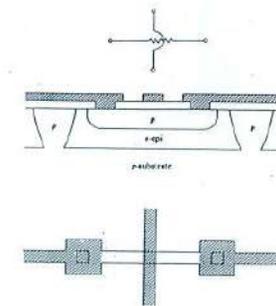


*Buried crossover* dibuat dengan difusi  $n^+$  yang dikerjakan secara bersamaan dengan difusi emitter  $n^+$ . Pada kedua ujung *buried crossover* dibuat *window* (lubang) untuk kontak-kontaknya. Di antara kedua kontak itu diberi ruang yang cukup untuk dilalui *metal stripe* di atas silikon dioksida. Bahan difusi  $n^+$  merupakan konduktor sedangkan *metal stripe* yang menyilang di atasnya tersekat oleh silikon dioksida, sehingga tidak ada hubungan elektrik di antara kedua jalur itu.



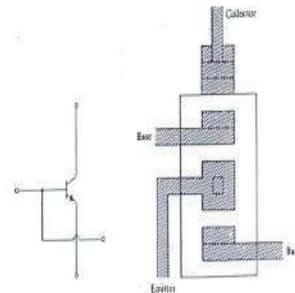
Karena difusi  $n^+$  untuk *buried crossover* dilaksanakan bersamaan dengan difusi emitter  $n^+$ , maka untuk membuat *buried crossover* tidak perlu ada tahap fabrikasi tambahan. Tapi bahan difusi  $n^+$  itu dapat menimbulkan resistansi seri tambahan, sehingga *buried crossover* sebisa mungkin jangan digunakan, misalnya, pada jalur *power supply* atau jalur ke *ground*. Karena memerlukan *isolation region* tersendiri, sehingga adanya *buried crossover* dapat menambah luas permukaan chip.

Sebelum memutuskan untuk membuat *buried crossover*, harus dipastikan bahwa *buried crossover* itu memang sangat diperlukan. Cukup dengan mengamati diagram IC-nya secara sepintas, apakah ada resistor difusi yang di atasnya ada ruang yang cukup untuk dilalui *metal stripe* sebagai implementasi sebuah crossover, seperti gambar berikut ini



Selama harga resistansi dari resistor difusi itu cukup besar, sehingga di antara kedua kontak resistor difusi ada ruang yang cukup untuk dilalui *metal stripe*, maka disitu dapat dijadikan *crossover* seperti yang terlihat pada gambar di atas .

Kadang-kadang membuat *crossover* dapat dihindari dengan jalan menggunakan transistor dengan *double base stripe* atau menggunakan transistor dengan *double collector stripe*. Gambar berikut ini menunjukkan *crossing* (persilangan) sambungan base dengan sambungan emitter yang diatasi dengan memakai transistor dengan *double base stripe*.

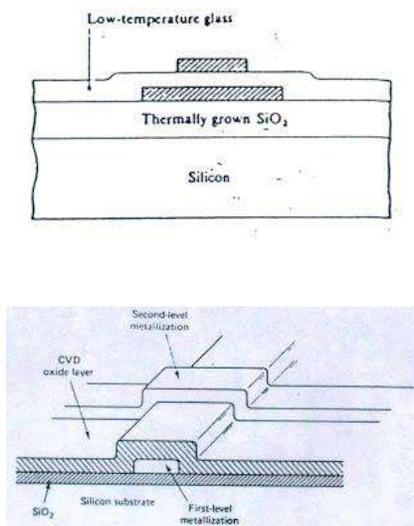


Dengan memakai teknik-teknik seperti di atas tadi, maka untuk mengimplementasikan suatu *crossover* tidak harus ada kompromi dengan kinerja IC.

Jika tidak ada masalah untuk menggunakan lebih dari satu lapisan interkoneksi metal, maka *crossover* dapat diimplementasikan sebagai berikut.

Pertama-tama IC diproses seperti biasanya, sesudah mengikis bagian lapisan metal yang tidak diperlukan kemudian di atas permukaan wafer dibuat lapisan silikon dioksida di dalam sebuah reaktor dengan proses dekomposisi pirolitik dengan silane pada suhu di bawah 300°C. Karena dilakukan pada suhu yang relatif rendah, pola interkoneksi metal yang sudah ada tidak mengalami kerusakan.

Selanjutnya dibuat *window* (lubang) pada lapisan silikon baru, kemudian dibuat lapisan metal yang kedua, dan bagian lapisan metal kedua yang tidak diinginkan dikikis dengan cara seperti biasanya. Penampang tegak *crossover* yang diperoleh seperti gambar berikut ini.



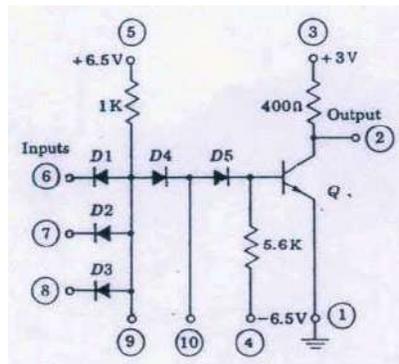
Karena pembuatan *crossover* metal multi-lapis ini memerlukan beberapa tahap proses tambahan, maka cara implementasi seperti ini sedapat mungkin dihindari.

### Tataletak dalam IC monolitik

**Inovasi** merupakan salah satu kata kunci di masa depan, terutama di dunia rekayasa. Untuk itu diperlukan pemikiran-pemikiran yang inovatif. Agar dapat berpikir inovatif, mahasiswa dapat belajar dari kasus-kasus rekayasa yang menggambarkan *best practices*. Dengan studi kasus itu mahasiswa dapat membuka wawasan tentang suatu permasalahan dalam kegiatan pembelajarannya.

### Tataletak dalam IC monolitik *Design Rules* untuk tataletak dalam IC monolitik

Sekarang akan dibahas bagaimana caranya merencanakan tataletak dalam IC monolitik untuk rangkaian logika diskrit yang disebut gerbang *diode transistor logic* (DTL) dengan tiga input. Diagram skema Standard 3-input DTL NAND seperti di bawah ini.



Sebuah Gerbang Diode Transistor Logic

Prinsip kerja sebuah DTL NAND dengan tiga input dapat dianalisis dengan diberi input LOW dan input HIGH. Jika input1, input2, input3 semuanya diberi LOW, maka dioda D1, D2, D3 semuanya menjadi *forward bias*, sedangkan D4 *reversed bias* dan D5 *forward bias*. Maka transistor output menjadi *cutoff* dan Output menjadi HIGH.

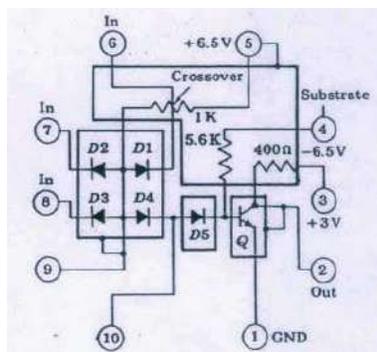
Jika input1, input2, input3 semuanya diberi HIGH, maka dioda D1, D2, D3 semuanya menjadi *reversed bias*. Sedangkan D4 *forward bias* dan D5 *reversed bias*. Maka transistor output menjadi *saturation* dan Output menjadi LOW.

Jika dibuatkan tabel kebenarannya didapatkan tabel berikut ini.

INP1	INP2	INP3	OUT
L	L	L	H
L	L	H	H
L	H	L	H
L	H	H	H
H	L	L	H
H	L	H	H
H	H	L	H
H	H	H	L

Untuk membahas rekayasa tataletak dalam IC DTL itu, disini menggunakan sepuluh aturan disain menurut Philips berikut ini.

1. Gambar ulang diagram skema gerbang DTL itu dengan syarat banyaknya *pin connection* seminimum mungkin.

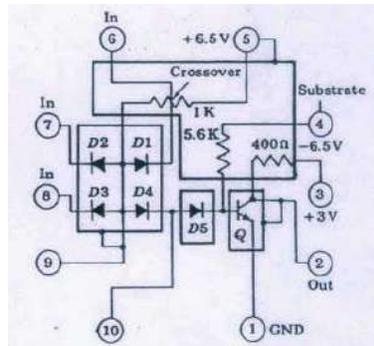


The schematic redrawn to indicate the 10 external connections arranged in the sequence in which they will be brought out to the header pins. The isolation region are shown in heavy outline.

2. Dari hasil gambar ulang ini terlihat ada 10 *external connections* yang tersusun dalam urutan sambungan yang dihubungkan keluar dengan *header pins*.
3. Tentukan banyaknya *isolation island* dengan mempertimbangkan potensial collector, dan kurangi luasnya sebesar mungkin.
4. Tempatkan semua resistor yang mempunyai potensial tetap pada satu ujung dalam *isolation island* yang sama, dan kembalikan *isolation island* itu ke potensial yang paling positif dalam IC.
5. Hubungkan substrat pada potensial yang paling negatif
6. Di dalam tataletak, usahakan sebuah batas isolasi sama dengan dua kali ketebalan epitaksial untuk memungkinkan *underdiffusion*.
7. Gunakan lebar 1 mil untuk daerah-daerah difusi emitter, dan gunakan lebar 1/2 mil untuk kontak base dan spasi, dan untuk kontak collector dan spasi.
8. Untuk resistor-resistor, gunakan disain-disain selebar mungkin konsisten dengan pembatasan ukuran *die*. Resistansi-resistansi harus mempunyai *aspect ratio* yang kecil harus mempunyai lebar yang sama dan ditempatkan bedekatan satu sama lain.
9. Selalu optimalkan susunan tataletak untuk mendapatkan ukuran *die* yang sekecil mungkin, jika perlu, dikompromikan dengan sambungan-sambungan pin untuk mencapai tataletak yang optimal.
10. Tentukan geometri-geometri komponen berdasarkan persyaratan-persyaratan IC.
11. Semua jalur metalisasi dibuat yang sependek dan selebar mungkin, terutama pada sambungan-sambungan keluaran emitter dan collector dari transistor yang dalam keadaan saturasi.

Dalam gambar ulang di atas tadi, terlihat ada sambungan-sambungan eksternal diberi label 1, 2, 3, ..., 10 dan tersusun menurut urutan sambungan yang dihubungkan pada *header pins*. Dalam gambar di bawah ini

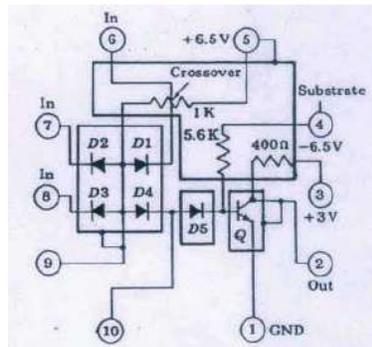
terlihat pin-pin *power supply* dikelompokkan menjadi satu, juga sambungan-sambungan input pada pin-pin yang berdekatan. Secara umum, sambungan-sambungan eksternal ditentukan oleh sistem dimana IC itu digunakan.



Pin-pin *power supply* dikelompokkan menjadi satu, juga sambungan-sambungan input pada pin-pin yang berdekatan

Seringkali tataletak IC monolitik memerlukan jalur konduksi (misalnya jalur 5 dan 6) yang menyilang di atasnya satu sama lain. *Crossover* ini tidak dapat dibuat langsung karena hal ini dapat menimbulkan kontak elektrik antara kedua bagian dari IC. Karena semua resistor dilindungi lapisan silikon dioksida, maka setiap resistor dapat dimanfaatkan sebagai sebuah *crossover*. Dengan kata lain, jika metalisasi aluminium melintas di atas resistor, tidak akan terjadi kontak elektrik di antara resistor dan aluminium.

Kadang-kadang tataletak itu sedemikian rumitnya sehingga memerlukan titik-titik tambahan untuk membuat *crossover*. Bila dimungkinkan bisa juga membuat sebuah *crossover* dengan struktur difusi. Selanjutnya menentukan banyaknya *isolation island*. Karena collector dari transistor memerlukan satu *isolation island* sendiri, maka sebuah segi-empat dengan garis tebal digambar di sekeliling transistor, seperti yang terlihat pada gambar berikut ini.



Karena semua resistor dilindungi lapisan silikon dioksida, maka setiap resistor dapat dimanfaatkan sebagai sebuah *crossover*

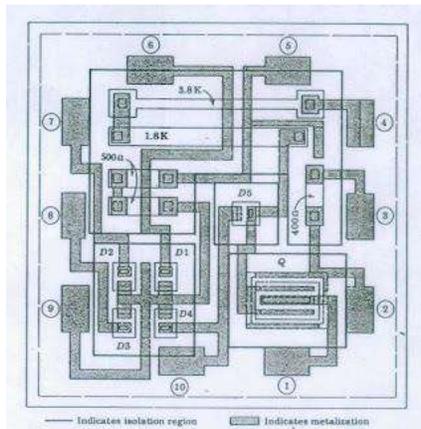
Segi-empat dengan garis tebal itu terlihat dihubungkan pin output 2 karena *isolation island* ini juga merupakan collector dari transistor. Selanjutnya, semua resistor diletakkan dalam *isolation island* yang sama, dan kemudian *isolation island* itu dihubungkan pada tegangan yang paling positif dalam IC.

Untuk menentukan banyaknya *isolation island* yang diperlukan dioda-dioda, pertama-tama memilih dioda jenis apa yang akan difabrikasi. Dalam hal ini, karena mempunyai rugi tegangan *forward* yang rendah, maka diputuskan untuk membuat jenis *common-anode diodes* dengan collector dihubungkan ke base.

Karena 'collector' berada pada potensial 'base', maka digunakan sebuah *single isolation island* untuk membuat keempat *common-anode diodes*. Akhirnya, dioda yang tersisa difabrikasi sebagai dioda emitter-base dengan collector dibiarkan terbuka, sehingga dioda itu memerlukan sebuah *isolation island* yang terpisah.

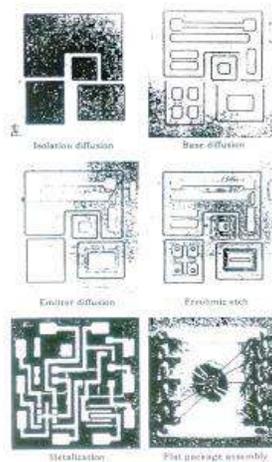
### Urutan Fabrikaasi

Tataletak IC monolitik yang final diperoleh dengan sebuah proses yang disebut *trial-and-error*, tujuannya untuk mendapatkan ukuran *die size* yang sekecil mungkin. Tataletak ini terlihat pada gambar berikut ini.



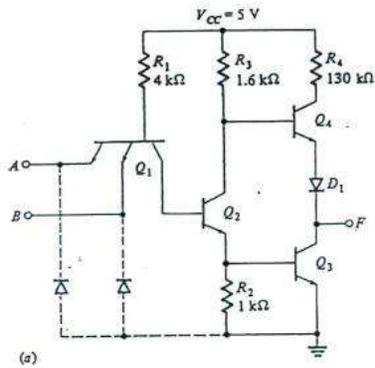
Monolithic design layout

Perhatikan keempat *isolation island*, ketiga resistor, kelima dioda, dan transistor dalam tataletak di atas ini. Perlu dicatat disini, bahwa resistor 5,6 K diperoleh dengan resistor 1,8 K yang lebarnya 2 mil seri dengan resistor 3,8 K yang lebarnya 1 mil. Untuk menghemat tempat, resistor itu dilipat balik. Selain itu, kedua *crossover* metalisasi dibuat meliwati di atas resistor-resistor ini. Berdasarkan tataletak di atas ini, manufaktur membuat maskermasker yang diperlukan untuk fabrikasi IC monolitik. Urutan produksinya yang melibatkan difusi-difusi isolasi, base, dan emitter, *preohmic etch*, metalisasi aluminium, dan *flat package assembly* terlihat pada gambar di bawah ini.

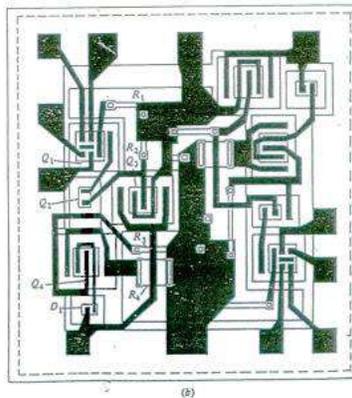


Monolithic fabrication sequence

Berikut ini gambar diagram skema sebuah gerbang TTL NAND dengan dua input yang standard.



Buatlah diagram skema sebuah gerbang Standard 4-input TTL NAND yang layout-nya seperti pada gambar di bawah ini.



Layout of a dual 4-input TTL NAND gate

## Bab 8 Elektronika Digital Dasar

### 1). Sistem desimal dan biner

Dalam sistem bilangan desimal, nilai yang terdapat pada kolom ketiga pada Tabel 11, yaitu A, disebut satuan, kolom kedua yaitu B disebut puluhan, C disebut ratusan, dan seterusnya. Kolom A, B, C menunjukkan kenaikan pada eksponen dengan basis 10 yaitu  $10^0 = 1$ ,  $10^1 = 10$ ,  $10^2 = 100$ . Dengan cara yang sama, setiap kolom pada system bilangan biner, yaitu sistem bilangan dengan basis, menunjukkan eksponen dengan basis 2, yaitu  $2^0 = 1$ ,  $2^1 = 2$ ,  $2^2 = 4$ , dan seterusnya.

**Tabel** Nilai Bilangan Desimal dan Biner

Kolom desimal			Kolom biner		
C	B	A	C	B	A

Setiap digit biner disebut bit; bit paling kanan disebut least significant bit (LSB), dan bit paling kiri disebut most significant bit (MSB).

**Tabel** Daftar Bilangan Desimal dan Bilangan Biner Ekuivalensinya

Desimal	Biner		
	C (MSB) (4)	B (2)	A (LSB) (1)
0	0	0	0
1	0	0	1
2	0	1	0
3	0	1	1
4	1	0	0
5	1	0	1
6	1	1	0
7	1	1	1

Untuk membedakan bilangan pada sistem yang berbeda digunakan subskrip. Sebagai contoh  $9_{10}$  menyatakan bilangan sembilan pada sistem bilangan desimal, dan  $01101_2$  menunjukkan bilangan biner  $01101$ . Subskrip tersebut sering diabaikan jika sistem bilangan yang dipakai sudah jelas.

**Tabel .** Contoh Pengubahan Bilangan Biner menjadi Desimal

Biner	Kolom Biner						Desimal
	32	16	8	4	2	1	
1110	-	-	1	1	1	0	$8 + 4 + 2 = 14$
1011	-	-	1	0	1	1	$8 + 2 + 1 = 11$
11001	-	1	1	0	0	1	$16 + 8 + 1 = 25$
10111	-	1	0	1	1	1	$16 + 4 + 2 + 1 = 23$
110010	1	1	0	0	1	0	$32 + 16 + 2 = 50$

### Konversi Desimal ke Biner

Cara untuk mengubah bilangan desimal ke biner adalah dengan pembagian. Bilangan desimal yang akan diubah secara berturut-turut dibagi 2, dengan memperhatikan sisa pembagiannya. Sisa pembagian akan bernilai 0 atau 1, yang akan membentuk bilangan biner dengan sisa yang terakhir menunjukkan MSBnya. Sebagai contoh, untuk mengubah  $52_{10}$  menjadi bilangan biner, diperlukan langkah-langkah berikut :

$$52 : 2 = 26 \text{ sisa } 0, \text{ LSB}$$

$$26 : 2 = 13 \text{ sisa } 0$$

$$13 : 2 = 6 \text{ sisa } 1$$

$$6 : 2 = 3 \text{ sisa } 0$$

$$3 : 2 = 1 \text{ sisa } 1$$

$$1 : 2 = 0 \text{ sisa } 1, \text{ MSB}$$

Sehingga bilangan desimal  $52_{10}$  akan diubah menjadi bilangan biner 110100.

Cara di atas juga bisa digunakan untuk mengubah sistem bilangan yang lain, yaitu oktal atau heksadesimal.

### 2) Bilangan Oktal Bilangan

Oktal adalah sistem bilangan yang berbasis 8 dan mempunyai delapan simbol bilangan yang berbeda :  $0,1,2,\dots,7$ .

Teknik pembagian yang berurutan dapat digunakan untuk mengubah bilangan desimal menjadi bilangan oktal. Bilangan desimal yang akan diubah secara berturut-turut dibagi dengan 8 dan sisa pembagiannya harus

selalu dicatat. Sebagai contoh, untuk mengubah bilangan  $5819_{10}$  ke oktal, langkah-langkahnya adalah :

$$5819 : 8 = 727, \text{ sisa } 3, \text{ LSB}$$

$$727 : 8 = 90, \text{ sisa } 7$$

$$90 : 8 = 11, \text{ sisa } 2$$

$$11 : 8 = 1, \text{ sisa } 3$$

$$1 : 8 = 0, \text{ sisa } 1, \text{ MSB}$$

Sehingga  $5819_{10} = 13273_8$

### **Bilangan Oktal dan Biner**

Setiap digit pada bilangan oktal dapat disajikan dengan 3 digit bilangan biner, lihat Tabel Untuk mengubah bilangan oktal ke bilangan biner, setiap digit oktal diubah secara terpisah. Sebagai contoh,  $3527_8$  akan diubah sebagai berikut:

$$38 = 0112, \text{ MSB}$$

$$58 = 1012$$

$$28 = 0102$$

$$78 = 1112, \text{ LSB}$$

Sehingga bilangan oktal  $3527$  sama dengan bilangan  $011\ 101\ 010\ 111$ . Sebaliknya, pengubahan dari bilangan biner ke bilangan oktal dilakukan dengan mengelompokkan setiap tiga digit biner dimulai dari digit paling kanan, LSB. Kemudian, setiap kelompok diubah secara terpisah ke dalam bilangan oktal. Sebagai contoh, bilangan  $11110011001_2$  akan dikelompokkan menjadi  $11\ 110\ 011\ 001$ , sehingga.

$$11_2 = 38, \text{ MSB}$$

$$110_2 = 68$$

$$011_2 = 38$$

$$001_2 = 18, \text{ LSB}$$

Jadi, bilangan biner  $11110011001$  apabila diubah menjadi bilangan oktal akan diperoleh  $3631_8$ .

### **3) Bilangan Hexadesimal**

Bilangan heksadesimal, sering disingkat dengan hex, adalah bilangan dengan basis 1610, dan mempunyai 16 simbol yang berbeda, yaitu 0 sampai dengan 15. Bilangan yang lebih besar dari 1510 memerlukan lebih dari satu digit hex. Kolom heksadesimal menunjukkan eksponen dengan basis 16, yaitu  $16^0 = 1$ ,  $16^1 = 16$ ,  $16^2 = 256$ , dan seterusnya.

