

## **BAB 1**

### **Rangkaian Transistor MOS, *Timing*, dan Daya**

#### **A. Pendahuluan**

Dalam dunia elektronika dan desain sirkuit, pemahaman yang mendalam tentang transistor dan karakteristik sirkuit sangat penting. Transistor MOS (Metal-Oxide-Semiconductor) merupakan salah satu komponen utama dalam desain sirkuit digital. Transistor ini dapat diimplementasikan dalam berbagai variasi dan memiliki dampak yang signifikan pada kinerja dan karakteristik sirkuit. Pada ringkasan ini, kita akan menjelajahi beberapa topik penting terkait dengan transistor dan sirkuit digital. Kita akan mulai dengan mempelajari perbedaan antara nMOS dan pMOS, dua jenis transistor MOS yang memiliki kegunaan dan karakteristik yang berbeda. Selanjutnya, kita akan memahami wilayah operasi transistor, yaitu cut-off, triode, dan saturasi, yang menentukan bagaimana transistor beroperasi berdasarkan tegangan yang diberikan.

Selain itu, kita akan mempelajari bagaimana transistor dapat digunakan sebagai saklar elektronik dengan menggunakan konsep pass transistor dan transmission gates. Kedua teknik ini memungkinkan pengalihan dan pengendalian sinyal dalam rangkaian dengan menggunakan transistor sebagai elemen utama. Kemudian, kita akan membandingkan jaringan saklar dengan gerbang logika dalam implementasi fungsi logika. Kedua pendekatan ini memiliki kelebihan dan kelemahan masing-masing dalam desain sirkuit digital.

Selanjutnya, kita akan menjelajahi konsep waktu tunda (propagation delay), rise time, dan fall time dalam rangkaian digital. Waktu tunda merupakan parameter penting dalam menentukan kecepatan operasi sirkuit, sementara rise time dan fall time berkaitan dengan kecepatan perubahan sinyal. Kita juga akan mempelajari model unit-delay dan model tau sebagai alat analisis untuk memahami waktu tunda dan karakteristik penurunan/peningkatan tegangan dalam rangkaian RC. Selanjutnya, kita akan memahami efek fan-in dan efek fan-out dalam desain gerbang logika. Efek ini mempengaruhi kualitas sinyal dan kapabilitas sirkuit dalam menangani beban dan jumlah input yang terhubung.

Selain itu, kita akan menjelajahi efek ukuran transistor pada waktu tunda dan daya konsumsi dalam desain nMOS dan pMOS, serta pengaruh penskalaan ukuran transistor terhadap kinerja sirkuit CMOS. Efek ini memberikan wawasan tentang bagaimana ukuran transistor mempengaruhi

performa sirkuit digital. Terakhir, kita akan membahas karakteristik sirkuit yang perlu dipertimbangkan dalam desain logika statis, dinamis, dan skema pencatatan ganda. Ini mencakup kecepatan operasi, konsumsi daya, kompleksitas rangkaian, dan stabilitas.

Melalui pemahaman mendalam terhadap topik-topik ini, kita akan dapat mengoptimalkan desain sirkuit digital dan meningkatkan kinerja sistem elektronik yang kompleks.

## **B. Capaian Pembelajaran**

- 1 Memahami prinsip dasar rangkaian transistor MOS, termasuk struktur dan operasi transistor MOS.
- 2 Mampu menganalisis dan merancang rangkaian dasar menggunakan transistor MOS.
- 3 Memahami prinsip dasar timing dalam rangkaian elektronik, termasuk sinyal clock, delay, dan skema sinkronisasi.
- 4 Mampu merancang rangkaian timing yang efisien dan akurat.
- 5 Memahami prinsip dasar pengelolaan daya dalam rangkaian elektronik, termasuk teknik penghematan daya dan manajemen sumber daya.
- 6 Mampu merancang rangkaian daya yang efisien dan dapat mengoptimalkan penggunaan daya.

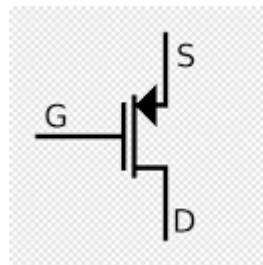
## **C. Tujuan Pembelajaran**

- 1 Meningkatkan pemahaman tentang transistor MOS dan penerapannya dalam rangkaian elektronik.
- 2 Mengembangkan kemampuan untuk menganalisis, merancang, dan memecahkan masalah terkait rangkaian transistor MOS.
- 3 Memperoleh pemahaman yang baik tentang konsep timing dalam rangkaian elektronik dan kemampuan merancang rangkaian yang sesuai dengan kebutuhan timing tertentu.
- 4 Meningkatkan pemahaman tentang manajemen daya dalam rangkaian elektronik dan kemampuan merancang rangkaian yang hemat daya.
- 5 Mendorong keterampilan berpikir kritis dan pemecahan masalah dalam bidang rangkaian transistor MOS, timing, dan daya.
- 6 Memperluas pengetahuan tentang perkembangan terbaru dalam teknologi rangkaian transistor MOS, timing, dan daya.

## D. Pembahasan

### 1 MOS (Metal Oxide Semiconductor)

Transistor MOS adalah komponen semikonduktor yang digunakan dalam rangkaian elektronika untuk mengendalikan aliran arus listrik. Prinsip kerjanya berdasarkan pada pengendalian medan listrik oleh tegangan yang diterapkan pada gerbang transistor. Transistor MOSFET (metal-oxide-semiconductor field-effect transistor) adalah salah satu jenis transistor efek medan. Transistor MOS adalah istilah umum yang mencakup semua jenis transistor yang menggunakan lapisan semikonduktor MOS sebagai komponen kunci dalam struktur perangkatnya. Ini termasuk MOSFET, MOS diode, dan MOS capacitor. Jadi, transistor MOS adalah istilah yang lebih. Transistor MOS terdiri dari tiga bagian utama: Source (Sumber), Drain (Saluran), dan Gate (Gerbang). Transistor MOS bekerja berdasarkan pengendalian medan listrik di antara Source dan Drain melalui medan listrik yang dihasilkan oleh tegangan yang diterapkan pada Gerbang. Ketika tegangan yang diterapkan pada Gerbang melebihi ambang batas tertentu, terbentuk kanal penghantar (channel) di bawah lapisan Gate yang memungkinkan arus listrik mengalir dari Source ke Drain. Jika tegangan pada Gerbang lebih rendah dari ambang batas, kanal penghantar tidak terbentuk, dan arus listrik terhenti. Berikut adalah simbol MOSFET yaitu:



MOSFET mencakup kanal dari bahan semikonduktor tipe-N dan tipe-P, dan disebut NMOSFET atau PMOSFET (juga biasa nMOS, pMOS). Ini adalah transistor yang paling umum pada sirkuit digital maupun analog, tetapi transistor sambungan dwikutub atau *bipolar* pada satu waktu lebih umum. MOSFET diciptakan oleh Mohamed M. Atalla dan Dawon Kahng di Bell Labs pada tahun 1959, dan pertama kali diperkenalkan pada Juni 1960. Perangkat ini merupakan perangkat pembangun dasar dari elektronika modern, dan merupakan perangkat elektronik yang paling banyak diproduksi dalam sejarah, dengan jumlah kira-kira 13 sekstiliun ( $1,3 \times 10^{22}$ ) MOSFET yang diproduksi di antara tahun 1960 dan 2018. MOSFET merupakan alat semikonduktor yang dominan di dalam sirkuit terpadu (IC) digital ataupun analog, dan merupakan

perangkat daya yang umum. MOSFET merupakan transistor padat yang diminiaturisasi dan diproduksi massal untuk berbagai bentuk penerapan, merevolusi industri elektronik dan ekonomi dunia, dan penting bagi revolusi digital, zaman silikon dan zaman informasi. Miniaturisasi MOSFET telah mendorong perkembangan cepat dari teknologi semikonduktor elektronik sejak 1960-an, dan memungkinkan IC berdensitas tinggi seperti cip memori dan mikroprosesor. Berikut adalah bentuk Fisik dari MOSFET dapat dilihat dibawah ini.



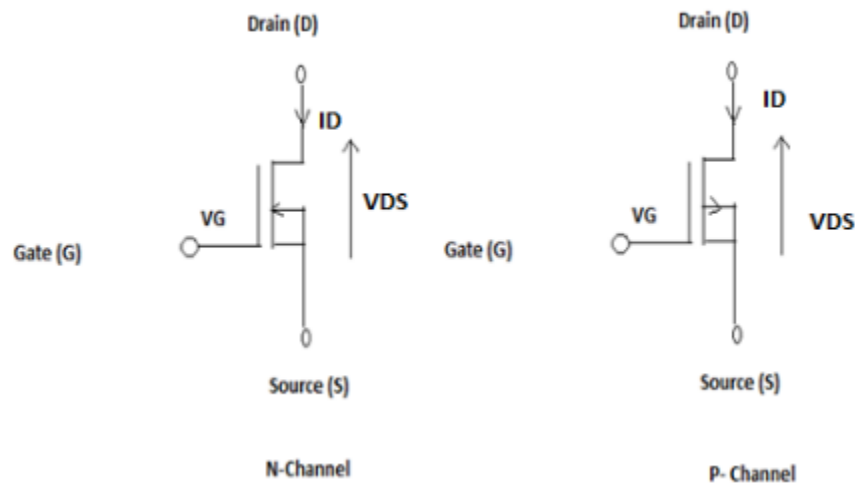
Mari kita bahas secara lebih rinci mengenai setiap bagian fisik MOSFET:

- 1) Substrate (Substrat): Substrat MOSFET adalah bagian dasar yang biasanya terbuat dari bahan semikonduktor, seperti silikon. Substrat ini dapat memiliki tipe doping yang berbeda, yaitu tipe P (positive) atau tipe N (negative), tergantung pada jenis MOSFET yang digunakan.
- 2) Gate (Gerbang): Gerbang MOSFET terletak di antara substrat dan saluran. Gerbang ini terisolasi dari saluran oleh lapisan tipis oksida (biasanya oksida silikon). Gerbang MOSFET biasanya terhubung ke sumber tegangan untuk mengendalikan aliran arus dalam saluran.
- 3) Channel (Saluran): Saluran MOSFET adalah jalur konduktif antara sumber (source) dan drain. Ketika tegangan diberikan pada gerbang MOSFET, medan listrik yang terbentuk di dalam oksida akan mempengaruhi saluran dan mengontrol aliran arus antara source dan drain. Jika gerbang MOSFET diberi tegangan yang memadai, saluran akan menjadi konduktif, memungkinkan aliran arus.

Selain tiga komponen utama di atas, MOSFET juga memiliki sumber (source) dan drain. Source adalah terminal di mana arus masuk atau keluar dari saluran, sedangkan drain adalah terminal di mana arus meninggalkan atau memasuki saluran. Penting untuk dicatat bahwa terdapat dua jenis MOSFET yang umum digunakan, yaitu MOSFET tipe N (n-channel) dan MOSFET tipe

P (p-channel). Perbedaan utama antara keduanya adalah tipe substrat yang digunakan (N atau P) dan arah aliran arus (elektron atau lubang).

## 2 nMOS dan pMOS



nMOS adalah jenis transistor MOS yang menggunakan kanal penghantar n-type semikonduktor. Ketika tegangan yang diterapkan pada Gerbang bernilai tinggi (di atas ambang batas), kanal penghantar n-type terbentuk dan memungkinkan arus listrik mengalir dari Source ke Drain. Dalam keadaan ini, nMOS dinyalakan dan digunakan sebagai saklar elektronik. nMOS menggunakan substrat semikonduktor tipe p (p-substrate) sebagai bahan dasar. Di atas substrat, terdapat lapisan tipis oksida (oxide layer) yang berfungsi sebagai gate dielectric. Kemudian, terdapat lapisan konduktif (polysilicon) sebagai gate, dan dua daerah semikonduktor tipe n (source dan drain) yang mengapit kanal semikonduktor.

. Prinsip kerja dari nMOS ialah ketika tegangan positif diberikan ke terminal gerbang (gate), medan listrik terbentuk di bawah gate oxide. Medan ini mengubah sifat konduktif kanal semikonduktor antara source dan drain. Jika tegangan gerbang mencapai atau melebihi ambang tegangan (threshold voltage), kanal semikonduktor menjadi konduktif dan mengizinkan aliran arus dari source ke drain. Ketika tegangan gerbang rendah atau negatif, kanal semikonduktor menjadi non-konduktif dan menghentikan aliran arus.

pMOS adalah jenis transistor MOS yang menggunakan kanal penghantar p-type semikonduktor. Ketika tegangan yang diterapkan pada Gerbang bernilai rendah (di bawah ambang batas), kanal penghantar p-type terbentuk dan memungkinkan arus listrik mengalir dari Source ke

Drain. Dalam keadaan ini, pMOS dinyalakan dan digunakan sebagai saklar elektronik. pMOS memiliki struktur yang mirip dengan nMOS, tetapi dengan kebalikan polaritasnya. pMOS menggunakan substrat semikonduktor tipe n (n-substrate), gate dielectric, gate, dan daerah semikonduktor tipe p (source dan drain).

Prinsip kerja pMOS ialah ketika tegangan negatif diberikan ke terminal gerbang (gate), medan listrik yang berlawanan terbentuk di bawah gate oxide. Medan ini mengubah sifat konduktif kanal semikonduktor antara source dan drain. Jika tegangan gerbang mencapai atau melebihi ambang tegangan negatif (threshold voltage), kanal semikonduktor menjadi konduktif dan mengizinkan aliran arus dari drain ke source. Ketika tegangan gerbang rendah atau positif, kanal semikonduktor menjadi non-konduktif dan menghentikan aliran arus.

Kedua jenis MOSFET, konduktivitas kanal semikonduktor diatur oleh tegangan gerbang. nMOS bekerja dengan tegangan positif pada gerbang untuk mengaktifkan aliran arus, sementara pMOS bekerja dengan tegangan negatif pada gerbang. Prinsip kerja ini memungkinkan penggunaan nMOS dan pMOS dalam kombinasi untuk membentuk rangkaian logika CMOS (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor) yang sangat umum digunakan dalam sirkuit terpadu digital.

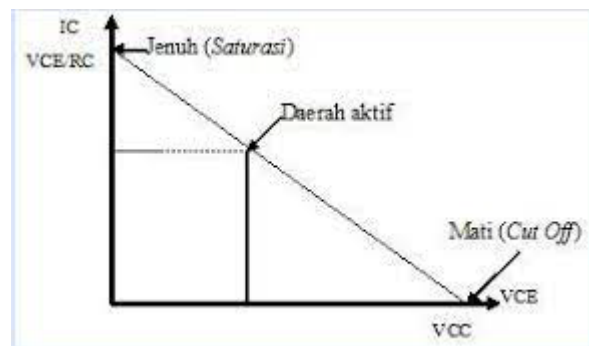
### **3 Mengenal Wilayah Operasi Transistor**

Wilayah operasi transistor adalah kisaran tegangan dan arus di mana transistor dapat berfungsi sesuai dengan kebutuhan aplikasi. Terdapat beberapa wilayah operasi utama pada transistor, yaitu:

1. Wilayah Cut-off: Pada wilayah ini, transistor berada dalam kondisi mati (off). Tegangan antara basis dan emitor transistor bipolar atau tegangan antara gate dan source transistor MOSFET berada di bawah ambang tegangan (threshold voltage). Dalam kondisi ini, tidak ada arus yang mengalir melalui transistor.
2. Wilayah Aktif: Wilayah ini juga dikenal sebagai wilayah linier atau wilayah penggunaan normal. Transistor beroperasi dengan arus dan tegangan yang berada pada tingkat yang diinginkan. Transistor bipolar beroperasi dalam wilayah ini saat arus basis cukup besar sehingga menghasilkan arus kolektor dan tegangan kolektor-emitor yang terkendali. Pada

transistor MOSFET, wilayah ini terjadi ketika tegangan gate-source lebih tinggi dari ambang tegangan dan menghasilkan aliran arus drain-source yang terkendali.

3. Wilayah Jenuh: Pada wilayah ini, transistor beroperasi dengan arus dan tegangan yang mencapai batas maksimum yang diizinkan. Pada transistor bipolar, wilayah ini terjadi ketika arus basis melebihi arus jenuh (saturation current) dan menyebabkan jenuhnya arus kolektor. Pada transistor MOSFET, wilayah ini terjadi ketika tegangan gate-source lebih tinggi dari ambang tegangan dan arus drain-source mencapai batas maksimum.
4. Wilayah Potong: Wilayah ini terjadi ketika transistor beroperasi di luar karakteristik normalnya dan seringkali dihindari karena dapat mengakibatkan kerusakan atau distorsi pada sinyal. Pada transistor bipolar, wilayah ini terjadi ketika arus basis sangat besar dan menyebabkan jenuh total pada transistor. Pada transistor MOSFET, wilayah ini terjadi ketika tegangan gate-source sangat tinggi atau sangat rendah dan transistor tidak dapat berfungsi secara normal.



Perlu dicatat bahwa karakteristik dan batasan wilayah operasi transistor dapat berbeda tergantung pada jenis transistor yang digunakan, seperti transistor bipolar (BJT) atau transistor MOSFET (nMOS, pMOS). Selain itu, dalam aplikasi tertentu, seperti amplifier atau switch, wilayah operasi transistor dapat diatur dengan sirkuit biasing yang tepat untuk memenuhi kebutuhan desain dan kinerja yang diinginkan.

#### 4 Biasing Transistor

Biasing pada transistor nMOS dan pMOS dalam aplikasi logika dan amplifier penting untuk memastikan transistor beroperasi dalam wilayah operasi yang diinginkan dengan tegangan dan arus yang tepat. Berikut adalah penjelasan mengenai biasing pada transistor nMOS dan pMOS.

Dalam aplikasi logika, transistor nMOS biasanya digunakan dalam konfigurasi pull-down untuk membentuk gerbang logika nMOS. Transistor ini harus dibiasakan dengan tegangan yang cukup pada terminal gate-nya ( $V_{gs}$ ) untuk memastikan kondisi ON (mengalirkan arus) ketika sinyal input logika sesuai. Pada aplikasi amplifier, biasing pada transistor nMOS dilakukan dengan memastikan tegangan gate-ke-source ( $V_{gs}$ ) yang cukup untuk mendapatkan operasi yang linier. Hal ini dapat dilakukan dengan mengatur tegangan pada terminal gate ( $V_g$ ) dan tegangan pada terminal source ( $V_s$ ).

Dalam aplikasi logika, transistor pMOS biasanya digunakan dalam konfigurasi pull-up untuk membentuk gerbang logika pMOS. Transistor ini harus dibiasakan dengan tegangan yang cukup pada terminal gate-nya ( $V_{gs}$ ) untuk memastikan kondisi OFF (menghentikan aliran arus) ketika sinyal input logika sesuai. Pada aplikasi amplifier, biasing pada transistor pMOS dilakukan dengan memastikan tegangan gate-ke-source ( $V_{gs}$ ) yang cukup untuk mendapatkan operasi yang linier. Hal ini dapat dilakukan dengan mengatur tegangan pada terminal gate ( $V_g$ ) dan tegangan pada terminal source ( $V_s$ ).

Pada umumnya, biasing transistor nMOS dan pMOS dapat dilakukan menggunakan berbagai metode, seperti biasing arus tetap (fixed bias), biasing tegangan tetap (fixed voltage bias), biasing potensial sumbat (biasing diode-connected transistor), atau biasing aktif menggunakan sirkuit biasing terintegrasi seperti sirkuit biasing tegangan konstan (constant voltage biasing) atau biasing sirkuit cerukan (cascode biasing). Tujuan dari biasing adalah untuk memastikan transistor bekerja dalam wilayah operasinya yang diinginkan, memaksimalkan linieritas dan respons transien, serta meminimalkan distorsi dan daya yang dikonsumsi. Dalam prakteknya, pemilihan metode biasing yang tepat akan sangat tergantung pada persyaratan aplikasi, kompleksitas sirkuit, stabilitas operasi, kebutuhan daya, dan faktor-faktor desain lainnya. Biasing yang tepat memastikan transistor beroperasi secara optimal untuk mencapai kinerja yang diinginkan dalam aplikasi logika maupun amplifier.

## **5 Transistor Sebagai Saklar**

Transistor MOSFET baik tipe nMOS maupun pMOS dapat digunakan sebagai saklar dalam aplikasi digital. Namun adakah perbedaan dari kedua tipe tersebut, Berikut adalah perbandingan sifat kunci antara transistor nMOS dan pMOS sebagai saklar:



	<b>nMOS</b>	<b>pMOS</b>
<b>Kepolaran</b>	Menggunakan bahan semikonduktor tipe n pada kanalnya dan diberi tegangan positif pada terminal gerbang untuk mengaktifkannya.	Semikonduktor tipe p pada kanalnya dan diberi tegangan negatif pada terminal gerbang untuk mengaktifkannya.
<b>Mode Aktif</b>	Beroperasi dalam mode peningkatan (enhancement mode), yang berarti transistor hanya aktif ketika tegangan gerbang positif dan lebih tinggi dari ambang tegangan (threshold voltage) yang ditentukan.	Beroperasi dalam mode peningkatan (enhancement mode), tetapi dalam hal ini transistor hanya aktif ketika tegangan gerbang negatif dan lebih rendah dari ambang tegangan yang ditentukan.
<b>Kendali Arus:</b>	Mengalirkan arus dari sumber (source) ke drain ketika tegangan gerbang positif dan di atas ambang tegangan. Ini menghasilkan saklar nMOS yang bekerja pada logika positif, di mana tegangan tinggi pada input menghasilkan tegangan rendah pada output.	Mengalirkan arus dari drain ke sumber ketika tegangan gerbang negatif dan di bawah ambang tegangan. Ini menghasilkan saklar pMOS yang bekerja pada logika negatif, di mana tegangan tinggi pada input menghasilkan tegangan rendah pada output.
<b>Konsumsi Daya</b>	Cenderung memiliki konsumsi daya yang lebih rendah saat dalam keadaan OFF karena sumber arusnya terputus. Namun, saat dalam keadaan ON, nMOS akan mengkonsumsi daya untuk mengalirkan arus dari sumber ke drain.	Cenderung memiliki konsumsi daya yang lebih rendah saat dalam keadaan ON karena sumber arusnya terputus. Namun, saat dalam keadaan OFF, pMOS akan mengkonsumsi daya kecil untuk menjaga tegangan gate yang negatif.

Fungsi logika dasar menggunakan logika nMOS, pMOS, dan logika semikonduktor oksida logam komplementer (CMOS) adalah untuk mengimplementasikan gerbang logika dengan menggunakan kombinasi transistor nMOS dan pMOS. Berikut adalah penjelasan lengkap tentang masing-masing dan persamaan yang terlibat:

1. Logika nMOS: Logika nMOS menggunakan transistor nMOS sebagai saklar untuk membentuk gerbang logika. Transistor nMOS akan mengalirkan arus dari sumber ke drain ketika tegangan pada terminal gerbangnya ( $V_{gs}$ ) lebih tinggi dari ambang tegangan (threshold voltage) yang ditentukan. Jika  $V_{gs}$  lebih rendah dari ambang tegangan, transistor nMOS akan dalam keadaan mati dan tidak mengalirkan arus.

Persamaan:

- Untuk transistor nMOS dalam keadaan ON (menghantarkan arus):

$$I_D = K_n * (V_{gs} - V_{th})^2 \quad V_{DS} \geq V_{gs} - V_{th} \quad V_{DS} \leq V_{DD}$$

- Untuk transistor nMOS dalam keadaan OFF (tidak menghantarkan arus):

$$I_D = 0 \quad V_{DS} \leq V_{gs} - V_{th}$$

2. Logika pMOS: Logika pMOS menggunakan transistor pMOS sebagai saklar untuk membentuk gerbang logika. Transistor pMOS akan mengalirkan arus dari drain ke sumber ketika tegangan pada terminal gerbangnya ( $V_{gs}$ ) lebih rendah dari ambang tegangan (threshold voltage) yang ditentukan. Jika  $V_{gs}$  lebih tinggi dari ambang tegangan, transistor pMOS akan dalam keadaan mati dan tidak mengalirkan arus.

Persamaan:

- Untuk transistor pMOS dalam keadaan ON (menghantarkan arus):

$$I_D = K_p * (V_{sg} - |V_{th}|)^2$$

$$V_{SD} \geq V_{sg} - |V_{th}|$$

$$V_{SD} \leq V_{DD}$$

- Untuk transistor pMOS dalam keadaan OFF (tidak menghantarkan arus):

$$I_D = 0$$

$$V_{SD} \leq V_{sg} - |V_{th}|$$

3. Logika CMOS: Logika CMOS menggabungkan transistor nMOS dan pMOS dalam konfigurasi komplementer untuk memberikan keuntungan yang lebih baik dalam hal konsumsi daya dan kebisingan. Logika CMOS mengeliminasi arus bocor pada kondisi off dan hanya mengalirkan arus ketika saklar aktif.

Persamaan:

- Untuk transistor nMOS dalam keadaan ON (menghantarkan arus):

$$I_{Dn} = K_n * (V_{gsn} - V_{thn})^2$$

$$V_{DSn} \geq V_{gsn} - V_{thn}$$

$$V_{DSn} \leq V_{DD}$$

- Untuk transistor pMOS dalam keadaan ON (menghantarkan arus):

$$I_{Dp} = K_p * (V_{gsp} - |V_{thp}|)^2$$

$$V_{SpD} \geq V_{gsp} - |V_{thp}|$$

$$V_{SpD} \leq V_{DD}$$

- Untuk transistor nMOS dalam keadaan OFF (tidak menghantarkan arus):

$$I_{Dn} = 0$$

$$V_{DSn} \leq V_{gsn} - V_{thn}$$

- Untuk transistor pMOS dalam keadaan OFF (tidak menghantarkan arus):

$$I_{Dp} = 0$$

$$V_{SpD} \leq V_{gsp} - |V_{thp}|$$

Keterangan :

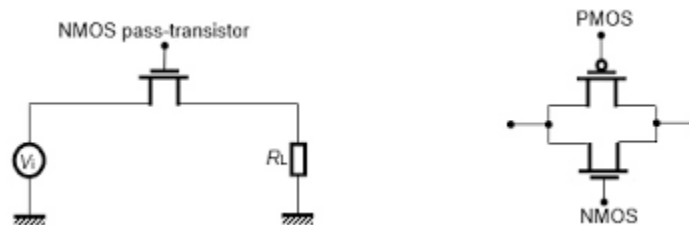
- $I_D$ : Merupakan arus yang mengalir melalui kanal transistor, diukur dalam ampere (A). Variabel ini menunjukkan besar arus yang mengalir melalui transistor dalam kondisi tertentu.
- $K_n, K_p$ : Merupakan parameter transkonduktansi atau faktor gain yang berkaitan dengan kepekaan transistor terhadap perubahan tegangan input. Nilai ini bergantung pada karakteristik dan dimensi fisik transistor.
- $V_{gs}, V_{sg}$ : Merupakan tegangan antara terminal gerbang dan sumber pada transistor, diukur dalam volt (V). Variabel ini menunjukkan tegangan yang diberikan pada terminal gerbang untuk mengontrol kondisi ON atau OFF transistor.
- $V_{thn}, V_{thp}$ : Merupakan ambang tegangan (threshold voltage) yang diperlukan untuk mengaktifkan transistor nMOS dan pMOS. Nilai ini adalah ambang tegangan minimum yang harus dicapai pada terminal gerbang agar transistor menghantarkan arus.
- $V_{DS}, V_{SD}$ : Merupakan tegangan antara terminal drain dan sumber pada transistor, diukur dalam volt (V). Variabel ini menunjukkan tegangan yang diterapkan pada terminal drain dan sumber transistor dalam kondisi tertentu.

- $V_{DD}$ : Merupakan tegangan pasokan atau tegangan daya yang diberikan ke transistor atau rangkaian, diukur dalam volt (V). Nilai ini menunjukkan level tegangan yang digunakan dalam sistem.

Gerbang logika dibentuk dengan menggunakan transistor nMOS dan pMOS yang saling terhubung dalam bentuk komplementer. Ketika sinyal input logika adalah logika tinggi (HIGH), transistor nMOS menghantarkan arus sehingga menghasilkan output logika rendah (LOW). Sebaliknya, ketika sinyal input logika adalah logika rendah (LOW), transistor pMOS menghantarkan arus sehingga menghasilkan output logika tinggi (HIGH). Dalam logika CMOS, tidak ada arus bocor yang signifikan saat saklar dalam keadaan mati, karena transistor nMOS dan pMOS hanya menghantarkan arus ketika diaktifkan. Oleh karena itu, logika CMOS memiliki konsumsi daya yang rendah dan kebisingan yang rendah.

Persamaan dan persyaratan tegangan dalam logika nMOS, pMOS, dan CMOS dapat bervariasi tergantung pada parameter transistor yang digunakan dan kondisi operasional yang ditentukan oleh desain sirkuit. Persamaan di atas memberikan gambaran umum tentang karakteristik dan persyaratan operasional dalam penggunaan transistor nMOS, pMOS, dan logika CMOS sebagai saklar dalam aplikasi digital.

## 6 Pass Transistor dan Transmission Gates



Gambar diatas menunjukkan struktur dari pass transistor dan transmission gates. Pass transistor adalah transistor yang digunakan untuk "meneruskan" atau "melewatkan" sinyal input ke output dengan mengontrol arus yang mengalir melalui transistor. Pass transistor dapat berupa transistor MOSFET (nMOS atau pMOS) atau transistor bipolar. Pada implementasi fungsi logika dengan pass transistor, sinyal input dikendalikan oleh tegangan yang diberikan pada terminal gerbang transistor. Jika transistor dalam kondisi aktif, sinyal input akan melewati transistor dari sumber (source) ke drain (atau dari collector ke emitter pada transistor bipolar), sehingga menghasilkan sinyal output yang sesuai dengan fungsi logika yang diinginkan.

Pass transistor biasanya digunakan dalam mode switch atau sebagai saklar elektronik. Ada dua mode operasi umum yang digunakan untuk pass transistor, yaitu mode cut-off dan mode saturasi.

**Mode Cut-off:** Pada mode ini, transistor berada dalam kondisi mati (off) dan tidak ada arus yang mengalir melalui saluran (channel) MOSFET. Dalam mode ini, tegangan input yang diberikan ke gate transistor harus lebih rendah dari threshold voltage ( $V_{th}$ ) agar transistor tetap mati.

**Metode Saturasi:** Pada mode ini, transistor berada dalam kondisi aktif (on) dan mengizinkan aliran arus melalui saluran MOSFET. Dalam mode ini, tegangan input yang diberikan ke gate transistor harus lebih tinggi dari  $V_{th}$  agar transistor tetap aktif.

Keuntungan penggunaan pass transistor adalah konsumsi daya yang rendah dan kecepatan yang tinggi, karena hanya ada satu transistor yang ditembusi oleh sinyal input. Namun, kelemahan pass transistor adalah adanya resistansi saluran (channel resistance) yang dapat mempengaruhi kualitas sinyal output dan membatasi kecepatan operasi.

Transmission gate (atau juga dikenal sebagai analog switch) adalah komponen elektronik yang digunakan untuk mengontrol aliran sinyal digital atau analog. Transmission gate terdiri dari transistor MOSFET yang dikendalikan oleh sinyal kontrol. Keunggulan utama dari transmission gate adalah kemampuannya untuk mengizinkan aliran arus bolak-balik (bidirectional) dan menawarkan resistansi rendah dalam kondisi terbuka (on) serta isolasi yang baik dalam kondisi tertutup (off). Transmission gate terdiri dari sepasang transistor MOSFET yang dihubungkan secara seri. Transistor pada bagian atas (p-channel) dan transistor pada bagian bawah (n-channel) dikendalikan oleh sinyal kontrol yang saling berkebalikan. Ketika sinyal kontrol mengaktifkan transistor p-channel, transistor n-channel dinonaktifkan, dan sebaliknya.

Transmission gate dapat digunakan dalam berbagai aplikasi seperti pemilihan jalur sinyal, pemrosesan sinyal, penggandaan sinyal, dan penyimpanan data. Mereka sangat berguna dalam desain sirkuit komunikasi, pemrosesan sinyal audio, dan banyak lagi. Keuntungan penggunaan transmission gates adalah adanya resistansi saluran yang lebih rendah dibandingkan dengan pass transistor, sehingga memungkinkan kualitas sinyal yang lebih baik. Selain itu, transmission gates

dapat digunakan untuk mengimplementasikan fungsi logika kompleks dengan menggabungkan beberapa saklar secara paralel atau seri.

Berikut ini adalah beberapa contoh penerapan pass transistor dan transmission gates dalam rangkaian elektronika:

1. Multiplexer:

Pass transistor digunakan dalam desain multiplexer. Multiplexer adalah rangkaian yang digunakan untuk memilih satu dari beberapa sinyal input dan mengarahkannya ke output berdasarkan sinyal kontrol. Pass transistor digunakan untuk mengendalikan aliran sinyal input menuju output yang dipilih.

2. Demultiplexer:

Demultiplexer adalah rangkaian yang digunakan untuk membagi satu sinyal input menjadi beberapa jalur output yang terpisah. Pass transistor dapat digunakan dalam desain demultiplexer untuk mengarahkan sinyal input ke jalur output yang sesuai berdasarkan sinyal kontrol.

3. Register:

Register adalah elemen penyimpanan data dalam sistem komputer. Pass transistor digunakan dalam desain register untuk mengontrol aliran data masuk dan keluar dari elemen penyimpanan.

4. Pemrosesan Sinyal:

Dalam aplikasi pemrosesan sinyal, transmission gates sering digunakan untuk membangun filter sinyal, switch analog, atau rangkaian pengalihan sinyal. Transmission gates dapat memungkinkan sinyal melewati jalur tertentu dalam rangkaian atau mengisolasi jalur untuk menghasilkan efek pemrosesan sinyal yang diinginkan.

5. Memori Digital:

Dalam desain memori digital seperti RAM (Random Access Memory) atau register, transmission gates digunakan untuk mengatur aliran data antara jalur data, jalur pembaca/tulis, dan elemen penyimpanan memori.

6. Rangkaian Komunikasi:

Transmission gates dapat digunakan dalam desain rangkaian komunikasi seperti switch jaringan, multiplexer optik, atau rangkaian pengalihan data. Mereka memungkinkan aliran sinyal atau data antara saluran komunikasi yang berbeda.

Fungsi logika dasar adalah elemen dasar dalam desain rangkaian digital yang digunakan untuk memproses dan mengontrol aliran sinyal logika. Fungsi-fungsi logika ini memungkinkan kita untuk melakukan operasi logika dasar seperti menggabungkan, membalik, atau membandingkan sinyal logika untuk menghasilkan keluaran yang diinginkan. Ada beberapa fungsi logika dasar yang umum digunakan, yaitu NOT, AND, OR, XOR, NAND, NOR, dan XNOR. Setiap fungsi logika ini memiliki karakteristik dan operasi yang berbeda, dan dapat diimplementasikan dengan berbagai cara menggunakan transistor-transistor seperti nMOS, pMOS, pass transistor, dan transmission gates.

Setiap fungsi logika dasar memiliki tabel kebenaran yang menggambarkan keluaran yang dihasilkan berdasarkan kombinasi input logika. Tabel kebenaran ini memberikan pemahaman yang jelas tentang bagaimana fungsi logika tersebut beroperasi dan bagaimana sinyal input mempengaruhi sinyal output. Implementasi fungsi logika menggunakan transistor-transistor seperti nMOS, pMOS, pass transistor, dan transmission gates memungkinkan desain rangkaian digital yang efisien dalam hal kecepatan, efisiensi daya, dan kepadatan. Setiap jenis transistor dan kombinasi penggunaannya memiliki kelebihan dan kelemahan yang harus dipertimbangkan dalam merancang rangkaian digital.

Dalam desain rangkaian digital yang lebih kompleks, fungsi logika dasar ini digunakan sebagai blok bangunan untuk membentuk rangkaian logika yang lebih kompleks seperti multiplexer, demultiplexer, flip-flop, dan mikroprosesor. Pemahaman tentang fungsi logika dasar dan implementasinya membantu dalam merancang, memahami, dan menganalisis kinerja rangkaian digital secara keseluruhan. Berikut adalah penjelasan tentang beberapa fungsi logika dasar yang dapat dibentuk dengan menggunakan kedua elemen tersebut:

1. AND Gate:

Input A	Input B	Output Y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

AND gate menghasilkan keluaran logika tinggi hanya jika semua masukan logika juga tinggi. Untuk mengimplementasikan fungsi AND gate menggunakan pass transistor, kita dapat menggunakan beberapa pass transistor yang dihubungkan seri antara sinyal input dan keluaran. Setiap pass transistor akan mengizinkan aliran sinyal hanya jika sinyal inputnya tinggi (aktif). Jika

salah satu sinyal input rendah (non-aktif), transistor tersebut akan memutus jalur dan menghasilkan keluaran logika rendah.

Dalam implementasi menggunakan transmission gates, dua transistor nMOS dan pMOS dihubungkan secara paralel antara sinyal input dan keluaran. Transistor nMOS akan mengizinkan aliran sinyal saat masukan logika tinggi, sedangkan transistor pMOS akan mengizinkan aliran sinyal saat masukan logika rendah. Jika semua masukan logika tinggi, kedua transistor akan aktif dan menghasilkan keluaran logika tinggi.

## 2. OR Gate:

Input A	Input B	Output Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

OR gate menghasilkan keluaran logika tinggi jika salah satu atau lebih masukan logika tinggi. Untuk mengimplementasikan fungsi OR gate menggunakan pass transistor, kita dapat menggunakan beberapa pass transistor yang dihubungkan paralel antara sinyal input dan keluaran. Setiap pass transistor akan mengizinkan aliran sinyal jika sinyal inputnya tinggi (aktif). Jika salah satu sinyal input tinggi, setidaknya satu transistor akan aktif dan menghasilkan keluaran logika tinggi.

Dalam implementasi menggunakan transmission gates, dua transistor nMOS dan pMOS dihubungkan seri antara sinyal input dan keluaran. Transistor nMOS akan mengizinkan aliran sinyal saat masukan logika tinggi, sedangkan transistor pMOS akan mengizinkan aliran sinyal saat masukan logika rendah. Jika salah satu masukan logika tinggi, setidaknya satu transistor nMOS akan aktif dan menghasilkan keluaran logika tinggi.

## 3. XOR Gate:

Input A	Input B	Output Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

XOR gate (Exclusive OR gate) menghasilkan keluaran logika tinggi jika jumlah masukan logika tinggi ganjil (1, 3, 5, dll.) dan keluaran logika rendah jika jumlah masukan logika tinggi



genap (0, 2, 4, dll.). Fungsi XOR gate dapat diimplementasikan menggunakan kombinasi dari pass transistor dan transmission gates.

Salah satu implementasi XOR gate menggunakan pass transistor adalah dengan menghubungkan pass transistor secara paralel pada setiap pasangan masukan logika. Jika salah satu masukan logika tinggi, maka transistor pada pasangan input tersebut akan aktif dan menghasilkan keluaran logika tinggi.

Dalam implementasi menggunakan transmission gates, beberapa transistor nMOS dan pMOS dihubungkan secara kompleks untuk mendapatkan fungsi XOR gate. Konfigurasi yang tepat dari transistor nMOS dan pMOS yang diaktifkan dan dinonaktifkan akan menghasilkan keluaran logika tinggi atau rendah sesuai dengan fungsi XOR gate.

#### 4. NAND Gate:

Input A	Input B	Output Y
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

NAND gate (NOT-AND gate) menghasilkan keluaran logika tinggi kecuali jika semua masukan logika juga tinggi. Untuk mengimplementasikan fungsi NAND gate menggunakan pass transistor, kita dapat menggunakan beberapa pass transistor yang dihubungkan seri antara sinyal input dan keluaran. Setiap pass transistor akan mengizinkan aliran sinyal hanya jika sinyal inputnya tinggi (aktif). Jika semua sinyal input tinggi, semua transistor akan aktif dan menghasilkan keluaran logika rendah.

Dalam implementasi menggunakan transmission gates, dua transistor nMOS dan pMOS dihubungkan paralel antara sinyal input dan keluaran. Transistor nMOS akan mengizinkan aliran sinyal saat masukan logika tinggi, sedangkan transistor pMOS akan mengizinkan aliran sinyal saat masukan logika rendah. Jika semua masukan logika tinggi, kedua transistor akan aktif dan menghasilkan keluaran logika rendah.

#### 5. NOR Gate:

Input A	Input B	Output Y
0	0	1
0	1	0

1	0	0
1	1	0

NOR gate (NOT-OR gate) menghasilkan keluaran logika tinggi hanya jika semua masukan logika rendah. Untuk mengimplementasikan fungsi NOR gate menggunakan pass transistor, kita dapat menggunakan beberapa pass transistor yang dihubungkan paralel antara sinyal input dan keluaran. Setiap pass transistor akan mengizinkan aliran sinyal jika sinyal inputnya tinggi (aktif). Jika semua sinyal input rendah, semua transistor akan mati (off) dan menghasilkan keluaran logika tinggi.

Dalam implementasi menggunakan transmission gates, dua transistor nMOS dan pMOS dihubungkan seri antara sinyal input dan keluaran. Transistor nMOS akan mengizinkan aliran sinyal saat masukan logika tinggi, sedangkan transistor pMOS akan mengizinkan aliran sinyal saat masukan logika rendah. Jika semua masukan logika rendah, kedua transistor akan aktif dan menghasilkan keluaran logika tinggi.

#### 6. XNOR Gate:

Input A	Input B	Output Y
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1

XNOR gate (Exclusive NOR gate) menghasilkan keluaran logika tinggi jika jumlah masukan logika tinggi genap dan keluaran logika rendah jika jumlah masukan logika tinggi ganjil. Fungsi XNOR gate dapat diimplementasikan dengan kombinasi dari pass transistor dan transmission gates.

Salah satu implementasi XNOR gate menggunakan pass transistor adalah dengan menghubungkan pass transistor secara seri pada setiap pasangan masukan logika. Jika jumlah masukan logika tinggi genap, maka transistor pada pasangan input tersebut akan aktif dan menghasilkan keluaran logika tinggi.

Dalam implementasi menggunakan transmission gates, beberapa transistor nMOS dan pMOS dihubungkan secara kompleks untuk mendapatkan fungsi XNOR gate. Konfigurasi yang tepat dari transistor nMOS dan pMOS yang diaktifkan dan dinonaktifkan akan menghasilkan keluaran logika tinggi atau rendah sesuai dengan fungsi XNOR gate.

## 7 Jaringan Saklar VS Gerbang Logika

Dalam desain rangkaian digital, fungsi logika digunakan untuk memproses dan mengendalikan aliran sinyal logika. Ada beberapa cara untuk mengimplementasikan fungsi logika ini, dan dua pendekatan umum yang sering digunakan adalah menggunakan jaringan saklar atau gerbang logika.

Jaringan saklar merupakan pendekatan yang mendasarkan implementasi fungsi logika pada kumpulan saklar (switches) individual yang terhubung satu sama lain. Saklar ini bisa berupa transistor-transistor atau perangkat saklar lainnya. Dalam jaringan saklar, sinyal logika mengalir melalui serangkaian saklar yang diatur dengan pola tertentu untuk menghasilkan fungsi logika yang diinginkan. Pendekatan ini memungkinkan desain rangkaian yang sangat fleksibel dan dapat mengimplementasikan fungsi logika yang kompleks. Namun, semakin kompleks fungsi logika yang diinginkan, semakin banyak saklar yang dibutuhkan, sehingga kompleksitas dan kepadatan rangkaian dapat meningkat secara signifikan.

Di sisi lain, gerbang logika adalah unit logika dasar yang sudah terintegrasi dengan fungsi logika tertentu, seperti gerbang AND, OR, NOT, dll. Gerbang logika ini biasanya terdiri dari transistor-transistor yang diatur secara khusus untuk memberikan respons logika yang diinginkan. Dalam gerbang logika, fungsi logika diimplementasikan melalui kombinasi transistor-transistor yang sudah dirancang dan terkoneksi dengan cara tertentu. Keuntungan dari pendekatan ini adalah gerbang logika dapat mengimplementasikan fungsi logika dengan jumlah transistor yang lebih sedikit, menghasilkan kepadatan yang lebih tinggi dan ukuran yang lebih kecil.

Ketika memilih antara jaringan saklar dan gerbang logika, beberapa faktor yang perlu dipertimbangkan adalah kecepatan operasi, kompleksitas, kepadatan, konsumsi daya, serta kemudahan pemodelan dan analisis. Jaringan saklar cenderung memiliki waktu rambat yang lebih lama, kompleksitas yang lebih tinggi, dan kebutuhan daya yang lebih besar, tetapi dapat mengimplementasikan fungsi logika yang kompleks. Di sisi lain, gerbang logika menawarkan kecepatan operasi yang lebih tinggi, kepadatan yang lebih tinggi, dan konsumsi daya yang lebih efisien, tetapi dapat memiliki keterbatasan dalam kompleksitas fungsi logika yang dapat diimplementasikan.

Pemilihan pendekatan tergantung pada kebutuhan desain, seperti tingkat kompleksitas fungsi logika yang diinginkan, kecepatan operasi yang diperlukan, efisiensi daya, serta

ketersediaan dan keterbatasan teknologi dan sumber daya yang tersedia. Pemahaman tentang perbedaan dan implikasi penerapan fungsi logika dengan jaringan saklar versus gerbang logika membantu dalam merancang dan memilih pendekatan yang sesuai untuk desain rangkaian digital yang efisien dan efektif. Penerapan fungsi logika dengan jaringan saklar (switching network) versus gerbang logika memiliki beberapa implikasi yang perlu dipertimbangkan:

1. **Kecepatan Operasi:** Kecepatan operasi merupakan salah satu faktor penting dalam desain rangkaian digital. Jaringan saklar cenderung memiliki waktu rambat yang lebih lama karena sinyal logika harus melewati serangkaian saklar yang saling terhubung. Setiap saklar membutuhkan waktu untuk beralih dari keadaan terbuka ke tertutup atau sebaliknya. Oleh karena itu, jika kecepatan operasi menjadi pertimbangan utama, penggunaan gerbang logika dapat menjadi pilihan yang lebih baik. Gerbang logika diimplementasikan dengan menggunakan transistor-transistor yang diatur secara khusus untuk memberikan respons logika yang cepat dan waktu rambat yang lebih pendek.
2. **Kompleksitas dan Kepadatan:** Jaringan saklar dapat digunakan untuk mengimplementasikan fungsi logika yang sangat kompleks dengan tingkat fleksibilitas yang tinggi. Namun, semakin kompleks fungsi logika yang diinginkan, semakin banyak saklar yang dibutuhkan. Hal ini dapat menyebabkan kompleksitas dan kepadatan rangkaian yang tinggi. Di sisi lain, gerbang logika sudah terintegrasi dengan fungsi logika tertentu, sehingga dapat mengimplementasikan fungsi logika dengan jumlah transistor yang lebih sedikit. Hal ini menghasilkan kepadatan yang lebih tinggi dan ukuran yang lebih kecil dalam desain rangkaian.
3. **Konsumsi Daya:** Konsumsi daya merupakan faktor penting dalam desain rangkaian digital, terutama pada aplikasi dengan keterbatasan daya atau baterai. Jaringan saklar cenderung menggunakan daya yang lebih besar karena setiap saklar membutuhkan energi untuk beroperasi dan mempertahankan keadaan terbuka atau tertutup. Namun, ketika tidak ada aliran listrik melalui saklar, daya yang dikonsumsi biasanya sangat rendah. Di sisi lain, gerbang logika CMOS (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor) sangat efisien dalam hal penggunaan daya. Konsumsi daya hanya terjadi saat gerbang logika sedang beralih dari satu keadaan ke keadaan lainnya, sedangkan daya statis hampir nol. Oleh

karena itu, jika efisiensi daya menjadi pertimbangan utama, penggunaan gerbang logika CMOS menjadi lebih disukai.

4. Pemodelan dan Analisis: Jaringan saklar cenderung lebih rumit untuk dimodelkan dan dianalisis dibandingkan dengan gerbang logika. Analisis rangkaian saklar membutuhkan pemodelan setiap saklar dan menghasilkan solusi matematika yang kompleks. Di sisi lain, gerbang logika sudah didefinisikan secara matematis dan bisa dipahami melalui tabel kebenaran atau fungsi Boolean. Hal ini memudahkan pemodelan dan analisis rangkaian secara keseluruhan. Jika kebutuhan akan pemodelan dan analisis yang lebih sederhana dan mudah dipahami, penggunaan gerbang logika dapat menjadi pilihan yang lebih baik.

Dalam praktiknya, pemilihan antara jaringan saklar dan gerbang logika tergantung pada kebutuhan desain, seperti kecepatan operasi yang diinginkan, kompleksitas fungsi logika, efisiensi daya, serta ketersediaan dan keterbatasan teknologi dan sumber daya yang tersedia. Contoh perbandingan penerapan fungsi logika dengan jaringan saklar dan gerbang logika dalam praktik:

#### Contoh 1: Implementasi Gerbang AND

- Jaringan Saklar: Untuk mengimplementasikan gerbang AND menggunakan jaringan saklar, kita dapat menggunakan dua saklar nMOS yang saling terhubung secara seri. Output akan menghasilkan nilai logika tinggi (1) hanya jika kedua saklar dalam keadaan tertutup (on).
- Gerbang Logika: Gerbang AND dapat diimplementasikan menggunakan gerbang logika AND yang sudah terintegrasi dalam IC. Gerbang logika AND menggunakan transistor-transistor yang diatur sedemikian rupa sehingga menghasilkan output yang benar sesuai dengan fungsi logika AND.

#### Contoh 2: Implementasi Gerbang XOR

- Jaringan Saklar: Untuk mengimplementasikan gerbang XOR menggunakan jaringan saklar, kita dapat menggunakan kombinasi saklar nMOS dan pMOS yang saling terhubung secara khusus. Rangkaian ini membutuhkan beberapa saklar untuk menghasilkan fungsi XOR yang benar.

- Gerbang Logika: Gerbang XOR dapat diimplementasikan menggunakan gerbang logika XOR yang sudah terintegrasi dalam IC. Gerbang logika XOR menggunakan transistor-transistor yang diatur sedemikian rupa untuk menghasilkan output yang benar sesuai dengan fungsi logika XOR.

Dalam contoh-contoh di atas, jaringan saklar membutuhkan pengaturan dan koneksi saklar yang rumit untuk menghasilkan fungsi logika yang diinginkan. Jumlah saklar yang digunakan juga bisa lebih banyak dibandingkan dengan gerbang logika yang sudah terintegrasi. Di sisi lain, gerbang logika memberikan implementasi yang lebih sederhana, kompak, dan efisien. Gerbang logika sudah dirancang khusus untuk menghasilkan output yang benar sesuai dengan fungsi logika tertentu, sehingga memudahkan dalam desain dan integrasi dalam rangkaian digital secara keseluruhan. Perlu dicatat bahwa pilihan antara jaringan saklar dan gerbang logika tergantung pada kebutuhan desain spesifik, termasuk kompleksitas fungsi logika, kecepatan operasi, konsumsi daya, dan faktor lainnya. Dalam banyak kasus, penggunaan gerbang logika yang sudah terintegrasi menjadi lebih disukai karena memberikan keuntungan dalam hal kepadatan, kecepatan, dan efisiensi daya.

## **8 Propagation Delay, Rise Time dan Fall Time**

Dalam desain rangkaian digital, kinerja waktu adalah salah satu aspek yang sangat penting. Propagation delay, rise time, dan fall time adalah parameter yang digunakan untuk mengukur kecepatan dan waktu respons sinyal dalam rangkaian digital. Memahami dan mengelola parameter-parameter ini sangat penting untuk memastikan kinerja yang diinginkan dari suatu rangkaian digital.

Propagation delay mengacu pada waktu yang diperlukan oleh sinyal untuk berpindah dari input ke output dalam sebuah rangkaian digital. Waktu penyebaran ini terjadi karena adanya keterlambatan dalam proses pemrosesan sinyal, seperti propagasi sinyal melalui transistor, jalur sinyal, atau komponen lainnya dalam rangkaian. Propagation delay memiliki pengaruh langsung terhadap kecepatan operasi rangkaian digital. Semakin kecil propagation delay, semakin cepat sinyal dapat berpindah dan responsif terhadap perubahan input.

Rise time adalah waktu yang diperlukan oleh sinyal untuk berubah dari nilai rendah (0) ke nilai tinggi (1) secara signifikan. Ini adalah ukuran kecepatan dengan mana sinyal dapat naik ke nilai logika yang diinginkan. Waktu naik ini tergantung pada karakteristik transistor dan jalur

sinyal yang terlibat dalam proses pemrosesan sinyal. Semakin cepat rise time, semakin cepat sinyal dapat beralih ke nilai logika yang diinginkan.

Fall time, di sisi lain, adalah waktu yang diperlukan oleh sinyal untuk berubah dari nilai tinggi (1) ke nilai rendah (0) secara signifikan. Ini juga merupakan ukuran kecepatan dengan mana sinyal dapat turun ke nilai logika yang diinginkan. Seperti halnya rise time, fall time juga dipengaruhi oleh karakteristik transistor dan jalur sinyal. Semakin cepat fall time, semakin cepat sinyal dapat beralih ke nilai logika yang diinginkan.

Ketiga parameter ini sangat penting dalam desain rangkaian digital karena mereka mempengaruhi kecepatan operasi, waktu respons sinyal, dan kinerja keseluruhan rangkaian. Ketika merancang rangkaian digital, perlu memperhatikan propagation delay, rise time, dan fall time untuk memastikan bahwa sinyal berpindah dengan cepat dan responsif terhadap perubahan input. Terlalu lambatnya waktu penyebaran atau waktu naik/turun yang terlalu lama dapat mengakibatkan masalah seperti glitch, ketidakstabilan, atau keterlambatan dalam operasi rangkaian.