Sebagai contoh :

$$\begin{aligned} 152B_{16} &= (1 \times 16^3) + (5 \times 16^2) + (2 \times 16^1) + (11 \times 16^0) \\ &= 1 \times 4096 + 5 \times 256 + 2 \times 16 + 11 \times 1 \\ &= 4096 + 1280 + 32 + 11 \\ &= 5419_{10} \end{aligned}$$

Sebaliknya, untuk mengubah bilangan desimal menjadi bilangan heksadesimal, dapat dilakukan dengan cara membagi bilangan desimal tersebut dengan 16. Sebagai contoh, untuk mengubah bilangan 340810 menjadi bilangan heksadesimal, dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} 3409/16 &= 213, & \text{ sisa } 1_{10} &= 1_{16}, \text{ LSB} \\ 213/16 &= 13, & \text{ sisa } 5_{10} &= 5_{16} \\ 13/16 &= 0, & \text{ sisa } 13_{10} &= D_{16}, \text{ MSB} \end{aligned}$$

Sehingga,  $3409_{10} = D51_{16}$ .

### **Bilangan Hexadesimal dan Biner**

Setiap digit pada bilangan heksadesimal dapat dapat disajikan dengan empat buah bit. Untuk mengubah bilangan heksadesimal menjadi bilangan biner, setiap digit dari bilangan heksadesimal diubah secara terpisah ke dalam empat bit bilangan biner. Sebagai contoh, 2A5C16 dapat diubah ke bilangan biner sebagai berikut.

$$\begin{aligned} 2_{16} &= 0010, \text{ MSB} \\ A_{16} &= 1010 \\ 5_{16} &= 0101 \\ C_{16} &= 1100, \text{ LSB} \end{aligned}$$

Sehingga, bilangan heksadesimal 2A5C akan diubah menjadi bilangan biner 0010 1010 0101 1100. Sebaliknya, bilangan biner dapat diubah menjadi bilangan heksadesimal dengan cara mengelompokkan setiap empat digit dari bilangan biner tersebut dimulai dari sigit paling kanan. Sebagai contoh,

$010011101011100_2$  dapat dikelompokkan menjadi 0100 1111 0101 1110. Sehingga:

$$\begin{aligned} 0100_2 &= 4_{16}, \text{ MSB} \\ 1111_2 &= F_{16} \\ 0101_2 &= 5_{16} \\ 1110_2 &= E_{16}, \text{ LSB} \end{aligned}$$

Dengan demikian, bilangan  $0100 1111 0101 1110_2 = 4F5E_{16}$ .

#### 4) Bilangan Biner Pecahan

Dalam sistem bilangan desimal, bilangan pecahan disajikan dengan menggunakan titik desimal. Digit-digit yang berada di sebelah kiri titik desimal mempunyai nilai eksponen yang semakin besar, dan digit-digit yang berada di sebelah kanan titik desimal mempunyai nilai eksponen yang semakin kecil. Sehingga

$$0.1_{10} = 10^{-1} = 1/10$$

$$0.10_{10} = 10^{-2} = 1/100$$

$$0.2 = 2 \times 0.1 = 2 \times 10^{-1}, \text{ dan seterusnya.}$$

Cara yang sama juga bisa digunakan untuk menyajikan bilangan biner pecahan. Sehingga,

$$0.1_2 = 2^{-1} = \frac{1}{2}, \text{ dan}$$

$$0.01_2 = 2^{-2} = \frac{1}{2^2} = \frac{1}{4}$$

*Sebagai contoh,*

$$0.111_2 = \frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{8}$$

$$= 0.5 + 0.25 + 0.125$$

$$= 0.875_{10}$$

$$101.101_2 = 4 + 0 + 1 + \frac{1}{2} + 0 + \frac{1}{8}$$

$$= 5 + 0.625$$

$$= 5.625_{10}$$

Pengubahan bilangan pecahan dari desimal ke biner dapat dilakukan dengan cara mengalihkan bagian pecahan dari bilangan desimal tersebut dengan 2, bagian bulat dari hasil perkalian merupakan pecahan dalam bit biner. Proses perkalian diteruskan pada sisa sebelumnya sampai hasil perkalian sama dengan 1 atau sampai ketelitian yang diinginkan. Bit biner pertama yang diperoleh merupakan MSB dari bilangan biner pecahan. Sebagai contoh, untuk mengubah  $0.625_{10}$  menjadi bilangan biner dapat dilaksanakan dengan

$$0.625 \times 2 = 1.25, \text{ bagian bulat} = 1 \text{ (MSB)}, \quad \text{sisa} = 0.25$$

$$0.25 \times 2 = 0.5, \quad \text{bagian bulat} = 0, \quad \text{sisa} = 0.5$$

$$0.5 \times 2 = 1.0, \quad \text{bagian bulat} = 1 \text{ (LSB)}, \quad \text{tanpa sisa}$$

$$\text{Sehingga, } 0.625_{10} = 0.101_2$$

#### 5) Sistem Bilangan BCD

Sampai saat ini kita hanya melihat pengubahan dari bilangan desimal ke bilangan biner murni. Pada beberapa aplikasi, misalnya sistem berdasar

mikroprosesor, seringkali lebih sesuai apabila setiap digit bilangan desimal diubah menjadi 4 digit bilangan biner. Dengan cara ini, suatu bilangan desimal 2 digit akan diubah menjadi dua kelompok empat digit bilangan biner, sehingga keseluruhannya menjadi 8 bit, tidak bergantung pada nilai bilangan desimalnya sendiri. Hasilnya sering disebut sebagai binarycoded decimal (BCD). Penyandian yang sering digunakan dikenal sebagai sandi 8421 BCD. Selain penyandian 8421 BCD, juga dikenal sejumlah penyandian yang lain.

Contoh

Ubah 25 menjadi bilangan BCD

Penyelesaian

$2_{(10)} = 0010$  dan  $5_{(10)} = 0101$

Sehingga,  $25_{(10)} = 0010\ 0101$  BCD

## 6) Aritmatika Biner

### a) Penjumlahan

Penjumlahan bilangan biner serupa dengan penjumlahan pada bilangan desimal. Dua bilangan yang akan dijumlahkan disusun secara vertikal dan digit-digit yang mempunyai signifikansi sama ditempatkan pada kolom yang sama. Digit-digit ini kemudian dijumlahkan dan jika dijumlahkan lebih besar dari bilangan basisnya (10 untuk desimal, dan 2 untuk biner), maka ada bilangan yang disimpan. Bilangan yang disimpan ini kemudian dijumlahkan dengan digit di sebelah kirinya, dan seterusnya.

Dalam penjumlahan bilangan biner, penyimpanan akan terjadi jika jumlah dari dua digit yang dijumlahkan adalah 2. Berikut adalah aturan dasar untuk penjumlahan pada sistem bilangan biner.

$$0 + 0 = 0$$

$$0 + 1 = 1$$

$$1 + 0 = 1$$

$$1 + 1 = 0, \text{ simpan } 1$$

Tabel 14. menunjukkan perbandingan antara penjumlahan pada sistem bilangan desimal dan system bilangan biner, yaitu  $823_{(10)} + 238_{(10)}$  dan  $11001_{(2)} + 11011_{(2)}$ .

Tabel 15. Penjumlahan

a. Penjumlahan decimal

$10_{(3)}$	$10_{(2)}$	$10_{(1)}$	$10_{(0)}$
------------	------------	------------	------------

	(1000)	(100)	(10)	(1)
		8	2	3
		2	3	8
Simpan	1		1	
Jumlah	1	0	6	1

### b. Penjumlahan Biner

	$2^5$	$2^4$	$2^3$	$2^2$	$2^1$	$2^0$
	(32)	(16)	(8)	(4)	(2)	1
		1	1	0	0	1
		1	1	0	1	
Simpan	1	1		1	1	1
Jumlah	1	1	0	1	0	0

Marilah kita perhatikan penjumlahan biner dengan lebih seksama.

- Kolom satuan :  $1 + 1 = 0$ , simpan 1
- Kolom 2-an :  $0 + 1 =$  yang disimpan  $= 0$ , simpan 1
- Kolom 4-an :  $0 + 0$  yang disimpan  $= 1$
- Kolom 8-an :  $1 + 1 = 0$ , simpan 1
- Kolom 16-an :  $1 + 1$  yang disimpan  $= 1$ , simpan 1
- Kolom 32-an : yang disimpan  $1 = 1$

Jika lebih dari dua buah digit biner dijumlahkan, ada kemungkinan yang disimpan lebih besar dari 1. Sebagai contoh,

$$1 + 1 = 0, \text{ simpan } 1$$

$$1 + 1 + 1 = 1, \text{ simpan } 1$$

Contoh berikut menunjukkan penjumlahan dengan penyimpanan lebih besar dari 1.

$$1 + 1 + 1 + 1 = (1 + 1) + (1 + 1)$$

$$= (0, \text{ simpan } 1) + (0, \text{ simpan } 1)$$

$$= 0, \text{ simpan } 2;$$

$$1 + 1 + 1 + 1 + 1 = 1 + (1 + 1) + (1 + 1)$$

$$= 1, \text{ simpan } 2$$

$$0 + \text{ yang disimpan } 2 = 1, \text{ simpan } 1$$

$$1 + \text{ yang disimpan } 2 = 0, \text{ simpan } 2, \text{ dan seterusnya.}$$

**b) Pengurangan Biner**

Pada bagian ini hanya akan ditinjau pengurangan bilangan biner yang memberikan hasil positif. Dalam hal ini, metode yang digunakan adalah sama dengan metode yang digunakan untuk pengurangan pada bilangan desimal. Dalam pengurangan bilangan biner jika perlu dipinjam 1 dari kolom di sebelah kirinya, yaitu kolom yang mempunyai derajat lebih tinggi.

Aturan umum untuk pengurangan pada bilangan biner adalah sebagai berikut :

- $0 - 0 = 0$
- $1 - 0 = 1$
- $1 - 1 = 0$
- $0 - 1 = 1$ , pinjam 1

Contoh :

Kurangkanlah  $1111_{(2)}$  dengan  $0101_{(2)}$

Penyelesaian:

Susunlah dua bilangan di atas ke dalam kolom sebagai berikut :

	$2^3$	$2^2$	$2^1$	$2^0$
	$(8)$	$(4)$	$(2)$	$(1)$
	1	1	1	1
	0	1	0	1
Hasil	1	0	1	0 (tidak ada yang dipinjam)

Secara lebih rinci, dimulai dari LSB ( $2^0 = 1$ )

- Kolom  $2^0$   $1 - 1 = 0$
- Kolom  $2^1$   $1 - 0 = 1$
- Kolom  $2^2$   $1 - 0 = 0$
- Kolom  $2^3$   $1 - 0 = 1$

Sehingga,  $1111_2 - 0101_2 = 1010_2$

Contoh :

Kurangkanlah  $1100_2$  dengan  $1010_2$

Penyelesaian:

	$2^3$	$2^2$	$2^1$	$2^0$
	$(8)$	$(4)$	$(2)$	$(1)$
Pinjam			$\rightarrow$ $(2^2)$	0

	1	1	0	
	1	0	1	
Hasil	0	0	1	0

Secara lebih terinci, dimulai dari LSB ( $2^0 = 1$ )

$$\text{Kolom } 2^0 0 - 0 = 0$$

$$\text{Kolom } 2^1 0 - 1 = 1$$

Dalam kasus ini kita harus meminjam 1 dari bit pada kolom  $2^2$ . Karena datang dari kolom  $2^2$ , maka nilainya 2 kali nilai pada kolom  $2^1$ . Sehingga,  $1$  (bernilai  $2^2$ ) -  $1$  (bernilai  $2^1$ ) =  $1$  (bernilai  $2^1$ ).

Bila meminjam 1 dari kolom di sebelah kiri maka berlaku aturan umum  $1 - 1 = 1$ .

$$\text{Kolom } 2^2 0 - 0 = 0$$

Nilai 1 dari kolom 2 diubah menjadi nol karena sudah dipinjam seperti yang ditunjukkan dengan anak panah.

$$\text{Kolom } 2^3 1 - 1 = 0$$

$$\text{Sehingga, } 1100_2 - 1010_2 = 0010_2$$

### c) Bilangan Biner Bertanda

Sejauh ini kita hanya melihat bilangan biner positif atau bilangan biner tak bertanda. Sebagai contoh bilangan biner 8-bit dapat mempunyai nilai antara:

$$0000\ 0000_2 = 0010 \text{ dan } 1111\ 1111_2 = 255_{10}$$

yang semuanya bermilai positif, tanda ‘-’ diletakkan di sebelah kiri bilangan desimal, misalnya  $-25_{10}$ . Dalam sistem bilangan biner, tanda bilangan (yaitu negatif) juga disandikan dengan cara tertentu yang mudah dikenal dengan sistem digital.

Untuk menyatakan bilangan negatif pada bilangan biner, bit yang dikenal dengan bit tanda bilangan (sign bit) ditambah di sebelah kiri MSB. Bilangan biner yang ditulis dengan cara di atas menunjukkan tanda dan besarnya bilangan. Jika bit tanda ditulis 0, maka bilangan tersebut positif, dan jika ditulis 1, bilangan tersebut adalah bilangan negatif. Pada bilangan biner bertanda yang terdiri dari 8-bit, bit yang paling kiri menunjukkan besarnya. Perhatikan contoh berikut :

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Bit	26	25	24	23	22	21	2 <sup>0</sup>	
	tanda	(64)	(932)	(16)	(8)	(4)	(2)	1

Maka,

$$\begin{aligned}
 0110\ 0111 &= +(64+32+4+2+1) && = +103_{10} \\
 1101\ 0101 &= -(64+16+4+2) && = -85_{10} \\
 1001\ 0001 &= -(16+1) && = -19_{10} \\
 0111\ 1111 &= +(64+32+16+8+4+2+1) && = +127_{10} \\
 1111\ 1111 &= -(64+32+16+8+4+2+1) && = -127_{10} \\
 1000\ 0000 &= -0 && = 0 \\
 0000\ 0000 &= +0 && = 0
 \end{aligned}$$

Dari contoh diatas dapat dilihat, bahwa hanya tujuh bit yang menunjukkan besarnya, maka bilangan terkecil dan terbesar yang ditunjukkan bilangan biner bertanda yang terdiri dari 8-bit adalah :

$$[1]111\ 11112 = -127_{10} \text{ dan}$$

$$[0]111\ 11112 = +127_{10}$$

Dengan bit dalam kurung menunjukkan bit tanda bilangan.

Secara umum, bilangan biner tak bertanda yang terdiri dari n-bit mempunyai nilai maksimum  $M = 2^n - 1$ .

Sementara itu, untuk bilangan bertanda yang terdiri dari n-bit mempunyai nilai maksimum  $M = 2^{n-1} - 1$ . Sehingga, untuk register 8-bit di dalam mikroprosesor yang menggunakan sistem bilangan bertanda, nilai terbesar yang bisa disimpan dalam register tersebut adalah:

$$\begin{aligned}
 M &= 2^{(n-1)} - 1 \\
 &= 2^{(8-1)} - 1 \\
 &= 2^7 - 1 \\
 &= 128_{10} - 1 \\
 &= 127_{10}
 \end{aligned}$$

sehingga mempunyai jangkauan  $-127_{10}$  sampai  $+127_{10}$ .

#### **d) Perkalian**

Perkalian pada bilangan biner mempunyai aturan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 0 \times 0 &= 0 \\
 1 \times 0 &= 0 \\
 0 \times 1 &= 0 \\
 1 \times 1 &= 1
 \end{aligned}$$

Perkalian bilangan biner dapat dilakukan seperti perkalian bilangan desimal. Sebagai contoh, untuk mengalikan  $1110_2 = 14_{10}$  dengan  $1101_2 = 13_{10}$  langkah-langkah yang harus ditempuh adalah :

Biner	Desimal
1 1 1 0	1 4
1 1 0 1	1 3
-----	-----
1 1 1 0	4 2
0 0 0 0	1 4
1 1 1 0	
1 1 1 0	
----- +	----- +
1 0 1 1 0 1 1 0	1 8 2

Perkalian juga bisa dilakukan dengan menambah bilangan yang dikalikan ke bilangan itu sendiri sebanyak bilangan pengali. Contoh di atas, hasil yang sama akan diperoleh dengan menambahkan  $111_2$  ke bilangan itu sendiri sebanyak  $1101_2$  atau tiga belas kali.

**e) Pembagian**

Pembagian pada sistem bilangan biner dapat dilakukan sama seperti contoh pembagian pada sistem bilangan desimal. Sebagai contoh, untuk membagi  $110011$  (disebut bilangan yang dibagi) dengan  $1001$  (disebut pembagi), langkah-langkah berikut perlu dilakukan.

	Hasil	1 0 1
Pembagi	1 0 0 1	1 1 0 0 1
		1 0 0 1
		-----
		0 0 1 1 1 1
		1 0 0 1
		-----
	Sisa	1 1 0

Sehingga hasilnya adalah  $1012$ , dan sisa pembagian adalah  $110_2$ . Pembagian bisa juga dilakukan dengan cara menjumlahkan secara berulang kali bilangan pembagi dengan bilangan itu sendiri sampai jumlahnya sama dengan bilangan yang dibagi atau setelah sisa pembagian yang diperoleh lebih kecil dari bilangan pembagi.

## Bab 9 Dasar-Dasar Logika

Komputer, kalkulator, dan peralatan digital lain kadang dianggap oleh orang awam sebagai sesuatu yang ajaib. Sebenarnya, peralatan elektronika digital sangat logis dalam opersinya. Bentuk dasar blok dari setiap rangkaian digital adalah suatu gerbang logika. Gerbang logika akan kita gunakan untuk operasi bilangan biner , sehingga timbul istilah gerbang logika biner. Setiap orang yang bekerja dibidang elektronika digital memahami dan menggunakan gerbang logika biner setiap hari. Ingat, gerbang logika merupakan blok bangunan untuk komputer yang paling rumit sekalipun. Gerbang logika dapat tersusun dari saklar sederhana, relay, transistor, diode atau IC. Oleh penggunaannya yang sangat luas, dan harganya yang rendah, IC akan kita gunakan untuk menyusun rangkaian digital. Jenis atau variasi dari gerbang logika yang tersedia dalam semua kelompok logika termasuk TTL dan CMOS.

### **Operasi-operasi logika dasar**

Ada beberapa operasi-operasi dasar pada suatu rangkaian logika dan untuk menunjukkan suatu perilaku dari operasi-operasi tersebut biasanya ditunjukkan dengan menggunakan suatu tabel kebenaran. Tabel kebenaran berisi statemen statemen yang hanya berisi:

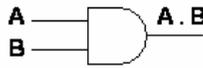
- Benar yang dilambangkan dengan huruf “T” kependekan dari “True” atau bisa juga dilambangkan dengan angka 1. Atau Salah yang dilambangkan dengan huruf “F” kependekan dari “False” atau bisa juga dilambangkan dengan angka 0.

### **Gerbang-gerbang logika (*Logic Gates*)**

Gerbang-gerbang logika yang khususnya dipakai di dalam komputer digital, dibuat dalam bentuk IC (Integrated Circuit) yang terdiri atas transistor-transistor, diode dan komponen-komponen lainnya. Gerbang-gerbang logika ini mempunyai bentuk-bentuk tertentu yang dapat melakukan operasi-operasi INVERS, AND, OR serta NAND, NOR, dan XOR (Exclusive OR). NAND merupakan gabungan AND dan INVERS sedangkan NOR merupakan gabungan OR dan INVERS.

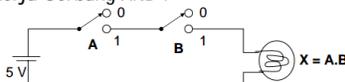
### ***Gerbang AND Dan NAND***

Gerbang AND digunakan untuk menghasilkan logika 1 jika semua masukan mempunyai logika 1, jika tidak akan dihasilkan logika 0. Daftar yang berisi kombinasi semua kemungkinan keadaan masukan dan keluaran yang dihasilkan disebut sebagai Tabel kebenaran dari gerbang yang bersangkutan. Gerbang NAND akan mempunyai keluaran 0 bila semua masukan pada logika 1. Sebaliknya, jika sbueah logika 0 pada sembarang masukan pada gerbang NAND, maka keluarannya akan bernilai 1. Kata NAND merupakan kependekan dari NOT-AND, yang merupakan ingkaran gerbang AND.

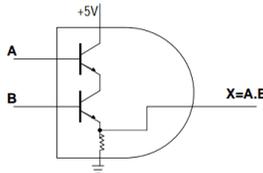


Gambar symbol gerbang OR

Cara kerja Gerbang AND :

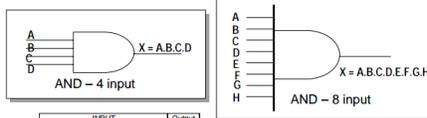


Analogi elektrikal gerbang AND



Gerbang AND dengan switch Transistor

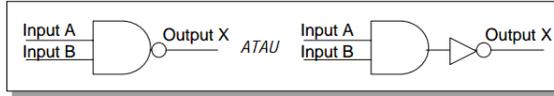
Gerbang AND dengan banyak Input



INPUT				Output
A	B	C	D	X
0	0	0	0	0
0	0	0	1	0
0	0	1	0	0
0	0	1	1	0
0	1	0	0	0
0	1	0	1	0
0	1	1	0	0
0	1	1	1	0
1	0	0	0	0
1	0	0	1	0
1	0	1	0	0
1	0	1	1	0
1	1	0	0	0
1	1	0	1	0
1	1	1	0	0
1	1	1	1	1

Tabel Kebenaran AND-4 input

**Gerbang NAND**



Simbol gerbang logika NAND

**Operasi NAND :**

- Merupakan Inversi (kebalikan) dari operasi AND
- Jika Input A AND B keduanya **HIGH**, maka output X akan **LOW**
- Jika Input A atau B atau keduanya **LOW**, maka output X akan **HIGH**

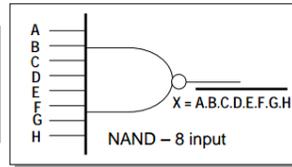
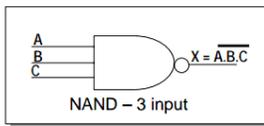
Tabel Kebenaran gerbang NAND



INPUT		Output X
A	B	X
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

$X = \overline{A \cdot B}$

**Gerbang NAND dengan banyak Input**

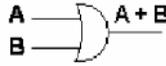


Tabel Kebenaran NAND-3 input

INPUT			Output X
A	B	C	X
0	0	0	1
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	0

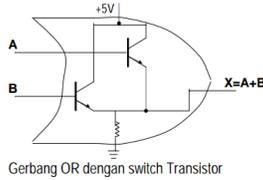
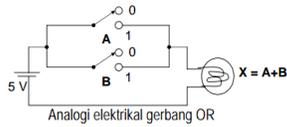
**Gerbang OR Dan NOR**

Gerbang OR akan memberikan keluaran 1 jika salah satu dari masukannya pada keadaan 1. Jika diinginkan keluaran bernilai 0, maka semua masukan harus dalam keadaan 0. Gerbang NOR akan memberikan keluaran 0 jika salah satu dari masukannya pada keadaan 1. Jika diinginkan keluaran bernilai 1, maka semua masukan harus dalam keadaan 0. Kata NOR merupakan kependekan dari NOT-OR, yang merupakan ingkaran dari gerbang OR.