#### 1. Propagation Delay (Waktu Penyebaran):

Propagation delay dapat dijelaskan lebih lanjut dalam konteks transistor yang digunakan dalam desain rangkaian digital. Ketika sinyal melewati transistor, ada beberapa komponen waktu yang menyebabkan penundaan. Propagation delay terdiri dari waktu delay pembalikan (turn-off delay) dan waktu delay penyalan (turn-on delay) pada transistor. Turn-off delay mengacu pada waktu yang diperlukan untuk memutuskan aliran arus melalui transistor. Hal ini terjadi ketika transistor sedang berubah dari kondisi menyala (on) ke kondisi mati (off). Sebaliknya, turn-on delay mengacu pada waktu yang dibutuhkan untuk membangkitkan aliran arus melalui transistor, yaitu ketika transistor berubah dari kondisi mati (off) ke kondisi menyala (on). Kedua delay ini merupakan kontributor utama terhadap propagation delay dalam rangkaian digital.

Selain itu, jalur sinyal yang panjang juga dapat menyebabkan penambahan propagation delay. Jalur sinyal yang lebih panjang memiliki kapasitansi parasitik yang lebih besar, yang memperlambat propagasi sinyal. Oleh karena itu, dalam desain rangkaian digital, upaya dilakukan untuk meminimalkan jalur sinyal yang panjang atau menggunakan teknik desain seperti buffering untuk mengurangi propagation delay.

## 2. Rise Time (Waktu Naik) dan Fall Time (Waktu Turun):

Rise time dan fall time terkait erat dengan karakteristik transistor yang digunakan dalam rangkaian digital. Transistor memiliki waktu penyebaran internal yang menyebabkan perubahan tegangan output ketika input berubah. Waktu penyebaran ini terkait dengan kapasitansi transistor dan waktu yang dibutuhkan untuk mengisi atau mengosongkan kapasitansi tersebut.

Rise time mengacu pada waktu yang diperlukan untuk sinyal mencapai nilai tinggi (1) secara signifikan saat berubah dari nilai rendah (0). Hal ini dipengaruhi oleh kapasitansi beban yang terhubung dengan output transistor. Semakin besar kapasitansi beban, semakin lama rise time yang diperlukan karena waktu yang dibutuhkan untuk mengisi kapasitansi tersebut.

Fall time, sebaliknya, mengacu pada waktu yang diperlukan untuk sinyal mencapai nilai rendah (0) secara signifikan saat berubah dari nilai tinggi (1). Hal ini juga dipengaruhi oleh kapasitansi beban, tetapi kali ini terkait dengan waktu yang dibutuhkan untuk mengosongkan kapasitansi beban.

Dengan pemahaman yang baik tentang propagation delay, rise time, dan fall time, desainer rangkaian dapat memilih transistor yang tepat, merancang jalur sinyal yang efisien, dan menggunakan teknik desain yang sesuai untuk mencapai kinerja waktu yang diinginkan dalam rangkaian digital.

## 9 Model Unit-Delay & Model Tau

Propagation delay adalah waktu yang dibutuhkan oleh sinyal untuk melewati suatu komponen atau jalur sinyal dalam rangkaian digital. Dalam konteks ini, Model Unit-Delay dapat digunakan untuk memodelkan efek penundaan yang terjadi pada sinyal saat melewati komponen atau jalur sinyal tertentu dalam rangkaian. Misalnya, jika terdapat penundaan satu unit waktu ketika sinyal melewati suatu transistor, maka Model Unit-Delay dapat digunakan untuk merepresentasikan penundaan tersebut.

Rise time adalah waktu yang diperlukan bagi sinyal untuk berubah dari nilai rendah (0) ke nilai tinggi (1), sedangkan fall time adalah waktu yang diperlukan bagi sinyal untuk berubah dari nilai tinggi (1) ke nilai rendah (0). Dalam konteks ini, Model Tau dapat digunakan untuk memodelkan respons sinyal dalam perubahan eksponensial yang terkait dengan rise time dan fall time. Konstanta waktu dalam Model Tau mencerminkan laju perubahan sinyal saat berubah dari



satu nilai ke nilai lainnya. Dalam analisis dan perancangan sistem kontrol, terdapat dua model matematika penting yang sering digunakan, yaitu Model Unit-Delay dan Model Tau. Mari kita jelaskan keduanya secara terpisah:

### 1. Model Unit-Delay:

Model Unit-Delay menggambarkan sistem dengan delay unit, yang berarti setiap perubahan input akan ditunda selama satu periode waktu sebelum mempengaruhi output. Model ini sering digunakan untuk memodelkan sifat-sifat delay dalam sistem fisik atau elektronik yang menyebabkan penundaan dalam propagasi sinyal.

Dalam representasi blok diagram, Model Unit-Delay direpresentasikan dengan sebuah blok yang memiliki input dan output. Perubahan pada input dianggap terjadi secara langsung pada output setelah penundaan satu unit waktu. Model ini berguna untuk menggambarkan sifat dinamis sistem dengan penundaan konstan. Contoh penggunaan Model Unit-Delay adalah dalam pengendalian sistem waktu diskret, di mana output pada waktu tertentu hanya tergantung pada input pada waktu sebelumnya.

Pada Unit Delay perubahan pada input akan langsung mempengaruhi output setelah satu periode waktu. Dengan kata lain, sinyal input diteruskan ke output dengan penundaan satu unit waktu. Hal ini memungkinkan kita untuk menganalisis sinyal yang mengalami penundaan konstan, seperti penundaan yang disebabkan oleh komponen elektronik atau jalur transmisi dalam rangkaian.

Secara matematis, Model Unit-Delay dapat direpresentasikan dengan persamaan:

$$y(t) = x(t-1)$$

di mana  $y(t)$  adalah output pada waktu  $t$ , dan  $x(t-1)$  adalah input pada waktu sebelumnya.

Model Unit-Delay sering digunakan untuk memodelkan penundaan konstan dalam sistem. Misalnya, dalam rangkaian digital, transistor atau komponen lainnya dapat memperkenalkan penundaan dalam propagasi sinyal. Dalam model ini, sinyal input dianggap "ditunda" selama satu unit waktu sebelum mempengaruhi sinyal output. Model Unit-Delay berguna dalam analisis dan desain sistem yang melibatkan penundaan, seperti pengendalian waktu diskret, sinkronisasi sinyal, dan jaringan komunikasi dengan delay konstan. Dengan memahami dan memodelkan efek

penundaan ini, kita dapat mengoptimalkan kinerja sistem, mengidentifikasi masalah penundaan, dan merancang solusi yang sesuai.

## 2. Model Tau:

Model Tau digunakan untuk memodelkan respons sistem dengan konstanta waktu (time constant) yang terkait dengan perubahan eksponensial dalam sistem. Konstanta waktu menggambarkan laju perubahan sistem terhadap perubahan input.

Dalam model ini, output sistem pada waktu tertentu bergantung pada input saat ini dan pada sejarah input sebelumnya melalui fungsi eksponensial yang terkait dengan konstanta waktu. Model ini umumnya digunakan dalam sistem dinamis dengan respons yang bergantung pada memori, seperti sistem pengendalian suhu atau sistem respons impuls dalam domain frekuensi.

Pada Model Tau output sistem pada waktu tertentu bergantung pada input saat ini dan juga pada sejarah input sebelumnya melalui fungsi eksponensial yang terkait dengan konstanta waktu. Model ini berguna untuk menganalisis sistem dinamis dengan respons yang bergantung pada memori atau memiliki karakteristik eksponensial dalam responsnya.

Secara matematis, Model Tau dapat direpresentasikan dengan persamaan diferensial, seperti persamaan diferensial linear orde satu:

$$\tau(dy(t)/dt) + y(t) = x(t)$$

di mana  $y(t)$  adalah output pada waktu  $t$ ,  $x(t)$  adalah input pada waktu  $t$ , dan  $\tau$  adalah konstanta waktu.

Konstanta waktu ( $\tau$ ) dalam Model Tau menggambarkan laju perubahan sistem terhadap perubahan input. Nilai  $\tau$  yang lebih kecil mengindikasikan respons yang lebih cepat, sementara nilai  $\tau$  yang lebih besar mengindikasikan respons yang lebih lambat. Model Tau berguna dalam memahami dan merancang sistem yang melibatkan fenomena seperti pengisian dan pengosongan kapasitor, respon sistem fisik terhadap stimulus, atau sistem kontrol dengan elemen penyusun yang memiliki sifat eksponensial.

Contoh penggunaan Model Tau adalah dalam model pengisian dan pengosongan kapasitor atau induktor dalam rangkaian elektronik, di mana responsnya dapat dinyatakan dengan persamaan diferensial dengan konstanta waktu sebagai parameter.

## 10 Efek Fan-In dan Efek Fan-Out

Dalam desain rangkaian logika, salah satu faktor yang perlu dipertimbangkan adalah efek fan-in dan fan-out pada gerbang logika. Efek fan-in mengacu pada jumlah input yang dapat terhubung ke sebuah gerbang logika, sedangkan efek fan-out mengacu pada jumlah output yang dapat dihubungkan ke gerbang logika tersebut. Kedua efek ini memiliki dampak penting pada kinerja, kestabilan, dan kompleksitas desain rangkaian logika.

Pemahaman tentang efek fan-in dan fan-out gerbang logika penting dalam merancang dan menganalisis kinerja rangkaian digital. Dalam konteks materi sebelumnya, efek fan-in dan fan-out dapat mempengaruhi beberapa aspek yang telah dibahas sebelumnya:

1. **Propagation Delay:** Efek fan-in dan fan-out dapat mempengaruhi waktu penyebaran sinyal (propagation delay) dalam rangkaian logika. Jumlah input dan output yang terhubung pada sebuah gerbang logika dapat memengaruhi waktu yang dibutuhkan sinyal untuk mencapai keluaran dengan kecepatan yang diinginkan.
2. **Rise Time dan Fall Time:** Efek fan-in dan fan-out juga dapat mempengaruhi rise time dan fall time sinyal output pada gerbang logika. Jumlah output yang terhubung dan kemampuan gerbang logika untuk mendorong sinyal dapat mempengaruhi waktu yang dibutuhkan sinyal untuk berubah dari nilai rendah ke tinggi (rise time) atau dari nilai tinggi ke rendah (fall time).

Dengan memahami efek fan-in dan fan-out, kita dapat merancang rangkaian logika yang optimal dengan mempertimbangkan batasan jumlah input dan output yang dapat dihubungkan, serta memperhatikan kinerja dan stabilitas sinyal dalam desain rangkaian logika.

Efek fan-in adalah kemampuan sebuah gerbang logika untuk menerima dan mengolah sejumlah input yang terhubung ke padanya. Setiap gerbang logika memiliki batasan pada jumlah input yang dapat terhubung secara efektif tanpa menyebabkan degradasi kinerja atau kesalahan logika. Ketika jumlah input yang terhubung melebihi batasan ini, dapat terjadi peningkatan waktu penyebaran sinyal (propagation delay), penurunan tegangan logika, atau kebocoran arus yang tidak diinginkan. Efek fan-in yang terlalu besar dapat mengakibatkan penurunan kecepatan operasi gerbang logika dan risiko kesalahan logika. Oleh karena itu, perlu memperhatikan batasan fan-in saat merancang rangkaian logika untuk memastikan kinerja yang stabil dan diinginkan.

Efek fan-out adalah kemampuan sebuah gerbang logika untuk menghasilkan dan mendorong sinyal keluar ke sejumlah output yang terhubung. Setiap gerbang logika memiliki batasan pada jumlah output yang dapat dihubungkan secara efektif tanpa mengalami penurunan tegangan atau penundaan sinyal yang signifikan. Ketika jumlah output yang terhubung melebihi batasan ini, dapat terjadi penurunan tegangan output, peningkatan propagation delay, atau kegagalan dalam menggerakkan beban output yang cukup besar. Efek fan-out yang terlalu besar dapat menyebabkan penurunan kualitas sinyal output, seperti penurunan tegangan logika yang signifikan. Oleh karena itu, perlu memperhatikan batasan fan-out saat merancang rangkaian logika untuk memastikan keluaran yang stabil dan dapat diandalkan.

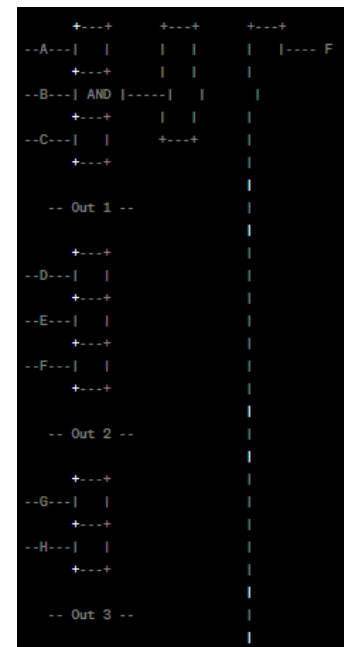
Misalkan kita memiliki sebuah gerbang logika AND dengan batasan fan-in sebesar 2 dan batasan fan-out sebesar 3. Kita dapat merepresentasikan gerbang logika ini dengan persamaan logika berikut:

$$F = A * B * C$$

Di mana F adalah output gerbang logika AND, dan A, B, dan C adalah input.

Berikut adalah visualisasi sederhana untuk gerbang logika AND dengan batasan fan-in 2 dan batasan fan-out 3:

Pada visualisasi di atas, gerbang logika AND terdiri dari tiga input (A, B, dan C) dan tiga output (Out 1, Out 2, dan Out 3). Ini memenuhi batasan fan-in 2 (karena gerbang AND mengharuskan dua input) dan batasan fan-out 3 (karena setiap output dihubungkan ke tiga komponen atau rangkaian lainnya).



## 11 Efek Ukuran Transistor Waktu Tunda pada nMOS & Pengskalaan/Daya CMOS.

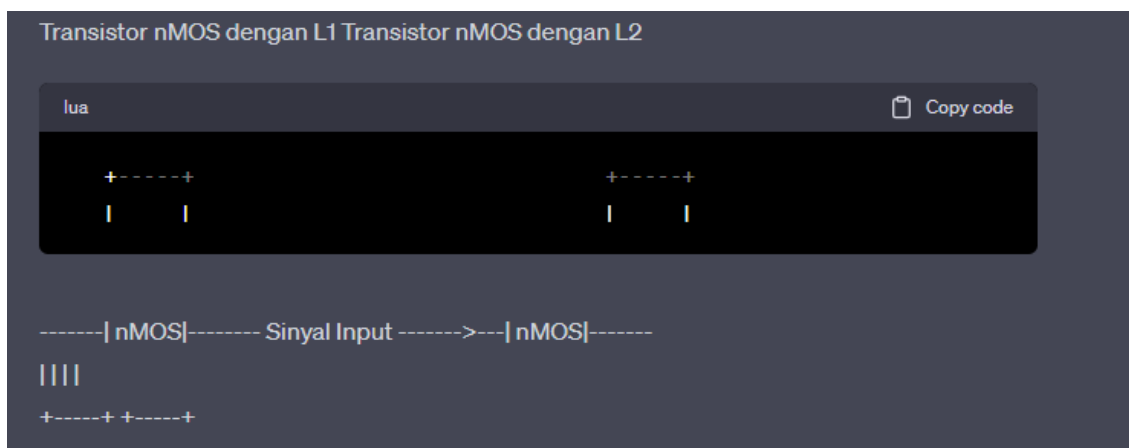
Dalam desain rangkaian digital, ukuran transistor memiliki pengaruh signifikan terhadap kinerja dan karakteristik daya. Ukuran transistor merujuk pada lebar dan panjang saluran transistor yang dapat diatur selama proses fabrikasi. Dalam hal ini, kita akan membahas efek ukuran transistor terhadap pewaktuan (delay) dan daya pada transistor nMOS, serta penskalaan daya dan waktu tunda pada transistor CMOS.

## 1 Efek Ukuran Transistor terhadap Pewaktuan dan Daya pada nMOS:

Ukuran transistor nMOS, terutama panjang saluran, mempengaruhi pewaktuan (delay) dan daya yang dikonsumsi oleh transistor tersebut. Beberapa efek yang dapat diamati adalah:

- **Pewaktuan (Delay):** Semakin besar ukuran panjang saluran ( $L$ ) transistor nMOS, semakin lama waktu yang dibutuhkan untuk mengisi dan mengosongkan kapasitor saluran. Oleh karena itu, peningkatan ukuran panjang saluran transistor nMOS dapat menyebabkan peningkatan waktu tunda sinyal.
- **Daya:** Ukuran panjang saluran transistor nMOS juga mempengaruhi daya yang dikonsumsi oleh transistor tersebut. Semakin besar ukuran panjang saluran, semakin tinggi resistansi saluran dan semakin tinggi daya yang dikonsumsi saat mengalirkan arus melalui saluran tersebut. Oleh karena itu, peningkatan ukuran panjang saluran transistor nMOS dapat menyebabkan peningkatan daya yang dikonsumsi.

Misalkan kita memiliki transistor nMOS dengan panjang saluran ( $L$ ) yang berbeda, yaitu  $L1$  dan  $L2$ . Jika sinyal input ditransmisikan melalui kedua transistor ini, dapat diamati bahwa transistor dengan panjang saluran yang lebih besar ( $L2$ ) akan memiliki waktu tunda yang lebih tinggi dan daya yang dikonsumsi yang lebih tinggi dibandingkan dengan transistor dengan panjang saluran yang lebih pendek ( $L1$ ).

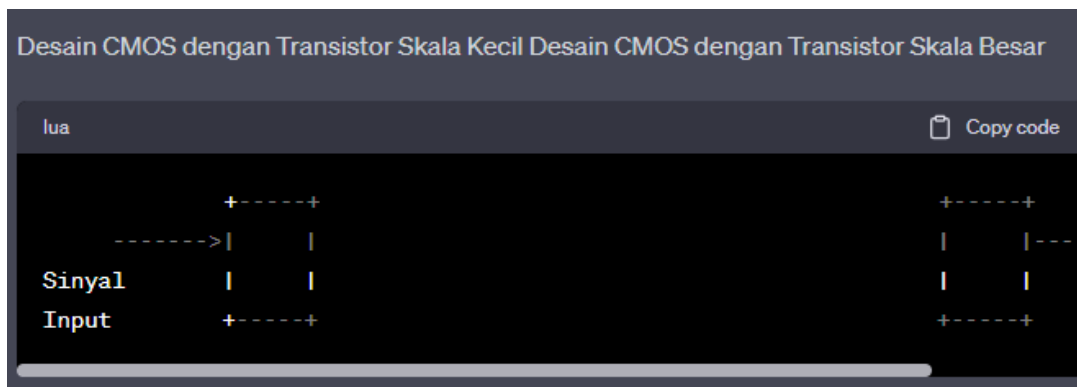


## 2. Penskalaan Daya dan Waktu Tunda pada Transistor CMOS:

Penskalaan dalam desain transistor CMOS adalah proses mengubah ukuran transistor (lebar dan panjang saluran) dengan faktor skala tertentu. Hal ini dapat dilakukan untuk mengoptimalkan kinerja dan efisiensi daya dalam desain rangkaian CMOS. Dalam penskalaan, beberapa efek yang terjadi adalah:

- **Penskalaan Daya:** Saat melakukan penskalaan kecil pada transistor CMOS dengan mengurangi ukuran panjang saluran dan lebar saluran, daya yang dikonsumsi oleh transistor dapat dikurangi. Hal ini disebabkan oleh penurunan resistansi saluran dan kapasitansi saluran yang lebih kecil. Dalam skala yang lebih besar, efek-efek lain seperti peningkatan arus kebocoran dan resistansi saluran parasitik dapat menjadi faktor yang lebih dominan.
- **Penskalaan Waktu Tunda:** Penskalaan transistor CMOS dengan mengurangi ukuran panjang saluran dan lebar saluran dapat mengurangi waktu tunda sinyal. Hal ini disebabkan oleh peningkatan kecepatan switching transistor dan kapasitansi saluran yang lebih kecil. Namun, dalam penskalaan yang terlalu ekstrem, beberapa efek seperti arus kebocoran dan resistansi saluran parasitik dapat mempengaruhi waktu tunda secara negatif.

Misalkan kita memiliki desain rangkaian CMOS dengan transistor skala kecil (transistor kecil dengan panjang saluran dan lebar saluran yang lebih kecil). Dalam perbandingan dengan desain yang sama menggunakan transistor CMOS skala besar (transistor dengan panjang saluran dan lebar saluran yang lebih besar), dapat diamati bahwa desain dengan transistor skala kecil akan memiliki konsumsi daya yang lebih rendah dan waktu tunda yang lebih singkat.



## 12 Karakteristik Sirkuit

Pemilihan jenis desain logika yang tepat sangat penting untuk mencapai kinerja yang diinginkan. Logika statis, dinamis, dan skema pencatatan ganda adalah beberapa variasi desain yang dapat mempengaruhi kecepatan operasi, konsumsi daya, dan kompleksitas rangkaian. Dalam menganalisis efek karakteristik sirkuit dari berbagai variasi desain ini, kita perlu memperhatikan faktor-faktor seperti waktu tunda, konsumsi daya, kompleksitas rangkaian, dan persyaratan kinerja lainnya.

### 1. Logika Statis:

- Efek Karakteristik: a. Kecepatan Operasi: Logika statis memiliki kecepatan operasi yang tinggi karena tidak melibatkan siklus penagihan atau pembebasan kapasitif. Hal ini memungkinkan sinyal logika untuk langsung beroperasi tanpa menunggu proses pengisian dan pengosongan kapasitor. b. Daya: Logika statis cenderung mengkonsumsi daya statis yang konstan, terutama pada kondisi diam ketika tidak ada perubahan sinyal. Namun, logika statis juga dapat mengkonsumsi daya dinamis saat terjadi pembebanan kapasitif saat perubahan sinyal terjadi. c. Kompleksitas Rangkaian: Logika statis menggunakan lebih banyak transistor dibandingkan logika dinamis untuk merepresentasikan fungsi logika. Hal ini dapat menghasilkan kompleksitas rangkaian yang lebih tinggi dan membutuhkan area yang lebih besar.
- Cara Menghitung: a. Kecepatan Operasi: Waktu tunda logika statis dapat dihitung menggunakan metode perhitungan delay gate-to-output (propagasi) dan rise/fall time pada transistor yang digunakan dalam gerbang logika CMOS. b. Daya: Konsumsi daya logika statis dapat dihitung dengan mengalikan tegangan dan arus statis yang dikonsumsi oleh rangkaian CMOS. c. Kompleksitas Rangkaian: Kompleksitas rangkaian dapat dihitung berdasarkan jumlah transistor yang digunakan dalam desain logika statis.

### 2. Logika Dinamis:

- Efek Karakteristik: a. Kecepatan Operasi: Logika dinamis memiliki kecepatan operasi yang lebih rendah dibandingkan logika statis karena melibatkan siklus penagihan dan pembebasan kapasitif. Perlu ada waktu tambahan untuk mengisi dan mengosongkan kapasitor saluran. b. Daya: Logika dinamis cenderung mengkonsumsi daya dinamis saat

kapasitor saluran diisi dan dikosongkan. Konsumsi daya statis pada logika dinamis dapat lebih rendah daripada logika statis karena menggunakan lebih sedikit transistor. c. Kompleksitas Rangkaian: Logika dinamis menggunakan lebih sedikit transistor dibandingkan logika statis. Ini dapat menghasilkan kompleksitas rangkaian yang lebih rendah dan membutuhkan area yang lebih kecil.

- Cara Menghitung: a. Kecepatan Operasi: Waktu tunda logika dinamis dapat dihitung dengan metode perhitungan delay dari waktu penagihan dan pembebasan kapasitif pada kapasitor saluran. b. Daya: Konsumsi daya logika dinamis dapat dihitung dengan menghitung daya pengisi (charging power) saat mengisi kapasitor saluran dan daya kebocoran yang dikonsumsi selama periode penagihan dan pembebasan. c. Kompleksitas Rangkaian: Kompleksitas rangkaian dapat dihitung berdasarkan jumlah transistor yang digunakan dalam desain logika dinamis.

### 3. Skema Pencatatan Ganda (Dual-Edge Triggered):

- Efek Karakteristik: a. Kecepatan Operasi: Skema pencatatan ganda dapat meningkatkan kecepatan operasi karena memungkinkan akses data pada kedua tepian sinyal clock. Hal ini mempercepat operasi penyimpanan dan pemulihan data. b. Daya: Konsumsi daya skema pencatatan ganda tergantung pada desain spesifik, tetapi secara umum, kompleksitas rangkaian tambahan dapat menghasilkan peningkatan konsumsi daya. c. Kompleksitas Rangkaian: Skema pencatatan ganda memerlukan logika kontrol tambahan untuk mengatur operasi pada kedua tepian sinyal clock. Ini dapat meningkatkan kompleksitas rangkaian.
- Cara Menghitung: a. Kecepatan Operasi: Waktu tunda skema pencatatan ganda dapat dihitung menggunakan metode perhitungan delay dari waktu penagihan dan pembebasan pada kedua tepian sinyal clock. b. Daya: Konsumsi daya skema pencatatan ganda dapat dihitung dengan mempertimbangkan daya yang dikonsumsi oleh logika kontrol tambahan dan daya yang dikonsumsi saat operasi penyimpanan dan pemulihan data. c. Kompleksitas Rangkaian: Kompleksitas rangkaian dapat dihitung berdasarkan jumlah transistor dan logika kontrol tambahan yang digunakan dalam desain skema pencatatan ganda.

## E. Rangkuman

- MOS adalah struktur transistor yang terdiri dari lapisan metal, oksida, dan semikonduktor.



- Terdapat dua jenis MOS: nMOS (Negative-channel MOS) dan pMOS (Positive-channel MOS), yang memiliki doping dan polaritas yang berbeda.
- nMOS adalah MOSFET yang menggunakan kanal negatif (elektron) sebagai pembawa muatan.
- pMOS adalah MOSFET yang menggunakan kanal positif (lubang) sebagai pembawa muatan.
- Wilayah operasi transistor meliputi wilayah Cut-Off, Triode, dan Saturasi, yang bergantung pada tegangan gerbang dan tegangan saluran.
- Biasing transistor adalah teknik yang digunakan untuk menetapkan tegangan yang tepat pada terminal gerbang atau basis transistor agar transistor beroperasi dalam wilayah yang diinginkan.
- Transistor dapat digunakan sebagai saklar elektronik yang mengontrol aliran arus antara sumber dan beban.
- Pass transistor dan transmission gates adalah struktur yang menggunakan transistor untuk mengalihkan atau memperbolehkan sinyal melewati jalur tertentu dalam rangkaian.
- Jaringan saklar adalah rangkaian yang terdiri dari transistor sebagai saklar elektronik, sementara gerbang logika adalah rangkaian yang mengimplementasikan fungsi logika menggunakan transistor.
- Propagation delay adalah waktu yang diperlukan untuk sinyal melalui rangkaian dari input ke output.
- Rise time adalah waktu yang diperlukan untuk sinyal naik dari 10% hingga 90% dari tegangan puncak.
- Fall time adalah waktu yang diperlukan untuk sinyal turun dari 90% hingga 10% dari tegangan puncak.
- Model unit-delay digunakan untuk menganalisis waktu tunda pada rangkaian digital.
- Model tau digunakan untuk menggambarkan tingkat penurunan atau peningkatan tegangan dalam rangkaian RC.
- Efek fan-in adalah penurunan kualitas sinyal output akibat peningkatan jumlah input yang terhubung dengan gerbang logika.
- Efek fan-out adalah penurunan tegangan output akibat peningkatan jumlah beban yang terhubung dengan output gerbang logika.

- Efek Ukuran Transistor, Waktu Tunda pada nMOS & Pengskalaan/Daya CMOS:
- Efek ukuran transistor adalah perubahan kinerja transistor berdasarkan ukuran geometri atau panjang kanal transistor.
- Waktu tunda pada nMOS dapat dihitung menggunakan rumus RC time constant.
- Pengskalaan/Daya CMOS mengacu pada perubahan skala ukuran transistor dan pengaruhnya terhadap daya yang dikonsumsi dan waktu tunda.
- Karakteristik sirkuit meliputi parameter seperti kecepatan operasi, konsumsi daya, kompleksitas rangkaian, dan stabilitas.

## **F. Evaluasi Pengetahuan**

Berikut adalah beberapa soal untuk menguji pemahaman berdasarkan materi modul yang sudah dibawah ini. Latihan berupa pertanyaan yang harus dijawab terdiri dari 10 pertanyaan.

1. Apa yang dimaksud dengan MOS dan jelaskan perbedaan antara nMOS dan pMOS?
2. Bagaimana wilayah operasi transistor dibedakan menjadi cut-off, triode, dan saturasi?
3. Apa yang dimaksud dengan waktu tunda (propagation delay) dalam rangkaian digital dan apa faktor-faktor yang mempengaruhinya?
4. Apa perbedaan antara pass transistor dan transmission gates dalam hal fungsi dan struktur?
5. Apa perbedaan antara jaringan saklar dan gerbang logika dalam implementasi fungsi logika?
6. Jelaskan model unit-delay dan model tau dalam analisis waktu tunda dan karakteristik penurunan/peningkatan tegangan dalam rangkaian RC.
7. Apa yang dimaksud dengan efek fan-in dan efek fan-out dalam desain gerbang logika?
8. Bagaimana efek ukuran transistor mempengaruhi waktu tunda pada nMOS dan daya konsumsi dalam desain CMOS?
9. Jelaskan konsep penskalaan ukuran transistor dalam desain CMOS dan bagaimana hal tersebut mempengaruhi kinerja sirkuit?
10. Apa karakteristik sirkuit yang perlu dipertimbangkan dalam desain logika statis, dinamis, dan skema pencatat ganda?

## **G. Referensi**

- Januarsyah, I., & Sari, P. N. (2018). Dasar-Dasar Elektronika. Deepublish.  
 Rahardja, U., & Supangkat, S. H. (2013). Teknologi VLSI. Informatika.  
 Mardjono, A. (2009). Dasar-Dasar Elektronika Digital. Graha Ilmu.  
 Sudarshan, T. S. B. (2012). Digital Circuits and Design. Pearson Education.



## **BAB 2**

### **ARSITEKTUR UNIT PENYIMPANAN**

#### **A. Pendahuluan**

Dalam dunia teknologi dan komputasi, arsitektur unit penyimpanan memiliki peranan yang krusial dalam sistem komputer dan elektronik. Arsitektur ini berkaitan erat dengan penyimpanan dan pengambilan data secara efisien, serta pengaturan sinyal dan kinerja rangkaian. Dalam pembahasan ini, kita akan menjelajahi berbagai aspek yang terkait dengan arsitektur unit penyimpanan, mulai dari struktur dasar hingga karakteristik dan tradeoff yang terlibat dalam pemilihan elemen penyimpanan.

#### **B. Capaian Pembelajaran**

- 1 Memahami konsep dan komponen yang membentuk arsitektur unit penyimpanan.
- 2 Menjelaskan sifat rangkaian dan elemen penyimpanan yang terkait dengan kinerja unit penyimpanan.
- 3 Memahami desain sirkuit dan karakteristik cell memori dalam unit penyimpanan.
- 4 Membandingkan tradeoff yang terlibat dalam memilih elemen penyimpanan dan cell memori.
- 5 Menggambarkan hubungan antara sinyal input, output, dan clock pada diagram waktu dalam unit penyimpanan.

#### **C. Tujuan Pembelajaran**

- 1 Memahami prinsip dasar arsitektur unit penyimpanan.
- 2 Menjelaskan sifat dan karakteristik rangkaian serta elemen penyimpanan dalam unit penyimpanan.
- 3 Memahami desain sirkuit dan konfigurasi transistor dalam cell memori.
- 4 Memahami tradeoff yang terlibat dalam memilih elemen penyimpanan dan cell memori.
- 5 Menggambarkan hubungan sinyal input, output, dan clock dalam diagram waktu dalam unit penyimpanan.

#### **D. Pembahasan**

##### **1 Arsitektur Unit Penyimpanan**

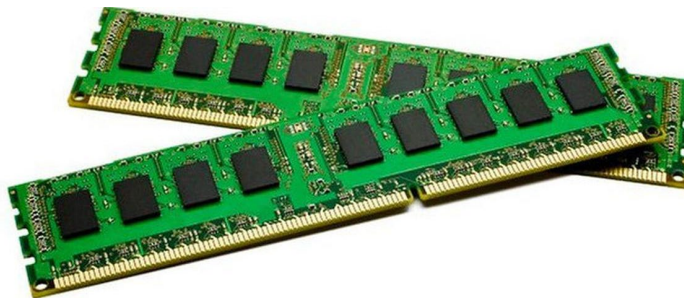
Arsitektur unit penyimpanan merupakan komponen penting dalam sistem komputer yang bertanggung jawab untuk menyimpan dan mengakses data. Unit penyimpanan dalam arsitektur komputer terdiri dari dua jenis utama: memori utama (main memory) dan memori sekunder (secondary memory). Memori utama digunakan untuk menyimpan program yang sedang berjalan dan data yang sedang diproses secara langsung oleh CPU. Memori utama biasanya terdiri dari teknologi semikonduktor seperti RAM (Random Access Memory). Sedangkan memori sekunder digunakan untuk menyimpan data dalam jangka panjang. Contoh memori sekunder termasuk hard disk drive (HDD) dan solid-state drive (SSD). Memori sekunder memiliki kapasitas yang lebih besar daripada memori utama, namun lebih lambat dalam akses dan transfer data.

Pemahaman tentang arsitektur unit penyimpanan penting untuk merancang sistem komputer yang efisien dan efektif dalam mengelola dan mengakses data. Penting untuk mempertimbangkan ukuran, kecepatan, kapasitas, dan efisiensi penggunaan dalam memilih dan mengkonfigurasi memori utama dan memori sekunder untuk memenuhi kebutuhan aplikasi dan kinerja sistem secara keseluruhan.

Arsitektur unit penyimpanan terdiri dari beberapa komponen penting, termasuk:

- 1 Memori utama (RAM):

Memori utama atau Random Access Memory (RAM) merupakan penyimpanan utama dalam sistem komputer yang digunakan untuk menyimpan data sementara saat proses komputasi berlangsung. Fungsinya adalah menyediakan akses cepat untuk membaca dan menulis data. RAM digunakan untuk menyimpan instruksi dan data yang aktif digunakan oleh CPU saat menjalankan program. Bentuk fisik RAM dapat dilihat melalui gambar dibawah ini



Memori utama memiliki beberapa karakteristik penting, termasuk kapasitas penyimpanan yang besar, kecepatan akses yang tinggi, dan kemampuan untuk membaca dan menulis data secara acak. Kelebihan memori utama meliputi kecepatan akses yang cepat, kemampuan

untuk menyimpan data sementara, dan fleksibilitas dalam mengubah data yang disimpan. Terdapat dua jenis utama memori utama yaitu Static RAM (SRAM) dan Dynamic RAM (DRAM). SRAM menggunakan flip-flop sebagai elemen penyimpanan dan tidak membutuhkan pembaruan periodik untuk mempertahankan data. Sementara itu, DRAM menggunakan kapasitor dan transistor untuk menyimpan data dan membutuhkan penyegaran periodik agar data tetap terjaga. Prinsip kerja RAM adalah dengan menyimpan data dalam bentuk sinyal elektronik yang dapat dengan cepat diakses dan diubah sesuai kebutuhan. Data dalam RAM bersifat volatil, artinya ketika listrik dimatikan, data yang tersimpan di RAM akan hilang.

## 2 Memori hanya-baca (ROM):

Memori hanya-baca atau Read-Only Memory (ROM) adalah jenis memori yang berisi instruksi dan data yang tidak dapat diubah oleh pengguna. ROM digunakan untuk menyimpan program dan konfigurasi sistem yang penting dan tidak boleh diubah. Prinsip kerja ROM adalah dengan menyimpan data dalam bentuk sinyal yang dibakar secara permanen selama proses produksi. Bentuk rom berfarisi bisa dalam berbentuk microchip, berikut adalah tampilan fisik dari rom yang diimplementasikan diberbagai perangkat elektronik.



Data dalam ROM bersifat non-volatile, artinya data tetap terjaga bahkan ketika listrik dimatikan. Memori hanya-baca memiliki karakteristik penting, seperti ketahanan terhadap pembaruan data, kestabilan data dalam jangka panjang, dan kemampuan untuk menyimpan data tanpa memerlukan daya listrik. Kelebihan memori hanya-baca meliputi kemampuan untuk menyimpan data secara permanen, tidak memerlukan pembaruan, dan tidak dapat diubah oleh pengguna. Terdapat beberapa jenis memori hanya-baca, termasuk ROM (Read-

Only Memory), PROM (Programmable ROM), EPROM (Erasable Programmable ROM), dan EEPROM (Electrically Erasable Programmable ROM). Setiap jenis memiliki tingkat keprograman dan penghapusan data yang berbeda. Arsitektur memori hanya-baca dapat bervariasi tergantung pada jenisnya. Namun, prinsip umumnya melibatkan penggunaan transistor dan kapasitor untuk menyimpan data. Data yang disimpan dalam memori hanya-baca tidak dapat diubah oleh pengguna dan tetap stabil dalam jangka panjang.

### 3 Memori cache:

Memori cache adalah jenis memori yang digunakan untuk menyimpan data yang sering diakses dengan cepat oleh CPU. Tujuannya adalah untuk meningkatkan kecepatan akses data dengan meminimalkan waktu yang diperlukan untuk mengambil data dari memori utama. Memori cache memiliki peran penting dalam meningkatkan kinerja sistem komputer. Dengan menyimpan data yang sering diakses secara lokal, CPU dapat mengakses data dengan lebih cepat daripada harus mengambilnya dari memori utama yang memiliki waktu akses yang lebih lama. Cache bekerja berdasarkan prinsip lokalitas, yaitu jika suatu data telah diakses, kemungkinan besar data terkait akan segera diakses berikutnya. Cache terbagi menjadi beberapa level, seperti L1, L2, dan L3 cache, dengan L1 cache memiliki waktu akses paling cepat. Prinsip kerja cache melibatkan penggunaan algoritma penggantian (replacement algorithm) untuk memutuskan data mana yang akan disimpan dalam cache dan mana yang akan dihapus. Memori cache menggunakan prinsip lokalitas spasial dan lokalitas temporal untuk menyimpan data yang sering diakses. Prinsip ini memanfaatkan fakta bahwa program cenderung mengakses data yang berdekatan secara spasial dan data yang sama dalam periode waktu yang singkat. Kelebihan memori cache meliputi peningkatan kecepatan akses data, pengurangan latensi memori, dan peningkatan throughput sistem.

### 4 Kontroler memori:

Kontroler memori bertanggung jawab untuk mengatur akses data ke dan dari memori, memastikan integritas data, dan mengelola alamat serta sinyal kontrol. Kontroler memori mengendalikan aliran data antara CPU dan memori, mengelola operasi baca dan tulis, serta memastikan kepatuhan terhadap protokol dan standar komunikasi yang digunakan. Kontroler memori juga terlibat dalam manajemen cache dan koordinasi antara memori utama dan memori cache.

Arsitektur unit penyimpanan terhubung erat dengan komponen lain dalam sistem komputer. Misalnya, CPU menggunakan arsitektur unit penyimpanan untuk mengambil instruksi dan data yang diperlukan untuk menjalankan program. I/O (Input/Output) juga berinteraksi dengan arsitektur unit penyimpanan untuk mentransfer data antara perangkat input/output dan memori. Selain itu, sistem operasi berperan dalam mengelola alokasi dan penggunaan memori dalam arsitektur unit penyimpanan.

Struktur data dalam unit penyimpanan, pemahaman mendasar dari struktur data membantu kita mengerti cara kerja dari setiap unit penyimpanan. Dibawah ini beberapa materi yang menjelaskan tentang jenis tipe data, pengelompokan data, dan tipe pengalamatan memori. Selengkapnya dibahas dibawah ini secara singkat padat dan jelas

### **Bit, Byte, Word, dan Alamat Memori:**

- Bit: Unit terkecil dalam unit penyimpanan yang merepresentasikan nilai biner 0 atau 1.
- Byte: Kumpulan 8 bit yang digunakan sebagai unit dasar dalam pengolahan data.
- Word: Satuan penyimpanan yang terdiri dari beberapa byte. Ukuran word dapat bervariasi tergantung pada arsitektur sistem, seperti 2 byte (16 bit), 4 byte (32 bit), atau 8 byte (64 bit).
- Alamat Memori: Setiap lokasi penyimpanan dalam unit penyimpanan memiliki alamat yang unik. Alamat memori digunakan untuk mengakses dan mengidentifikasi lokasi data dalam unit penyimpanan.

### **Organisasi dan Pengelompokan Data dalam Unit Penyimpanan:**

- Data dalam unit penyimpanan dapat diorganisasi dalam berbagai struktur, seperti array, linked list, stack, queue, tree, dan lainnya. Struktur data ini mempengaruhi cara data disimpan dan diakses dalam unit penyimpanan.
- Pengelompokan data dalam unit penyimpanan dapat dilakukan berdasarkan tipe data atau tujuan penggunaan. Misalnya, data dapat dikelompokkan menjadi blok-blok yang terkait, seperti blok data, blok program, atau blok konfigurasi.

### **Pengalamatan Memori dan Tipe-Tipe Pengalamatan:**



Pengalamatan memori adalah proses memberikan alamat kepada lokasi penyimpanan tertentu untuk membaca atau menulis data. Tipe-tipe pengalamatan meliputi:

- Absolute Addressing: Menggunakan alamat memori yang konkret untuk mengakses lokasi penyimpanan.
- Relative Addressing: Menggunakan perbedaan alamat dari lokasi saat ini untuk mengakses lokasi penyimpanan.
- Indirect Addressing: Menggunakan alamat yang ditunjukkan oleh register atau pointer untuk mengakses lokasi penyimpanan.

Selanjutnya materi yang diajarkan adalah akses dan operasi pada unit penyimpanan. Pentingnya mengetahui akses apa saja yang terdapat pada memory atau unit penyimpanan ini. Dan jenis operasi apa yang dapat dilakukan pada memory serta bagaimana skema pengalamatan yang dilakukan memory untuk menyimpan data. Berikut ada beberapa point penting yang menjelaskan secara lengkap dan inti

#### **Pembacaan (Read) dan Penulisan (Write) Data dalam Unit Penyimpanan:**

- Pembacaan data (Read): Proses membaca data dari lokasi penyimpanan dan mengambil nilainya.
- Penulisan data (Write): Proses menulis data ke lokasi penyimpanan dengan nilai yang ditentukan.

#### **Operasi Baca-Tulis dan Prinsip-prinsip Kerjanya:**

- Operasi Baca-Tulis: Kombinasi operasi pembacaan dan penulisan data. Biasanya digunakan untuk mengubah atau memodifikasi data yang sudah ada dalam unit penyimpanan.
- Prinsip-prinsip kerja operasi baca-tulis melibatkan pengiriman alamat memori yang dituju, proses pengambilan data dari lokasi penyimpanan (pembacaan) atau pengiriman data ke lokasi penyimpanan (penulisan), serta pembaruan status dan register yang terlibat.

#### **Skema Pengalamatan dan Pengindeksan Data dalam Unit Penyimpanan:**

- Skema pengalamatan digunakan untuk mengorganisasi dan mengakses data dalam unit penyimpanan. Contoh skema pengalamatan meliputi pengalamatan langsung (direct

addressing), pengalamatan relatif (relative addressing), pengalamatan berbasis register (register-based addressing), atau pengalamatan dengan menggunakan indeks (index addressing).

- Pengindeksan data digunakan untuk mempercepat akses data dengan menggunakan indeks atau kunci untuk mengidentifikasi lokasi penyimpanan yang berkaitan dengan data tersebut.

Setelah sudah mengetahui banyak dari unit penyimpanan, baik itu berkaitan dengan memory utama, memory hanya baca, memory chace, dan kontrol memory. Beberapa jenis unit penyimpanan adalah dasar dari berbagai unit penyimpanan yang tengah dikembangkan saat ini. Berikut adalah beberapa perkembangan terkini dalam arsitektur unit penyimpanan, meliputi:

### **Teknologi Memori Baru:**

- Memori Berbasis Flash: Memori flash digunakan dalam penyimpanan non-volatile yang dapat digunakan pada perangkat seperti USB drive, SSD, dan kartu memori.
- Memori Resistive: Memori resistive seperti ReRAM (Resistive Random Access Memory) menggunakan perubahan hambatan resistif untuk menyimpan data.
- Memori Ferroelektrik: Memori ferroelektrik seperti FeRAM (Ferroelectric Random Access Memory) menggunakan medan listrik untuk menyimpan data.

### **Inovasi dalam Desain Memori:**

- Peningkatan Kecepatan: Desain memori yang lebih cepat dengan peningkatan bandwidth dan akses waktu.
- Peningkatan Kapasitas: Desain memori yang memiliki kapasitas yang lebih besar untuk menyimpan jumlah data yang lebih besar.
- Efisiensi Energi: Desain memori yang lebih efisien dalam penggunaan energi untuk mengurangi konsumsi daya dan panas yang dihasilkan.

### **Tantangan dan Tren dalam Pengembangan Arsitektur Unit Penyimpanan:**

- Tantangan dalam pengembangan arsitektur unit penyimpanan meliputi meningkatkan kecepatan akses, mengurangi latensi, meningkatkan kepadatan penyimpanan, dan mengurangi konsumsi daya.

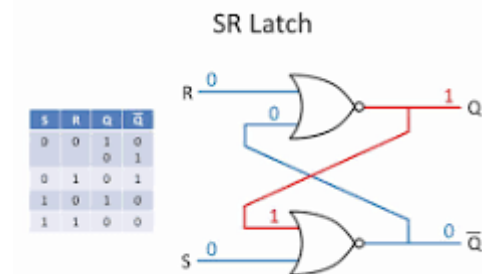
- Tren dalam pengembangan arsitektur unit penyimpanan mencakup penggunaan memori berbasis non-volatile, pengembangan teknologi memori 3D, penggabungan memori dan komputasi (in-memory computing), dan peningkatan efisiensi energi dengan teknik seperti pengelolaan daya adaptif.

## 2 Sifat Rangkaian Elemen-Elemen Penyimpanan

Elemen-elemen penyimpanan yang memiliki peran penting dalam penyimpanan dan pengambilan data. Flip-flop adalah elemen dasar yang berfungsi sebagai unit penyimpanan satu bit. Register adalah kumpulan flip-flop yang digunakan untuk menyimpan sejumlah bit data. RAM merupakan memori utama yang digunakan untuk menyimpan data dan instruksi yang sedang diproses oleh CPU. ROM adalah memori baca saja yang berisi data yang tidak dapat diubah. Flash memory adalah jenis memori non-volatile yang digunakan dalam berbagai perangkat dengan kapasitas penyimpanan yang besar. Setiap elemen penyimpanan memiliki karakteristik dan kegunaannya sendiri dalam mendukung operasi komputer. Masing-masing memiliki kecepatan akses, kapasitas, dan keandalan yang berbeda. Berikut perbandingan sifat rangkaian elemen penyimpanan, seperti latches, flip-flop, dan register clock, dapat dijelaskan dari berbagai aspek, termasuk struktur, fungsi, dan penggunaannya dalam desain sirkuit digital.

### 1. Latches:

Latches adalah elemen penyimpanan sederhana yang dapat menyimpan satu bit informasi. Mereka terdiri dari dua gerbang logika NAND atau NOR yang saling terhubung. Latches memiliki dua mode operasi, yaitu mode latch dan mode transparan.



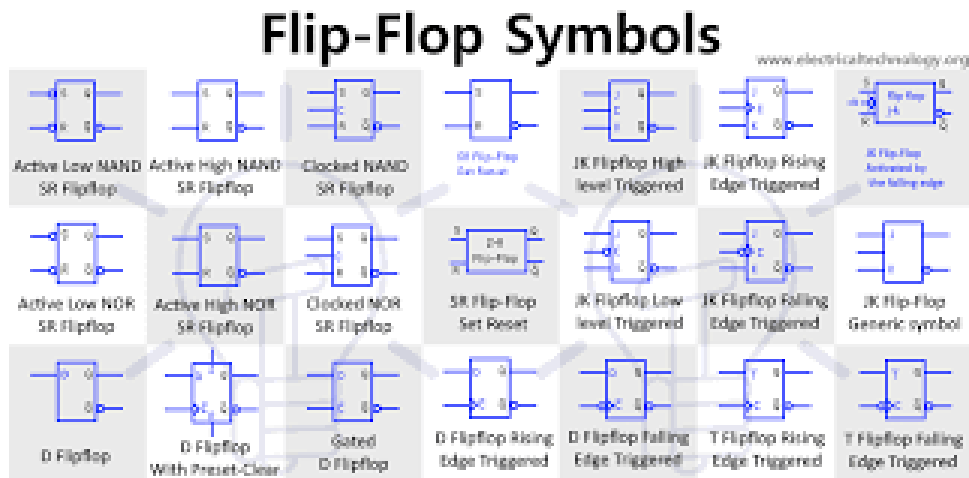
Dalam mode latch, output latch tetap mempertahankan nilainya saat clock tidak berubah. Sedangkan dalam mode transparan, output latch mengikuti perubahan input selama clock aktif. Latches dapat digunakan dalam desain sirkuit yang memerlukan penyimpanan sementara dan pemrosesan paralel, seperti dalam pembentukan alamat, penggeseran data, atau

penyimpanan informasi status. Latch adalah elemen penyimpanan yang mirip dengan flip-flop, tetapi dapat bekerja secara asinkron, artinya data dapat berubah sepanjang waktu selama input berubah. Latch terdiri dari gerbang logika yang membentuk suatu feedback loop.

Latch mempunyai dua jenis yaitu D latch dan SR latch. D latch adalah latch yang menggunakan input D (Data) dan E (Enable) untuk mengendalikan penyimpanan data dan SR latch menggunakan input S (Set) dan R (Reset) untuk mengatur keadaan latch. Latch digunakan dalam desain sirkuit yang membutuhkan fungsi penyimpanan sementara dengan waktu akses yang cepat. Mereka sering digunakan dalam desain register sederhana, alat pengunci (latch-up), dan elemen logika dalam rangkaian digital.

## 2. Flip-flop:

Flip-flop adalah elemen penyimpanan yang lebih kompleks dibandingkan dengan latches. Mereka memungkinkan penyimpanan bit informasi dengan sinkronisasi waktu yang lebih ketat. Flip-flop merupakan elemen penyimpanan yang terdiri dari beberapa gerbang logika yang diatur sedemikian rupa sehingga mampu menyimpan satu bit informasi. Model flip-flop yang umum digunakan adalah D flip-flop, JK flip-flop, T flip-flop, dan SR flip-flop.

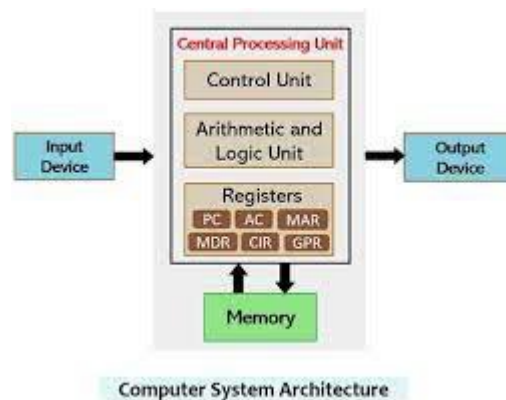


D flip-flop: D flip-flop menyimpan data input (D) pada saat sinyal clock berubah naik (rising edge). JK flip-flop: JK flip-flop memiliki dua input yaitu J dan K yang memiliki fungsi yang lebih fleksibel dibandingkan dengan D flip-flop. T flip-flop: T flip-flop memiliki satu input (T) yang akan mengubah keadaan flip-flop sesuai dengan kondisi input dan sinyal clock. SR flip-flop: SR flip-flop memiliki dua input yaitu S (Set) dan R (Reset) yang digunakan untuk mengatur keadaan flip-flop. Flip-flop memiliki dua mode operasi utama, yaitu mode sinkron

dan mode asinkron. Dalam mode sinkron, perubahan nilai input hanya terjadi pada tepat saat clock naik atau turun. Ini memastikan stabilitas sinyal dan mencegah gangguan yang tidak diinginkan. Flip-flop dapat digunakan dalam aplikasi yang memerlukan penyimpanan data yang lebih andal dan sinkron, seperti dalam pengiriman data serial, pengaturan alamat, atau sinkronisasi sinyal dalam sistem terintegrasi selain itu juga sebagai elemen penyimpanan dalam register, penghitung (counter), pemrosesan sinyal, dan pengendalian dalam rangkaian logika.

### 3. Register:

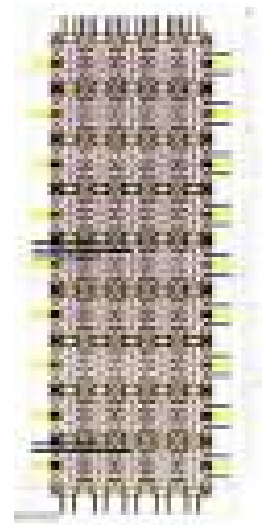
Register adalah kumpulan dari beberapa flip-flop yang saling terhubung. Mereka menyediakan penyimpanan data paralel dengan lebar bit yang lebih besar. Register sering digunakan dalam desain sirkuit yang memerlukan penyimpanan dan pemrosesan data dalam jumlah besar, seperti dalam pengiriman data paralel, penyimpanan buffer, atau dalam unit pemrosesan digital.



Register biasanya memiliki input data, input clock, dan output data. Mereka memungkinkan penyimpanan data dalam waktu yang ditentukan oleh clock dan dapat mempertahankan data tersebut hingga diubah oleh operasi pemrosesan berikutnya. Register digunakan untuk menyimpan data dalam aplikasi yang membutuhkan pengolahan data sekuensial, seperti pemrosesan sinyal digital, pengendalian sistem, dan komunikasi serial. Mereka juga digunakan dalam pemrosesan paralel dan operasi aritmetika pada unit pengolahan sentral (CPU) komputer.