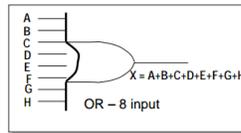
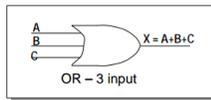


Gambar symbol gerbang OR

Cara kerja Gerbang OR :

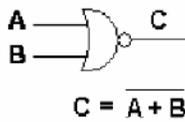


Gerbang OR dengan banyak Input



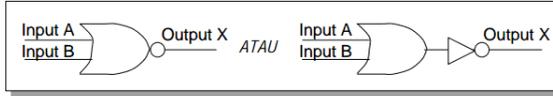
Tabel Kebenaran OR-3 input

INPUT			Output
A	B	C	X
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1



Gambar symbol gerbang OR

**Gerbang NOR**



Simbol gerbang logika NOR

**Operasi NOR :**

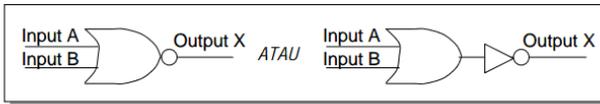
- Merupakan Inversi (kebalikan) dari operasi OR
- Jika Input A dan B keduanya **LOW**, maka output X akan **HIGH**
- Jika Input A OR B salah satu atau keduanya **HIGH**, maka output X akan **LOW**

Tabel Kebenaran gerbang NOR

INPUT		Output
A	B	X
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

$\overline{X=A+B}$

**Gerbang NOR**



Simbol gerbang logika NOR

**Operasi NOR :**

- Merupakan Inversi (kebalikan) dari operasi OR
- Jika Input A dan B keduanya **LOW**, maka output X akan **HIGH**
- Jika Input A OR B salah satu atau keduanya **HIGH**, maka output X akan **LOW**

Tabel Kebenaran gerbang NOR

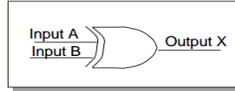
INPUT		Output
A	B	X
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

$\overline{X=A+B}$

Tabel Kebenaran dari Gerbang OR dan NOR

Masukan		Keluaran	
A	B	OR	NOR
0	0	0	1
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	1	0

**Gerbang Ex-OR**



Simbol gerbang logika Ex-OR

**Operasi Ex-OR :**

- Ex-OR adalah kependekan dari Exclusive OR
- Jika salah satu dari kedua inputnya HIGH (bukan kedua-duanya), maka output X akan HIGH
- Jika kedua inputnya bernilai LOW semua atau HIGH semua, maka output X akan LOW

Tabel Kebenaran Gerbang Ex-OR

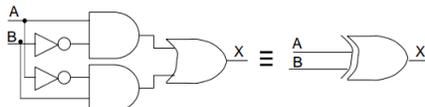
INPUT		OUTPUT
A	B	X
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Persamaan Logika Ex-OR  
 $X = A \oplus B$

Berdasarkan Tabel Kebenaran di atas (yang bernilai output = 1),  
Ex-OR dapat disusun dari gerbang dasar : AND, OR dan NOT

Persamaan EX-OR (dari AND, OR dan NOT) :

$$X = \overline{A}B + A\overline{B}$$



Gerbang Ex-OR dari AND, OR, NOT

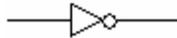
Simbol logika Ex-OR

**RINGKASAN JENIS GERBANG LOGIKA**

No	NAMA	TJPE IC	Simbol Logika	Persamaan	Tabel Kebenaran																		
1	AND	7408		$X = A \cdot B$	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">INPUT</th> <th>Output</th> </tr> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>X</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	INPUT		Output	A	B	X	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1
INPUT		Output																					
A	B	X																					
0	0	0																					
0	1	0																					
1	0	0																					
1	1	1																					
2	OR	7432		$X = A + B$	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">INPUT</th> <th>Output</th> </tr> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>X</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	INPUT		Output	A	B	X	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1
INPUT		Output																					
A	B	X																					
0	0	0																					
0	1	1																					
1	0	1																					
1	1	1																					
3	NOT	7404		$X = \overline{A}$	<table border="1"> <thead> <tr> <th>INPUT</th> <th>Output</th> </tr> <tr> <th>A</th> <th>X</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	INPUT	Output	A	X	0	1	1	0										
INPUT	Output																						
A	X																						
0	1																						
1	0																						
4	NAND	7400		$X = \overline{A \cdot B}$	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">INPUT</th> <th>Output</th> </tr> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>X</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	INPUT		Output	A	B	X	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0
INPUT		Output																					
A	B	X																					
0	0	1																					
0	1	1																					
1	0	1																					
1	1	0																					

### Gerbang NOT

Gerbang NOT merupakan gerbang satu-masukan yang berfungsi sebagai pembalik (inverter). Jika masukannya tinggi, maka keluarannya rendah, dan sebaliknya. Tabel kebenaran dari gerbang NOT tersaji pada Tabel 6.



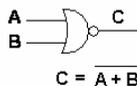
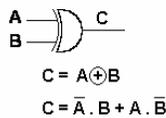
Simbol Gerbang NOT

Tabel Kebenaran Gerbang NOT

Masukan A	Keluaran F
0	1
1	0

### Gerbang XOR

Gerbang XOR (dari kata *exclusive-or*) akan memberikan keluaran 1 jika masukan-masukannya mempunyai keadaan yang berbeda. Dari Tabel tersebut dapat dilihat bahwa keluaran pada gerbang XOR merupakan penjumlahan biner dari masukannya.



Gerbang XOR dan XNOR

Tabel Kebenaran dari Gerbang XOR dan XNOR

Masukan	Keluaran (F)
---------	--------------

A	B	XOR	XNOR
0	0	0	1
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	0	1

### Tabel Kebenaran

Tabel kebenaran adalah tabel yang menunjukkan kombinasi input beserta outputnya pada suatu kasus logika. TABEL KEBENARAN berguna sekali untuk menganalisa suatu fungsi logika. Ada kalanya suatu kasus logika ditunjukkan oleh suatu fungsi logika atau suatu tabel kebenaran. Untuk mempermudah pemahaman perhatikan contoh berikut.

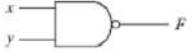
Contoh:

Tunjukkan nilai kebenaran dari suatu fungsi:  $F = AB'C + ABC'$ . Tabel kebenarannya dapat digambarkan sebagai berikut:

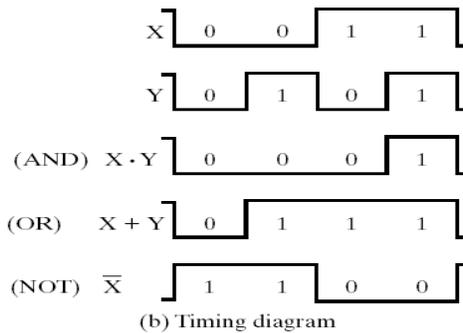
A	B	C	B'	C'	AB'C	ABC'	AB'C + ABC'
0	0	0	1	1	0	0	0
0	0	1	1	0	0	0	0
0	1	0	0	1	0	0	0
0	1	1	0	0	0	0	0
1	0	0	1	1	0	0	0
1	0	1	1	0	1	0	1
1	1	0	0	1	0	1	1
1	1	1	0	0	0	0	0

Suatu tabel kebenaran digunakan untuk menggambarkan bagaimana logika output dihasilkan berdasarkan pada logika-logika input yang dimasukkan.

Beberapa fungsi, simbol, dan tabel kebenaran logika gerbang dasar :

Name	Graphic symbol	Algebraic function	Truth table															
AND		$F = xy$	<table border="1"> <thead> <tr> <th>x</th> <th>y</th> <th>F</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </tbody> </table>	x	y	F	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1
x	y	F																
0	0	0																
0	1	0																
1	0	0																
1	1	1																
OR		$F = x + y$	<table border="1"> <thead> <tr> <th>x</th> <th>y</th> <th>F</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </tbody> </table>	x	y	F	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1
x	y	F																
0	0	0																
0	1	1																
1	0	1																
1	1	1																
Inverter		$F = x'$	<table border="1"> <thead> <tr> <th>x</th> <th>F</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>	x	F	0	1	1	0									
x	F																	
0	1																	
1	0																	
Buffer		$F = x$	<table border="1"> <thead> <tr> <th>x</th> <th>F</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td></tr> </tbody> </table>	x	F	0	0	1	1									
x	F																	
0	0																	
1	1																	
NAND		$F = (xy)'$	<table border="1"> <thead> <tr> <th>x</th> <th>y</th> <th>F</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>	x	y	F	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0
x	y	F																
0	0	1																
0	1	1																
1	0	1																
1	1	0																

Timing diagram untuk logika **AND**, **OR**, dan **NOT** :



Beberapa simbol, fungsi, dan tabel kebenaran logika yang lain

NAND		$F = (xy)'$	$x$	$y$	$F$
			0	0	1
			0	1	1
			1	0	1
			1	1	0
NOR		$F = (x + y)'$	$x$	$y$	$F$
			0	0	1
			0	1	0
			1	0	0
			1	1	0
NOR		$F = (x + y)'$	$x$	$y$	$F$
			0	0	1
			0	1	0
			1	0	0
			1	1	0
Exclusive-OR (XOR)		$F = xy' + x'y$ $= x \oplus y$	$x$	$y$	$F$
			0	0	0
			0	1	1
			1	0	1
			1	1	0
Exclusive-NOR or equivalence		$F = xy + x'y'$ $= (x \oplus y)'$	$x$	$y$	$F$
			0	0	1
			0	1	0
			1	0	0
			1	1	1

Keterangan :

- 1). Logika pada tabel di atas merupakan hasil penurunan dari logika gerbang dasar
- 2). Logika NAND merupakan kebalikan (inverter) dari logika AND (not AND)
- 3). Logika NOR merupakan kebalikan (inverter) dari logika OR (not OR)

## Bab 10

# Aljabar Boole dan Rangkaian Kombinasional

### A. Aljabar Boolean

Suatu bentuk variabel biner dapat bernilai 0 atau 1. Suatu fungsi boolean adalah suatu pernyataan yang dibentuk dengan variabel-variabel biner, operator AND, OR, NOT, tanda kurung, dan sama dengan. Untuk nilai-nilai variabel yang diketahui, fungsi itu dapat bernilai 0 atau 1.

Dalam aljabar boolean digunakan dua konstanta yaitu logika 1 dan logika 0. Kedua konstanta tersebut bila diterapkan dalam rangkaian logika akan berupa taraf tegangan. Yakni taraf tegangan rendah dan taraf tegangan tinggi. Jika taraf tegangan tinggi dinyatakan dengan logika 1 dan taraf tegangan rendah dinyatakan dengan 0, maka disebut dengan penerapan logika positif.

Jika taraf tegangan tinggi dinyatakan dengan logika 0 dan taraf tegangan rendah dinyatakan dengan 1, maka disebut dengan penerapan logika negatif. Teori-teori aljabar boolean ini merupakan aturan-aturan dasar hubungan antara variabel-variabel boolean. Aturan ini digunakan untuk memanipulasi dan menyederhanakan suatu rangkaian logika ke dalam bentuk yang bervariasi. Adapun teori-teori aljabar boolean ini dapat kita rangkum menjadi bentuk-bentuk seperti berikut ini:

#### *Dalil-dalil Boolean (Boolean postulates)*

- P1:  $X = 0$  atau  $X = 1$
- P2:  $0 \cdot 0 = 0$
- P3:  $1 + 1 = 1$
- P4:  $0 + 0 = 0$
- P5:  $1 \cdot 1 = 1$
- P6:  $1 \cdot 0 = 0 \cdot 1 = 0$
- P7:  $1 + 0 = 0 + 1 = 1$

#### *Theorema Aljabar Boolean*

- T1: *Commutative Law*  
a.  $A + B = B + A$

$$b. A \cdot B = B \cdot A$$

T2: *Associative Law*

$$a. (A + B) + C = A + (B + C)$$

$$b. (A \cdot B) \cdot C = A \cdot (B \cdot C)$$

T3: *Distributive Law*

$$a. A \cdot (B + C) = A \cdot B + A \cdot C$$

$$b. A + (B \cdot C) = (A + B) \cdot (A + C)$$

T4: *Identity Law*

$$a. A + A = A$$

$$b. A \cdot A = A$$

T5: *Negation Law*

$$1. (A') = A'$$

$$2. (A')' = A$$

T6: *Redundant Law*

$$a. A + A \cdot B = A$$

$$b. A \cdot (A + B) = A$$

T7:  $0 + A = A$

$$1 \cdot A = A$$

$$1 + A = 1$$

$$0 \cdot A = 0$$

T8:  $A' + A = 1$

$$A' \cdot A = 0$$

T9:  $A + A' \cdot B = A + B$   $A \cdot (A' + B) = A \cdot B$

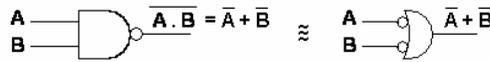
T10: *De Morgan's Theorem*

$$a. (A+B)' = A' \cdot B'$$

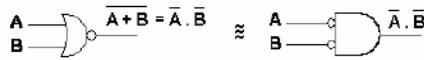
$$b. (A \cdot B)' = A' + B'$$

## B. Rangkaian Ekuivalen

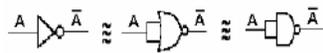
Dalam mendesain rangkaian logika seringkali kita diminta untuk menggunakan gerbang-gerbang NAND atau NOR saja. Untuk memudahkan pelaksanaan desain tersebut, maka diberikan rangkaian ekuivalen dari gerbang NAND dan NOR yaitu sebagai berikut:



NAND sama dengan INVERS – OR

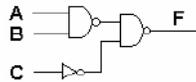


NOR sama dengan INVERS – AND



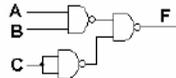
kesamaan INVERS

Mengubah rangkaian dibawah ini menjadi rangkaian yang hanya terdiri dari gerbang NAND, menggunakan rangkaian ekuivalen sebagai berikut.

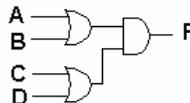


Rangkaian yang akan diubah

karena kesetaraan gerbang INVERS maka rangkaian menjadi

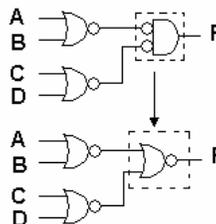


Mengubah rangkaian dibawah ini menjadi rangkaian yang hanya terdiri dari gerbang NOR, menggunakan rangkaian ekuivalen sebagai berikut.



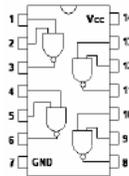
Rangkaian yang akan diubah

maka rangkaian menjadi:



### Sekilas tentang IC TTL

Selama ini kita hanya mengenal symbol-symbol suatu gerbang logika. Di dalam prakteknya suatu gerbang-gerbang logika ini dikemas dalam suatu IC (*integrated circuits*). Salah satu diantaranya yang terkenal adalah TTL (*transistor-transistor logic*). Setiap IC TTL ini mempunyai seri-seri tersendiri yang sudah ditetapkan oleh pabrik. Untuk lebih jelasnya berikut ini ada lah salah satu data book dari TTL seri 74 yaitu **SN74LS00**.

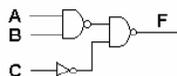


SN74LS00

Seri 74LS (*low power dengan Scottky-clamp diodes*), untuk seri yang sama seperti seri 74L (*low power*) seri 74H (*high power*) dan seri 74S (*fast speed*).

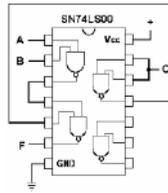
Penggunaan *scottky diodes* dengan rangkaian transistor paling banyak memberikan transistor *switching* tercepat karena waktu propagasinya terpendek, sedangkan 74H memboroskan tenaga terbesar dan menangani arus output terbesar. IC TTL ini hanya akan bekerja jika pin-pin power IC tersebut (GND untuk arus minus dan Vcc untuk arus plus) dihubungkan dengan sumber tegangan.

Misalnya kita akan merancang rangkaian seperti pada gambar berikut ini dengan menggunakan IC SN74LS00 seminimal mungkin.



Rangkaian yang akan di rancang

Gambar rangkaiannya adalah sebagai berikut :



Fungsi logika untuk F:

$$F = \overline{\overline{A \cdot B} \cdot C}$$

$$F = \overline{\overline{A \cdot B}} + \overline{C}$$

$$F = (A \cdot B) + C$$

Tabel kebenaran:

A	B	C	A.B	(A.B)+C
0	0	0	0	0
0	0	1	0	1
0	1	0	0	0
0	1	1	0	1
1	0	0	0	0
1	0	1	0	1
1	1	0	1	1
1	1	1	1	1

Jika kita mempunyai semua gerbang bisa memenuhi semua gerbang logika yang ada pada fungsi tersebut, segeralah merancangnya. Tetapi jika kita ingin mengubah menjadi satu macam type gerbang saja seperti NAND atau NOR kita harus mengubah fungsi tersebut menjadi bentuk seperti berikut.

Untuk membuat rangkaian hanya dari gerbang **NAND**:

Fungsi:

$$F = B (A + \bar{C}) + D$$

ubahlah fungsi tersebut menjadi bentuk SOP (*Sum of Product*), sehingga menjadi

$$F = AB + BC + D$$

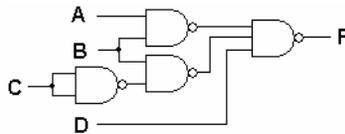
double-bar fungsi tersebut menjadi

$$F = \overline{\overline{AB + BC + D}}$$

Operasikan bar yang terbawah dari double bar, sehingga menjadi:

$$F = \overline{AB \cdot \overline{BC} \cdot \overline{D}}$$

rangkaiannya kombinasionalnya:



### C. Penyederhanaan fungsi logika dengan K-Map

Salah satu metode penyederhanaan fungsi logika untuk maksimal 4 variabel dapat dilakukan dengan metode KMap (*Karnaugh Map*). Sebab jika lebih dari 4 variabel kita menggunakan metode *Quine Mc Cluskey*. Adapun contoh penyederhanaan fungsi logika dengan menggunakan K-Map adalah sebagai berikut:

Contoh:

Sederhanakan fungsi logika dengan 3 variabel berikut ini :

$$F = \overline{A}\overline{B} + \overline{A}BC + B\overline{C} + \overline{B}$$

Karena bentuk ekspresi fungsi diatas adalah SOP maka pada matrik K-Map kita letakkan angka 1. Sehingga K -Map tersebut akan tampak seperti:

	BC			
A	00	01	11	10
0			1	1
1	1	1	1	1

sehingga dari K-Map tersebut didapat penyederhanaan fungsi sebagai berikut:

$$F = A + B$$

Sebagai Contoh sederhanakan fungsi logika dengan 4 variabel beriku ini :

$$F = \overline{A}\overline{B}\overline{C} + \overline{B}\overline{D} + \overline{A}\overline{B}\overline{C}\overline{D} + \overline{A}\overline{C}\overline{D} + \overline{C}\overline{D}$$

Maka K-Map akan berbentuk seperti :

	CD			
AB	00	01	11	10
00		1	1	1
01	1	1		1
11		1		1
10		1	1	1

sehingga dari K-Map tersebut didapat penyederhanaan fungsi sebagai berikut:

$$F = \bar{C}D + C\bar{D} + \bar{B}D + \bar{A}\bar{C}$$

Sederhanakan fungsi logika dengan 4 variabel berikut ini :

$$F = (\bar{A} + \bar{B} + C) \cdot (\bar{A} + \bar{C}) \cdot (\bar{B} + \bar{C})$$

karena bentuk ekspresi fungsi diatas adalah POS, maka kita tempatkan 0 pada K- Map. Sehingga K –Map akan tampak seperti berikut:

		CD			
		00	01	11	10
AB	00				
	01			0	0
	11	0	0	0	0
	10			0	0

hasil penyederhanaan K-Map adalah:

$$F = (\bar{A} + \bar{B}) \cdot (\bar{B} + \bar{C}) \cdot (\bar{A} + \bar{C})$$

**c. Penyelesaian logika dari tabel kebenaran dengan menggunakan metode SOP dan POS dan implementasi pada rancangan rangkaian logikanya.**

Jika diberikan suatu tabel kebenaran dari suatu kasus maka kita bisa menggunakan metode SOP atau POS untuk merancang suatu rangkaian kombinasionalnya. Seperti yang telah dijelaskan diatas. Untuk menentukan suatu rancangan biasanya kita menghendaki suatu rancangan yang paling efisien. Dengan adanya tabel kebenaran kita dapat menentukan mana diantara metode yang paling efisien untuk diimplementasikan. Untuk menentukan metode mana yang paling efisien, kita lihat bagian output pada tabel kebenaran tersebut.

Jika jumlah output yang mempunyai nilai 1 lebih sedikit dari jumlah output yang mempunyai nilai 0, maka kita bisa menentukan bahwa metode SOP yang lebih efisien. Jika jumlah output yang mempunyai nilai 0 lebih sedikit dari jumlah output yang mempunyai nilai 1, maka kita bisa menentukan metode POS yang lebih efisien.

Kadangkala suatu hasil dari tabel disajikan dalam bentuk fungsi. Dan kita akan mengenal symbol "Σ" melambangkan operasi SOP sehingga yang ditampilkan adalah output yang mempunyai nilai 1 dan symbol "Π"

melambangkan operasi POS sehingga yang ditampilkan adalah ouput yang mempunyai nilai 0.

Contoh:

$$F(A, B, C) = \Sigma (0, 3, 5, 7)$$

Maksud dari fungsi diatas adalah fungsi tersebut mempunyai 3 variabel input dan output yang mempunyai nilai 1 adalah 0, 3, 5, dan 7 (tanda  $\Sigma$  melambangkan SOP).

Jika fungsi yang disajikan adalah:

$$F(A, B, C) = \Pi (0, 3, 5, 7)$$

Maksudnya adalah fungsi tersebut mempunyai 3 variabel input dan output yang mempunyai nilai 0 adalah 0, 3, 5, dan 7 (tanda  $\Pi$  melambangkan POS).

Buatlah rangkaian kombinasional untuk mengimplementasikan tabel kebenaran berikut :

A	B	C	OUTPUT
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	1
0	1	1	1
0	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	1

Karena output dengan nilai 1 lebih sedikit maka kita gunakan metode SOP. Dan untuk teknik penyederhanaannya kita langsung gunakan K-Map (karena masih 3 variabel). Sehingga K-Map akan berbentuk:

	BC			
A	00	01	11	10
0			1	1
1			1	

Ekspresi fungsi logikanya dari hasil K-Map tersebut adalah:

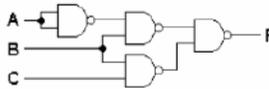
$$F = \bar{A}B + BC$$

Karena bentuk fungsi logikanya adalah SOP kita dapat merancang rangkaian kombinasionalnya dari gerbang NAND saja, yaitu dengan cara memberi double bar pada fungsi tersebut kemudian operasikan bar yang terbawah. Fungsi akan menjadi:

$$F = \overline{\overline{AB + BC}}$$

$$F = \overline{\overline{AB} \cdot \overline{BC}}$$

Sehingga rangkaian kombinasionalnya menjadi:

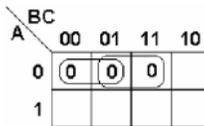


Contoh :

Buatlah rangkaian kombinasional untuk mengimplementasikan tabel kebenaran berikut ini :

A	B	C	OUTPUT
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	1
0	1	1	0
0	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1

Karena output dengan nilai 0 lebih banyak maka kita gunakan metode POS. Sehingga K-Map akan terbentuk :



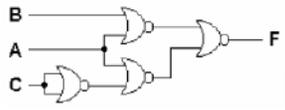
Ekspresi fungsi logikanya dari hasil K-Map tersebut adalah:

$$F = (A + B) \cdot (A + \overline{C})$$

Dari fungsi logika tersebut kita dapat merancang rangkaian kombinasionalnya dari gerbang NOR saja dengan cara memberi double bar kemudian bar terbawah dioperasikan sehingga:

$$F = \overline{\overline{(A+B)} \cdot \overline{(A+C)}}$$
$$F = \overline{\overline{(A+B)} + \overline{(A+C)}}$$

Dan rangkaian kombinasionalnya:



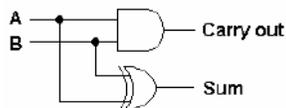
## Bab 11 Rangkaian Aritmatika

### Half Adder

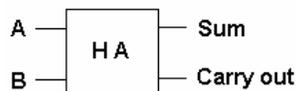
Adalah suatu operasi penjumlahan dua bit biner tanpa menyertakan *carry-in* nya. *Half adder* ini dapat dibuat tabel kebenarannya sebagai berikut:

A	B	SUM	Carry Out
0	0	0	0
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	0	1

Dari tabel kebenaran tersebut kita dapat merancang rangkaian kombinasionalnya menjadi:



Jika kita buat diagram menurut rangkaian kombinasional diatas half adder tersebut menjadi:



### Full Adder

Adalah operasi penjumlahan dua bit biner dengan menyertakan *carry-in* nya. Tabel kebenaran untuk full adder ini adalah sebagai berikut:

A	B	Carry in	Sum	Carry out
0	0	0	0	0

0	0	1	1	0
0	1	0	1	0
0	1	1	0	1
1	0	0	1	0
1	0	1	0	1
1	1	0	0	1
1	1	1	1	1

Dengan K-Map kita bisa merancang rangkaian full addernya sebagai berikut:

**SUM**

		B Cin			
A		00	01	11	10
0			1		1
1		1		1	

**Carry out**

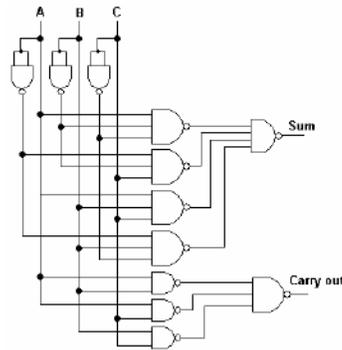
		B Cin			
A		00	01	11	10
0				1	
1		1	1	1	

C = Carry in

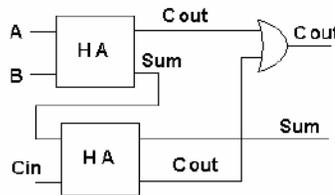
$$\text{Sum} = \overline{A}\overline{B}C + \overline{A}B\overline{C} + A\overline{B}\overline{C} + \overline{A}BC$$

$$\text{Carry out} = AB + AC + BC$$

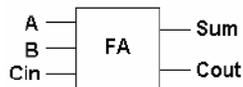
Rangkaian kombinasionalnya:



atau dapat juga rangkaian *full adder* tersebut dibuat dari 2 buah rangkaian *half adder*. Sehingga bentuknya menjadi seperti berikut:



Rangkaian tersebut dapat dibuat diagram logikanya menjadi:



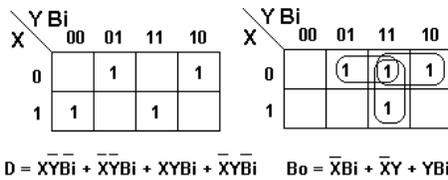
### ***Full subtractor***

Rangkaian logika lainnya yang dapat dikelompokkan sebagai unit rangkaian aritmatika adalah *full subtractor*. *Full subtractor* ini merupakan operasi pengurangan dua bit biner yang mengikutsertakan *borrow-in* nya di dalam operasi pengurangannya. Tabel kebenaran dari *full subtractor* ini adalah sebagai berikut:

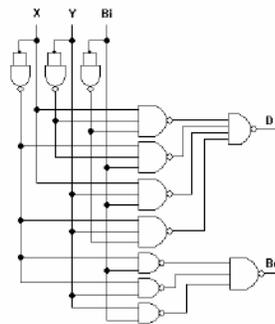
X	Y	Bin	D	Bout
0	0	0	0	0
0	0	1	1	1

0	1	0	1	1
0	1	1	0	1
1	0	0	1	0
1	0	1	0	0
1	1	0	0	0
1	1	1	1	1

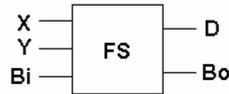
Dengan menggunakan K -Map untuk mencari fungsi logika yang paling sederhana.



Rangkaian logikanya adalah



Rangkaian diatas dapat dibuat diagram logikanya sebagai berikut:



### Bilangan tak bertanda

Pada beberapa aplikasi kadangkala tidak memperhatikan tanda negatif dan positif, karena hanya berkonsentrasi pada besaran nilai. Sebagai contoh pada angka biner 8 bit nilai besaran yang terkecil adalah 0000 0000 dan yang terbesar adalah 11111111. Maka dari itu total kisaran angka biner 8 bit adalah dari 0000 0000 (00H) s/d 1111 1111 (FFH). Besaran nilai biner 8 bit setara dengan decimal dari 0 s/d 255. seperti yang anda lihat bahwa kita tidak menyertakan tanda + dan – pada bilangan decimal tersebut.

Jika kita menggunakan 16 bit, maka kisaran biner adalah: 0000 0000 0000 0000 (0000H) s/d 1111 1111 1111 1111 (FFFFH). Yang setara dengan bilangan decimal dari 0 s/d 65.535

Sebagai Contoh, Penjumlahan bilangan decimal 150 dan 85 dengan menggunakan 8 bit.

Penyelesaiannya :

$$150 \rightarrow 1001\ 0110 \rightarrow 96\text{H}$$

$$85 \rightarrow 0101\ 0101 \rightarrow 55\text{H}$$

$$\begin{array}{r} 1001\ 0110 \\ + 0101\ 0101 \\ \hline 1110\ 1011 \end{array} \qquad \begin{array}{r} 96\text{H} \\ + 55\text{H} \\ \hline \text{EBH} \end{array}$$

$$1110\ 1011 \rightarrow \text{EBH} \rightarrow 235$$

Contoh berikutnya, Pengurangan bilangan decimal 150 dan 85 dengan menggunakan 8 bit.

Penyelesaiannya :

$$\begin{array}{r} 1001\ 0110 \\ - 0101\ 0101 \\ \hline 0100\ 0001 \end{array} \qquad \begin{array}{r} 96\text{H} \\ - 55\text{H} \\ \hline 41\text{H} \end{array}$$

$$0100\ 0001 \rightarrow 41\text{H} \rightarrow 65$$

### Batasan-batasan

*Microcomputer* generasi pertama hanya dapat memproses 8 bit dalam satu waktu. Oleh karena itu semua operasi-operasi aritmatika (baik penjumlahan atau pengurangan) haruslah menghasilkan besaran pada kisaran 0 s/d 255. Jika suatu besaran lebih besar dari 255, berarti kita harus menggunakan operasi aritmatika 16 bit. 8 bit pertama baru kemudian 8 bit berikutnya.

### **Overflow**

Pada penjumlahan 8 bit antara dua bilangan tak bertanda yang menghasilkan besaran lebih besar dari 255 akan menyebabkan overflow yaitu carry pada bit ke -9. Pada sebagian besar *microprocessor* mempunyai rangkaian logic yang disebut *carry flag*. Rangkaian ini mendeteksi sebuah carry yang berada pada bit ke -9 dan memberi tanda bahwa hasil yang diperoleh pada operasi 8 bit tersebut invalid.

Sebagai contoh, tunjukkan dengan menggunakan operasi 8 bit untuk  $175_{10}$  ditambah  $118_{10}$ .

Jawab:

$$\begin{array}{r} 175 \\ + 118 \\ \hline 293 \end{array}$$

Karena jawabannya lebih dari 255, yang akan terjadi jika kita menggunakan operasi 8 bit adalah:

$$\begin{array}{r} \text{AFH} \\ + 76\text{H} \\ \hline 125\text{H} \end{array} \quad \text{Overflow} \rightarrow \begin{array}{r} 1010\ 1111 \\ + 0111\ 0110 \\ \hline 1\ 0010\ 0101 \end{array}$$

Karena 8 bit, maka hanya hasil 8 bit kebawah saja yang digunakan. Sehingga:

$$0010\ 0101 \rightarrow 25\text{H} \rightarrow 37$$

seperti yang anda lihat, bahwa jawabannya salah.

### **Bilangan bertanda**

Bilangan bertanda sangat penting artinya untuk operasi aritmatika yang lebih kompleks. Angka-angka decimal -1, -2, -3 dst yang menunjukkan besaran negatif akan sama jika dilambangkan dengan bilangan biner -001, -010, dan -011 secara berurutan. Karena semua kode harus dilambangkan dengan 0 dan 1, maka tanda + dilambangkan dengan 0 dan - dilambangkan dengan 1. Sehingga -001, -010, dan -011 dikodekan sebagai 1001, 1010 dan 1011.

Pada angka-angka selanjutnya, MSB selalu menunjukkan tanda dan bit sisanya adalah besaran angka. Berikut ini adalah contoh konversi besaran bilangan bertanda:

+7 → 0000 0111  
-16 → 1001 0000  
+25 → 0000 0000 0001 1001  
-128 → 1000 0000 1000 0000

### Kisaran besaran bilangan bertanda

Seperti telah kita ketahui, bilangan tak bertanda 8 bit dapat mewakili 0 s/d 255. Jika kita menggunakan besaran bertanda nilai yang diwakili menjadi berkurang dari 255 menjadi 127, karena 1 bit dipergunakan sebagai wakil dari tanda besaran (+ atau -).

Contoh :

1000 0001 → (-1)      0000 0001 → (+1)  
1111 1111 → (-127)      0111 1111 → (+127)

### 1'S Complement

adalah bilangan biner yang dihasilkan dari menginvers-kan setiap bit-nya. 1'S complement dari biner 1000 adalah 0111

### 2'S Complement

adalah bilangan biner yang dihasilkan dari 1'S complement ditambah 1. jika dibuat rumus menjadi:

$$2'S \text{ complement} = 1'S \text{ complement} + 1$$

sebagai contoh, 2'S complement dari 1011 adalah:

1011 → 0100 (1'S complement)  
0100 + 1 → 0101 (2'S complement)

### Odometer biner

Adalah cara yang baik sekali untuk memahami gambaran tentang 2'S complement. Pada umumnya microcomputer menggunakan 2'S complement

untuk menggambarkan bilangan negatif dan positif. Seperti telah kita ketahui bahwa tanda + diwakili dengan 0 dan - diwakili dengan 1 pada MSB bit-bit biner. Pada

bilangan merupakan

Besaran	Positif	Besaran	Negatif
1	0001	-1	1111
2	0010	-2	1110
3	0011	-3	1101
4	0100	-4	1100
5	0101	-5	1011
6	0110	-6	1010
7	0111	-7	1001
8	-	-8	1000

odometer,  
negatif  
2'S

complement dari bilangan positifnya, sehingga,

Kecuali untuk bilangan terakhir, bilangan negatif merupakan 2'S complement dari bilangan positifnya.

### ***Pengurangan dengan complement***

Pengurangan dua buah bilangan adalah sama dengan penjumlahan antara bilangan yang dikurangi dengan *complement* pengurangnya. Pada *microcomputer* selalu menggunakan biner untuk melakukan operasi aritmatika.

Contoh :

Hitunglah :  $83 - 16$  dengan menggunakan 8 bit. Biner setiap bilangan:

$$83 \rightarrow 0101\ 0011$$

$$16 \rightarrow 0001\ 0000$$

16 akan dikirimkan 2'S complement-nya (karena minus) menjadi :

$$-16 \rightarrow 1111\ 0000$$

sehingga :

$$\begin{array}{r} 83 \qquad \qquad \qquad 0101\ 0011 \\ - \underline{16} \qquad \qquad \qquad + \underline{1111\ 0000} \\ \hline 67 \text{ Carry don't care } 1\ 0100\ 0011 \rightarrow 0100\ 0011 \rightarrow 43H \rightarrow 67 \end{array}$$

Contoh :

Hitunglah : 14 – 108 dengan menggunakan 8 bit. Biner setiap bilangan:

$$\begin{array}{r} +14 \qquad \qquad \rightarrow \qquad 0000\ 1110 \\ +108 \qquad \rightarrow \qquad 0110\ 1100 \end{array}$$

108 akan dikirimkan 2'S complement-nya (karena minus) menjadi :

$$-108 \qquad \rightarrow \qquad 1001\ 0100$$

sehingga:

$$\begin{array}{r} 14 \qquad \qquad \qquad 0000\ 1110 \\ - \underline{108} \qquad \qquad \qquad + \underline{1001\ 0100} \\ \hline - 94 \text{ Tanpa carry } 1010\ 0010 \rightarrow A2H \rightarrow -94 \end{array}$$



## Bab 12 Rangkaian Pemrosesan Data

### A. Multiplexer

*Multiplexer* adalah suatu rangkaian yang mempunyai banyak input dan hanya mempunyai satu output. Dengan menggunakan selector, kita dapat memilih salah satu inputnya untuk dijadikan output. Sehingga dapat dikatakan bahwa *multiplexer* ini mempunyai  $n$  input,  $m$  selector, dan 1 output. Biasanya jumlah inputnya adalah  $2^m$  selectornya. Adapun macam dari *multiplexer* ini adalah sebagai berikut:

- Multiplexer* 4x1 atau 4 to 1 *multiplexer*
- o *Multiplexer* 8x1 atau 8 to 1 *multiplexer*
- o *Multiplexer* 16x1 atau 16 to 1 *multiplexer* dsb.

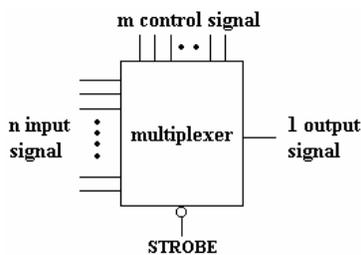
Gambar berikut adalah simbol dari *multiplexer* 4x1 yang juga disebut sebagai “*data selector*” karena bit output tergantung pada input data yang dipilih oleh selector. Input data biasanya diberi label  $D_0$  s/d  $D_n$ . Pada *multiplexer* ini hanya ada satu input yang ditransmisikan sebagai output tergantung dari kombinasi nilai selectornya. Kita misalkan selectornya adalah  $S_1$  dan  $S_0$ , maka jika nilai :

$$S_1 S_0 = 00$$

Maka outputnya (kita beri label  $Y$ ) adalah :

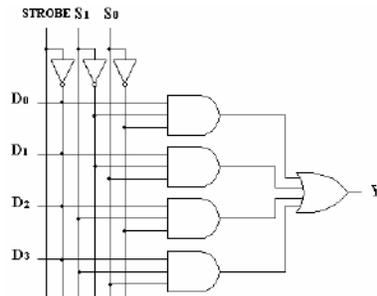
$$Y = D_0$$

Jika  $D_0$  bernilai 0 maka  $Y$  akan bernilai 0, jika  $D_0$  bernilai 1 maka  $Y$  akan bernilai 1.



Gambar simbol *multiplexer*

Adapun rangkaian *multiplexer* 4x1 dengan menggunakan strobe atau enable yaitu suatu jalur bit yang bertugas mengaktifkan atau menonaktifkan *multiplexer*, dapat kita lihat pada gambar berikut ini.



Gambar Rangkaian multiplexer 4x1

Tabel Kebenaran multiplexer 4x1

Strobe	S1	S0	Output
0	0	0	D <sub>0</sub>
0	0	1	D <sub>1</sub>
0	1	0	D <sub>2</sub>
0	1	1	D <sub>3</sub>
1	X	X	0

### Logika multiplexer dan Implementasi Fungsi Boolean

Suatu desain dari rangkaian logic biasanya dimulai dengan membuat tabel kebenaran. Seperti telah kita ketahui bahwa kita mengenal ada 2 macam metode yang diterapkan pada tabel kebenaran, yaitu metode *sum of product* (SOP) dan metode *product of sum* (POS). Pada bagian ini kita kenalkan dengan metode yang ketiga yaitu *multiplexer solution*.

Pada kenyataannya, kita dapat merancang suatu multiplexer 8x1 dari multiplexer 4x1 atau multiplexer 16x1 dari multiplexer 8x1 dan seterusnya. Jika kita anggap **selector** sebagai **n**, maka kita dapat membuat multiplexer 2nx1 dari multiplexer 2n-1x1. Dengan kata lain kita memfungsikan multiplexer 2n-1x1 sebagai multiplexer 2nx1.

Jika kita menterjemahkan suatu kasus sebagai suatu fungsi F :

$$F(A, B, C) = \Sigma(1, 3, 5, 6)$$

Dimana parameter fungsi tersebut A, B, C adalah merupakan selector dari multiplexer dan sisi sebelah kanan fungsi adalah output yang diinginkan dari

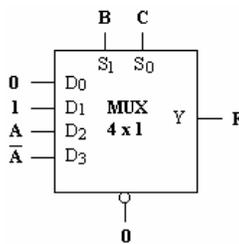
multiplexer. Tanda  $\Sigma$  beserta parameternya berikutnya adalah merupakan bentuk SOP (*sum of product*), dimana hal ini menandakan hanya minterm yang mempunyai nilai 1 saja yang diikutkan sebagai parameter. Tabel kebenaran dari fungsi diatas adalah sebagai berikut:

Tabel

Minterm	A	B	C	F
0	0	0	0	0
1	0	0	1	1
2	0	1	0	0
3	0	1	1	1
4	1	0	0	0
5	1	0	1	1
6	1	1	0	1
7	1	1	1	0

	D <sub>0</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>
$\bar{A}$	0	①	2	③
A	4	⑤	⑥	7
	0	1	A	$\bar{A}$

implementasi tabel

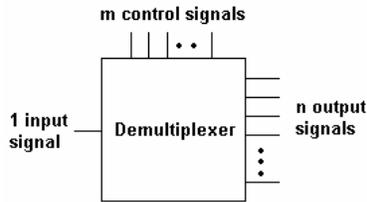


Implementasi multiplexer.

### B. Demultiplexer

*Demultiplexer* berarti satu ke banyak. Sebuah demultiplexer adalah suatu rangkaian logic yang mempunyai satu input dan mempunyai banyak output. Dengan menggunakan control signal, kita dapat mengarahkan input signal ke salah satu outputnya. Gambar berikut ini mengilustrasikan ide dasar dari

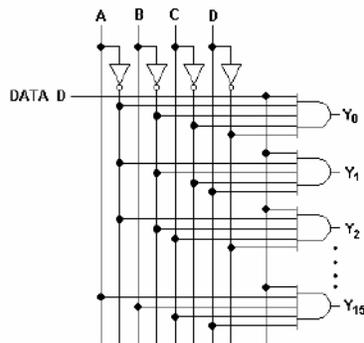
demultiplexer yang mempunyai 1 input signal,  $m$  control signal, dan  $n$  output signal.



Gambar Demultiplexer

### 1 to 16 Demultiplexer

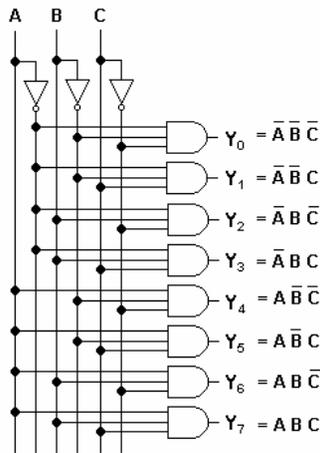
Gambar berikut menunjukkan 1 to 16 demultiplexer. Input diberi label  $D$ . Bit data  $D$  ditransmisikan ke output tergantung pada nilai input control  $ABCD$ . Jika  $ABCD$  bernilai 0000, maka gerbang AND teratas enable/aktif dan gerbang AND lainnya akan *disable* / tidak aktif. Oleh karena itu bit data  $D$  hanya ditransmisikan ke output  $Y_0$ , sehingga  $Y_0=D$ . Jika  $D$  bernilai 0, maka  $Y_0$  bernilai 0. Jika  $D$  bernilai 1, maka  $Y_0$  bernilai 1. Jika input control bernilai 1111, maka semua gerbang AND akan *disable* kecuali gerbang AND terbawah. Kemudian  $D$  hanya diransmisikan ke output  $Y_{15}$ , dan  $Y_{15}=D$ .



Gambar Rangkaian 1 to 16 demultiplexer.

### C. Dekoder

Jika kita perhatikan decoder ini sebenarnya mirip dengan demultiplexer, dengan satu pengecualian yaitu pada decoder ini tidak mempunyai data input. Input hanya digunakan sebagai data control.



Gambar Rangkaian 1 to 8 decoder.

Dalam hal ini adalah  $ABCD$ . Seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.5, circuit logic ini disebut *1 of 8 decoder*, karena hanya 1 dari 8 jalur output yang bernilai 1.