### 3 Sifat Circuit Pada Cell Memori.

Cell memori adalah unit dasar penyimpanan dalam sebuah sistem memori. Ini merupakan struktur yang dapat menyimpan dan mengambil informasi dalam bentuk digital. Cell memori bertanggung jawab untuk menyimpan data secara permanen atau sementara, tergantung pada jenis memori yang digunakan. Cell memori bekerja dengan mengubah keadaan fisik atau muatan pada struktur penyimpanan mereka untuk merepresentasikan data dalam bentuk 0 atau 1. Setiap cell memori memiliki alamat unik yang memungkinkan akses dan pemrosesan data yang efisien. Dalam sistem memori yang lebih besar, cell memori diatur dalam array dengan baris dan kolom untuk memungkinkan akses yang cepat dan paralel.



Circuit pada cell memori mengacu pada struktur dan karakteristik sirkuit yang digunakan dalam elemen penyimpanan memori, seperti sel-sel memori dalam RAM atau ROM. Sifat-sifat circuit pada cell memori sangat penting dalam menentukan performa, kecepatan, kapasitas, dan efisiensi energi dari memori tersebut. Berikut adalah penjelasan mengenai sifat circuit yang penting pada cell memory diantaranya:

1. **Keamanan data:** Circuit pada cell memori harus mampu menjaga keamanan dan keintegritasan data yang disimpan di dalamnya. Hal ini melibatkan mekanisme penulisan dan pembacaan data yang akurat serta perlindungan dari noise atau gangguan yang dapat menyebabkan kesalahan baca/tulis.
2. **Stabilitas penyimpanan:** Circuit pada cell memori harus mampu menjaga stabilitas penyimpanan data dalam jangka waktu yang lama. Data yang disimpan dalam cell memori harus dapat dipertahankan secara stabil dan tidak mengalami degradasi atau kehilangan informasi seiring berjalannya waktu.
3. **Kecepatan akses:** Circuit pada cell memori harus dirancang untuk memberikan akses data yang cepat dan responsif. Kecepatan akses sangat penting dalam memori utama dan cache, di mana data harus dapat diakses dengan latensi yang rendah untuk mendukung kinerja sistem yang optimal.

4. Kapasitas penyimpanan: Circuit pada cell memori harus mampu menyimpan dan menghasilkan kapasitas penyimpanan yang sesuai dengan kebutuhan aplikasi. Kapasitas penyimpanan memori dapat ditingkatkan dengan memperluas jumlah sel memori dalam struktur yang efisien dan memaksimalkan efisiensi ruang.
5. Konsumsi daya: Circuit pada cell memori harus efisien dalam penggunaan daya. Dalam aplikasi dengan daya terbatas, seperti perangkat mobile atau sensor nirkabel, penting untuk mengoptimalkan konsumsi daya dari circuit memori sehingga daya baterai dapat bertahan lebih lama.
6. Skalabilitas: Circuit pada cell memori harus dapat diimplementasikan dalam skala yang besar. Dalam aplikasi yang membutuhkan memori dengan kapasitas yang sangat besar, seperti memori utama pada komputer server atau data center, circuit harus mampu diintegrasikan secara efisien dalam skala yang besar.

Selain sifat dari circuit terdapat beberapa aspek penting yang harus diperhatikan pada circuit pada cell diantaranya ialah:

1. Noise immunity: Circuit pada cell memori harus memiliki ketahanan terhadap noise atau gangguan yang dapat mempengaruhi keakuratan pembacaan dan penulisan data. Gangguan seperti jitter, cross-talk, atau interferensi elektromagnetik dapat mengganggu integritas data dalam cell memori. Oleh karena itu, desain circuit harus mempertimbangkan mekanisme penghilangan atau pengurangan noise.
2. Keandalan dan toleransi kesalahan: Circuit pada cell memori harus dapat menangani kesalahan yang mungkin terjadi selama operasi. Kesalahan dapat terjadi akibat efek fisik seperti noise termal, kerusakan transistor, atau kegagalan sirkuit. Oleh karena itu, teknik error correction dan detection harus diterapkan dalam desain circuit untuk memastikan keandalan data yang tinggi.
3. Latensi dan waktu akses: Circuit pada cell memori harus memiliki latensi yang rendah dan waktu akses yang cepat. Latensi mengacu pada waktu yang diperlukan untuk mengakses data dari memori, sedangkan waktu akses adalah waktu yang dibutuhkan untuk mengambil atau menyimpan data ke dalam cell memori. Desain circuit yang efisien dan penggunaan teknik seperti prediksi akses atau pipelining dapat membantu mengurangi latensi dan meningkatkan waktu akses.

4. Daya dan energi: Circuit pada cell memori harus efisien dalam penggunaan daya dan energi. Dalam banyak aplikasi, terutama pada perangkat baterai portabel atau sistem dengan daya terbatas, penting untuk mengoptimalkan konsumsi daya circuit memori untuk memperpanjang masa pakai baterai atau mengurangi beban daya sistem secara keseluruhan.

Pemilihan jenis cell memori yang tepat tergantung pada kecepatan akses, kepadatan data, daya yang dibutuhkan, dan aplikasi yang diinginkan. Berdasarkan sifat circuit terdapat beberapa jenis cell memori yang umum digunakan, seperti :

1. RAM Statik (SRAM):

- Menggunakan flip-flop sebagai elemen penyimpanan dalam setiap cell memori.
- Setiap cell terdiri dari beberapa transistor yang membentuk rangkaian flip-flop.
- Tidak memerlukan proses refresh secara periodik seperti DRAM.
- Memiliki waktu akses yang cepat dan memiliki kecepatan transfer data yang tinggi.
- Lebih stabil dalam mempertahankan data, karena data tetap tersimpan selama catu daya masih aktif.
- Membutuhkan lebih banyak area fisik dan lebih kompleks dalam desainnya dibandingkan dengan DRAM.

2. RAM Dinamis (DRAM):

- Menggunakan kapasitor untuk menyimpan data dalam setiap cell memori.
- Setiap cell terdiri dari kapasitor dan transistor sebagai switch untuk mengakses data.
- Kapasitor dalam DRAM membutuhkan proses refresh periodik untuk mempertahankan data.
- Memiliki kepadatan data yang lebih tinggi dan lebih hemat ruang fisik dibandingkan dengan SRAM.
- Memiliki waktu akses yang lebih lambat dan transfer data yang lebih lambat dibandingkan dengan SRAM.
- Lebih rentan terhadap gangguan dan kebocoran muatan kapasitor dibandingkan dengan SRAM.

3. ROM (Read-Only Memory):

- Merupakan jenis memori yang digunakan untuk menyimpan data yang tidak dapat diubah atau diprogram oleh pengguna.



- Data pada ROM diatur selama proses fabrikasi dan tidak dapat diubah secara langsung.
- Memiliki sifat non-volatile, artinya data yang disimpan tetap terjaga bahkan saat catu daya dimatikan.
- Tidak memerlukan proses refresh atau kehilangan data seperti DRAM atau SRAM.
- Memiliki waktu akses yang cepat dan konsumsi daya yang rendah.
- Tidak fleksibel dalam hal pembaruan data, karena data yang tersimpan tidak dapat diubah oleh pengguna.

Perbedaan sifat circuit pada SRAM, DRAM, dan ROM mempengaruhi kinerja, kecepatan, kepadatan data, dan fleksibilitas penggunaan dalam aplikasi yang berbeda. Pemilihan jenis memori yang tepat tergantung pada kebutuhan spesifik, seperti kecepatan akses, kapasitas penyimpanan, dan stabilitas data yang dibutuhkan dalam sistem yang dirancang.

#### **4 Perbandingan Elemen Penyimpanan dan Cell Memori Pada Tradeoffs**

Tradeoffs merujuk pada situasi di mana kita harus melakukan pengorbanan atau membuat pilihan antara dua atau lebih opsi yang saling bertentangan. Dalam konteks perancangan dan pengembangan sistem atau produk, tradeoffs adalah keputusan yang diambil untuk mencapai keseimbangan antara berbagai faktor yang saling bertentangan. Berikut ini adalah beberapa perbandingan yang umum terjadi:

##### **Kecepatan akses vs. Kapasitas**

Cell memori seperti SRAM (Static Random Access Memory) memiliki kecepatan akses yang sangat cepat, namun memiliki kapasitas penyimpanan yang relatif kecil. Di sisi lain, memori utama seperti DRAM (Dynamic Random Access Memory) memiliki kapasitas yang lebih besar namun dengan kecepatan akses yang sedikit lebih lambat. Dalam aplikasi yang membutuhkan akses data yang cepat, SRAM dapat lebih diutamakan, sementara dalam aplikasi yang membutuhkan kapasitas besar, DRAM dapat lebih cocok.

##### **Keandalan vs. Biaya**

Memori dengan tingkat keandalan yang tinggi seperti memori ECC (Error-Correcting Code) dapat mendeteksi dan memperbaiki kesalahan data yang mungkin terjadi. Namun, keandalan ini biasanya datang dengan biaya yang lebih tinggi. Di sisi lain, memori yang lebih murah seperti NAND Flash memiliki keandalan yang lebih rendah. Pemilihan elemen penyimpanan dan cell

memori harus mempertimbangkan tingkat keandalan yang diperlukan dalam sistem serta ketersediaan anggaran.

### **Konsumsi daya vs. Performa**

Beberapa jenis memori seperti SRAM dan memori cache memiliki konsumsi daya yang lebih tinggi, namun menawarkan performa yang sangat cepat. Sementara itu, memori non-volatile seperti Flash memori memiliki konsumsi daya yang lebih rendah namun memiliki kecepatan akses yang lebih lambat. Dalam aplikasi dengan batasan daya, memilih elemen penyimpanan yang mengoptimalkan konsumsi daya dapat menjadi pertimbangan yang penting.

### **Ketahanan terhadap radikal lingkungan vs. Kecepatan akses**

Memori yang tahan terhadap radiasi dan lingkungan yang keras seperti memori MRAM (Magnetic Random Access Memory) dapat digunakan dalam aplikasi di lingkungan yang ekstrim. Namun, kecepatan akses MRAM umumnya lebih lambat dibandingkan dengan memori konvensional. Pertimbangan perbedaan ini harus dipertimbangkan tergantung pada kebutuhan spesifik aplikasi.

Perbandingan antara elemen penyimpanan dan cell memori sangat penting dalam desain dan implementasi sistem komputer dan elektronik. Hal ini dikarenakan pilihan elemen penyimpanan yang tepat dapat berdampak signifikan pada performa, kapasitas, keandalan, dan efisiensi sistem secara keseluruhan. Pemilihan yang tepat antara elemen penyimpanan dan cell memori melibatkan evaluasi tradeoff dalam berbagai aspek ada beberapa alasan utama mengapa perbandingan dilakukan meliputi kinerja sistem, kapasitas penyimpanan, keandalan berkelanjutan, dan efisiensi energi.

## **5 Sinyal Input, Output, dan Clock Pada Diagram Waktu**

Diagram waktu adalah representasi grafis dari urutan peristiwa atau sinyal dalam rangkaian elektronik atau sistem digital. Diagram waktu digunakan untuk memvisualisasikan hubungan waktu antara sinyal input dan output dalam suatu sistem. Biasanya, diagram waktu menggunakan sumbu horizontal untuk mewakili sumbu waktu dan sumbu vertikal untuk mewakili tingkat sinyal. Diagram waktu sangat berguna dalam menganalisis perilaku dan kinerja sistem digital. Dengan menggunakan diagram waktu, kita dapat melihat bagaimana sinyal-sinyal berinteraksi dan berubah seiring waktu. Diagram waktu membantu dalam mengidentifikasi propagasi sinyal, penundaan, konflik logika, dan perilaku lainnya yang dapat mempengaruhi

operasi sistem. Pada diagram waktu untuk perangkat penyimpanan, biasanya terdapat tiga sinyal utama yang diperlihatkan: sinyal input, sinyal output, dan sinyal clock.

Sinyal input pada diagram waktu menunjukkan perubahan tingkat sinyal yang diterapkan ke perangkat penyimpanan. Sinyal input ini mungkin berupa data yang akan disimpan atau instruksi yang akan dieksekusi. Dalam diagram waktu, sinyal input akan digambarkan sebagai garis atau kurva yang menunjukkan perubahan nilai atau tingkat sinyal seiring waktu.

Sinyal output pada diagram waktu menunjukkan hasil penyimpanan atau keluaran dari perangkat penyimpanan. Sinyal output ini menunjukkan nilai yang disimpan dalam perangkat atau hasil pemrosesan data. Sinyal output juga akan digambarkan sebagai garis atau kurva yang menggambarkan perubahan nilai atau tingkat sinyal seiring waktu.

Sinyal clock pada diagram waktu merupakan sinyal yang mengatur waktu operasi perangkat penyimpanan. Sinyal clock ini memberikan impuls atau pulsa yang menandai saat-saat di mana data harus dibaca atau ditulis. Sinyal clock akan digambarkan sebagai serangkaian pulsa atau gelombang yang menunjukkan frekuensi dan durasi operasi perangkat penyimpanan.

Ketiga hal ini sangat terkait erat dalam waktu akses memory untuk melakukan aksi. Dalam memory terdapat dua akses utama yaitu write dan read data. Kedua hal ini tentu mempunyai waktu dalam eksekusinya dibawah ini ada tabel untuk diagram waktu tulis di memory dan diagram waktu tulis di memory.

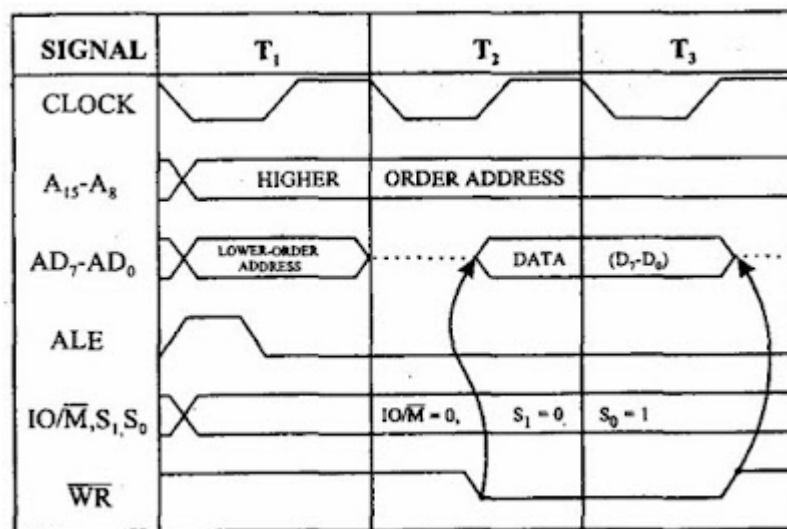


Diagram waktu penulisan memori dapat dijelaskan sebagai berikut:

- MP menempatkan alamat memori 16-bit dari penghitung program pada bus alamat. Pada periode waktu T<sub>1</sub>, alamat memori orde tinggi ditempatkan pada baris alamat A<sub>15</sub> – A<sub>8</sub>. Saat ALE tinggi, alamat yang lebih rendah ditempatkan di bus AD<sub>7</sub> – AD<sub>0</sub>. Sinyal status IO/M(bar) menjadi rendah menunjukkan operasi memori dan dua sinyal status S<sub>1</sub> = 0, S<sub>0</sub> = 1 untuk menunjukkan operasi tulis memori.
- Pada periode waktu T<sub>2</sub>, MP mengirimkan jalur kontrol WR(bar) untuk mengaktifkan penulisan memori. Saat memori diaktifkan dengan sinyal WR(bar), data dari prosesor ditempatkan di lokasi yang dituju dengan ALE rendah.
- Data dicapai di lokasi memori selama kondisi T<sub>3</sub>. Saat data tercapai, sinyal WR (bar) menjadi tinggi. Ini menyebabkan bus masuk ke kondisi impedansi tinggi.

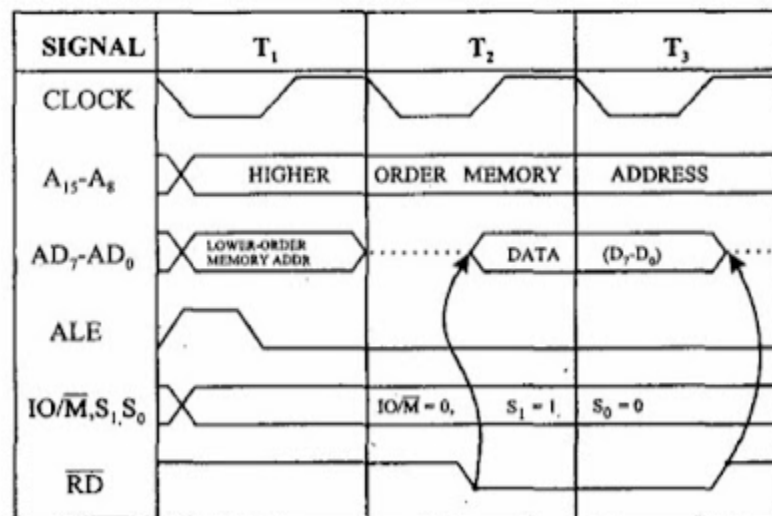


Diagram waktu pembacaan memori dapat dijelaskan sebagai berikut:

- MP menempatkan alamat memori 16-bit dari penghitung program pada bus alamat. Pada periode waktu T<sub>1</sub>, alamat memori orde tinggi ditempatkan pada baris alamat A<sub>15</sub> – A<sub>8</sub>. Saat ALE tinggi, alamat yang lebih rendah ditempatkan di bus AD<sub>7</sub> – AD<sub>0</sub>. Sinyal status IO/M(bar) menjadi rendah menunjukkan operasi memori dan dua sinyal status S<sub>1</sub> = 1, S<sub>0</sub> = 0 untuk menunjukkan operasi baca memori.
- Pada periode waktu T<sub>2</sub>, MP mengirimkan jalur kontrol RD(bar) untuk mengaktifkan pembacaan memori. Saat memori diaktifkan dengan sinyal RD(bar), data dari lokasi memori yang dialamatkan ditempatkan pada bus data dengan ALE rendah.
- Data dicapai pada register prosesor selama kondisi T<sub>3</sub>. Saat data tiba, sinyal RD (bar) menjadi tinggi. Ini menyebabkan bus masuk ke kondisi impedansi tinggi.

Dalam diagram waktu, hubungan antara sinyal input, sinyal output, dan sinyal clock akan terlihat dalam konteks operasi perangkat penyimpanan. Misalnya, jika sinyal clock naik, itu menunjukkan permulaan siklus operasi dan perangkat penyimpanan siap untuk menerima atau mengirim data. Desain rangkaian waktu melibatkan pengaturan urutan operasi dalam sirkuit digital. Rangkaian waktu digunakan untuk mengendalikan aliran data dan timing operasi dalam sistem komputer. Rangkaian waktu dapat diimplementasikan menggunakan flip-flop, counter, dan timer. Desain rangkaian waktu melibatkan pengaturan sinyal clock yang mengatur kecepatan operasi sirkuit, sinkronisasi sinyal input dan output, dan pembangkitan sinyal kontrol untuk mengatur langkah-langkah operasi.

Dalam rangkaian logika digital, rangkaian transistor MOS digunakan untuk implementasi gerbang logika, flip-flop, dan memori. Sirkuit memori yang dirancang menggunakan elemen penyimpanan seperti RAM atau ROM dapat digunakan untuk menyimpan data dalam sistem komputer. Prinsip pengoperasian memori melibatkan proses membaca dan menulis data ke dalam elemen penyimpanan dengan mengatur sinyal baca dan tulis. Desain rangkaian waktu digunakan untuk mengatur urutan operasi dalam sirkuit dan mengendalikan timing operasi. Semua komponen ini saling terkait dalam desain sirkuit digital yang efisien dan handal.

## **E. Rangkuman**

- Arsitektur Unit Penyimpanan dan Sirkuit Logika Digital adalah topik yang penting dalam dunia komputasi dan sistem digital.
- Arsitektur Unit Penyimpanan melibatkan elemen-elemen seperti memori utama (RAM), memori hanya-baca (ROM), dan memori cache.
- Memori utama digunakan untuk menyimpan data sementara dalam proses komputasi. Ada beberapa jenis memori utama, seperti Static RAM (SRAM) dan Dynamic RAM (DRAM).
- Memori hanya-baca digunakan untuk menyimpan instruksi dan data yang tidak dapat diubah. Jenis-jenis memori hanya-baca termasuk ROM, PROM, EPROM, dan EEPROM.
- Memori cache adalah memori yang digunakan untuk menyimpan data yang sering diakses dengan cepat oleh CPU, dengan tujuan meningkatkan kecepatan akses data.
- Sifat Circuit pada Cell Memori mencakup kestabilan data, kecepatan akses, kapasitas penyimpanan, dan konsumsi daya.

- Dalam memilih elemen penyimpanan dan cell memori, terdapat tradeoff yang perlu dipertimbangkan, seperti kecepatan akses, kapasitas penyimpanan, dan kompleksitas desain.
- Rangkaian logika digital, seperti flip-flop, latch, dan register, digunakan dalam menyimpan dan menggerakkan data dalam sistem komputer.
- Desain rangkaian waktu penting untuk mengatur aliran data dan sinkronisasi dalam unit penyimpanan.

## **F. Evaluasi Pengatahuan**

Berikut adalah beberapa soal untuk menguji pemahaman berdasarkan materi modul yang sudah dibawah ini. Latihan berupa pertanyaan yang harus dijawab terdiri dari 5 pertanyaan.

- 1 Jelaskan perbedaan antara memori utama (RAM) dan memori hanya-baca (ROM). Sertakan karakteristik, fungsi, dan penggunaan masing-masing jenis memori tersebut!
- 2 Bagaimana prinsip kerja memori cache dalam meningkatkan kinerja sistem komputer? Jelaskan mekanisme pengambilan data dari memori cache dan penggantian data dalam cache!
- 3 Apa perbedaan antara latch dan flip-flop? Jelaskan prinsip kerja keduanya dan berikan contoh implementasinya dalam desain rangkaian digital!
- 4 Jelaskan perbedaan antara transistor nMOS dan pMOS dalam konteks desain rangkaian logika digital. Sertakan karakteristik, prinsip kerja, dan aplikasi masing-masing transistor!

## **G. Referensi**

Taufik, M. (2018). *Arsitektur Komputer*. Andi Publisher.

Riyanto, B., & Irianto, K. (2019). *Sistem Digital: Teori, Desain, dan Implementasi*. Andi Publisher.

Silaban, A. S. (2016). *Sistem Mikroprosesor dan Perangkat Kerasnya*. Informatika.

Yulianto, A. (2015). *Dasar-Dasar Arsitektur Komputer*. Penerbit Deepublish.

Mahadewi, E., & Hartanto, R. (2017). *Teknologi VLSI (Very Large Scale Integration)*. Andi Publisher.

## **BAB 3**

### **TEKNIK ANTARMUKA KELUARGA LOGIKA**

#### **A. Pendahuluan**

Teknik Antarmuka Keluarga Logika merupakan salah satu aspek penting dalam desain dan implementasi sistem digital. Dalam dunia elektronik, berbagai komponen dan perangkat menggunakan keluarga logika yang berbeda untuk berkomunikasi antara satu sama lain. Teknik antarmuka memungkinkan interaksi yang efektif antara keluarga logika yang berbeda dan memastikan kompatibilitas sinyal. Kita akan mempelajari tentang konsep dasar teknik antarmuka keluarga logika, antarmuka sinyal dalam sistem dan di luar sistem, karakteristik terminal pada keluarga logika dan pentingnya antarmuka standar, teknik interfacing antara keluarga logika yang berbeda, konversi sinyal dari mode single ended ke mode differential dan sebaliknya.

#### **B. Capaian Pembelajaran**

- 1 Memahami konsep dasar teknik antarmuka keluarga logika.
- 2 Menjelaskan perbedaan dan karakteristik keluarga logika yang umum digunakan.
- 3 Memahami antarmuka sinyal dalam sistem dan di luar sistem.
- 4 Mengidentifikasi karakteristik terminal dalam keluarga logika dan pentingnya antarmuka standar.
- 5 Memahami teknik interfacing antara keluarga logika yang berbeda.
- 6 Menjelaskan konversi sinyal single ended to differential dan differential to single ended.

#### **C. Tujuan Pembelajaran**

- 1 Memahami pentingnya teknik antarmuka keluarga logika dalam desain sistem digital.
- 2 Menjelaskan fungsi dan karakteristik keluarga logika yang umum digunakan.
- 3 Mengerti bagaimana antarmuka sinyal bekerja dalam sistem dan di luar sistem.
- 4 Menjelaskan peran karakteristik terminal dan antarmuka standar dalam komunikasi perangkat.
- 5 Memahami teknik interfacing yang digunakan untuk menghubungkan keluarga logika yang berbeda.
- 6 Mengerti konversi sinyal single ended to differential dan differential to single ended dalam antarmuka.

## **D. Pembahasan**

### **1 Teknik Antarmuka Keluarga Logika**

Keluarga logika dalam elektronika mengacu pada kumpulan perangkat logika digital dengan arsitektur dan karakteristik yang serupa. Setiap keluarga logika memiliki struktur internal yang konsisten dalam hal tipe transistor yang digunakan, prinsip operasi, dan parameter kinerja. Keluarga logika ini memberikan dasar bagi desainer elektronika untuk memilih perangkat yang paling sesuai dengan kebutuhan aplikasi mereka. Contoh keluarga logika adalah TTL, CMOS, ECL.

TTL (Transistor-Transistor Logic): Ini adalah salah satu keluarga logika yang paling populer dan digunakan secara luas. TTL menggunakan transistor bipolar sebagai komponen utama dan memiliki tegangan tinggi (logic "1") sekitar 5V dan tegangan rendah (logic "0") sekitar 0V. CMOS (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor): Ini adalah keluarga logika yang menggunakan transistor MOSFET sebagai komponen utama. CMOS memiliki konsumsi daya yang lebih rendah daripada TTL dan dapat beroperasi pada tegangan rendah, seperti 3.3V atau 1.8V. ECL (Emitter-Coupled Logic): Ini adalah keluarga logika yang beroperasi pada tegangan negatif. ECL memiliki kecepatan yang sangat tinggi dan digunakan dalam aplikasi yang membutuhkan kecepatan pemrosesan yang sangat tinggi, seperti dalam sistem komunikasi dan komputer super.