Sebagai contoh, ketika  $ABCD = 0001$ , maka hanya output  $Y1$  yang akan bernilai 1. Begitu juga jika  $ABCD = 0100$ , maka hanya output  $Y4$  yang mempunyai output 1 dan seterusnya.

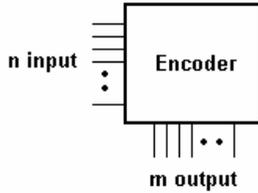
Operasi pada decoder dapat dijelaskan lebih lanjut dari hubungan input-output, seperti pada tabel 4.3 Amatilah pada variabel output yang mana, satu sama lainnya saling eksklusif, karena ha nya ada satu output yang bernilai 1 pada satu waktu. Jalur output ditunjukkan dengan minterm yang ekivalen dengan angka biner.

Tabel kebenaran 1 to 8 decoder.

Input			Output							
A	B	C	D <sub>0</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	D <sub>5</sub>	D <sub>6</sub>	D <sub>7</sub>
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1

**D. Enkoder**

Sebuah encoder mengkonversikan input signal yang aktif menjadi output signal yang dikodekan. Pada gambar berikut ini mengilustrasikan suatu encoder. Dimana ada sejumlah n jalur input, dan hanya salah satunya yang aktif. Internal logic di dalam encoder mengkonversikan input yang aktif menjadi output kode-kode biner sebanyak m bit.



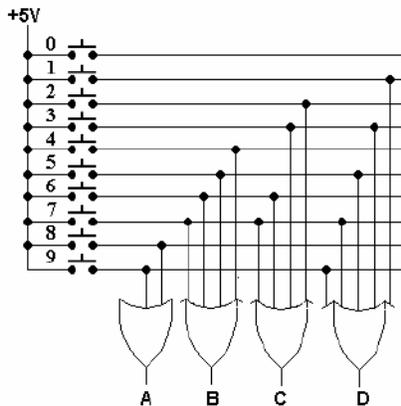
Gambar Encoder.

*Decimal to BCD Encoder*

Gambar berikut menunjukkan suatu type encoder yang sudah umum yaitu decimal to BCD encoder. Switch dengan penekan tombol mirip dengan tombol kalkulator dihubungkan dengan tegangan Vcc. Jika tombol 3 ditekan, maka gerbang-gerbang OR pada jalur C dan D akan mempunyai input bernilai 1. Oleh karena itu maka outputnya menjadi :

$$ABCD = 0011$$

Dan seterusnya.



Gambar *Decimal to BCD encoder*.

## Bab 13 Rangkaian Sequential

Pada dasarnya rangkaian logika dibagi menjadi dua jenis, yaitu rangkaian kombinasional yang telah kita pelajari pada bab sebelumnya dan rangkaian sequential.

Ø Rangkaian kombinasional adalah suatu rangkaian yang outputnya hanya tergantung pada kombinasi inputnya.

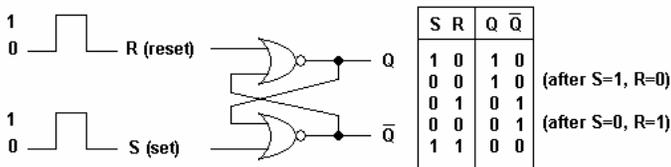
Ø Rangkaian sequential adalah suatu rangkaian yang outputnya tidak hanya tergantung pada kombinasi inputnya tetapi juga tergantung pada output sebelumnya.

### a. Flip-Flop

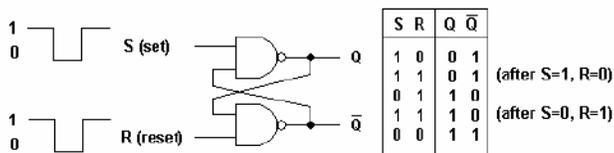
Adalah suatu rangkaian yang dapat menyimpan state biner (sepanjang masih terdapat power pada rangkaian) sampai terjadi perubahan pada sinyal inputnya.

### b. Rangkaian Dasar Flip –Flop

Flip-flop dapat dibuat dari dua buah gerbang NAND atau NOR berikut ini: Gambar Rangkaian dasar flip-flop dengan gerbang NOR.



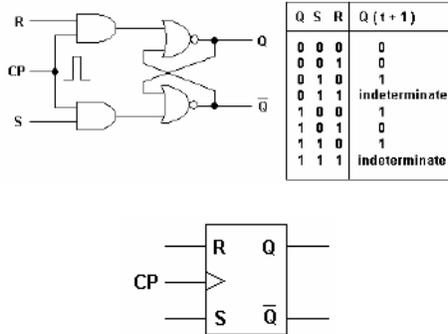
Gambar Rangkaian dasar flip-flop dengan gerbang NOR



Gambar Rangkaian dasar flip-flop dengan gerbang NAND.

### C. RS Flip-Flop dengan Clock

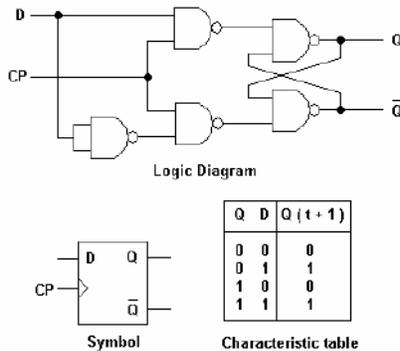
Dengan menambah beberapa gerbang pada bagian input rangkaian dasar, flip-flop tersebut hanya dapat merespon input selama terdapat clock pulsa. Output dari flip-flop tidak akan berubah selama clock pulsanya 0 meskipun terjadi perubahan pada inputnya. Output flip-flop hanya akan berubah sesuai dengan perubahan inputnya jika clock pulsa bernilai 1.



Gambar RS flip-flop dengan clock.

**d. D Flip-Flop**

D flip-flop merupakan modifikasi dari RS flip-flop memakai clock. Input D disalurkan secara langsung ke S.

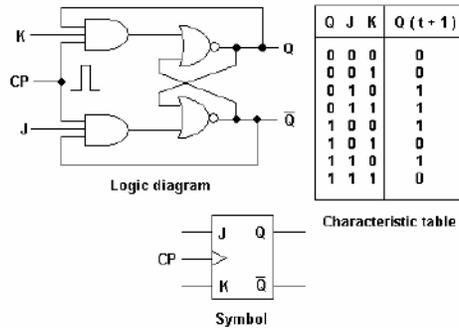


Gambar D flip -flop dengan clock.

**e. JK Flip-Flop**

State-state yang tidak didefinisikan pada RS flip-flop, pada JK flip -flop ini state tersebut didefinisikan. Jika pada RS flip-flop kondisi R dan S sama

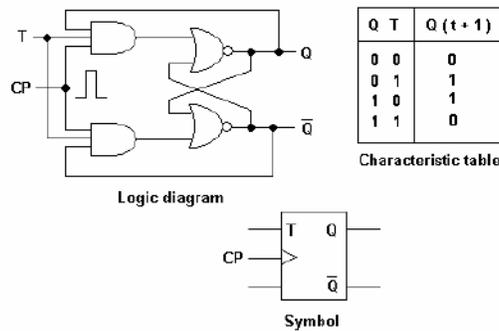
dengan 1, maka kondisi seperti ini tidak didefinisikan, maka pada JK flip-flop jika kondisi J dan K sama dengan 1 maka output JK flip-flop tersebut adalah komplement dari output sebelumnya. Dalam hal ini J setara dengan S dan K setara dengan R. Untuk lebih jelasnya kita perhatikan diagram dibawah ini.



Gambar JK flip-flop dengan clock.

### f. T Flip-Flop

Adalah versi JK flip-flop dengan single input. T flip-flop mempunyai kemampuan yaitu membuat toggle seperti pada tabel dibawah ini.



Gambar T flip-flop dengan clock.

### g. Tabel Eksitasi Flip-Flop

Dibawah ini adalah karakteristik tabel dari berbagai type flip-flop. Nilai X menandakan bahwa nilainya dapat diisi kedua-duanya yaitu 0 dan 1.

Q (t)	Q (t+1)	S	R
0	0	0	X
0	1	1	0
1	0	0	1
1	1	X	0

(a) RS flip -flop

Q (t)	Q (t+1)	J	K
0	0	0	X
0	1	1	X
1	0	X	1
1	1	X	0

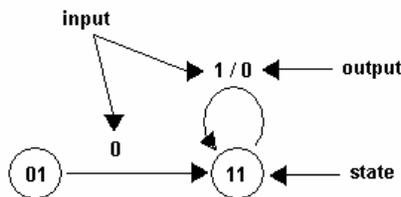
(b) JK flip –flop

Q (t)	Q (t+1)	S
0	0	0
0	1	1
1	0	0
1	1	1

Q (t)	Q (t+1)	J
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

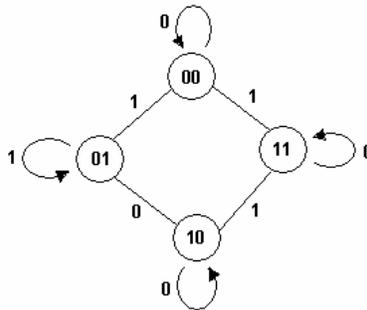
### h. Prosedur Disain

Apabila kita akan membuat suatu rangkaian sequential dengan clock biasanya dimulai dari kumpulan spesifikasi rangkaian dalam bentuk diagram state sehingga nantinya didapatkan daftar fungsi boolean. Berbeda dengan rangkaian kombinasional yang sepenuhnya dapat dibuat dari representasi tabel kebenaran, rangkaian sequential ini harus dibuat dahulu diagram statenya agar dapat diketahui tahap-tahap state yang seharusnya diproses, sehingga kita dapat menentukan rangkaian kombinasionalnya. State diagram mempunyai bentuk:



Gambar Konvensi state diagram.

Contoh membuat rangkaian sequential dengan menggunakan JK flip-flop untuk state diagram berikut ini:



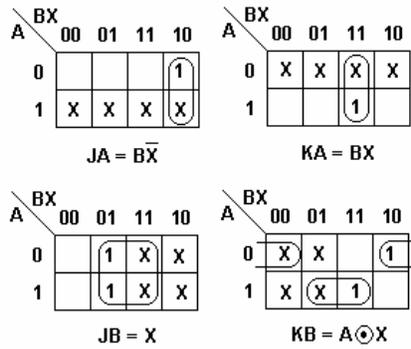
Tabel state

Present state		Next state			
		X = 0		X = 1	
A	B	A	B	A	B
0	0	0	0	0	1
0	1	1	0	0	1
1	0	1	0	1	1
1	1	1	1	0	0

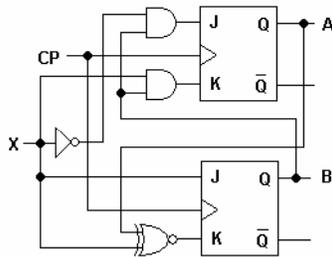
Tabel eksitasi

Input dari rangkaian kombinasional			Next state		Output dari rangkaian kombinasional Input flip -flop			
Present state	input							
A	B	X	A	B	JA	KA	JB	KB
0	0	0	0	0	0	X	0	X
0	0	1	0	1	0	X	1	X
0	1	0	1	0	1	X	X	1
0	1	1	0	1	0	X	X	0
1	0	0	1	0	X	0	0	X
1	0	1	1	1	X	0	1	X
1	1	0	1	1	X	0	X	0
1	1	1	0	0	X	1	X	1

Dari tabel eksitasi tersebut dapat dibuat K-Map untuk setiap input flip-flop yaitu:



Rangkaian sequentialnya adalah:



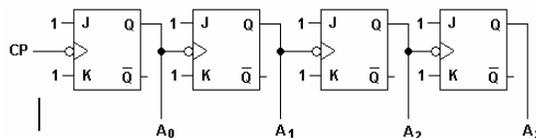
## Bab 14 Counter ( Pencacah )

### a. Ripple Counter

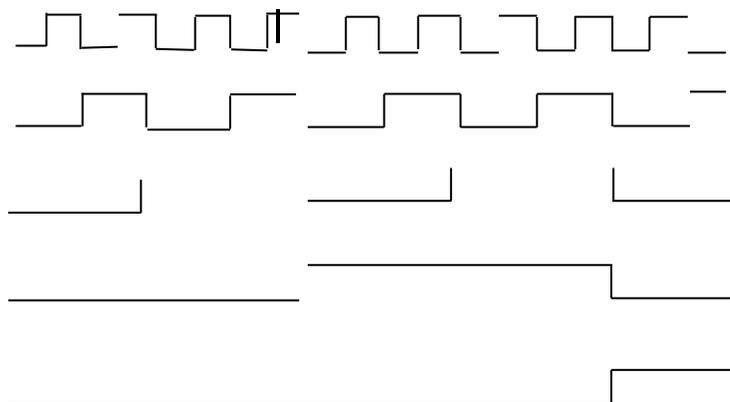
Selain register digunakan untuk transfer data, register juga mempunyai kegunaan lain yaitu sebagai counter (pencacah). Counter dapat dibedakan menjadi dua macam, yang pertama adalah Ripple counter dimana output flip-flop yang satu digunakan sebagai clock pulsa pada flip-flop lainnya. Sedangkan synchronous counter semua flip -flop mempunyai clock pulsa yang sama.

### Binary Ripple Counter

Binary ripple counter terdiri dari flip-flop complement ( T flip-flop dan JK flipflop) yang dirangkai secara seri dengan setiap output flip-flop dihubungkan pada input CP flip-flop yang mempunyai urutan lebih tinggi.



Gambar Binary ripple counter 4 bit.



Tabel kebenaran binary ripple counter

A3	A2	A1	A0
0	0	0	0
0	0	0	1
0	0	1	0
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	0	1
0	1	1	0
0	1	1	1
1	0	0	0

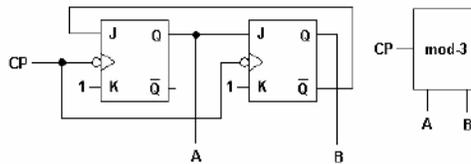
Rangkaian counter-counter diatas hanya akan kembali ke keadaan semula (reset) dalam  $2n$  pulsa. Apabila kita menginginkan suatu flip-flop akan reset setelah hitungan tertentu (selain hitungan  $2n$ ) maka counter ini disebut sebagai modulus counter.

**Counter MOD-3**

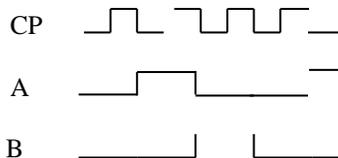
Berikut ini adalah counter mod 3 dengan menggunakan JK flip-flop.

Tabel kebenaran

B	A	count
0	0	0
0	1	1
1	0	2
0	0	0

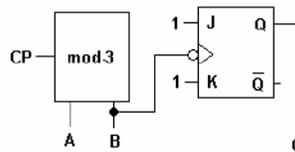


Gambar Diagram logika dan logic blok

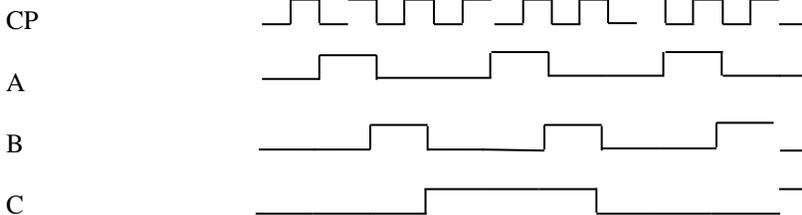


### Counter MOD-6

Dasar dari flip-flop adalah counter mod-2. Sehingga jika kita ingin membuat counter mod-4 kita dapat membangunnya dari dua buah mod-2 yang dihubungkan secara seri. Untuk counter mod-6 kita dapat membangunnya dari counter mod-3 dan counter mod-2 yang dirangkai secara seri ( $3 \times 2 = 6$ ) seperti pada gambar berikut.



Gambar 3 x 2 mod-6 counter



### Synchronous Counter

Perbedaan antara *synchronous counter* dengan *ripple counter* adalah semua flip - flop mempunyai pulsa *clock* yang sama. Prosedur desain suatu *synchronous counter* sama seperti pada prosedur desain flip-flop (pertemuan V).

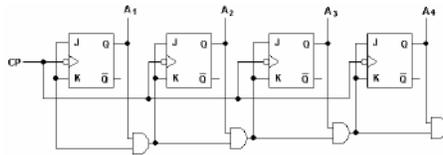
### Binary Counter

Desain dari *synchronous binary counter* ini sederhana, dimana flip - flop pada urutan terendah dicomplement-kan dengan setiap pulsa. Flip-flop pada posisi lebih tinggi akan dikomplemen-kan jika semua bit pada flip-flop yang lebih rendah bernilai 1.

Sebagai contoh:

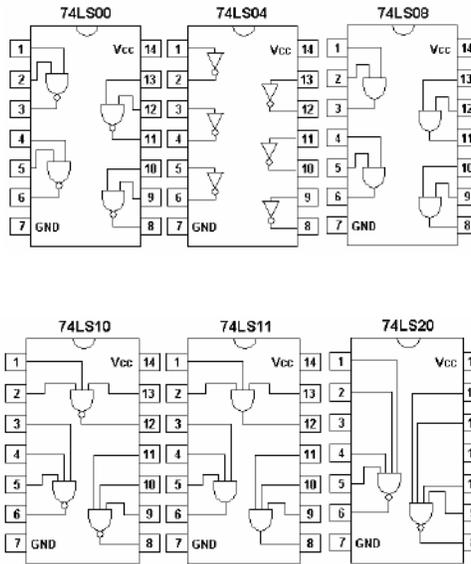
Jika present state suatu *counter* 4 bit yaitu  $A_4A_3A_2A_1 = 0011$ , maka state

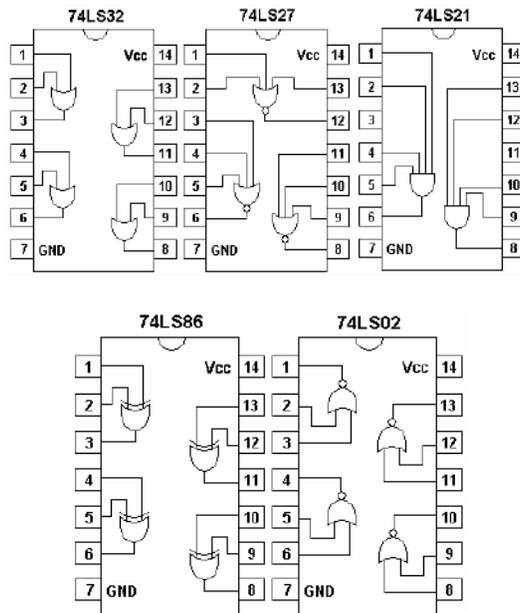
berikutnya adalah 0100. A1 selalu dicomplement-kan. A2 dicomplement-kan karena present state  $A1 = 1$ . A3 dikomplemen-kan karena  $A2A1 = 11$ . Tetapi A4 tidak dikomplemen-kan karena present state  $A3A2A1 = 011$  yang mana tidak terdiri dari 1 semua.



Gambar rangkaian dari *synchronous binary counter* 4 bit

**DATA BOOK TTL CIRCUIT**





## Bab 15 Belajar dan Pembelajaran

### Teori-teori Belajar

#### a. Teori Ausubel

Teori pembelajaran Ausubel merupakan salah satu dari teori pembelajaran yang menjadi dasar dalam *cooperative learning*. Menurut Ausubel (Hudojo, 2001: 93) bahan pelajaran yang dipelajari peserta didik haruslah “bermakna” (meaningful), artinya bahan pelajaran itu cocok dengan kemampuan siswa dan harus relevan dengan struktur kognitif siswa. Struktur kognitif ini berupa fakta-fakta, konsep-konsep, dan generalisasi-generalisasi yang telah dipelajari dan diingat peserta didik. Dengan kata lain, pelajaran baru harus dikaitkan dengan konsep-konsep yang sudah ada sehingga konsep-konsep baru benar-benar terserap.

Dengan demikian, intelektual, emosional peserta didik terlibat di dalam kegiatan belajar mengajar. Disamping itu, dalam pembelajaran bermakna,

peserta didik tidak hanya menerima dan menghafal saja, tetapi juga mengkonstruksi sendiri pengetahuannya.

Pembelajaran bermakna ini terjadi apabila peserta didik menghubungkan fenomena baru ke dalam struktur pengetahuan mereka. Artinya, bahan pelajaran itu harus sesuai dengan keterampilan peserta didik dan relevan dengan struktur kognitif mereka. Agar belajar bermakna terjadi dengan baik dibutuhkan beberapa syarat, yaitu:

- (1). Materi yang akan dipelajari harus bermakna secara potensial,
- (2). Anak yang akan belajar harus bertujuan melaksanakan belajar bermakna sehingga mempunyai kesiapan dan niat untuk belajar.

#### c. Teori Skinner

Skinner berpandangan bahwa belajar adalah suatu perilaku. Pada saat seseorang belajar, maka responsnya menjadi lebih baik, sebaliknya bila ia tidak belajar, maka responsnya menurun (Dimiyati dan Mudjiono, 1999: 8). Oleh karena itu, perlu diberikan ganjaran atau penguatan, karena ia mempunyai peranan penting dalam proses belajar. Ganjaran merupakan respon yang sifatnya menggembirakan dan merupakan tingkah laku yang sifatnya subjektif. Sedangkan penguatan merupakan sesuatu yang mengakibatkan meningkatnya kemungkinan suatu respon dan lebih mengarah kepada hal-hal yang sifatnya dapat diamati dan diukur.

Menurut Dimiyati dan Mudjiono (1999: 8), langkah-langkah pembelajaran berdasarkan teori Skinner sebagai berikut:

- 1) Pertama, mempelajari keadaan kelas. Guru mencari dan menemukan perilaku siswa yang positif atau negatif. Perilaku positif akan diperkuat dan perilaku negatif diperlemah
- 2) Kedua, membuat daftar penguat positif. Guru mencari perilaku yang lebih disukai oleh siswa, perilaku yang diberi hukuman, dan kegiatan luar sekolah yang dapat dijadikan penguat.
- 3) Ketiga, memilih dan menentukan urutan tingkah laku yang dipelajari serta jenis penguatnya.
- 4) Keempat, membuat program pembelajaran. Program pembelajaran ini berisi urutan perilaku yang dikehendaki, penguatan, waktu mempelajari perilaku dan evaluasi.

#### d. Teori Gagne

Menurut Gagne (Dimiyati, 1999: 9), belajar merupakan kegiatan yang kompleks, dan hasil belajar berupa kapabilitas. Setelah belajar siswa memiliki keterampilan, pengetahuan, sikap, dan nilai. Timbulnya kapabilitas berasal dari stimulasi lingkungan dan proses kognitif yang mengubah sifat stimulasi lingkungan, melewati pengolahan informasi, menjadi kapabilitas baru.