Pemahaman tentang keluarga logika penting untuk menunjang kompatibilitas, kinerja dan karakteristik, dan kesesuaian aplikasi rangkain. Contoh dalam hal kompatibilitas, ketika merancang sistem elektronik yang kompleks, perangkat dari berbagai keluarga logika mungkin harus saling berinteraksi. Dalam hal ini, memahami keluarga logika yang digunakan oleh setiap perangkat adalah penting untuk memastikan kompatibilitas sinyal dan pemrosesan data yang akurat. Pada kinerja dan karakteristik, keluarga logika memiliki kelebihan dan kelemahan sendiri dalam hal kecepatan, konsumsi daya, tegangan operasional, dan toleransi kebisingan. Dengan memilih keluarga logika yang tepat, desainer dapat mengoptimalkan kinerja sistem sesuai dengan kebutuhan aplikasi, seperti dalam hal kecepatan, keandalan, atau efisiensi daya. Pada kesesuaian aplikasi, keluarga logika lebih cocok untuk aplikasi tertentu daripada yang lain. Misalnya, CMOS sangat sesuai untuk aplikasi berdaya rendah, sedangkan ECL lebih cocok untuk sistem yang membutuhkan kecepatan tinggi. Dengan memahami karakteristik dan jenis keluarga logika yang tersedia, desainer dapat memilih yang paling sesuai dengan kebutuhan spesifik aplikasi mereka.



Teknik antarmuka keluarga logika adalah suatu pendekatan dalam desain rangkaian terintegrasi yang memungkinkan berbagai keluarga logika dengan karakteristik yang berbeda untuk saling beroperasi. Tujuan utama dari teknik antarmuka keluarga logika adalah untuk memfasilitasi komunikasi dan interaksi antara komponen-komponen berbeda dengan mempertahankan kompatibilitas dan kesesuaian antara mereka.

Salah satu aspek penting dari teknik antarmuka keluarga logika adalah pengaturan sinyal antarmuka yang memungkinkan komponen dari keluarga logika yang berbeda untuk berinteraksi secara efektif. Biasanya, sinyal antarmuka melibatkan sinyal-sinyal seperti sinyal input, sinyal output, sinyal kontrol, dan sinyal daya yang dirancang dengan standar yang sama untuk memastikan kompatibilitas. Manfaat utama dari teknik antarmuka keluarga logika adalah kemampuannya untuk mengintegrasikan komponen-komponen yang menggunakan keluarga logika yang berbeda dalam satu sistem atau rangkaian. Ini memungkinkan desainer untuk memilih komponen terbaik dari setiap keluarga logika berdasarkan kebutuhan dan kriteria desain tertentu, tanpa terkendala oleh kompatibilitas antar keluarga logika. Teknik ini juga memungkinkan fleksibilitas dalam memperluas dan memperbarui sistem yang ada dengan mempertimbangkan karakteristik dan fitur-fitur terbaru dari keluarga logika yang berbeda.

Dalam praktiknya, ketika kita ingin menghubungkan perangkat mikrokontroler yang menggunakan keluarga logika TTL dengan perangkat eksternal yang menggunakan keluarga logika CMOS, kita perlu memastikan bahwa sinyal antarmuka dapat diterima dan diproses dengan benar oleh kedua perangkat.

### **Praktik:**

Implementasi Antarmuka Sederhana antara Mikrokontroler TTL dan Perangkat CMOS  
Dalam praktik ini, kita akan mengimplementasikan antarmuka sederhana antara mikrokontroler menggunakan keluarga logika TTL dan perangkat eksternal menggunakan keluarga logika CMOS. Langkah-langkahnya sebagai berikut:

Bahan yang dibutuhkan:

- Mikrokontroler berbasis TTL (misalnya Arduino Uno)
- Perangkat eksternal berbasis CMOS (misalnya sensor CMOS)
- Breadboard
- Kabel penghubung

Langkah-langkah:

1. Hubungkan pin keluaran mikrokontroler TTL yang akan digunakan sebagai sinyal output ke pin masukan perangkat eksternal CMOS. Pastikan menggunakan resistor penarik (pull-up atau pull-down) jika diperlukan untuk memastikan tegangan sinyal yang tepat.
2. Hubungkan pin keluaran perangkat eksternal CMOS yang akan digunakan sebagai sinyal output ke pin masukan mikrokontroler TTL. Gunakan resistor penarik jika diperlukan.
3. Pastikan untuk menjaga konsistensi tegangan operasional antara kedua keluarga logika. Jika ada perbedaan level tegangan, gunakan IC level shifter untuk mengubah level tegangan sesuai kebutuhan.
4. Program mikrokontroler untuk menghasilkan sinyal output yang sesuai, dan periksa apakah perangkat eksternal merespons dengan benar.
5. Uji dan verifikasi antarmuka dengan mengamati sinyal input dan output pada osiloskop atau menggunakan monitor serial pada mikrokontroler.

Dalam praktik ini, kita mencoba menghubungkan keluarga logika TTL dan CMOS, dan memastikan bahwa sinyal output dari mikrokontroler TTL dapat diterima dengan benar oleh perangkat eksternal CMOS, dan sebaliknya. Melalui praktik ini, kita dapat memahami pentingnya kompatibilitas sinyal antara keluarga logika yang berbeda dalam teknik antarmuka keluarga logika.

## **2 Antarmuka Sinyal Dalam sistem dan Diluar sistem.**

Antarmuka sinyal dalam sistem dan diluar sistem adalah konsep yang berkaitan dengan cara sinyal dikirimkan antara komponen dalam sistem elektronik atau di luar sistem tersebut. Sinyal ini dapat berupa data digital, sinyal kontrol, atau sinyal analog yang digunakan untuk komunikasi dan koordinasi antara berbagai komponen elektronik. Antarmuka sinyal dalam sistem mengacu pada titik atau jalur di dalam sistem elektronik atau komputer yang digunakan untuk menghubungkan komponen atau subsistem yang berbeda. Ini melibatkan pertukaran sinyal dan informasi antara komponen atau subsistem yang terlibat dalam sistem tersebut. Antarmuka sinyal dalam sistem sering digunakan untuk mentransfer data, mengirim perintah atau sinyal kontrol, dan menyediakan koneksi fisik atau logis antara komponen-komponen tersebut.

Antarmuka sinyal luar sistem merujuk pada titik atau jalur yang menghubungkan sistem elektronik atau komputer dengan komponen eksternal atau lingkungan di luar sistem tersebut. Ini melibatkan pertukaran sinyal dan informasi antara sistem dan komponen eksternal, seperti perangkat input/output (I/O), sensor, aktuator, atau jaringan komunikasi. Antarmuka sinyal luar

sistem penting untuk menghubungkan sistem dengan dunia luar, memungkinkan input dan output data, mengirim dan menerima sinyal komunikasi, atau berinteraksi dengan perangkat atau sistem lain.

Pada praktiknya, antarmuka sinyal dalam sistem dan diluar sistem sering melibatkan penggunaan protokol komunikasi yang ditentukan, seperti I2C, SPI, UART, atau USB. Protokol ini mendefinisikan format, aturan, dan timing untuk pertukaran data dan kontrol antara komponen. Contoh praktik terkait antarmuka sinyal dalam sistem adalah pengaturan dan penggunaan bus data dan bus kontrol dalam sebuah sistem komputer. Praktik ini melibatkan pemahaman tentang pengalamatan memori, pengaturan transfer data, dan penanganan sinyal kontrol untuk mengoordinasikan operasi komponen dalam sistem. Sedangkan antarmuka sinyal diluar sistem adalah penggunaan antarmuka UART untuk mengirim dan menerima data serial antara mikrokontroler dan perangkat eksternal, seperti modul Bluetooth atau sensor suhu. Praktik ini melibatkan konfigurasi dan pengaturan parameter UART, seperti baud rate dan format data, serta penggunaan perintah komunikasi yang sesuai untuk memastikan kompatibilitas dan transfer data yang benar.

Baik antarmuka sinyal dalam sistem maupun antarmuka sinyal luar sistem berperan penting dalam menghubungkan dan mengoordinasikan komponen-komponen dalam suatu sistem. Mereka memastikan transfer sinyal yang andal, kompatibilitas, dan konsistensi dalam pertukaran informasi antara berbagai komponen atau dengan lingkungan eksternal. Desain yang baik dan implementasi yang tepat dari antarmuka sinyal dalam dan luar sistem sangat penting untuk memastikan kinerja sistem secara keseluruhan.

### **3 Karakteristik Terminal Keluarga Logika dan Antarmuka Standar**

Karakteristik terminal keluarga logika merujuk pada sifat-sifat fisik dan listrik dari terminal (pin) yang digunakan dalam komponen-komponen logika dalam suatu keluarga logika. Setiap terminal memiliki peran dan fungsi khusus, seperti sebagai input, output, atau power supply. Karakteristik terminal mencakup parameter seperti tegangan tingkat logika, arus input/output, dan kapasitansi input/output. Mengetahui karakteristik terminal ini sangat penting karena mempengaruhi kinerja, kecepatan, dan keandalan sistem secara keseluruhan. Sedangkan antarmuka standar ini merujuk pada aturan dan konvensi yang telah ditetapkan oleh industri untuk komunikasi antara komponen elektronik dari berbagai produsen. Antarmuka standar menyediakan

metode dan protokol yang telah disepakati secara umum untuk mentransmisikan data atau sinyal antara perangkat yang berbeda. Hal ini memungkinkan komponen-komponen dari produsen yang berbeda untuk berinteraksi dengan lancar dan saling terhubung tanpa masalah kompatibilitas.

Terminal dalam keluarga logika dan antarmuka standar adalah titik-titik yang digunakan untuk menghubungkan komponen dan perangkat dalam suatu sistem elektronik. Setiap terminal memiliki karakteristik tertentu yang mendefinisikan fungsi dan interaksi antarmuka tersebut. Berikut adalah penjelasan ilmiah mengenai karakteristik terminal dalam keluarga logika dan antarmuka standar:

1. Terminal Input:

- Tegangan Logika: Terminal input menerima tegangan atau sinyal logika sebagai input. Tegangan logika dapat berupa tingkat tegangan tertentu yang mewakili nilai logika "0" atau "1" sesuai dengan standar yang digunakan, seperti TTL (Transistor-Transistor Logic) atau CMOS (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor).
- Impedansi Input: Terminal input memiliki impedansi yang menentukan sejauh mana terminal dapat menerima sinyal tanpa terpengaruh oleh sirkuit sebelumnya. Impedansi input yang tinggi meminimalkan pembebanan sinyal sebelumnya, sedangkan impedansi input yang rendah dapat menghasilkan konsumsi daya yang lebih rendah.

2. Terminal Output:

- Tegangan Logika: Terminal output menghasilkan tegangan atau sinyal logika sebagai output. Tegangan logika output berada pada tingkat yang sesuai dengan standar yang digunakan.
- Daya Keluaran: Terminal output memiliki kemampuan untuk menghasilkan daya yang cukup untuk menggerakkan komponen atau perangkat yang terhubung ke terminal tersebut. Kemampuan daya keluaran ditentukan oleh arus maksimum dan tegangan keluaran yang dapat disediakan oleh sirkuit.

3. Terminal Daya (Power):

- Terminal daya menyediakan tegangan daya yang diperlukan untuk mengoperasikan komponen atau perangkat dalam sistem. Terminal daya biasanya memiliki tegangan tetap yang telah ditentukan sesuai dengan kebutuhan sistem, seperti  $V_{cc}$  (Tegangan kolektor-ke-kolektor) atau  $V_{dd}$  (Tegangan drain-to-drain).

- Arus Keluaran: Terminal daya memiliki kemampuan untuk menyediakan arus keluaran yang cukup untuk memenuhi kebutuhan daya komponen atau perangkat yang terhubung. Kemampuan arus keluaran ditentukan oleh daya maksimum yang dapat disediakan oleh sumber daya.
4. Terminal Ground (GND):
- Terminal ground adalah titik referensi tegangan nol dalam sistem. Terminal ini digunakan untuk menghubungkan semua komponen dan perangkat dalam sistem sehingga memiliki titik referensi yang sama untuk tegangan.
  - Isolasi Ground: Terminal ground harus diisolasi dengan baik dari sumber gangguan dan noise eksternal untuk menjaga kualitas sinyal dan kestabilan sistem. Isolasi yang baik mencakup pemisahan fisik dan penggunaan teknik penghambat atau filter untuk menghilangkan gangguan.

Perbandingan yang spesifik dapat diberikan dengan melihat contoh dua keluarga logika yang berbeda, misalnya keluarga logika TTL (Transistor-Transistor Logic) dan CMOS (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor). Dalam hal karakteristik terminal, TTL menggunakan tegangan logika 0-5V dengan arus output yang lebih tinggi daripada CMOS, sedangkan CMOS menggunakan tegangan logika 0-3.3V atau 0-5V dengan arus output yang lebih rendah. Dalam hal antarmuka standar, TTL umumnya menggunakan antarmuka logika TTL standar yang kompatibel dengan komponen TTL lainnya, sedangkan CMOS dapat menggunakan antarmuka standar seperti I2C atau SPI yang digunakan secara luas dalam industri. Memahami karakteristik terminal dan menggunakan antarmuka standar dengan tepat, desainer dapat mengoptimalkan kinerja sistem, memastikan kompatibilitas komponen, meningkatkan interoperabilitas, dan mempermudah integrasi dengan perangkat eksternal.

#### **4 Teknik Interfacing Antar Keluarga Keluarga Logika**

Teknik interfacing antara keluarga logika adalah proses menghubungkan perangkat atau sistem yang menggunakan keluarga logika yang berbeda. Keluarga logika adalah kumpulan perangkat elektronik dengan karakteristik dan parameter yang spesifik, seperti tingkat tegangan logika, karakteristik waktu, konsumsi daya, dan lain-lain. Teknik interfacing antara keluarga logika memungkinkan integrasi perangkat dengan keluarga logika yang berbeda agar dapat saling berinteraksi dan beroperasi secara efisien. Dalam suatu sistem elektronik, mungkin diperlukan

penggunaan berbagai jenis keluarga logika, seperti TTL (Transistor-Transistor Logic), CMOS (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor), ECL (Emitter-Coupled Logic), atau keluarga logika lainnya. Namun, karena perbedaan karakteristik antara keluarga logika tersebut, diperlukan teknik interfacing untuk memastikan bahwa sinyal dan data dapat dipindahkan dengan benar antara perangkat-perangkat dalam sistem.

Adapun penerapan teknik Interfacing antara keluarga logika TTL dan CMOS dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa komponen dan teknik. Berikut adalah beberapa langkah umum yang dapat diambil:

1. **Level Tegangan:** Keluarga logika TTL menggunakan level tegangan TTL yang khas, yaitu sekitar 0-5 volt, sedangkan CMOS menggunakan level tegangan CMOS yang khas, yaitu sekitar 0-3.3 volt atau 0-5 volt tergantung pada jenisnya. Untuk menghubungkan kedua keluarga logika ini, perlu dilakukan penyesuaian level tegangan. Hal ini dapat dilakukan dengan menggunakan buffer level tegangan atau level shifter yang dapat mengubah level tegangan TTL menjadi level tegangan CMOS yang sesuai atau sebaliknya.
2. **Sinkronisasi Waktu:** Keluarga logika TTL dan CMOS memiliki karakteristik waktu yang berbeda, seperti kecepatan switching dan waktu tunda. Perbedaan ini dapat mempengaruhi sinkronisasi sinyal antara perangkat TTL dan CMOS. Untuk mengatasi ini, perlu memperhatikan waktu propagasi dan waktu tunda antara kedua keluarga logika tersebut. Dengan mempertimbangkan karakteristik waktu masing-masing keluarga logika, dapat dilakukan penyesuaian timing dan sinkronisasi sinyal untuk memastikan operasi yang benar antara perangkat TTL dan CMOS.
3. **Penyesuaian Arus:** Keluarga logika TTL dan CMOS memiliki konsumsi daya yang berbeda. TTL cenderung memiliki konsumsi daya yang lebih tinggi daripada CMOS. Oleh karena itu, saat melakukan interfacing antara keduanya, perlu diperhatikan penyesuaian arus dan pengaturan daya yang tepat. Hal ini dapat melibatkan penggunaan resistor atau komponen lain untuk menyesuaikan arus yang diperlukan oleh perangkat TTL dengan arus yang dapat ditoleransi oleh perangkat CMOS.
4. **Kompatibilitas Protokol:** Keluarga logika TTL dan CMOS dapat menggunakan protokol komunikasi yang berbeda. Misalnya, TTL menggunakan logika positif, sedangkan CMOS dapat menggunakan logika positif atau negatif. Untuk menghubungkan antara keduanya, perlu

dipastikan bahwa protokol komunikasi yang digunakan oleh perangkat TTL dan CMOS cocok. Hal ini dapat melibatkan konversi atau adaptasi protokol yang sesuai untuk memastikan kompatibilitas.

Dengan mengikuti langkah-langkah di atas, interfacing antara keluarga logika TTL dan CMOS dapat dilakukan secara efektif. Namun, perlu diingat bahwa setiap aplikasi dan konfigurasi spesifik dapat memiliki persyaratan interfacing yang berbeda.

## **5 Konversi Singel Ended To Differential & Differential To Singel Ended**

Dalam antarmuka keluarga logika, sering kali terdapat perbedaan dalam level sinyal atau jenis antarmuka yang digunakan antara komponen-komponen yang berbeda. Salah satu tugas penting dalam desain sistem adalah melakukan konversi sinyal antara jenis antarmuka yang berbeda untuk memastikan kompatibilitas dan transmisi yang tepat. Konversi single-ended to differential (SE to DIFF) dan differential to single-ended (DIFF to SE) adalah dua teknik yang digunakan dalam antarmuka sinyal untuk mengubah karakteristik sinyal dari satu bentuk ke bentuk lainnya. Sinyal Differential sering digunakan karena memiliki keunggulan dalam mengurangi noise dan interferensi yang dapat mempengaruhi kualitas sinyal.

Oleh karena itu, jika terdapat komponen yang menggunakan antarmuka Single Ended, perlu dilakukan konversi sinyal tersebut menjadi Differential untuk memaksimalkan keuntungan dari sinyal Differential. Konversi sinyal ini dapat dilakukan menggunakan rangkaian elektronik seperti Differential Amplifier atau Line Driver, yang berfungsi mengubah karakteristik sinyal antarmuka menjadi sesuai dengan kebutuhan. Dengan menggunakan teknik konversi SE-to-Diff dan Diff-to-SE, kita dapat mengintegrasikan perangkat yang menggunakan antarmuka yang berbeda dengan lebih mudah dan memastikan transmisi sinyal yang akurat dan efektif antara komponen-komponen tersebut.

Konversi SE to DIFF melibatkan mengubah sinyal single-ended menjadi sinyal differential. Sinyal single-ended adalah sinyal yang dirujuk terhadap titik referensi tertentu, sedangkan sinyal differential terdiri dari dua sinyal yang masing-masing memiliki fase yang berlawanan tetapi amplitudo yang sama. Proses ini dilakukan dengan menggunakan sebuah rangkaian pengubah (converter) yang menghasilkan dua sinyal dengan polaritas yang berlawanan tetapi memiliki amplitudo yang sama dengan sinyal single-ended asli. Konversi ini dapat meningkatkan kekuatan sinyal, mengurangi noise, dan meningkatkan ketahanan terhadap gangguan elektromagnetik.

Misalkan Anda memiliki sebuah mikrofon elektret yang menghasilkan sinyal audio Single Ended. Anda ingin menghubungkannya ke preamp audio yang menggunakan antarmuka Differential. Untuk mengkonversi sinyal SE menjadi sinyal Differential, Anda dapat menggunakan sebuah Differential Amplifier. Sinyal SE dari mikrofon akan dihubungkan ke salah satu input Differential Amplifier, sementara input lainnya dihubungkan dengan referensi ground. Output Differential Amplifier akan menghasilkan pasangan sinyal Differential yang bisa digunakan untuk menghubungkan ke preamp audio.

Konversi DIFF to SE melibatkan mengubah sinyal differential menjadi sinyal single-ended. Sinyal differential memiliki dua sinyal dengan polaritas yang berlawanan tetapi amplitudo yang sama. Konversi ini dapat dilakukan dengan menggunakan rangkaian pengubah (converter) yang menggabungkan dua sinyal differential tersebut menjadi satu sinyal single-ended. Proses ini menghasilkan sinyal yang dirujuk terhadap titik referensi tertentu, sehingga mengurangi kompleksitas rangkaian dan memungkinkan penggunaan perangkat atau komponen yang hanya mendukung sinyal single-ended. Misalkan Anda memiliki sebuah antarmuka audio yang menerima sinyal audio Differential dan Anda ingin menghubungkannya ke sebuah speaker yang menggunakan antarmuka Single Ended. Anda perlu mengkonversi sinyal Differential menjadi sinyal Single Ended agar sesuai dengan antarmuka speaker. Anda dapat menggunakan sebuah Differential Amplifier sebagai Line Driver untuk melakukan konversi ini. Sinyal Differential dari antarmuka audio akan dihubungkan ke input Differential Amplifier, sementara outputnya akan menjadi sinyal Single Ended yang dapat dihubungkan langsung ke speaker.

## **E. Rangkuman**

- Keluarga logika mengacu pada kumpulan perangkat logika digital dengan arsitektur dan karakteristik yang serupa, seperti TTL, CMOS, dan ECL.
- Memahami keluarga logika penting untuk memilih perangkat yang sesuai dengan kebutuhan aplikasi, memastikan kompatibilitas sinyal, dan mengoptimalkan kinerja sistem.
- Teknik antarmuka keluarga logika memungkinkan berbagai keluarga logika dengan karakteristik yang berbeda untuk saling beroperasi dan mengintegrasikan komponen-komponen yang menggunakan keluarga logika yang berbeda dalam satu sistem.
- Antarmuka sinyal dalam sistem menghubungkan komponen atau subsistem yang berbeda dalam sistem elektronik, melibatkan pertukaran sinyal dan informasi.



- Antarmuka sinyal luar sistem menghubungkan sistem elektronik dengan komponen eksternal atau lingkungan di luar sistem, memungkinkan interaksi dengan perangkat I/O, sensor, aktuator, atau jaringan komunikasi.
- Protokol komunikasi seperti I2C, SPI, UART, atau USB digunakan dalam antarmuka sinyal dalam dan luar sistem.
- Karakteristik terminal keluarga logika mencakup tegangan tingkat logika, arus input/output, dan kapasitansi input/output. Mengetahui karakteristik ini penting untuk mempengaruhi kinerja dan keandalan sistem.
- Antarmuka standar adalah aturan dan konvensi yang ditetapkan untuk komunikasi antara komponen elektronik dari berbagai produsen, memastikan kompatibilitas dan konektivitas yang baik.

#### **F. Evaluasi Pembelajaran**

- 1 Jelaskan apa yang dimaksud dengan teknik antarmuka keluarga logika. Mengapa penting dalam sistem digital?
- 2 Gambarkan dan jelaskan karakteristik terminal yang umum ditemukan dalam keluarga logika.
- 3 Apa perbedaan antara antarmuka sinyal dalam sistem dan di luar sistem? Berikan contoh masing-masing.
- 4 Mengapa antarmuka standar penting dalam komunikasi perangkat? Berikan contoh antarmuka standar yang umum digunakan.
- 5 Jelaskan teknik interfacing yang digunakan untuk menghubungkan keluarga logika yang berbeda.
- 6 Apa yang dimaksud dengan konversi single ended to differential dan differential to single ended? Mengapa konversi ini penting dalam antarmuka?

#### **G. Referensi**

Widyarto, S. (2010). Sistem Digital. Jakarta: Andi Offset.  
 Kadir, A. (2004). Mikroprosesor dan Mikrokontroler. Yogyakarta: Andi Offset.  
 Arwani, M. Y. (2015). Elektronika Digital. Jakarta: Erlangga.  
 Sutikno. (2008). Antarmuka Mikroprosesor dan Perangkat Tambahan. Yogyakarta: Graha Ilmu.  
 Rahman, F. (2012). Prinsip-prinsip Sistem Digital. Jakarta: Salemba Teknika.

## **BAB 4**

### **OPERATIONAL AMPLIFIER (OP-AMP)**

#### **A. Pendahuluan**

Pada modul ini, kami akan membahas tentang Operational Amplifier (OP-AMP). Kami akan menjelaskan definisi OP-AMP, sifat-sifatnya, serta berbagai jenis rangkaian yang dapat dibangun menggunakan OP-AMP. Modul ini juga akan membahas tentang karakteristik non-ideal OP-AMP, rangkaian sederhana non-ideal OP-AMP, dan multistage rangkaian OP-AMP. Melalui modul ini, diharapkan peserta dapat memahami prinsip kerja OP-AMP, kemampuan penguatannya, serta aplikasi praktisnya dalam berbagai rangkaian elektronika. Dengan fleksibilitas dan kinerja yang tinggi, OP-AMP telah menjadi dasar dalam pengembangan teknologi elektronika modern. Pemahaman yang baik tentang prinsip kerja dan karakteristik OP-AMP akan sangat bermanfaat bagi para desainer, teknisi, dan hobiis elektronika dalam merancang dan membangun rangkaian yang efisien, akurat, dan handal.

## **B. Capaian Pembelajaran**

- 1 Menjelaskan definisi dan karakteristik dasar dari OP-AMP.
- 2 Mengidentifikasi sifat-sifat OP-AMP, termasuk penguatan terbuka, impedansi input/output, slew rate, dan bandwidth.
- 3 Membangun dan menganalisis rangkaian OP-AMP inverting dan non-inverting.
- 4 Merancang rangkaian penjumlah, differensial, integrator, dan filter low pass menggunakan OP-AMP.
- 5 Menggambarkan dan memahami karakteristik non-ideal OP-AMP, serta memperhitungkan pengaruhnya dalam perancangan rangkaian.
- 6 Membangun dan menganalisis rangkaian sederhana non-ideal OP-AMP.
- 7 Memahami penggunaan multistage rangkaian OP-AMP dan manfaatnya dalam aplikasi elektronika.

## **C. Tujuan Pembelajaran**

- 1 Memperkenalkan konsep dasar tentang OP-AMP dan pentingnya perannya dalam elektronika.
- 2 Memberikan pemahaman yang komprehensif tentang sifat-sifat OP-AMP dan penerapannya dalam rangkaian elektronika.
- 3 Menguasai berbagai jenis rangkaian yang dapat dibangun menggunakan OP-AMP, termasuk inverting, non-inverting, penjumlah, differensial, integrator, dan filter low pass.
- 4 Memahami karakteristik non-ideal OP-AMP dan bagaimana mengatasi pengaruhnya dalam perancangan rangkaian.
- 5 Mengembangkan keterampilan dalam merancang dan menganalisis rangkaian sederhana non-ideal OP-AMP.
- 6 Memahami manfaat dan aplikasi multistage rangkaian OP-AMP.