Ada lima kemampuan (kapabilitas) sebagai hasil belajar yang diberikan Gagne yaitu:

- 1) Informasi verbal adalah kapabilitas untuk mengungkapkan pengetahuan dalam bentuk bahasa baik lisan maupun tertulis.
- 2) Keterampilan intelektual adalah kecakapan yang berfungsi untuk berhubungan dengan lingkungan hidup serta mempresentasikan konsep dan lambang;
- 3) Strategi kognitif adalah kemampuan menyalurkan dan mengarahkan aktivitas kognitifnya sendiri, meliputi penggunaan konsep dan kaidah dalam memecahkan masalah;
- 4) Keterampilan motorik adalah kemampuan melakukan serangkaian gerak jasmani dalam urusan dan koordinasi, sehingga terwujud otomatisme gerak jasmani;
- 5) Sikap adalah kemampuan menerima atau menolak obyek berdasarkan penilaian terhadap obyek tersebut. (Dimiyati dan Mudjiono, 1999: 10-11)

e. Teori Gestalt

John Dewey (Suherman, 2003: 47) mengemukakan bahwa pelaksanaan kegiatan belajar mengajar yang diselenggarakan oleh guru harus memperhatikan hal-hal berikut:

- 1) Penyajian konsep harus lebih mengutamakan pengertian.
- 2) Pelaksanaan belajar mengajar harus memperhatikan kesiapan intelektual siswa.
- 4) Mengatur suasana kelas agar siswa siap belajar.

Berpandangan dari ketiga hal di atas, dalam menyajikan pelajaran, guru tidak hanya memberikan konsep yang harus diterima begitu saja, melainkan harus lebih mementingkan pemahaman terhadap proses terbentuknya konsep tersebut daripada hasil akhir.

Untuk itu, guru hendaknya bertindak sebagai pembimbing dengan menggunakan pendekatan proses melalui metode induktif. Pendekatan dan metode yang digunakan tersebut haruslah disesuaikan dengan kesiapan intelektual siswa.

f. Teori Piaget

Jean Piaget adalah seorang pakar yang banyak melakukan penelitian tentang perkembangan kemampuan kognitif manusia. Perkembangan kognitif adalah tahap-tahap perkembangan kognitif manusia mulai dari usia anak-anak sampai dewasa mulai dari proses berpikir secara konkrit sampai ke yang lebih tinggi, yaitu konsep-konsep abstrak dan logis. Ia mengemukakan dalam teorinya bahwa kemampuan kognitif manusia terdiri atas 4 tahap dari lahir hingga dewasa. Tahap dan urutan berlaku untuk semua usia, tetapi usia pada saat seseorang mulai memasuki tahap tertentu tidak sama untuk setiap orang.

Keempat tahap perkembangan itu digambarkan dalam teori Piaget sebagai berikut:

- 1) Tahap sensorimotor: umur 0 – 2 tahun (anak mengalami dunianya melalui gerak dan inderanya serta mempelajari permanensi obyek)
- 2) Tahap pra-operasional: umur 2 – 7 tahun (Ciri pokok perkembangannya adalah penggunaan simbol/bahasa tanda dan konsep intuitif)
- 3) Tahap operasional kongkrit: umur 7 – 11/12 tahun (anak mulai berpikir secara logis tentang kejadian-kejadian kongkrit)
- 4) Tahap operasional formal: umur 11/12 ke atas. (Ciri pokok perkembangannya adalah hipotesis, abstrak, deduktif dan induktif serta logis dan probabilitas)

Teori belajar lainnya seperti menurut Winkel dalam Darsono (2000:4), belajar adalah suatu aktivitas mental/psikis yang berlangsung dalam interaksi aktif dengan lingkungan, yang menghasilkan perubahan dalam pengetahuan-pemahaman, ketrampilan, dan nilai-sikap. Belajar merupakan suatu kegiatan yang mengakibatkan terjadinya perubahan tingkah laku, sedangkan pembelajaran merupakan suatu kegiatan yang dilakukan oleh guru sedemikian rupa, sehingga tingkah laku siswa berubah ke arah yang lebih baik.

Pengertian Belajar, menurut Cronbach (1954) : *Learning is shown by a change in behaviour as result of ex perience ; belajar dapat dilakukan secara baik dengan jalan mengalami.* Menurut Spears : *Learning is to observe, to read, to imited, to try something themselves, to listen, to follow direction,* dimana pengalaman itu dapat diperoleh dengan mempergunakan panca indra.

Belajar adalah perubahan yang terjadi dalam kemampuan manusia setelah belajar secara terus menerus, bukan hanya disebabkan oleh proses pertumbuhan saja. Gagne berkeyakinan, bahwa belajar dipengaruhi oleh faktor dari luar diri dan faktor dalam diri dan keduanya saling berinteraksi. Dalam teori psikologi konsep belajar Gagne ini dinamakan perpaduan antara aliran behaviorisme dan aliran instrumentalisme. Lester.D. Crow and Alice Crow mendefinisikan : *Learning is the acuquisition of habits, knowledge and attitudes.*

Belajar adalah upaya untuk memperoleh kebiasaan kebiasaan, pengetahuan dan sikap-sikap. Hudgins Cs. (1982) mengemukakan hakekat belajar secara tradisional, belajar sebagai suatu perubahan dalam tingkah laku, yang mengakibatkan adanya pengalaman . Jung , (1968) mendefinisi kan belajar sebagai suatu proses dimana tingkah laku dari suatu organisme dimodifikasi oleh pengalaman. Ngalim Purwanto, (1992 : 84) mengemukakan belajar adalah setiap perubahan yang relatif menetap dalam tingkah laku, yang terjadi sebagai suatu hasil dari latihan atau pengalaman.

Belajar adalah segenap rangkaian kegiatan atau aktivitas yang dilakukan secara sadar oleh seseorang dan mengakibatkan perubahan dalam dirinya berupa penambahan pengetahuan atau kemahiran berdasarkan alat indera dan pengalamannya. Oleh sebab itu apabila setelah belajar peserta didik tidak ada perubahan tingkah laku yang positif dalam arti tidak memiliki kecakapan baru serta wawasan pengetahuannya tidak bertambah maka dapat dikatakan bahwa belajarnya belum sempurna.

### **Pembelajaran**

Pembelajaran didefinisikan oleh aliran kognitif sebagai cara guru memberikan kesempatan kepada siswa untuk berpikir agar dapat mengenal dan memahami apa yang sedang dipelajari. Sedangkan menurut aliran behavioristik, pembelajaran adalah usaha guru membentuk tingkah laku yang diinginkan dengan menyediakan lingkungan/stimulus (Darsono, 2000:24). Pembelajaran juga adalah merupakan proses interaksi peserta didik dengan pendidik dan sumber belajar pada suatu lingkungan belajar. Pembelajaran merupakan bantuan yang diberikan pendidik agar dapat terjadi proses pemerolehan ilmu dan pengetahuan, penguasaan kemahiran dan tabiat, serta pembentukan sikap dan kepercayaan pada peserta didik.

Dengan kata lain, pembelajaran adalah proses untuk membantu peserta didik agar dapat belajar dengan baik. Proses pembelajaran dialami sepanjang hayat seorang manusia serta dapat berlaku di manapun dan kapanpun. Pembelajaran mempunyai pengertian yang mirip dengan pengajaran, walaupun mempunyai konotasi yang berbeda. Dalam konteks pendidikan, guru mengajar supaya peserta didik dapat belajar dan menguasai isi pelajaran hingga mencapai sesuatu objektif yang ditentukan (aspek kognitif), juga dapat mempengaruhi perubahan sikap (aspek afektif), serta keterampilan (aspek psikomotor) seseorang peserta didik. Pengajaran memberi kesan hanya sebagai pekerjaan satu pihak, yaitu pekerjaan guru saja. Sedangkan pembelajaran juga menyiratkan adanya interaksi antara guru dengan peserta didik.

### **Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Pembelajaran**

Proses belajar yang dilalui siswa tidak serta-merta berjalan secara mulus dan lancar, tetapi seringkali mengalami hambatan tertentu yang menyebabkan hasil belajar yang diharapkan kurang optimal atau bahkan sangat minim di bawah standar yang telah ditentukan. Hal ini bukan menjadi alasan utama bagi guru untuk menyalahkan siswa sebagai pihak yang tidak dapat memenuhi harapan bersama.

Perlu diketahui bahwa ketidakberhasilan dalam proses belajar dipengaruhi oleh banyak faktor. Untuk lebih jelasnya, faktor-faktor tersebut

penulis pilah menjadi tiga bagian, yaitu: 1) Faktor internal; 2) Faktor eksternal; dan 3) Faktor pendekatan belajar.

Muhibbin syah (2007: 144) mendefinisikan faktor internal sebagai faktor dari dalam diri siswa yang mempengaruhi proses dan sekaligus aktivitas belajarnya. Faktor ini meliputi keadaan atau kondisi jasmani (fisiologis) dan ruhani (psikologis) siswa. Sedangkan faktor eksternal diartikan sebagai faktor dari luar diri siswa yang berpengaruh terhadap proses dan aktivitas belajar siswa, yang berupa kondisi lingkungan di sekitar siswa. Faktor yang terakhir adalah pendekatan yang didefinisikan sebagai upaya belajar siswa, baik dalam bentuk strategi atau metode tertentu untuk mempelajari bahan-bahan pembelajaran.

### **Faktor Internal**

Faktor internal atau faktor yang berasal dari dalam diri siswa ini terbagi menjadi dua aspek, yaitu atau kondisi jasmani (fisiologis) dan ruhani (psikologis) siswa.

#### 1) Aspek Fisiologis

Aspek fisiologis ini ditandai dengan kesehatan dan kebugaran kondisi fisik (tubuh) siswa. Tubuh yang sehat dan bugar secara umum berpengaruh pada semangat dan intensitas belajar mereka. Sebaliknya, kondisi tubuh yang sakit dan lemah, pusing, otot-otot kaku, saraf-saraf menjadi tegang, juga berpengaruh pada kinerja otak yang nantinya berdampak buruk pada tingkat penguasaan materi pembelajaran yang dipelajari, berupa hanya sedikit yang berbekas di memori atau tidak ada sama sekali yang tersimpan dalam ingatan. Biasanya untuk mengatasi hal ini, diperlukan keseimbangan antara suplemen makanan dan min yang bergizi dengan aktivitas olah raga, juga pola istirahat yang teratur. Selain itu, kondisi tubuh yang cacat atau minimal kurang normal, seperti indera penglihatan dan pendengaran, juga berpengaruh pada proses dan aktivitas belajar. Hal ini secara otomatis akan mempengaruhi jalannya informasi dan pengetahuan yang diserap dan disimpan oleh siswa.

#### 2) Aspek Psikologis

Selain aspek fisiologis, juga ada aspek psikologis yang berpengaruh pada proses belajar siswa, yaitu (1) intelegensi, (2) sikap, (3) bakat, (4) minat, dan (5) motivasi siswa.

### **Faktor eksternal**

Selain faktor internal, faktor eksternal juga sangat berpengaruh pada proses belajar siswa. Faktor ini terdiri atas dua macam, yaitu faktor lingkungan sosial dan non sosial.

1) Lingkungan Sosial

Lingkungan sosial diartikan sebagai kondisi sosial di sekeliling siswa yang berpengaruh pada mental siswa. Termasuk lingkungan sosial adalah orang tua dan keluarga, guru, teman, staf administrasi atau tata usaha, dan tetangga serta teman sepermainan dalam lingkungan masyarakat.

2) Lingkungan Non Sosial

Faktor sosial yang dapat mempengaruhi keberhasilan belajar siswa adalah kondisi gedung sekolah, letak sekolah, kondisi tempat tinggal siswa, letak rumah siswa, fasilitas belajar (di rumah dan sekolah), keadaan cuaca, dan ketepatan penggunaan waktu.

**Faktor pendekatan belajar**

Pendekatan belajar menurut Lawson (Syah, 2007: 155) diartikan sebagai strategi atau seperangkat langkah operasional yang direkayasa sedemikian rupa untuk memecahkan masalah atau mencapai tujuan belajar tertentu. Strategi belajar anak untuk mempelajari sesuatu atau materi antara yang satu dengan lainnya berbeda. Yang perlu diperhatikan adalah penggunaan keefektifan dan keefisienan pendekatan belajar tersebut.

Siswa yang diberikan potensi senang dengan hafalan, ia akan cocok dengan pendekatan Hukum Jost yang menyatakan bahwa siswa yang lebih sering mempraktikkan materi pelajaran akan lebih mudah memanggil kembali memori lama yang berhubungan dengan materi yang sedang ia tekuni. Titik tekan pendekatan Hukum Jost ini adalah siswa diharapkan belajar dengan cara mencicil sesuai kapasitas kemampuan otaknya, bukan dengan sistem kebut semalam (SKS) yang memaksa otak beraktivitas di luar kemampuannya.

Adapula yang memakai pendekatan Ballard dan Clanchy dalam belajar. Menurut mereka cara belajar siswa umumnya dipengaruhi oleh sikap mereka terhadap ilmu pengetahuan, baik dalam rangka melestarikan apa yang sudah didapat (ada dalam memori siswa), (*conserving*) maupun memperluas atau mengembangkan pengetahuan tersebut (*extending*) (Syah, 2007: 137).

**Hasil Belajar**

Menurut Woodworth (dalam Ismihyani 2000), hasil belajar merupakan perubahan tingkah laku sebagai akibat dari proses belajar. Woodworth juga mengatakan bahwa hasil belajar adalah kemampuan aktual yang diukur secara langsung. Hasil pengukuran belajar inilah akhirnya akan mengetahui seberapa jauh tujuan pendidikan dan pengajaran yang telah dicapai. Bloom merumuskan hasil belajar sebagai perubahan tingkah laku yang meliputi domain (ranah) kognitif, ranah afektif dan ranah psikomotorik. (<http://ksupointer.com>) (Winkel dalam Ismihyani 2000)

Dalam ranah kognitif , hasil belajar tersusun dalam enam tingkatan. Enam tingkatan tersebut ialah,

- 1) Pengetahuan atau ingatan,
- 2) Pemahaman,
- 3) Penerapan,
- 4) Sintesis,
- 5) Analisis dan
- 6) Evaluasi.

Adapun ranah psikomotorik terdiri dari lima tingkatan yaitu,

- 1) Peniruan (menirukan gerak) ,
- 2) Penggunaan (menggunakan konsep untuk melakukan gerak),
- 3) Ketepatan (melakukan gerak dengan benar),
- 4) Perangkaian (melakukan beberapa gerakan sekaligus dengan benar),
- 5) Naturalisasi (melakukan gerak secara wajar).

Sedangkan ranah afektif terdiri dari lima tingkatan yaitu,

- 1) Pengenalan (ingin menerima, sadar akan adanya sesuatu),
- 2) Merespon (aktif berpartisipasi),
- 3) Penghargaan (menerima nilai-nilai, setia pada nilai-nilai tertentu),
- 4) Pengorganisasian (menghubung-hubungkan nilai-nilai yang dipercaya)
- 5) Pengamalan (menjadikan nilai-nilai sebagai bagian dari pola hidup).

## Bab 16

### Konsep dasar Penggunaan Media Pembelajaran VCD

#### 1. Pengertian Media Pengajaran

Kata media berasal dari kata *medius* yang secara harfiah artinya tengah, perantara atau pengantar (Arsyad, 2007: 3). Banyak pakar tentang media pembelajaran yang memberikan batasan tentang pengertian media.

Menurut AECT (*Association of Education and Communication Technology*) yang dikutip oleh Rohani (1997 : 2) “media adalah segala bentuk yang dipergunakan untuk proses penyaluran informasi”. Sedangkan pengertian media menurut Djamarah (1995 : 136) adalah “media adalah alat bantu apa saja yang dapat dijadikan sebagai penyalur pesan guna mencapai tujuan pembelajaran”.

Selanjutnya ditegaskan oleh Purnamawati dan Eldarni (2001 : 4) yaitu : “media adalah segala sesuatu yang dapat digunakan untuk menyalurkan

pesan dari pengirim ke penerima sehingga dapat merangsang pikiran, perasaan, perhatian dan minat siswa sedemikian rupa sehingga terjadi proses belajar”.

Martin dan Briggs 1986 (dalam Degeng 2005: 109), mengemukakan bahwa media pembelajaran mencakup semua sumber yang diperlukan guna melakukan komunikasi dengan sibelajar. Suatu media pembelajaran banyak mempelajari keterampilan motorik, media video sangat diperlukan. Dengan kemampuannya untuk menyajikan gerakan lambat (slow motion), maka media ini akan memudahkan siswa mempelajari prosedur gerakan tertentu secara rinci dan jelas.

Pembelajaran adalah suatu proses komunikasi seorang guru sebagai komunikator / penyampai pesan sedangkan siswa sebagai komunikan/penerima pesan. Namun dalam kenyataannya dalam proses komunikasi, audiens belum tentu dapat menangkap semua informasi yang disampaikan. Media merupakan salah satu komponen penting dalam meningkatkan kualitas pembelajaran, karena dengan menggunakan media akan dapat memudahkan menyampaikan informasi (Kustiyono, 2000: 1).

Belajar dengan menggunakan media berarti memanfaatkan media untuk menunjang belajar seseorang, karena pengguna media bertujuan untuk mempermudah segala kegiatan penyampaian informasi, hal itu sesuai dengan pendapat Kustiyono (2000: 17) mengatakan bahwa media bukan hanya sekedar alat bantu mengajar bagi guru, melainkan merupakan bagaian yang tak terpisahkan dari sistem pengajaran karena media dapat membantu siswa dalam memahami isi pelajaran.

Media pelajaran adalah segala sesuatu yang dapat dipergunakan pikiran, perasaan, perhatian dan kemampuan atau ketrampilan peserta. sehingga dapat mendorong terjadinya proses belajar pada diri peserta didik. Media juga diartikan sebagai alat yang dapat membantu proses belajar mengajar yang berfungsi memperjelas makna pesan yang disampaikan sehingga tujuan pengajaran dapat tercapai lebih baik, lebih sempurna (Daryanto, 1993: 25).

Berdasarkan definisi diatas dapat disimpulkan bahwa media pembelajaran adalah setiap alat baik perangkat keras atau lunak yang digunakan untuk meningkatkan efektifitas jenis kegiatan belajar mengajar.

## **2. Jenis-Jenis Media Pembelajaran**

Banyak sekali jenis media yang sudah dikenal dan digunakan dalam penyampaian informasi dan pesan – pesan pembelajaran. Setiap jenis atau bagian dapat pula dikelompokkan sesuai dengan karakteristik dan sifat – sifat media tersebut. Sampai saat ini belum ada kesepakatan yang baku dalam mengelompokkan media. Jadi banyak tenaga ahli mengelompokkan atau membuat klasifikasi media akan tergantung dari sudut mana mereka memandang dan menilai media tersebut.

Penggolongan media pembelajaran menurut Gerlach dan Ely yang dikutip oleh Rohani (1997 : 16) yaitu :

- a. Gambar diam, baik dalam bentuk teks, bulletin, papan display, slide, film strip, atau overhead proyektor.
- b. Gambar gerak, baik hitam putih, berwarna, baik yang bersuara maupun yang tidak bersuara.
- c. Rekaman bersuara baik dalam kaset maupun piringan hitam.
- d. Televisi
- e. Benda – benda hidup, simulasi maupun model.
- f. Instruksional berprograma ataupun CAI (*Computer Assisten Instruction*).

Penggolongan media yang lain, jika dilihat dari berbagai sudut pandang adalah sebagai berikut :

- a. Dilihat dari jenisnya media dapat digolongkan menjadi media Audio, media Visual dan media Audio Visual.
- b. Dilihat dari daya liputnya media dapat digolongkan menjadi media dengan daya liput luas dan serentak, media dengan daya liput yang terbatas dengan ruang dan tempat dan media pengajaran individual ‘
- c. Dilihat dari bahan pembuatannya media dapat digolongkan menjadi media Media pembelajaran sebagai alat bantu sederhana (mudah dan mudah memperolehnya) dan media kompleks.
- d. Dilihat dari bentuknya media dapat digolongkan menjadi media grafis (dua dimensi), media tiga dimensi, dan media elektronik.

### 3. Fungsi Media Pembelajaran

Dalam proses pembelajaran siswa memiliki ciri-ciri masing. Hal ini terutama terkait dengan efisiensi penggunaannya. Kemampuan seorang siswa yang normal akan dapat dengan mudah menerima pengertian dengan cara mengolah rangsangan dari luar yang ditanggapi oleh indranya, baik penciuman, perasa maupun peraba.

Hamalik mengemukakan dalam Arsyad (2007: 21-23) berpendapat bahwa pemakaian media dalam proses belajar mengajar dapat membangkitkan motivasi dan rangsangan kegiatan pembelajaran. Penggunaan media pembelajaran pada tahap pengenalan pembelajaran akan sangat membantu keefektifan proses belajar mengajar dan penyampaian pesan dan minat siswa. Media pengajaran juga dapat membantu siswa meningkatkan pemahaman dan memudahkan penafsiran yang akhirnya dapat meningkatkan prestasi belajar siswa (Arsyad, 2007: 15-16).

Karena hambatan yang sering dalam berkomunikasi disebabkan oleh adanya verbalisme, kecacauan penafsiran, perhatian yang bercabang, tidak ada tanggapan, kurang perhatian dan keadaan fisik lingkungan belajar yang mengganggu. Dengan menggunakan media pengajaran secara tepat dan bervariasi selanjutnya Mukhtar (2003: 103) menjelaskan bahwa berbagai hambatan dapat diatasi dan media pengajaran dapat berguna untuk

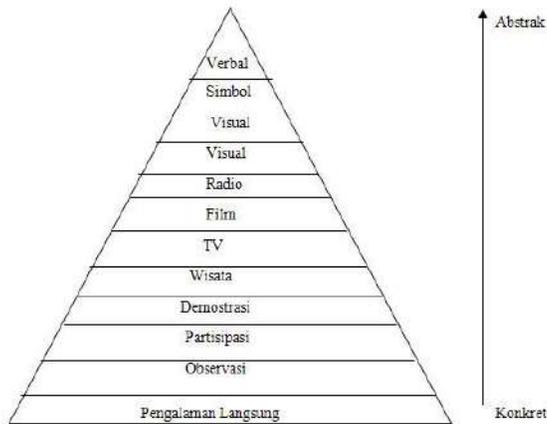
menumbuhkan kegairahan belajar, memungkinkan interaksi yang lebih langsung antara siswa dengan lingkungan dan kenyataan serta memungkinkan siswa untuk belajar secara individual sesuai dengan kemampuan dan minatnya masing-masing..

## 2. Prinsip-Prinsip Media Pembelajaran

Sistem pendidikan menuntut fakta dan kondisi yang baru pula, baik dengan sarana fisik maupun non fisik. Untuk itu diperlukan tenaga pengajar yang memiliki kemampuan yang lebih memadai, diperlukan dan kinerja yang ekstra, peralatan yang lengkap dan administrasi yang lebih teratur. Guru hendaknya dapat menggunakan peralatan yang lebih ekonomis, efisien dan mampu dimiliki oleh sekolah serta tidak menolak digunakan peralatan teknologi modern yang relevan dengan tuntutan masyarakat dan perkembangan zaman.

Hal ini sebagaimana diungkapkan oleh Edgar Dale. Ia menyatakan bahwa hasil belajar seseorang diperoleh mulai dari pengalaman langsung (kongkret) berdasarkan kenyataan yang ada di lingkungan hidupnya, kemudian melalui benda-benda tiruan, dan selanjutnya sampai kepada lambang-lambang verbal (abstrak). Untuk kondisi seperti inilah kehadiran media pembelajaran menjadi sangat signifikan bagi terciptanya proses dan hasil pembelajaran yang optimal. Dalam posisinya ini, media diharapkan dapat merangsang keterlibatan berbagai alat indera atau dimaksimalkan bagi seluruh alat indera pembelajar.

Di samping itu, Edgar Dale memberikan solusi untuk memecahkan persoalan berdasarkan tingkat keabstrakan pengalaman yang dihadapi pembelajar (peserta didik). Kenyataan ini didukung oleh landasan teori penggunaan media yang dikemukakan oleh Edgar Dale, yaitu teori Kerucut Pengalaman Dale (*Dale's Cone of Experience*) seperti gambar di bawah :



Gambar 2.1

Kerucut Pengalaman (*Cone of experience*) Edgar Dale

Media pembelajaran merupakan media yang digunakan dalam proses pembelajaran sehingga terjadi proses komunikasi dan mau tidak mau dapat dipastikan akan berlangsung dalam suatu sistem. Dengan demikian, media pembelajaran menempati posisi yang cukup penting sebagai salah satu komponen sistem pembelajaran. Media pembelajaran adalah komponen integral dari sistem pembelajaran.

Posisi media pembelajaran sebagai media komunikasi dapat digambarkan sebagai berikut:

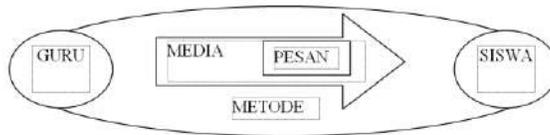


Gambar Posisi Media dalam Sistem Pembelajaran

Karena media pembelajaran diartikan identik dengan “perantara” seperti apa yang dijelaskan di atas, maka dalam hal ini, media yang digunakan guru memiliki posisi penting sebagai alat bantu dalam kegiatan pembelajaran, yaitu alat bantu mengajar yang strategis, efektif, dan efisien apabila digunakan sesuai dengan proporsinya. Gambar, foto, karikatur, poster, koran, bagan, grafik, peta, globe, benda model, slide, komputer, transparansi, radio,

televisi, DVD, lingkungan (fisik, alam, sosial, dan peristiwa), alat-alat grafis, fotografis, elektronik, alat bantu visual maupun yang lain dapat digunakan untuk menangkap, memproses, dan menyusun serta menampilkan kembali informasi visual atau verbal.

Dalam proses pembelajaran, media memiliki fungsi sebagai pembawa informasi dari sumber (guru) menuju penerima (siswa). Sedangkan metode adalah prosedur untuk membantu siswa dalam menerima dan mengolah informasi guna mencapai tujuan pembelajaran. Fungsi media dalam proses pembelajaran ditunjukkan pada Gambar berikut ini:



Gambar Fungsi media dalam proses pembelajaran

Dalam kegiatan interaksi antara siswa dengan lingkungan, fungsi media dapat diketahui berdasarkan adanya kelebihan media dan hambatan yang mungkin timbul dalam proses pembelajaran. Tiga kelebihan kemampuan media (Gerlach & Ely dalam Ibrahim, et.al., 2001) adalah sebagai berikut. *Pertama*, kemampuan fiksatif, artinya dapat menangkap, menyimpan, dan menampilkan kembali suatu obyek atau kejadian. Dengan kemampuan ini, obyek atau kejadian dapat digambar, dipotret, direkam, difilmkan, kemudian dapat disimpan dan pada saat diperlukan dapat ditunjukkan dan diamati kembali seperti kejadian aslinya. *Kedua*, kemampuan manipulatif, artinya media dapat menampilkan kembali obyek atau kejadian dengan berbagai macam perubahan (manipulasi) sesuai keperluan, misalnya diubah ukurannya, kecepatannya, warnanya, serta dapat pula diulang-ulang penyajiannya. *Ketiga*, kemampuan distributif, artinya media mampu menjangkau audien yang besar jumlahnya dalam satu kali penyajian secara serempak, misalnya siaran TV atau Radio.

Agar guru dalam menggunakan media pendidikan yang efektif setiap guru harus memiliki pengetahuan dan pemahaman yang cukup tentang media pendidikan dan pengajaran.

Menurut Asnawar dan Basyiruddin Usman, pengetahuan tersebut diantaranya sebagai berikut (Usman dan Asnawar, 2002: 17-19)

- 1) Media sebagai alat komunikasi guna lebih mengefektifkan proses belajar mengajar
- 2) Media berfungsi sebagai alat untuk mencapai tujuan pendidikan

- 3) Adanya hubungan yang selaras antara metode pengajaran dengan media pengajaran
- 4) Mengetahui penggunaan media pembelajaran dalam setiap mata pelajaran yang di ajarkan.
- 5) Melakukan usaha dan inovasi dalam media pendidikan.

Berdasarkan usaha tersebut jelaslah bahwa media pengajaran sangat membantu dalam upaya mencapai keberhasilan dan proses belajar mengajar. Oleh sebab itu guru harus mempunyai ketrampilan memilih media pembelajaran, disamping itu perlu dilakukan latihan-latihan secara kontinyu dan sistematis.

### **Video Pembelajaran sebagai Media**

Dalam kamus bahasa Indonesia video adalah teknologi pengiriman sinyal elektronik dari suatu gambar bergerak. Aplikasi umum dari sinyal video adalah televisi, tetapi dia dapat juga digunakan dalam aplikasi lain di dalam bidang teknik, saintifik, produksi dan keamanan . Kata video berasal dari kata Latin, “Saya lihat”. Istilah video juga digunakan sebagai singkatan dari videotape, dan juga perekam video serta pemutar video .

Video adalah salah satu temuan terbesar manusia di abad 20. Dimulai dari ditemukannya fotografi yang menampilkan citra atau image diam yang identik dengan aslinya kemudian berkembang dengan menampilkan citra bergerak (motion picture). Perkembangan ini tidak terlepas dari kemajuan teknologi yang kemudian mampu menggabungkan unsur gambar bergerak tadi dengan unsur suara. Lalu disebut sebagai video, yakni gabungan yang harmonis atau sinkron antara visual (gambar bergerak) dengan audio (suara)

Bahan video ini diproduksi dengan merekam objek bergerak sekaligus suaranya dengan menggunakan peralatan yang disebut kamera. Kamera video berfungsi sebagai alat yang mewakili mata manusia untuk menangkap pantulan cahaya sebuah objek dan gelombang suara yang kemudian diproses secara mekanik atau elektronik dan disimpan dengan media seperti pita seluloid, pita magnetis bahkan digital video disc. Video sebagai media komunikasi yang memadukan unsur suara/bunyi dan gambar dengan segala teknik penyiapan yang didasarkan pada derajad kegunaannya (useware), sangat ditentukan oleh penyiapan penggarapan perangkat lunak (software) yaitu materi/pesan dan perangkat keras (hardware) berupa peralatan produksi (Djauhari, 2003).

Pada perkembangan teknologi komunikasi saat ini yang sangat menunjang penggarapan kemas informasi melalui media audio visual

maka beberapa keunggulan sifat video yang dimiliki, yakni fixative, manipulative dan distributif semakin menghadapkan kita sebagai perencana pesan untuk senantiasa kreatif dalam pembuatan kemasan pesan (Djauhari, 2003:3).

Keunggulan video yang mampu menampilkan gambar bergerak dan suara merupakan satu daya tarik tersendiri, karena kita mampu menyerap pesan atau informasi dengan menggunakan lebih dari satu indera. Kegiatan belajar mengajar dengan menggunakan media ini akan meningkatkan tingkat keberhasilan penyampaian materi dan memperkuat apresiasi peserta didik serta memudahkan pengembangan materi terhadap apa yang diajarkan .

Menurut Moh. Arif dan Rosnaini, video merupakan alat untuk merekamkan dan menayangkan film dengan menggunakan pita video (disalurkan melalui televisi). Pita rekaman diartikan sebagai pita bermagnet yang digunakan untuk merekam gambar dan suara dari televisi. Sedangkan film video adalah film yang telah direkam pada pita video dan hanya sesuai ditayangkan dengan menggunakan alat video.

Video sebagai salah satu media dalam pengajaran dan pembelajaran menunjukkan dampak yang positif. Video dapat membantu para guru mengetahui satu pendekatan baru yang bisa digunakan untuk menarik minat belajar. Oleh karena itu sedikit banyak video merupakan salah satu alternatif dalam mengatasi kemerosotan pelajaran dan pembelajaran.

Menurut Zubaidah (1997), guru-guru bisa melakukan penyesuaian dan meningkatkan daya kreativitas dalam proses penyampaian isi-isi pengajaran supaya menjadi lebih berkesan dan mudah seiring dengan citarasa dan karakteristik pelajar. Video bersifat interaktif tutorial membimbing peserta didik untuk memahami sebuah materi melalui visualisasi. Peserta didik dapat secara interaktif mengikuti kegiatan praktik sesuai dengan yang diajarkan dalam video .

Video mempunyai karakteristik diantaranya adalah:

- a. Mengatasi keterbatasan jarak dan waktu
- b. Dapat diulang untuk menambah kejelasan
- c. Pesan yang disampaikan cepat dan mudah diingat
- d. Mengembangkan pikiran, imajinasi dan pendapat siswa
- e. Memperjelas hal-hal yang abstrak dan memberikan gambaran yang lebih realistis
- f. Sangat kuat mempengaruhi emosi seseorang
- g. Sangat baik menjelaskan suatu proses dan ketrampilan, mampu menunjukkan rangsangan yang sesuai dengan tujuan dan respon yang diharapkan dari siswa
- h. Semua siswa dapat belajar baik yang pandai ataupun yang kurang pandai

- i. Menumbuhkan minat dan motivasi belajar
- j. Penampilan dapat segera dilihat kembali untuk dievaluasi .

Levie dan Lants dalam Azhar Arsyad, berpendapat bahwa ada 4 fungsi media pengajaran khususnya media VCD visual, yaitu (Arsyad: 15-16)

### **1) Fungsi Atensi**

Merupakan fungsi inti, yaitu menarik dan mengarahkan perhatian siswa berkonsentrasi kepada isi materi pelajaran. Seringkali pada awal pelajaran siswa tidak menarik dengan materi pelajaran itu merupakan materi pelajaran yang tidak disukai oleh mereka sehingga mereka tidak memperhatikan. Dengan menggunakan media audio – visual gambar dan suara yang divisualisasikan dapat menyenangkan dan mengarahkan perhatian mereka pada pelajaran yang akan mereka terima. Dengan demikian kemungkinan untuk memperoleh dan mengingat isi pelajaran semakin besar.

### **2) Fungsi Afektif**

Dengan menggunakan media VCD dapat terlihat kondisi yang hidup bagi siswa pada saat belajar atau membaca teks yang bergambar. Gambar penayangan VCD dapat menggugah emosi, sikap siswa, misalnya meneladani, menyakini dan mengagumi kebesaran Allah.

### **3) Fungsi Kognitif**

Penambahan gambar dan suara dapat memperlancar dalam pencapaian tujuan untuk memahami, mengingat informasi dan pesan yang terkandung dalam gambar, juga mempermudah memahami ha-hal yang abstrak ke hal yang kongkrit.

### **4) Fungsi Kompensatoris**

Penggunaan VCD pembelajaran terlihat dari hasil penilaian bahwa media penayangan VCD tersebut memberikan konteks untuk memahami teks dan membantu siswa yang lemah dalam membaca untuk menganalisa informasi dalam teks dan mengingatnya kembali.

Hal ini sebagaimana di kemukakan Hartono Kasmadi dalam Harjanto (1997 : 245) adalah sebagai berikut:

- a. Memperjelas penyajian pesan agar tidak terlalu verbalistis ( tahu kata – katanya, tetapi tidak tahu maksudnya)
- b. Mengatasi keterbatasan ruang, waktu dan daya indera.
- c. Dengan menggunakan media pembelajaran yang tepat dan bervariasi dapat diatasi sikap pasif siswa.
- d. Dapat menimbulkan persepsi yang sama terhadap suatu masalah.

Selanjutnya menurut Purnamawati dan Eldarni (2001 : 4) yaitu :

- a. Membuat konkrit konsep yang abstrak, misalnya untuk menjelaskan peredaran darah.
- b. Membawa obyek yang berbahaya atau sukar didapat di dalam lingkungan belajar.
- c. Menampilkan obyek yang terlalu besar, misalnya pasar, candi
- d. Menampilkan obyek yang tidak dapat diamati dengan mata telanjang.
- e. Memperlihatkan gerakan yang terlalu cepat.
- f. Memungkinkan siswa dapat berinteraksi langsung dengan lingkungannya.
- g. Membangkitkan motivasi belajar. Memberi kesan perhatian individu untuk seluruh anggota kelompok belajar.
- h. Menyajikan informasi belajar secara konsisten dan dapat diulang maupun disimpan menurut kebutuhan.
- i. Menyajikan informasi belajar secara serempak (mengatasi waktu dan ruang)
- j. Mengontrol arah maupun kecepatan belajar siswa.

Berbagi pendapat tentang kegunaan media tersebut di simpulkan media dapat mengatasi bahwa kendala waktu dan ruang serta memicu siswa untuk aktif dalam pembelajaran yang pada gilirannya akan meningkatkan prestasi belajar mereka.

### **Kelebihan Video Dalam Pengajaran Dan Pembelajaran**

Video termasuk dalam kategori motion media yang mempunyai beberapa kelebihan daripada media-media pendidikan yang lain seperti media cetak. Kelebihan-kelebihan yang terdapat pada video film menyebabkan video atau film sesuai digunakan untuk tujuan pembelajaran, diantara kelebihan itu adalah:

#### **a. Unsur multimedia**

Menurut Romiszowski (1998), video/film adalah satu media pengajaran yang cukup berkesan untuk digunakan dalam pembelajaran karena video/film menggabungkan secara baik unsur multi media seperti audio, visual, gerak, warna dan kesan tiga dimensi. Muhammad Hasan (2000) mengakui kelebihan video/film, dimana penggunaan unsur-unsur gerak, bunyi, warna, dan cahaya menjadi video/film dapat secara langsung menarik minat siswa dan seterusnya mendorong pembelajaran siswa. Unsur-unsur dramatik dan kegiatan yang terdapat dalam video/film berupaya meningkatkan kesan pada proses pengajaran dan pembelajaran (Norton dan Wiburg 2003).

#### **b. Manipulasi perspektif ruang, masa dan ukuran**

Penggunaan video dapat memanipulasi ruang. Suatu fenomena dapat ditunjukkan dengan perspektif yang berbeda secara mikrococosmis atau makrococosmis. Contohnya, siswa ditunjukkan visual secara mikrococosmis bagaimana seekor nyamuk menghisap darah manusia secara close-up. Atau secara makrococosmis seperti gerak bus yang semakin menjauh. Yusuf (1997) menyatakan bahwa video/film mempunyai kelebihan dari manipulasi masa, dimana guru dapat melakukan perubahan kepada masa dengan menggunakan teknik-teknik seperti gerak perlahan , gerak cepat, bingkai demi bingkai, penyerapan dan ulang tayang. Video turut memampatkan, mempercepat atau meregangkan masa dengan teknik-teknik seperti penyerapan, pemfokusan atau digelapkan dan sebagainya. dalam realitas kehidupan banyak perkara yang memakan masa yang agak lama seperti pembangunan jembatan, penghasilan sebuah kereta atau proses percambahan biji hingga jadi pohon. Melalui video/film, perkembangan dapat ditunjukkan dan para siswa dapat mempelajari tentang proses-proses tersebut dalam waktu yang singkat.

**c. Penyampaian Pesan Pengajaran**

Sebagai satu media komunikasi video/film dapat digunakan sebagai satu cara penyampaian pelajaran. Naim (1995) berpendapat sebagai satu media komunikasi, video/film dapat menyampaikan secara terperinci dan konkrit pesan-pesan pendidikan seperti pembelajaran isi kandungan kurikulum serta pembentukan sikap dan tingkah laku siswa. Disamping itu, video/film dapat digunakan untuk menonjolkan relitas kehidupan, dan membangkitkan emosi dan perasaan. Menurut Amla et al. (2000), video/film dilihat sebagai satu media yang dinamis yang dapat merangsang umpan balik luar dan dalam yang kadang-kadang memengaruhi psikologi seseorang. Selain itu video/film bisa digunakan untuk menyampaikan pesan pendidikan berkaitan moral pemimpin dan sikap pemimpin.

**d. Memudahkan Pembelajaran Dan Pencapaian Objektif Pengajaran**

Video/film dapat membantu guru menerangkan tentang sesuatu konsep yang abstrak atau sukar untuk diterangkan. Video/film dapat membawa masalah sebenarnya ke dalam tempat yang sama dengan perkara yang telah berlalu atau yang sedang terjadi tanpa batasan waktu, jarak dan tempat. Video dapat meningkatkan pemahaman pelajar, menghindari salah penafsiran dan memudahkan pembelajaran.

Menurut Naim (1990), karena video dapat menepati keperluan “mendekatkankan yang jauh, menjauhkan yang dekat, memperlihatkan yang tidak terlihat, mengecilkan yang besar, membesarkan yang kecil, memperlihatkan yang telah berlalu dan memvisualkan futuristik”, video film dapat dapat dimanfaatkan oleh guru untuk mencapai pembelajaran yang objektif. Sebagai contoh, guru bisa membawa masuk keadaan negara asing ke

dalam kelas, menunjukkan pertumbuhan biji, menunjukkan ikan paus dilautan, dan menunjukkan struktur amuba atau kuman. Video film yang direka bentuk dan digunakan secara sistematis juga dapat merangsang daya imajinasi dan penglihatan pelajar.

Fatawi (2000) menyatakan berbagai video/film dan tayangan televisi seperti drama, dokumentasi, iklan hiburan, majalah dan sebagainya dapat digunakan untuk mencapai objektif pengajaran tertentu. Bentuk drama misalnya dapat digunakan untuk perubahan sikap, pandangan dan emosi. Bentuk iklan dapat dieksploitasikan untuk menanam nilai-nilai murni dan sebagainya. bentuk dokumentari atau rencana dapat digunakan untuk pemahaan dunia dan budaya suatu masyarakat. Penggunaan video film tertentu dapat diulang tayang dan dilihat berkali-kali untuk membantu meningkatkan daya ingat dan kemahiran.

Video/film tertentu dapat merangsang umpan balik/respon, interaksi dan penyertaan pelajar terhadap apa yang dipaparkan, secara psikomotorik atau afektif. Rrangsangan ini bisa menjadi pendukung terhadap kesan pembelajaran ke arah objektif yang diinginkan. Penyertaan aktif siswa dalam perkara yang dipelajari adalah penting dalam pengajaran dan pembelajaran (Abdul Malik, 1995).

#### **e. Meningkatkan berbagai kemahiran dan pengalaman belajar**

Video film juga dapat meningkatkan berbagai kemahiran dan pengalaman belajar. Penggunaan video/film dapat meningkatkan kemampuan literasi visual pelajar, dimana mereka dapat menginterpretasi simbol-simbol visual secara tepat dan pelajar berinteraksi dan memberi respons selaras dengan pesan-pesan yang diperoleh mereka. Balakhrisman (1994) mengatakan dari berbagai jenis sumber bahan pelajaran, umumnya video film mempunyai kesan yang lebih tinggi untuk pembelajaran yang berkaitan dengan fakta. Abdul malik (1995) juga berpendapat melalui penggunaan video film, pelajar bisa memperoleh berbagai pengalaman serta menarik minat mereka dan menjadikan pembelajaran menyenangkan. Video film juga bisa digunakan untuk mengukuhkan strategi pengajaran yang digunakan guru .

#### ***Manfaat Penggunaan Video sebagai Media Pembelajaran.***

Kita dapat melihat banyak sekali sumber belajar. Selain dari guru atau instruktur, kita juga telah belajar dari bahan atau material seperti misalnya buku, radio, majalah, film bingkai, video dengan atau tanpa bantuan alat-alat seperti proyektor dan pesawat radio/ video. Bahan dan alat yang kita kenal dengan istilah software dan hardware tak lain dan tak bukan adalah media pendidikan.

Untuk mencapai tujuan pembelajaran yang optimal sangatlah perlu menggunakan media sebagai alat bantu dalam proses pembelajaran. Adapun manfaat penggunaan media video pada proses pembelajaran adalah sebagai berikut :

- 1) Sangat membantu tenaga pengajar dalam mencapai efektifitas pembelajaran khususnya pada mata pelajaran yang mayoritas praktek.
- 2) Memaksimalkan pencapaian tujuan pembelajaran dalam waktu yang singkat
- 3) Dapat merangsang minat belajar peserta didik untuk lebih mandiri.
- 4) Peserta didik dapat berdiskusi atau minta penjelasan kepada teman sekelasnya.
- 5) Peserta didik dapat belajar untuk lebih berkonsentrasi.
- 6) Daya nalar Peserta didik lebih terfokus dan lebih kompeten.
- 7) Peserta didik menjadi aktif dan termotivasi untuk mempraktekan latihan-latihan.
- 8) Peserta didik dapat menayangkannya di rumah karena materi sudah dalam format film atau VCD.
- 9) Memenuhi tuntutan kemajuan zaman pendidikan, khususnya dalam penggunaan bidang media teknologi.
- 10) Memberikan daya pemahaman keterampilan yang lebih terstruktur.