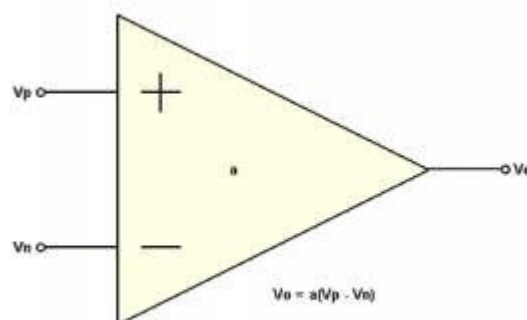
## **D. Pembahasan**

### **1 Definisi Operational Amplifier**

Operational Amplifier (OP-AMP) adalah sebuah komponen elektronik yang berfungsi sebagai penguat diferensial dengan penguatan tinggi. OP-AMP merupakan salah satu elemen penting dalam perancangan rangkaian elektronika, karena kemampuannya dalam memperkuat sinyal dan memanipulasi arus dan tegangan. OP-AMP biasanya digunakan dalam aplikasi

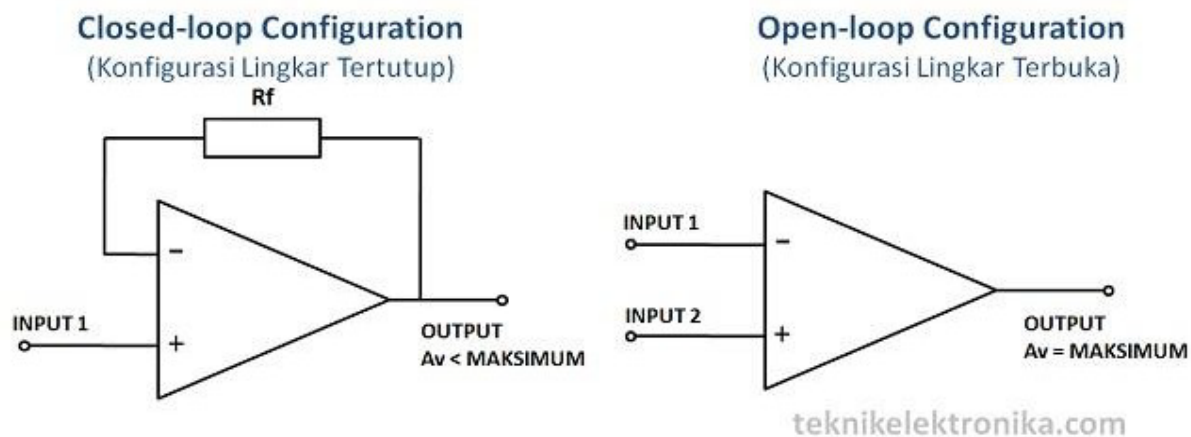
penguatan sinyal, penggabungan sinyal, pemrosesan sinyal, dan banyak lagi. OP-AMP adalah sebuah IC (Integrated Circuit) yang terdiri dari transistor-transistor logika (TTL) dan komponen lainnya yang dirangkai sedemikian rupa sehingga menghasilkan penguatan yang sangat tinggi. OP-AMP pertama kali diperkenalkan pada tahun 1941 oleh Karl D. Swartzel Jr. dari Bell Labs, namun penggunaan yang lebih luas dimulai pada tahun 1960-an dengan adanya teknologi produksi IC yang lebih baik.

Penguat Operasional (Operational Amplifier / Op-Amp) adalah penguat diferensial yang memiliki penguatan yang sangat tinggi. Op-Amp tersebut diproduksi secara massal dalam bentuk rangkaian terpadu yang harganya murah. Kegunaan dari Op-Amp berasal dari sifat dasar rangkaian umpan balik yang dengan jumlah besar umpan balik negatifnya, kinerja dari rangkaian tersebut benar-benar ditentukan oleh komponen umpan baliknya. Rangkaian Op-Amp dianalisis dengan akurasi yang baik tanpa menggunakan teori umpan balik dengan mengasumsikan bahwa Op-Amp tersebut adalah ideal. Kehadiran Op-Amp ideal dalam rangkaian penguat membatasi arus dan tegangan diferensial pada terminal input Op-Amp keduanya menjadi nol. Sebuah rangkaian Op-Amp dasar dan sangat berguna adalah penguat tegangan pembalik (inverting voltage amplifier). Rangkaian dasar lain Op-Amp adalah penguat tegangan non-pembalik (non-inverting voltage amplifier). Rangkaian ini memberikan amplifikasi tanpa membalik gelombang sinyal.



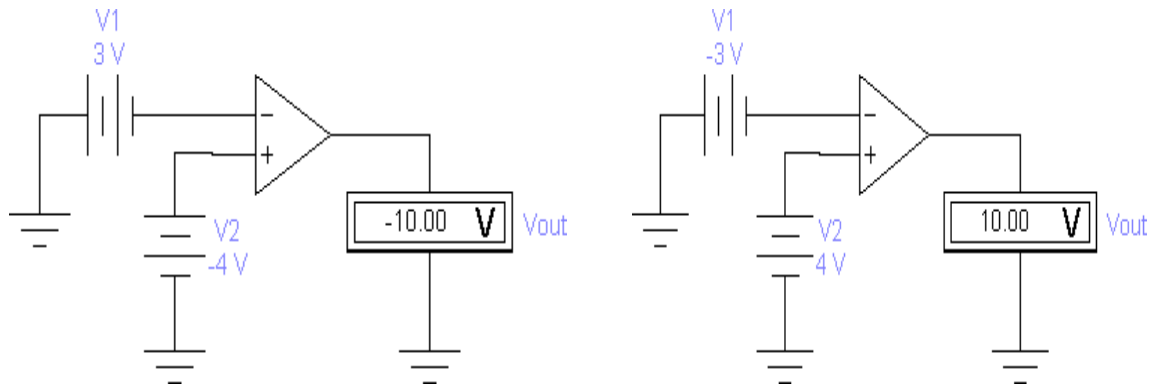
Prinsip dasar kerja OP-AMP adalah memperkuat selisih tegangan antara input inverting dan non-inverting. OP-AMP memiliki penguatan tegangan yang sangat tinggi (penguatan terbuka) sehingga selisih tegangan input yang kecil dapat menghasilkan tegangan output yang besar. Prinsip penguatan diferensial OP-AMP didasarkan pada penggunaan transistor sebagai penguat aktif dalam konfigurasi diferensial.

Karakteristik Faktor Penguat atau Gain pada Op-Amp pada umumnya ditentukan oleh Resistor Eksternal yang terhubung diantara Output dan Input pembalik (Inverting Input). Konfigurasi dengan umpan balik \_ank are (Negative Feedback) ini biasanya disebut dengan *Closed- Loop configuration* atau Konfigurasi Lingkar Tertutup. Umpan balik \_ank are ini akan menyebabkan penguatan atau gain menjadi berkurang dan menghasilkan penguatan yang dapat diukur serta dapat dikendalikan. Tujuan pengurangan Gain dari Op-Amp ini adalah untuk menghindari terjadinya Noise yang berlebihan dan juga untuk menghindari respon yang tidak diinginkan. Sedangkan pada Konfigurasi Lingkar Terbuka atau *Open-Loop Configuration*, besar penguatannya adalah tak terhingga ( $\infty$ ) sehinggabesarnya tegangan output hampir atau mendekati tegangan Vcc.



Pada mulanya Op-Amp digunakan untuk rangkaian perhitungan analog, rangkaian pengaturan instrumentasi. Fungsi utamanya adalah untuk melakukan operasi linier matematika (tegangan dan arus), \_ank aren dan penguatan. Namun kini Op-Amp dapat digunakan dimana saja, dalam berbagai bidang: reproduksi suara, system komunikasi, sistem pengolahan digital, elektronik komersial dan aneka macam perangkat hobbyist. Dalam penggunaannya Op-Amp dibagi menjadi dua jenis yaitu penguat linier dan penguat tidak linier. Penguat linier merupakan penguat yang tetap mempertahankan bentuk sinyal masukan, yang termasuk dalam penguat ini antara lain penguat non inverting, penguat inverting, penjumlahan diferensial dan penguat instrumentasi. Sedangkan penguat tidak linier merupakan penguat yang bentuk sinyal keluarannya tidak sama dengan bentuk sinyal masukannya, diantaranya komparator, integrator, diferensiator, pengubah bentuk gelombang dan pembangkit gelombang.

Salah satu fungsi yang penting dari Op-Amp adalah hubungan polaritas antara input terhadap output. Tegasnya, jika input pada (-) lebih positif daripada input pada (+), maka output akan menjadi \_ank are. Sebaliknya, jika input pada (-) lebih \_ank are daripada input pada (+), maka output akan menjadi positif.



## 2 Sifat OP AMP

OP-AMP memiliki beberapa sifat penting yang perlu dipahami dalam perancangan dan penggunaan rangkaian elektronika. Sifat-sifat ini mencakup parameter dan karakteristik kinerja OP-AMP yang mempengaruhi operasinya. Beberapa sifat-sifat OP-AMP yang umum dijelaskan sebagai berikut:

### 1. Penguatan Tegangan Besar (Gain):

OP-AMP memiliki penguatan tegangan yang sangat tinggi (umumnya ribuan hingga puluhan ribu). Penguatan tegangan ini mengacu pada rasio perubahan tegangan output terhadap perubahan tegangan input. Penguatan tegangan dapat dikendalikan dengan menggunakan umpan balik negatif pada rangkaian OP-AMP.

### 2. Impedansi Input:

Impedansi input merupakan resistansi efektif yang dilihat oleh sumber sinyal yang terhubung ke input OP-AMP. OP-AMP ideal memiliki impedansi input yang sangat tinggi, sehingga hanya mengalirkan arus masuk yang sangat kecil. Impedansi input yang tinggi menjaga agar sinyal input tidak terpengaruh oleh beban atau sirkuit sebelumnya.

### 3. Impedansi Output:

Impedansi output merupakan resistansi efektif dari output OP-AMP terhadap beban atau rangkaian selanjutnya. OP-AMP ideal memiliki impedansi output yang sangat rendah, sehingga

dapat memberikan sinyal output tanpa distorsi. Impedansi output yang rendah memastikan kemampuan OP-AMP untuk mendorong beban dengan baik.

#### 4. Pita Lebar (Bandwidth):

Pita lebar mengacu pada rentang frekuensi di mana OP-AMP dapat memberikan penguatan yang tinggi dengan tingkat kesalahan yang rendah. OP-AMP ideal memiliki pita lebar yang tidak terbatas, namun dalam kenyataannya ada batasan pita lebar yang bergantung pada desain dan karakteristik OP-AMP. Pemilihan OP-AMP yang sesuai perlu mempertimbangkan pita lebar yang dibutuhkan oleh aplikasi tertentu.

#### 5. Kestabilan:

Kestabilan OP-AMP berkaitan dengan respons frekuensi dan umpan balik yang digunakan dalam rangkaian. OP-AMP bisa menjadi tidak stabil jika umpan balik yang digunakan tidak memenuhi kriteria stabilitas yang diperlukan. Untuk menjaga stabilitas, komponen tambahan seperti kapasitor atau resistor dapat digunakan dalam desain rangkaian.

#### 6. Ketepatan (Accuracy):

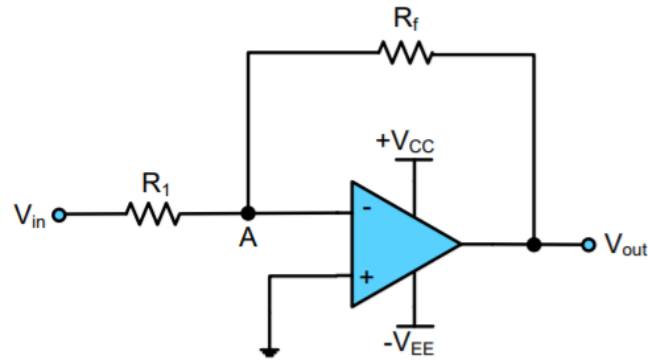
OP-AMP ideal memiliki ketepatan yang tinggi, artinya output OP-AMP akan secara akurat mengikuti perubahan inputnya. Namun, OP-AMP nyata memiliki ketidaksempurnaan yang dapat mempengaruhi ketepatan, seperti offset tegangan atau arus masuk yang kecil.

### **3 Rangkaian OP-AMP Inverting & Non-Inverting:**

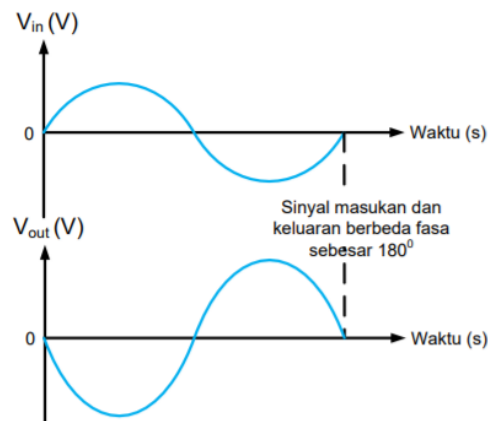
Rangkaian OP-AMP inverting dan non-inverting adalah dua konfigurasi umum yang menggunakan OP-AMP sebagai elemen utama. Kedua rangkaian ini memiliki karakteristik dan aplikasi yang berbeda. Berikut adalah penjelasan tentang masing-masing rangkaian:

#### **Rangkaian OP-AMP Inverting:**

Penguat Inverting adalah suatu rangkaian penguat yang berfungsi menguatkan sinyal akan tetapi sinyal yang dikuatkan akan berbanding terbalik 180 derajat dengan sinyal masukannya. Bentuk sinyal input output rangkaian inverting dapat dilihat pada gambar 2. Pada dasarnya penguat inverting digunakan sebagai pengkondisi sinyal inputan sensor yang terlalu kecil sehingga dibutuhkan penguatan untuk diproses.



Salah satu fungsi pemasangan resistor umpan balik (feedback) atau pada gambar **R<sub>2</sub>** dan resistor input **R<sub>1</sub>** adalah untuk mengatur faktor penguatan inverting amplifier (penguat membalik) tersebut. Dengan dipasangnya resistor feedback (**R<sub>f</sub>**) dan resistor input (**R<sub>1</sub>**) maka faktor penguatan dari penguat membalik dapat diatur dari 1 sampai 100.000 kali. Berikut adalah gambar sinyal input dan output penguatan Inverting



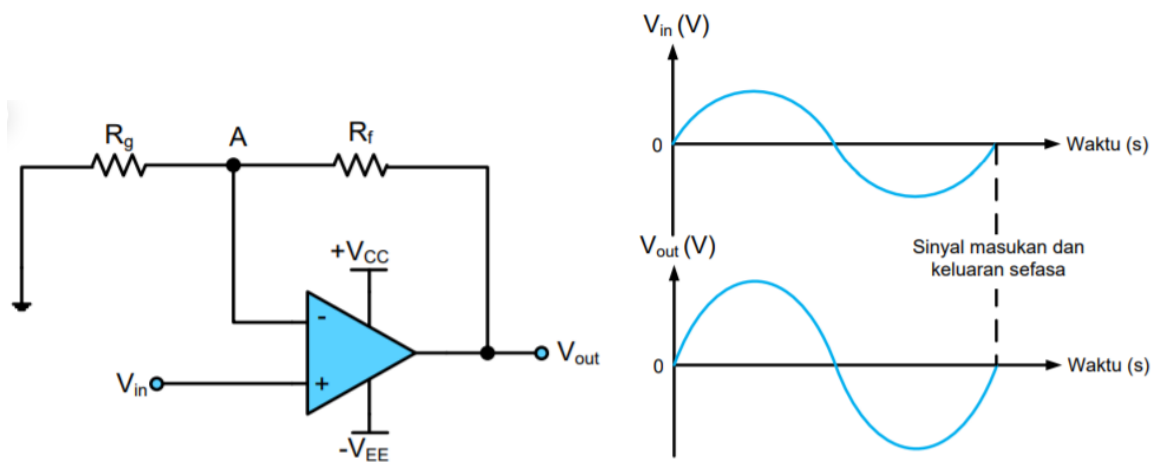
Fungsi penguat inverting, contoh keluaran sensor dan transduser pada umumnya mempunyai tegangan yang sangat kecil hingga mikro volt, sehingga diperlukan penguat dengan impedansi masukan rendah. Rangkaian penguat inverting merupakan rangkaian penguat pembalik dengan impedansi masukan sangat rendah. Rangkaian penguat inverting akan menerima arus atau tegangan dari transduser sangat kecil dan akan membangkitkan arus atau tegangan yang lebih besar

### **Op Amp Sebagai Penguat Non Inverting**

Penguat Non Inverting adalah suatu rangkaian penguat yang berfungsi menguatkan sinyal dan hasil sinyal yang dikuatkan tetap sefasa dengan sinyal inputannya, hasil dari sinyal input dan output rangkaian non inverting dapat dilihat pada Gambar 1. Pada dasarnya penguat non inverting



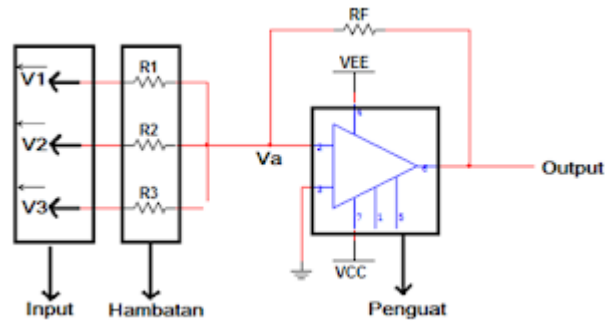
digunakan sebagai pengkondisi sinyal inputan sensor yang terlalu kecil sehingga dibutuhkan penguatan untuk diproses. intinya penguat non inverting ke balikkan dari penguat inverting. Penguat Non Inverting adalah suatu rangkaian penguat yang berfungsi menguatkan sinyal dan hasil sinyal yang dikuatkan tetap sefasa dengan sinyal inputannya, hasil dari sinyal input dan output rangkaian non inverting dapat dilihat pada Gambar 1. Pada dasarnya penguat non inverting digunakan sebagai pengkondisi sinyal inputan sensor yang terlalu kecil sehingga dibutuhkan penguatan untuk diproses. intinya penguat non inverting ke balikkan dari penguat inverting.



Fungsi dari penguat non inverting kurang lebih sama dengan penguat inverting hanya saja polaritas output yang dihasilkan sama dengan sinyal inputnya. Keluaran sensor dan tranduser pada umumnya mempunyai tegangan yang sangat kecil hingga mikro volt, sehingga diperlukan penguat dengan impedansi masukan rendah. Rangkaian penguat non inverting akan menerima arus atau tegangan dari tranduser sangat kecil dan akan membangkitkan arus atau tegangan yang lebih besar

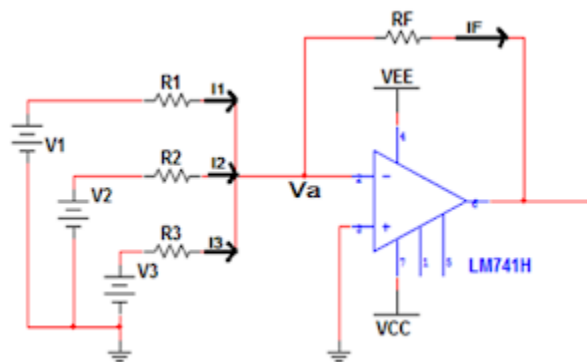
#### 4 Rangkaian Penjumlahan dan diferensial

Rangkaian penjumlah adalah konfigurasi op – amp sebagai penguat dengan diberikan input lebih dari satu untuk menghasilkan sinyal output yang linier yang sesuai dengan nilai penjumlahan sinyal input dan faktor penguat yang ada. Pada umumnya rangkaian penjumlah adalah rangkaian penjumlah dasar yang disusun dengan penguat *inverting* dan *non inverting* yang diberikan input 1 line.



Rangkaian penjumlah menggunakan OP-AMP digunakan untuk menjumlahkan beberapa sinyal input menjadi satu sinyal output. Terdapat dua jenis rangkaian penjumlah yang umum digunakan, yaitu rangkaian penjumlah inverting dan non-inverting.

### Penggunaan Penjumlahan Inverting



Pada operasi *adder*/penjumlahan sinyal secara *inverting*, input yang berada pada V1, V2, V3 di hubungkan dengan hambatan yaitu R1, R2, dan R3 setelah di hubungkan dengan hambatan, lalu di hubungkan dengan masukan negatif pada op-amp. Besarnya penjumlahan sinyal masukan tersebut bernilai negatif karena penguat operasional dioperasikan pada mode membalik. Besarnya penguatan tegangan ( $A_v$ ) tiap sinyal input mengikuti nilai perbandingan  $R_f$  dan resistor input masing-masing (R1, R2, R3). Terdapat penurunan persamaan untuk mencari nilai dari rangkaian ini.

- Mencari arus ( $I_f$ ).

$$I_1 + I_2 + \dots + I_n + I_f = 0$$

$$I_f = -(I_1 + I_2 + \dots + I_n)$$

$$I_f = -\left[\left(\frac{V_1}{R_1}\right) + \left(\frac{V_2}{R_2}\right) + \dots + \left(\frac{V_n}{R_n}\right)\right]$$

- Rumus dasar penguat inverting

$$V_{out} = -\frac{R_f}{R} \times V_{in}$$

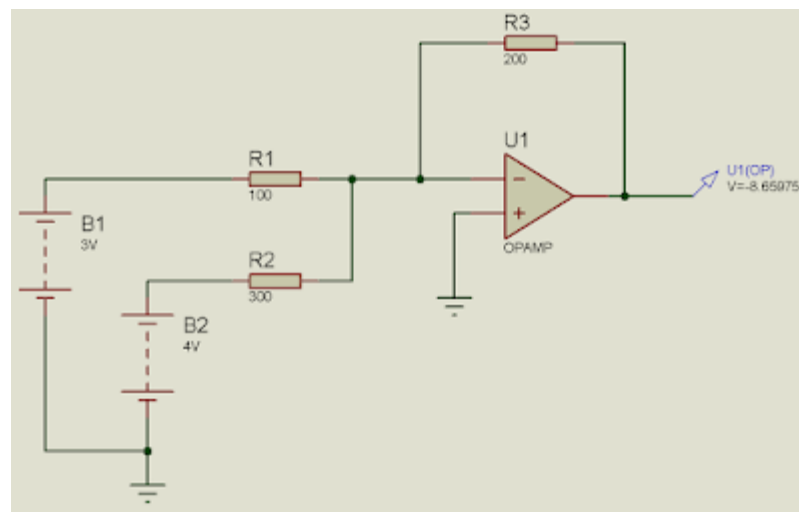
- Pada penguat penjumlah

$$V_{out} = -\left[\frac{R_f}{R_1} V_1 + \frac{R_f}{R_2} V_2 + \dots + \frac{R_f}{R_n} V_n\right]$$

- Jika  $R_1 = R_2 = R_n = R$ , maka

$$V_{out} = -\frac{R_f}{R} (V_1 + V_2 + \dots + V_n)$$

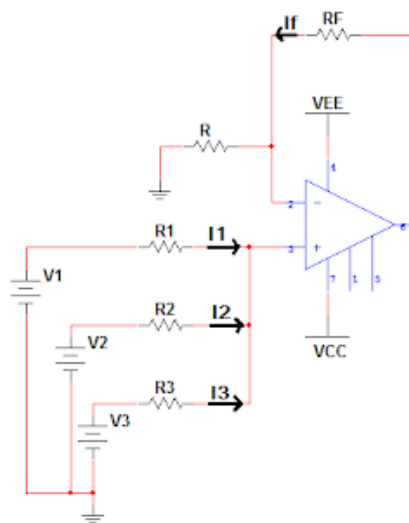
Simulasi ada proteus



Dari simulasi diatas dapat di lihat output penguat pembalik penjumlah menghasilkan tegangan sebesar 8.6 Volt, untuk pembuktian perhitungannya dapat di lihat di bawah ini :

$$\begin{aligned}
 V_{out} &= - \left[ \frac{R_f}{R_1} V_1 + \frac{R_f}{R_2} V_2 \right] \\
 &= - \left[ \frac{200}{100} \cdot 3 + \frac{200}{300} \cdot 4 \right] \\
 &= - [6 + 2,6] \\
 &= -8,6
 \end{aligned}$$

### Penjumlahan Penguatan Non Inverting



Rangkaian penjumlah *non-inverting* memiliki penguatan tegangan yang tidak melibatkan nilai resistansi input yang digunakan. Oleh karena itu dalam rangkaian penjumlah *non-inverting* nilai resistor input ( $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ ) sebaiknya bernilai sama persis, hal ini bertujuan untuk mendapatkan kestabilan dan akurasi penjumlahan sinyal yang diberikan ke rangkaian. Pada rangkaian penjumlah *non-inverting* diatas sinyal input ( $V_1$ ,  $V_2$ ,  $V_3$ ) diberikan ke jalur input melalui resistor input masing- masing ( $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ ). Besarnya penguatan tegangan ( $A_v$ ) pada rangkaian penguat penjumlah *non-inverting* diatas diatur oleh Resistor *feedback* ( $R_f$ ) dan resistor *inverting* ( $R_i$ ).

- Mencari arus ( $I_f$ ).

$$I_1 + I_2 + \dots + I_n + I_f = 0$$

$$I_f = (I_1 + I_2 + \dots + I_n)$$

$$I_f = \left[ \left( \frac{V_1}{R_1} \right) + \left( \frac{V_2}{R_2} \right) + \dots + \left( \frac{V_n}{R_n} \right) \right]$$

- Rumus dasar penguat non-inverting

$$V_{out} = \frac{R_f}{R} + 1 (V_{in})$$

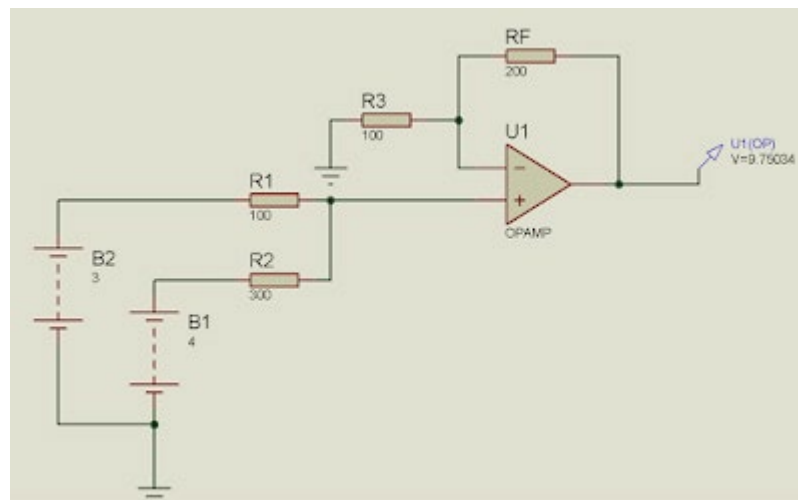
- Rumus penguat penjumlah penguat tak membalik

$$V_{out} = \left( 1 + \frac{R_f}{R} \right) \left( \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_1 + \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_2 \right)$$

- Jika nilai  $R_1 = R_2 = R_n = R$  maka :

$$V_{out} = \left( 1 + \frac{R_f}{R} \right) \left( \frac{V_1 + V_2 + \dots + V_n}{n} \right)$$

Simulasi pada proteus

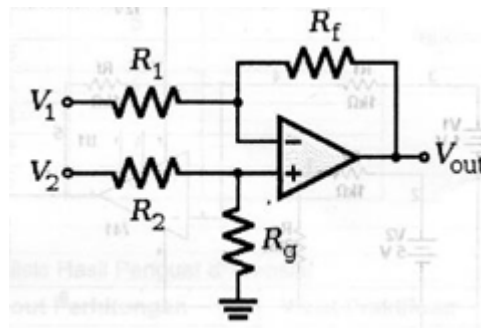


Dari simulasi diatas dapat di lihat output penguat pembalik penjumlah menghasilkan tegangan sebesar 9.75 Volt, untuk pembuktian perhitungannya dapat di lihat di bawah ini :

$$\begin{aligned}
 V_{out} &= \left(1 + \frac{R_f}{R_3}\right) \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} V_1 + \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_2\right) \\
 &= \left(1 + \frac{200}{100}\right) \left(\frac{300}{100 + 300} 3 + \frac{100}{100 + 300} 4\right) \\
 &= (1 + 2) (2,25 + 1) \\
 &= 9,75 \text{ V}
 \end{aligned}$$

## Rangkaian Differensial

Penguat ini mampu memperkuat sinyal yang kecil. Keluaran dari penguat ini sebanding dengan perbedaan tegangan kedua masukannya. Penguat diferensial ini mampu mengurangi noise dengan sangat baik. Gambar dibawah ini menunjukkan rangkaian penguat diferensial.