Adapun kelebihan dari video adalah dapat menstimulir efek gerak, dapat diberi suara maupun warna, tidak memerlukan keahlian khusus dalam penyajiannya, dan tidak memerlukan ruangan gelap dalam penyajiannya. Sedangkan pada kekurangan atau kelemahannya adalah video memerlukan peralatan khusus dalam penyajiannya dan memerlukan tenaga listrik

### **Langkah-Langkah Pembelajaran Media VCD**

Guru yang mengajar dengan menggunakan VCD sebagai alat belajar, hendaknya memahami masalah-masalah yang timbul dari pihak murid sebagai berikut :

*Pertama*, VCD film itu sendiri meliputi berbagai teknik fotografi dan memiliki pola khusus yang harus dipahami. Misalnya, pengambilan gambar obyek yang sama dengan meletakkan kamera pada berbagai posisi akan menghasilkan gambar yang berbeda-beda jika dilihat dari pihak penonton. *Kedua*, penafsiran arti gambar akan berbeda-beda pula bergantung siapa yang menafsirkannya.

Dengan demikian, pengalaman dan pengetahuan tentang berbagai teknik fotografi (pembuatan film) dapat mempengaruhi ketetapan menafsirkan gambar film yang dilihatnya.

Penggunaan suatu film untuk pengajaran harus senantiasa didasarkan kepada kebutuhan murid dan disesuaikan dengan isi satuan pelajaran yang sedang atau akan dipelajari dalam rangka mencapai tujuan pengajaran itu sendiri.

Adapun langkah-langkah yang bisa ditempuh dalam penggunaan VCD adalah sebagai berikut:

#### **a. Tahap Persiapan.**

Pertama kali guru menetapkan pilihan tema film yang akan dipakai di dalam kelas, guru hanya akan dapat meningkatkan nilai guna film itu jika guru benar-benar menguasai bukan hanya teknik penggunaannya melainkan juga isi atau materidari film tersebut. Cara yang paling efektif untuk mempelajari film adalah dengan mencatat hal-hal penting sehubungan dengan pelajaran yang akan dilangsungkan, ketika diadakan uji coba atau *preview*.

Bacalah baik-baik petunjuknya dan lihat filmnya. Pusatkan perhatian pada hal-hal yang akan dijelaskan oleh guru di muka kelas. Ajaklah beberapa murid untuk uji coba sehingga mereka pun dapat turut serta mempersiapkan hal-hal yang dianggap guru perlu dan dapat turut membantu menyelenggarakan belajar dengan audio-visual di kelas nanti. Berdasarkan kepada hasil persiapan yang dibuat guru itu selanjutnya dapat direncanakan berbagai kegiatan lainnya yang menolong/ menyokong keberhasilna murid, seperti penelaahan bacaan, diskusi, pekerjaan kreatif, dan sebagainya yang sejalan dengan pelajaran.

#### **b. Mempersiapkan Kelas**

Penggunaan film di kelas menjadi kurang bermakna seandainya kelas tidak dipersiapkan untuk mengikutinya dengan baik. Sampaikanlah lebih dahulu judul film serta jelaskan mengapa dan untuk apa mereka harus belajar dari film tersebut. Cara-cara di bawah ini dapat dipakai dalam rangka mengembangkan kesediaan kelas. (Daradjat, dkk, 2001: 84-87).

- 1) Bicarakan apa saja yang telah diketahui murid mengenai film yang akan dipertunjukkan itu dan arahkan kepada hal-hal yang diharapkan akan diperoleh setelah mereka melihatnya.
- 2) Perkenalkan kata-kata baru atau asing yang mungkin mereka akan jumpai ketika film itu akan diputar.
- 3) Ajukan berbagai pertanyaan yang mungkin dapat dijawabnya setelah melihat sebagian atau seluruh film.
- 4) Berilah tugas yang berbeda-beda kepada murid yang memungkinkan mereka memberikan perhatian khusus terhadap

bagian-bagian tertentu dari film dan dimintai pertanggungjawaban atau tugas-tugasnya.

- 5) Jelaskan juga jika ada bentuk teknik fotografi yang khusus dipakai dalam pembuatan film tersebut sehingga tidak terjadi kesalahpahaman dalam menafsirkan gambar.

### **c. Partisipasi Murid**

Pada umumnya film dapat dipertunjukkan dari awal sampai selesai tanpa terputus-putus, apalagi bila pemutusan filmnya dapat menimbulkan terhentinya jalan pikiran atau terganggunya pembentukan konsep, maka sepatutnya dipertahankan kesinambungan film tersebut. Namun demikian, tetap terdapat celah-celah waktu jika dikehendaki mempertunjukkan sebagian saja demi menggenapkan tujuan pengajaran yang hendak dicapai.

Seandainya yang terakhir ini yang dikehendaki maka tunjukkanlah bagian-bagian yang penting saja, walaupun itu akan meminta tambahan waktu atau mungkin pula kelas akan menadi riuh karena merasa terpotong-potong dan ingin segera melihat kelanjutannya.

Kadang-kadang guru mempertunjukkan film untuk pertama kali pada partisipasi aktif dari murid. Pertunjukkan itu sekedar untuk menarik perhatian dan memberikan gambaran umum mengenai isi dan penataannya. Baru pada pertunjukkan berikutnya murid berpartisipasi secara aktif melalui berbagai kegiatan, seperti mencatat hal-hal penting, bertanya, berdiskusi, dan sebagainya. Langkah ini tepat sekali diambil bagi film-film yang menyajikan fakta-fakta dan yang sukar dihayati atau direncanakan dalam sekali pertunjukkan.

Sekali lagi diingatkan bahwa terhadap film yang berisi aspek keterampilan, gairah belajar menjadi semakin meningkat dengan cara menyuruh murid menyimak dan memberi kesempatan mereka untuk mencobanya. Sekurang-kurangnya percobaan untuk “bersikap” atau secara mental, jika alat-alat yang diperlukan itu tidak tersedia

### **d. Kegiatan setelah Pertunjukkan Selesai**

Biasanya guru mulai dengan diskusi kelas. Perbincangan terutama mengenai masalah-masalah yang pokok yang ada hubungannya dengan materi pelajaran. Dari cara mereka berpikir, berbincang, dan menarik kesimpulan, guru dapat melihat sejauh mana mereka memahami persoalan dan dapat pula melihat bila terdapat salah pengertian di antara mereka. Pertunjukkan ulang sebagian atau keseluruhan juga dapat dilakukan untuk memperjelas pemahaman dan menghindari salah pengertian mengenai beberapa masalah pokok.

Selanjutnya sebagai tindak lanjut dapat pula dilakukan berbagai kegiatan, seperti:

- 1) Membagi kelas dalam beberapa kelompok kecil, terutama jika film itu berakhir dengan sesuatu “penyelesaian terbuka” artinya kesimpulan atau penyelesaian final dari cerita itu diserahkan kepada para penonton. Tiap-tiap kelompok itu mendiskusikan tentang bagaimana kiranya cerita itu berakhir atau bagaimana mereka memecahkan masalah yang belum selesai itu. Kemudian, kelompok-kelompok itu bergabung dalam kelas dan secara bersama-sama menganalisa hasil kesimpulan/pemecahan kelompok-kelompok kecil tadi.
- 2) Membawa kelas untuk suatu kunjungan studi atau karyawisata, jika film itu dipersiapkan untuk maksud yang demikian.
- 3) Mempraktikkan keterampilan-keterampilan seperti yang digambarkan dalam film. Hal itu dapat dilakukan per kelompok dan guru memeriksa serta mengawasi, membantu memecahkan masalah-masalah pokok yang terdapat dalam film.
- 4) Memberikan tes lisan atau tulisan sebagai pemeriksaan atau penugasan murid terhadap masalah-masalah pokok yang terdapat dalam film.
- 5) Meminta kepada murid untuk menjelajah lebih jauh sehingga memperoleh informasi yang lebih terperinci lagi mengenai gagasan-gagasan pokok yang terdapat dalam film. Hal ini akan mengundang murid untuk membaca buku teks maupun bacaan pelengkap dan sumber-sumber lainnya
- 6) Memberi tugas kepada kelompok atau kelas untuk memvisualisasikan kembali hal-hal yang penting yang terdapat dalam film ke dalam papan berita dari kelas yang bersangkutan. (Daradjat, dkk, 2001: 88-91)..

### **Media CD Game**

CD merupakan sistem penyimpanan informasi gambar dan suara pada piringan atau disc (Sadiman, 2002:280). Pada penelitian ini pembelajaran menggunakan CD game menggunakan program animasi Flash dan Adobe Photoshop. Game disusun secara sederhana dan menarik. Untuk menjalankannya diperlukan perangkat elektronik berupa komputer. Proses pembelajaran dilaksanakan di laboratorium komputer. Siswa dirangsang untuk berfikir, melihat dan mendengar karena CD bermaterikan pelajaran kimia ini disertai dengan animasi gambar dan tata suara yang disusun semenarik mungkin. Meskipun menggunakan media, guru tetap memberikan arahan dan memberikan petunjuk kepada siswa agar proses pembelajaran berjalan lebih maksimal. Diharapkan dengan alat bantu media CD game ini

akan terjadi peningkatan pada motivasi belajar kimia siswa yang akhirnya akan berpengaruh pada hasil belajar siswa.

**Media Video CD**

Baik media VCD ataupun media CD game keduanya dibuat menggunakan teknologi komputer. Perbedaannya terletak pada alat yang digunakan untuk menjalankannya. CD game hanya dapat dijalankan menggunakan komputer, sedangkan VCD selain dapat dijalankan pada komputer dapat juga dijalankan pada VCD player biasa. Intensitas penggunaan kedua media ini tidak sama mengingat kondisi masyarakat yang lebih banyak memiliki VCD player daripada komputer. VCD pada penelitian ini visualisasinya dibuat menggunakan animasi Flash, sedangkan audionya dimodifikasi menggunakan Cool Edit Pro. Jadi, dalam media ini tidak digunakan manusia yang berakting sebagai objek utamanya. Hal ini didasarkan pada pemikiran bahwa harus ada hal berbeda untuk menambah daya tarik bagi siswa. Kalaupun ada unsur manusia hanya berupa bentuk gambar tokoh ilmuwan sebagai pelengkap yang tetap berpedoman pada daya tarik dan kemudahan pemahaman siswa terhadap materi yang akan disampaikan.

**Bab 17**  
**Penggunaan Media VCD pembelajaran dan**  
**Media CD Game pada pembelajaran**  
**Elektronika**

## Pembuatan Media Pembelajaran

### 1. Media VCD Pembelajaran

Pembuatan media VCD pembelajaran dilakukan dengan tahapan seperti yang tercantum dalam tabel berikut:

Tabel. Proses Pembuatan VCD pembelajaran

No.	Tahap	Kegiatan
1.	Persiapan	Pemilihan materi, pembuatan konsep, pemilihan <i>software</i> dan pembuatan naskah media.
2.	Pelaksanaan	Pembuatan animasi menggunakan <i>software Flash</i> , pengkorvesian file ke dalam format avi dan perekaman suara (narasi) dan penggabungan film (format avi) dengan audio hasil rekaman menggunakan <i>software Ulead Visual Studio</i> .
3.	Pengeditan	Penyesuaian posisi waktu ( <i>timing</i> ) audio dan film.
4.	Penyelesaian	Pencobaan di VCD <i>player</i> dan penggandaan.

### 2. Media CD Game

Pembuatan Media CD *game* juga dilakukan sendiri oleh peneliti melalui langkah-langkah sebagai berikut:

Tabel Proses Pembuatan CD *game*

No.	Tahap	Kegiatan
1.	Persiapan	Pembuatan konsep, pemilihan <i>software</i> , pemilihan materi dan pembuatan soal <i>game</i> .
2.	Pelaksanaan	Pembuatan kerangka <i>game</i> , pemberian <i>script</i> menggunakan <i>software Flash</i> , pemilihan dan pengeditan audio menggunakan <i>software Cool Edit Pro</i> , memasukkan audio ke dalam <i>game</i> .
3.	Pengeditan	Pencobaan <i>script</i> , pengeditan kesalahan tulisan, pencobaan menjalankan <i>game</i> dan pemberian efek dan animasi.
4.	Penyelesaian	Penggandaan ke dalam CD.

## Penggunaan Media VCD pembelajaran dan Media CD Game pada pembelajaran Elektronika

Melihat kondisi awal, ketika melakukan penelitian pada mahasiswa jurusan teknik elektro pada mata kuliah teknik elektronika, baik kelas eksperimen maupun kelas kontrol memiliki kemampuan awal yang relatif sama. Rata-rata tes awal kedua kelas adalah 4,61 untuk kelas eksperimen dan 4,63 untuk kelas kontrol. Setelah dilakukan uji T, diperoleh Thitung sebesar -0,060 lebih kecil dari t tabel yang berarti bahwa kedua kelas memiliki rata-rata yang relative sama meski tergolong rendah. Rendahnya rata-rata ini dikarenakan memang siswa sama sekali belum pernah mengikuti pembelajaran pada materi sistem periodik unsur dan struktur atom.

Setelah dilakukan perlakuan pada kedua kelas, yaitu pembelajaran dengan menggunakan media VCD pembelajaran dan CD game untuk kelas eksperimen dan pembelajaran dengan metode konvensional untuk kelas kontrol, diperoleh nilai rata-rata yang berbeda. Kelas eksperimen memiliki rata-rata sebesar 6,96 dan kelas kontrol memiliki rata-rata sebesar 6,49.

Dari hasil uji T diperoleh Thitung < Ttabel sehingga dikatakan bahwa kedua kelas memiliki rata-rata yang relatif berbeda. Kelas eksperimen mengalami peningkatan yang lebih besar daripada kelas kontrol. Ini mengindikasikan bahwa pembelajaran menggunakan media VCD pembelajaran dan CD game lebih baik daripada pembelajaran dengan metode konvensional.

Pembelajaran menggunakan media VCD pembelajaran dan CD game juga terbukti lebih baik daripada pembelajaran dengan metode konvensional sesuai dengan hasil uji ketuntasan. Thitung untuk eksperimen sebesar -0,111 lebih kecil daripada Ttabel sebesar 1,68 mengindikasikan bahwa kelas eksperimen telah tuntas belajar. Sedangkan nilai Thitung untuk kelas kontrol sebesar 3,54 lebih besar daripada Ttabel sehingga kelas ini belum tuntas belajar.

Meskipun kelas eksperimen dan kelas kontrol tidak semua siswanya memperoleh ketuntasan belajar, tetapi dari rata-ratanya bisa dilihat bahwa terjadi peningkatan pada kedua kelas. Peningkatan ini terjadi karena setelah diberi pembelajaran siswa mendapatkan tambahan pengetahuan dan pengalaman. Di samping itu juga mengalami perubahan pola pikir dalam menghadapi masalah yang ditemukan terutama yang berhubungan dengan materi pelajaran sistem periodik unsur dan struktur atom.

Perbedaan hasil belajar pada kedua kelas ini disebabkan karena adanya penggunaan media VCD pembelajaran dan CD game pada kelas eksperimen. VCD pembelajaran yang berisi animasi dua dimensi materi pelajaran sistem periodik unsur dan struktur atom diberikan pada mahasiswa kelas eksperimen sehingga mereka bisa menontonnya di rumah. Agar semua

mahasiswa menonton VCD tersebut, maka dalam VCD tersebut diberikan tugas untuk dikerjakan di akhir sub bab. Sedangkan CD game digunakan di laboratorium komputer pada akhir pembelajaran. Game yang terbagi dalam beberapa misi ini membuat siswa lebih aktif dan memiliki tambahan motivasi karena menemukan sesuatu yang baru dalam proses pembelajaran.

Pada proses pembelajaran menggunakan media VCD pembelajaran dan CD game mahasiswa berarti melakukan praktek dalam proses pembelajarannya. Contohnya ketika mereka melakukan pembelajaran menggunakan CD game, dua orang menjadi satu tim untuk menyelesaikan misi yang ada. Misalnya dari proses kerja sama, mahasiswa bisa dinilai tidak hanya dari ranah kognitif, tetapi juga ranah afektif dan psikomotorik.

Namun perlu dipahami bahwa ada beberapa kendala yang mempengaruhi hasil penelitian sehingga penelitian ini belum maksimal. Misalnya, waktu dan fasilitas yang minim tidak memungkinkan untuk dilaksanakannya pembelajaran menggunakan CD game di setiap akhir pertemuan. Selain itu, ada kesulitan untuk mengendalikan salah satu variabel penelitian yaitu metode pembelajaran menggunakan media VCD pembelajaran dan CD game. VCD yang dibawa ke rumah mengakibatkan adanya kemungkinan salah satu sampel dari kelas kontrol untuk ikut menonton VCD tersebut. Kendala-kendala inilah yang menyebabkan hasil penelitian yang kurang maksimal. Jika dilihat dari rata-rata tes akhirnya, hanya ada sedikit perbedaan yaitu 6,49 untuk kelas kontrol dan 6,96 untuk kelas eksperimen. Tetapi, dari hasil uji T ditemukan bahwa kedua kelas memiliki perbedaan rata-rata yang signifikan.

Secara umum, pembelajaran menggunakan media VCD pembelajaran dan CD game lebih baik daripada pembelajaran menggunakan metode konvensional

#### **KEPUSTAKAAN**

Barry Davis, Under standing DC Power Suppllies, Prentice-Hall of Australia Pty Ltd,1981

Boylested, Robert L. dan Louis Nashelky, *Electronic Devices and Circuit Theory*, Prentice-Hall, New Jersey,1982,

Coughlin, R. F., Driscoll, F. F., Penguat Operasional dan Rangkaian Terpadu Linier, Erlangga, Jakarta,1994

Dirksen, AJ, *Pelajaran Elektronika Jilid 3*, terjemahan Haroen, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1982

*Buku Referensi*  
**Media Pembelajaran Teknik Elektronika**

---

- Edy Burnawi , Catu Daya , PPPGTeknologi Bandung ,1996
- Erawan, Bambang. Drs., *Dasar Elektronika 1 dan 2*, PPPG Teknologi Bandung, Bandung, 1992
- Emst Hornermann , Electrical Power Engineering Profinciency Course, GTZ GmbHEscbom ( Federal Republic of Germany ), 1988
- Fardo and Patrick , Electrical Power Systems Technology , Howard W.Sams & Co,Inc
- Floyd, Thomas L, *Electronic Devices*, Charlkes E. .Merril Publishing Company, Toronto-London-Sidney,1984
- Hamilton, Howard, Basic Integreted Circuit Engineering, Mc Graw Hill Kogaakusha Ltd, Tokyo, 1975
- Herbst, Monolithic Integreted Circuit, Clarendon Press, Oxford,1985
- James F.Lowe , Electronics for Electrical Trades , McGraw-Hill,Book Company Sydney, 1977
- Loveday, G., Intisari Elektronika, Elex Media Komputindo, Jakarta
- Maloney,J.Timothy, *Industrial Solid State Electronics*, Prentice-Hall, New-Jersey, 1979
- Malvino, A.P., Prinsip-prinsip Elektronika, Jilid 1 dan 2, Salemba Teknika, Jakarta, 2003
- Markovitz, AB. *Introduction to Logic Design*, Mc Graw Hill, 2005
- Masiran Drs., M.Si Alat Ukur Elektronik
- Morris Mano, *Digital Design*, Prentice Hall, 2001 RJ. Tocci, NS. Widmer, *Digital Systems : Principle and Applications*, Prentice Hall, 1998
- Morris, Noel, *Control Engineering*, Mc. Graw Hill Book Company (UK) Limited, London, 1974
- Ruska, Microelectrobic Processing, McGraw-Hill Book Co, Singapore,1988
- S. Reka Rio, Masamori Iida, Fisika Semikonduktor, Pradnya Paramita,

*Buku Referensi*  
**Media Pembelajaran Teknik Elektronika**

---

Jakarta, 1980

Sutrisno, *Elektronika Teori dan Penerapannya*, Jilid 1 dan 2, Penerbit ITB, Bandung, 1986

Sze, *YLSI Technology*, McGraw-Hill Book Co, Singapore, 1984

Veer, J.C.M., et al, *Rangkaian-rangkaian Penguat Elektronik*, Bina cipta, Bandung, 1986

Villanucci et.al., *Electronic Techniques*, Prentice Hall, Wellington - New Zealand, 1981

Wasito, *Vademekum Elektronika*, Gramedia, Jakarta, 1994

William Kleitz, *Digital Electronics : A Practical Approach*, Prentice Hall, 1999

Zbar, Paul B., *Basic Electronics*, EIA-Mc. Graw Hill Co., 1976, USA

[http://vipnulled.com/doc/pdf/download/lecturer\\_eepis-its\\_edu--~prima--elektronika%20digital--elektronika\\_digital1--bahan\\_ajar--Bab2\\_gerbang%20logika%20dasar.pdf](http://vipnulled.com/doc/pdf/download/lecturer_eepis-its_edu--~prima--elektronika%20digital--elektronika_digital1--bahan_ajar--Bab2_gerbang%20logika%20dasar.pdf)

## TENTANG PENULIS



Nama Lengkap Dr. Christine Takarina Meitty Manoppo, M.Ap. Lahir di Manado, 18 November 1965. Pada Tahun 1987 Lulus S-1 Jurusan Pendidikan Teknik Elektronika FPTK IKIP Manado, sekarang Fakultas Teknik Universitas Negeri Manado (UNIMA). Tahun 2009 Lulus Mangister S-2 di Jurusan Administrasi Negara Universitas Negeri Manado dan pada Tahun 2013, mendapat Gelar Doktor di bidang Manajemen Pendidikan Universitas Negeri Jakarta. Sejak Maret 1988 diangkat menjadi Dosen Tetap di Jurusan Pendidikan Teknik Elektronika FPTK IKIP Manado. Awal Tahun 1990-an, ditugaskan ke Jurusan Pendidikan Teknik Elektro Fakultas yang sama dengan alasan, Jurusan Pendidikan Teknik Elektronika ditutup. Di Jurusan ini saya mengajar Mata Kuliah Elektronika Analog, Elektronika Daya, Elektronika Industri, Elektronik Digital, baik di Program D3 dan S-1, Konsentrasi Pendidikan Teknologi Informasi dan Komunikasi (PTIK). Pada Tahun 2010 dengan dikeluarkannya SK Pendirian Program Studi PTIK Universitas Negeri Manado, maka saya ditugaskan di Program Studi ini sampai sekarang. Mata Kuliah yang saya ampuh adalah MK Sistim Informasi, Sistim Digital, Komunikasi Data serta mata kuliah Pendidikan dan Pengajaran seperti Pengkajian Kurikulum SMK, Perencanaan Pembelajaran, Evaluasi Pembelajaran. Juga Sejak Tahun 2017 saya diberi kesempatan untuk mengajar Mahasiswa di Program Profesi Guru (PPG) Universits Negeri Manado sampai sekarang.