Rumus

$$V_{out} = \frac{(R_f + R_1) R_g}{(R_g + R_2) R_1} V_2 - \frac{R_f}{R_1} V_1$$

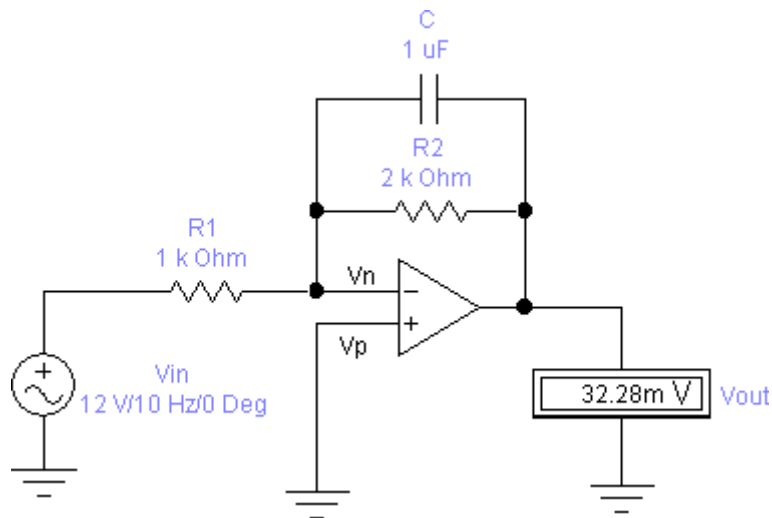
Rangkaian differensial menggunakan OP-AMP digunakan untuk mengukur perbedaan antara dua sinyal input. Rangkaian differensial memanfaatkan sifat diferensial OP-AMP yang menghasilkan tegangan output proporsional terhadap perbedaan antara tegangan input.

## 5 Rangkaian Integrator dan Rangkaian Fillter Low Pass

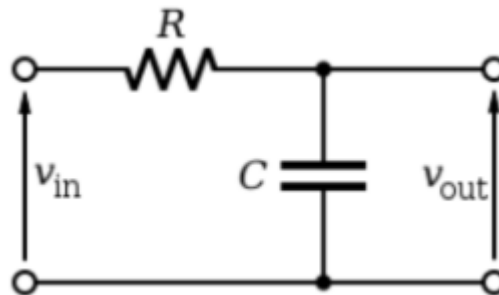
### Rangkaian Integrator

$$V_{out} = -\frac{1}{RC} \int_0^t V_{in} dt + V_{mula}$$

Dimana adalah waktu dan adalah tegangan keluaran pada  $t = 0$ . Sebuah integrator dapat juga dipandang sebagai penapis pelewat-tinggi (high pass filter) dan dapat digunakan untuk rangkaian penapis aktif. Dengan demikian, input gelombang persegi akan menyebabkan gelombang output segitiga. Namun, dalam rangkaian yang sebenarnya ( $R_2 < \infty$ ) ada beberapa kerusakan dalam keadaan sistem pada tingkat proporsional keadaan itu sendiri. Hal ini menyebabkan peluruhan eksponensial dengan waktu konstan  $\tau = R_2 C$ .



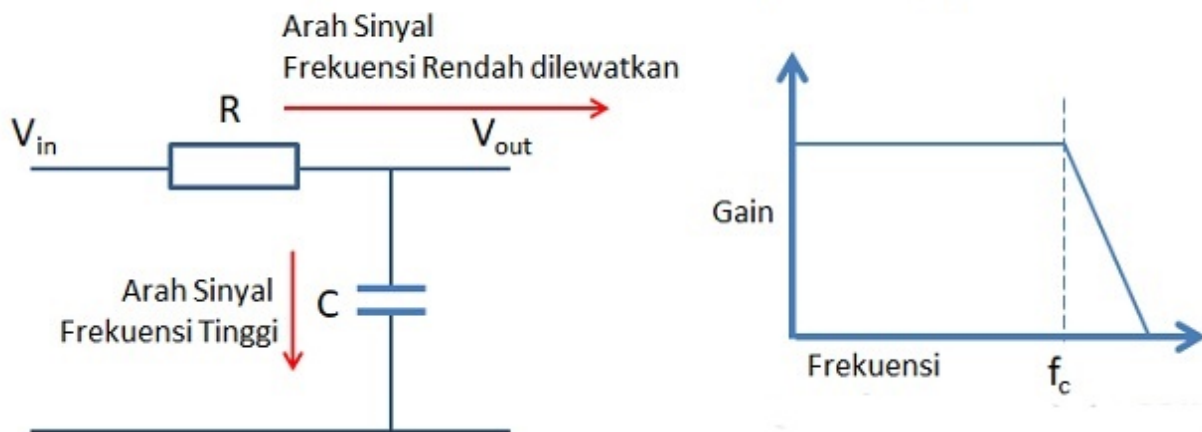
**Rangkaian Filter Low Pass**



Low Pass Filter (LPF) adalah filter atau penyaring yang melewatkan sinyal frekuensi rendah serta menghambat atau memblokir sinyal frekuensi tinggi. Dengan kata lain, LPF akan menyaring sinyal frekuensi tinggi dan meneruskan sinyal frekuensi rendah yang diinginkan. Sinyal ini bisa berupa sinyal listrik seperti sinyal audio atau sinyal perubahan tegangan. LPF yang ideal yaitu LPF yang sama sekali tidak melewatkan sinyal dengan frekuensi diatas frekuensi cut-off ( $f_c$ ) atau tegangan output pada sinyal frekuensi diatas frekuensi cut-off sama dengan 0V.

Terdapat dua konfigurasi utama pada Low Pass Filter Pasif (Penyaring Lolos Bawah Pasif) yakni Low Pass RC Filter (Resistor-Capacitor) dan Low Pass RL Filter (Resistor-Induktor).

### Rangkaian Low Pass Filter (RC Filter)



Berikut ini merupakan rumus yang digunakan untuk menemukan titik cut-off frekuensi dari rangkaian RC yaitu:

$$f = 1/2\pi RC$$

Dimana :

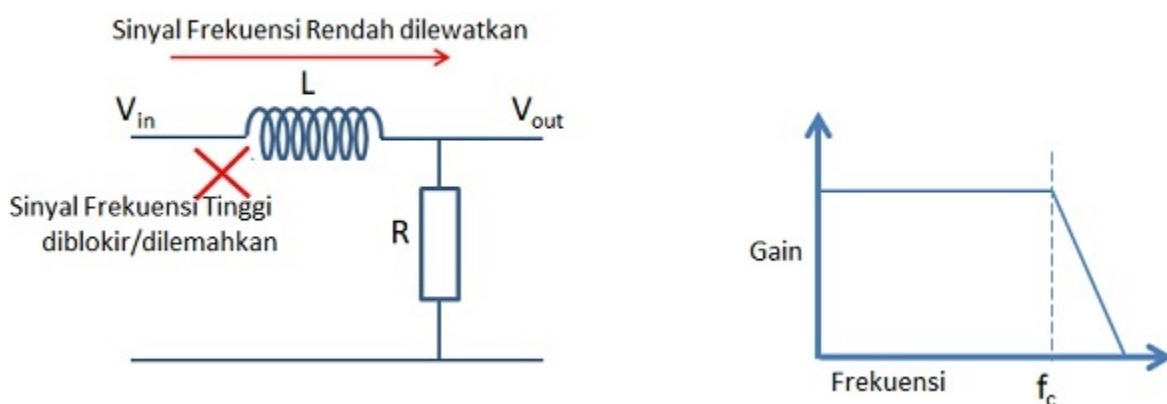
$f$  = Frekuensi dalam satuan Hz

$\pi$  = 3.14

$R$  = Nilai resistor dalam satuan Ohm ( $\Omega$ )

$C$  = Nilai kapasitor dalam satuan Farad (F)

### Rangkaian Low Pass Filter (RL Filter)





Berikut ini merupakan rumus yang digunakan untuk menemukan titik cut-off frekuensi dari rangkaian RL, yaitu:

$$f = R / 2\pi L$$

Dimana :

f = Frekuensi dalam satuan Hz

$\pi = 3.14$

R = Nilai resistor dalam satuan Ohm ( $\Omega$ )

L = Nilai induktor dalam satuan Henry (H)

## **6 Sifat-Sifat Non Ideal OP AMP**

Offset Voltage:

Offset voltage adalah perbedaan tegangan yang muncul antara terminal inverting dan non-inverting saat input sinyal nol (tidak ada input yang diberikan). Pada OP-AMP ideal, offset voltage adalah nol. Namun, pada OP-AMP non-ideal, terdapat offset voltage yang kecil namun signifikan. Offset voltage dapat menyebabkan ketidakakuratan dalam operasi amplifikasi sinyal dan dapat diatasi dengan teknik kalibrasi atau menggunakan OP-AMP dengan offset voltage yang rendah.

Offset Current:

Offset current adalah arus yang mengalir pada terminal inverting dan non-inverting saat input sinyal nol. Pada OP-AMP ideal, offset current adalah nol. Namun, pada OP-AMP non-ideal, terdapat offset current yang kecil namun signifikan. Offset current dapat menyebabkan ketidakseimbangan dalam operasi rangkaian dan dapat diatasi dengan teknik kompensasi atau menggunakan OP-AMP dengan offset current yang rendah.

Bias Current:

Bias current adalah arus yang mengalir ke terminal inverting dan non-inverting. Bias current dapat menyebabkan ketidakseimbangan dalam operasi rangkaian, terutama pada rangkaian dengan impedansi input tinggi. Bias current dapat diatasi dengan menggunakan resistor kompensasi atau menggunakan OP-AMP dengan bias current yang rendah.

CMRR (Common-Mode Rejection Ratio):

CMRR adalah ukuran kemampuan OP-AMP untuk menolak sinyal common-mode (sinyal yang hadir di kedua input dengan polaritas yang sama). CMRR dinyatakan dalam desibel (dB) dan merupakan perbandingan antara amplifikasi sinyal differensial dengan amplifikasi sinyal common-mode. Semakin tinggi nilai CMRR, semakin baik OP-AMP dalam menolak sinyal common-mode. CMRR yang rendah dapat menyebabkan noise atau gangguan yang tidak diinginkan pada output.

PSRR (Power Supply Rejection Ratio):

PSRR adalah ukuran kemampuan OP-AMP untuk menolak perubahan tegangan pada catu daya (power supply). PSRR dinyatakan dalam desibel (dB) dan merupakan perbandingan antara perubahan tegangan pada catu daya dengan perubahan yang terjadi pada output. Semakin tinggi nilai PSRR, semakin baik OP-AMP dalam menolak perubahan tegangan pada catu daya. PSRR yang rendah dapat menyebabkan noise atau gangguan yang terkait dengan perubahan tegangan catu daya.

Rangkaian sederhana dengan mempertimbangkan karakteristik non-ideal OP-AMP adalah rangkaian inverting amplifier. Dalam analisis rangkaian ini, kita akan memperhitungkan offset voltage, offset current, dan bias current yang dimiliki oleh OP-AMP non-ideal. Rangkaian inverting amplifier menggunakan konfigurasi OP-AMP dengan umpan balik negatif. Berikut adalah diagram rangkaian inverting amplifier:



Di dalam rangkaian ini, resistor R1 terhubung antara terminal inverting (-) OP-AMP dan input sinyal (+Vin). Resistor R2 terhubung antara terminal inverting (-) OP-AMP dan output sinyal (Vout). Terminal inverting (-) juga terhubung ke ground melalui resistor R2.

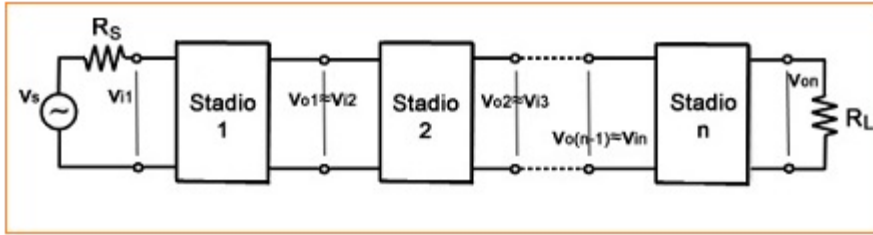
Untuk analisis rangkaian ini, kita akan mempertimbangkan karakteristik non-ideal OP-AMP berikut:

1. Offset Voltage: Karakteristik offset voltage mengakibatkan ada perbedaan tegangan antara terminal inverting dan non-inverting saat input sinyal nol. Dalam rangkaian inverting amplifier, offset voltage akan menghasilkan tegangan offset pada output. Dalam analisis ini, kita akan mempertimbangkan offset voltage sebagai sumber tegangan offset pada output.
2. Offset Current: Karakteristik offset current mengakibatkan ada arus yang mengalir pada terminal inverting dan non-inverting saat input sinyal nol. Dalam rangkaian inverting amplifier, offset current akan menghasilkan arus offset pada resistor R1 dan R2. Dalam analisis ini, kita akan mempertimbangkan offset current sebagai sumber arus offset pada rangkaian.
3. Bias Current: Karakteristik bias current mengakibatkan adanya arus yang mengalir ke terminal inverting dan non-inverting. Dalam rangkaian inverting amplifier, bias current akan menghasilkan arus bias pada resistor R1 dan R2. Dalam analisis ini, kita akan mempertimbangkan bias current sebagai sumber arus bias pada rangkaian.

Dengan mempertimbangkan karakteristik non-ideal tersebut, kita dapat melakukan analisis rangkaian untuk menghitung tegangan output ( $V_{out}$ ) dengan memasukkan nilai-nilai offset voltage, offset current, dan bias current yang dimiliki oleh OP-AMP. Analisis ini memungkinkan kita untuk memperhitungkan efek non-ideal OP-AMP dalam merancang dan mengoperasikan rangkaian.

## **7 Rangkaian multistage OP-AMP**

Rangkaian multistage OP-AMP adalah penggunaan beberapa tahap OP-AMP yang dikombinasikan dalam satu rangkaian untuk meningkatkan penguatan dan kinerja keseluruhan. Dalam rangkaian multistage, keluaran satu tahap OP-AMP dihubungkan ke masukan tahap berikutnya, membentuk rantai penguatan bertingkat.



Penggunaan rangkaian multistage OP-AMP memiliki beberapa keuntungan:

1. Penguatan yang lebih tinggi: Dengan mengkombinasikan beberapa tahap OP-AMP, penguatan total dari rangkaian dapat ditingkatkan secara signifikan. Setiap tahap OP-AMP memberikan penguatan tambahan, sehingga secara kumulatif menghasilkan penguatan yang lebih tinggi daripada yang dapat dicapai dengan satu tahap OP-AMP.
2. Perbaikan linearitas: Rangkaian multistage OP-AMP dapat membantu meningkatkan linearitas keseluruhan. Setiap tahap OP-AMP memiliki batas penguatan maksimum, yang jika terlampaui dapat menghasilkan distorsi pada sinyal keluaran. Dengan menggunakan beberapa tahap OP-AMP yang memiliki penguatan yang lebih rendah secara individual namun dikombinasikan secara kumulatif, distorsi dapat dikurangi dan linearitas dapat ditingkatkan.
3. Penurunan tingkat kebisingan: Dalam rangkaian multistage, sinyal keluaran dari tahap pertama dapat diperkuat oleh tahap-tahap berikutnya. Dalam proses ini, rasio sinyal terhadap kebisingan (SNR) dapat ditingkatkan karena sinyal terus diperkuat, sementara tingkat kebisingan yang dihasilkan oleh tahap awal tetap relatif konstan. Hal ini membantu meningkatkan kualitas sinyal yang dihasilkan.
4. Peningkatan bandwidth: Rangkaian multistage OP-AMP juga dapat membantu meningkatkan bandwidth keseluruhan. Setiap tahap OP-AMP memiliki batas bandwidth maksimum, tetapi dengan menggunakan beberapa tahap yang dikombinasikan, respons frekuensi yang lebih luas dapat dicapai. Tahap-tahap berikutnya dapat membantu dalam memperluas respons frekuensi keseluruhan dan mempertahankan kualitas sinyal di frekuensi yang lebih tinggi.

Pada dasarnya, penggunaan rangkaian multistage OP-AMP memungkinkan kita untuk mengkombinasikan keunggulan dari setiap tahap OP-AMP individu, seperti penguatan tinggi,

linearitas yang baik, rendahnya tingkat kebisingan, dan bandwidth yang luas. Hal ini dapat meningkatkan kinerja keseluruhan rangkaian, membuatnya lebih cocok untuk aplikasi yang membutuhkan penguatan yang signifikan dan kualitas sinyal yang baik.

## **E. Rangkuman**

- Operational Amplifier (OP-AMP) adalah suatu komponen elektronik yang digunakan untuk melakukan operasi matematika dan penguatan sinyal.
- OP-AMP memiliki dua masukan (inverting dan non-inverting), satu keluaran, dan biasanya memiliki penguatan yang tinggi, impedansi input yang tinggi, dan impedansi output yang rendah.
- Karakteristik sifat-sifat OP-AMP meliputi penguatan tegangan, impedansi input dan output, bandwidth, slew rate, dan bias current.
- Penguatan tegangan adalah faktor penguatan antara tegangan keluaran dan selisih tegangan masukan.
- Rangkaian OP-AMP inverting menggunakan resistansi umpan balik negatif untuk membalikkan fasa sinyal dan menghasilkan penguatan negatif.
- Rangkaian OP-AMP non-inverting menggunakan resistansi umpan balik positif untuk menghasilkan penguatan positif.
- Rangkaian penjumlah inverting dan non-inverting digunakan untuk menambahkan sinyal-sinyal masukan menjadi satu sinyal keluaran.
- Rangkaian differensial digunakan untuk menghasilkan selisih antara dua sinyal masukan.
- Sifat-sifat non-ideal OP-AMP meliputi offset voltage, offset current, bias current, CMRR, dan PSRR.
- Analisis rangkaian dengan mempertimbangkan karakteristik non-ideal OP-AMP melibatkan memperhatikan efek offset voltage, offset current, bias current, dan tegangan suplai pada kinerja rangkaian.
- Keuntungan penggunaan rangkaian multistage termasuk penguatan yang lebih tinggi, perbaikan linearitas, penurunan tingkat kebisingan, dan peningkatan bandwidth.
- Rangkaian multistage OP-AMP memungkinkan kombinasi keunggulan dari setiap tahap OP-AMP individu untuk meningkatkan kinerja rangkaian secara keseluruhan.

## **F. Evaluasi Pembelajaran**

1. Jelaskan apa yang dimaksud dengan penguatan tegangan pada OP-AMP. Bagaimana cara menghitung penguatan tegangan dalam rangkaian inverting dan non-inverting?
2. Apa perbedaan antara impedansi input dan impedansi output pada OP-AMP? Mengapa kedua sifat ini penting dalam desain rangkaian OP-AMP?
3. Jelaskan fungsi dari rangkaian penjumlah inverting dan non-inverting pada OP-AMP. Berikan contoh penerapan nyata dari masing-masing rangkaian tersebut.
4. Apa yang dimaksud dengan CMRR (Common-Mode Rejection Ratio) pada OP-AMP? Mengapa CMRR penting dalam aplikasi yang membutuhkan penolakan terhadap sinyal common-mode?
5. Jelaskan bagaimana karakteristik non-ideal seperti offset voltage, offset current, dan bias current dapat mempengaruhi kinerja rangkaian yang menggunakan OP-AMP. Bagaimana cara mengatasi atau mengkompensasi efek-efek tersebut?
6. Mengapa penggunaan rangkaian multistage OP-AMP dapat meningkatkan penguatan dan kinerja keseluruhan? Berikan penjelasan mengenai keuntungan-keuntungan yang diperoleh dari penggunaan rangkaian multistage.
7. Bagaimana cara menganalisis rangkaian OP-AMP sederhana yang mempertimbangkan karakteristik non-ideal? Berikan contoh perhitungan untuk menggambarkan analisis tersebut.
8. Apa yang dimaksud dengan PSRR (Power Supply Rejection Ratio) pada OP-AMP? Mengapa PSRR penting dalam rangkaian yang sensitif terhadap perubahan tegangan suplai?
9. Jelaskan peran slew rate dalam kinerja OP-AMP. Bagaimana slew rate membatasi frekuensi maksimum sinyal yang dapat diolah oleh OP-AMP?
10. Mengapa resistansi umpan balik (feedback) penting dalam rangkaian OP-AMP? Jelaskan pengaruh perubahan nilai resistansi umpan balik terhadap penguatan dan karakteristik lainnya dalam rangkaian OP-AMP.

## **G. Referensi**

Buku: "Elektronika Dasar: Analisis Rangkaian Elektronika Analog" oleh Teguh Prakoso, T. Nugroho, dan D. A. Darmawan.

Buku: "Op-Amp: Teori dan Aplikasinya" oleh Eko Didik Widiyanto.

Buku: "Op-Amp: Perancangan, Karakteristik, dan Aplikasinya" oleh Ir. Trisno Jatmiko,  
M.Sc.

## **BAB 5**

### **DESAIN RANGKAIAN SINYAL CAMPURAN**

#### **A. Pendahuluan**

Pada modul ini, kita akan mempelajari tentang desain rangkaian sinyal campuran. Sinyal campuran merupakan kombinasi sinyal analog dan digital yang sering digunakan dalam berbagai aplikasi elektronika. Modul ini akan memberikan pemahaman tentang jenis sirkuit dan aplikasi sinyal campuran, karakteristik konverter digital-analog (D/A) dan analog-digital (A/D), integrasi rangkaian digital dan analog dalam satu IC/paket, serta cara merancang konverter A/D dan D/A.

#### **B. Capaian Pembelajaran**

1. Memahami konsep dasar sinyal campuran dan aplikasinya.
2. Mengetahui jenis umum sirkuit dan aplikasi sinyal campuran.
3. Menjelaskan karakteristik konverter D/A dan A/D.
4. Membandingkan perbedaan sifat konverter D/A dan A/D.
5. Memahami integrasi rangkaian digital dan analog dalam satu IC/paket.
6. Mampu merancang konverter A/D dan D/A.

#### **C. Tujuan Pembelajaran**

Modul ini bertujuan untuk memberikan pemahaman mendalam tentang desain rangkaian sinyal campuran dan kemampuan dalam merancang konverter A/D dan D/A. Peserta akan mempelajari konsep, karakteristik, dan aplikasi sinyal campuran serta menguasai teknik merancang konverter D/A dan A/D dengan baik.

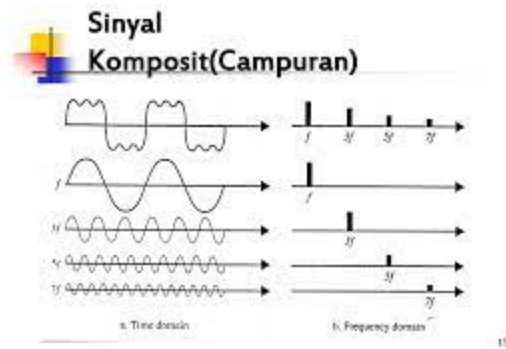
#### **D. Pembahasan**

##### **1 Sinyal Campuran**

Sinyal campuran, dalam konteks elektronika, merujuk pada sinyal yang terdiri dari komponen sinyal frekuensi rendah (AC) dan komponen sinyal frekuensi tinggi (DC). Sinyal campuran menggabungkan informasi baik dalam bentuk amplitudo (level tegangan) maupun frekuensi. Secara umum, sinyal campuran dapat dibagi menjadi dua komponen utama: sinyal AC dan sinyal DC. Sinyal AC (Alternating Current) adalah sinyal yang berfluktuasi atau berubah secara periodik dari nilai positif ke negatif. Sinyal ini mewakili informasi yang berhubungan



dengan suara, gambar, data, atau sinyal lainnya yang dapat berubah-ubah seiring waktu. Sinyal AC dapat memiliki frekuensi dan amplitudo yang berbeda-beda.



Di sisi lain, sinyal DC (Direct Current) adalah sinyal yang memiliki tegangan konstan tanpa perubahan periodik. Sinyal ini mewakili nilai tegangan tetap yang biasanya digunakan untuk memberi daya pada perangkat elektronik atau sebagai referensi tegangan dalam sistem. Untuk mengelola sinyal campuran, diperlukan teknik pengolahan sinyal yang tepat. Salah satu metode umum yang digunakan adalah menggunakan rangkaian pemisah sinyal seperti kapasitor dan induktor untuk memisahkan komponen AC dan DC. Rangkaian ini memungkinkan sinyal AC untuk melewati dengan sedikit atau tanpa gangguan sementara mengisolasi sinyal DC.

Sinyal campuran memiliki banyak aplikasi dalam elektronika dan telekomunikasi. Misalnya, dalam sistem audio, sinyal suara yang dihasilkan oleh mikrofon adalah sinyal campuran yang terdiri dari komponen frekuensi rendah yang mewakili suara asli dan komponen frekuensi tinggi yang mungkin berasal dari gangguan atau noise lingkungan. Selain itu, konverter digital ke analog (D/A) dan analog ke digital (A/D) digunakan untuk mengubah sinyal campuran antara bentuk analog dan digital. Konverter D/A mengubah sinyal digital menjadi sinyal analog yang dapat diproses oleh perangkat audio atau video, sedangkan konverter A/D mengubah sinyal analog menjadi bentuk digital yang dapat dipahami oleh komputer atau sistem digital lainnya.

Dengan pemrosesan dan pengelolaan yang tepat, sinyal campuran dapat digunakan untuk mentransmisikan informasi, menghasilkan suara dan gambar berkualitas tinggi, serta menjalankan berbagai aplikasi elektronika dengan efisiensi dan akurasi yang tinggi.

## 2 Jenis Umum Sirkuit & Aplikasi Sinyal Campuran

Dalam dunia elektronika, terdapat beberapa jenis umum dari sirkuit dan aplikasi sinyal campuran. Berikut adalah beberapa di antaranya:

### 1. Penguat (Amplifier):



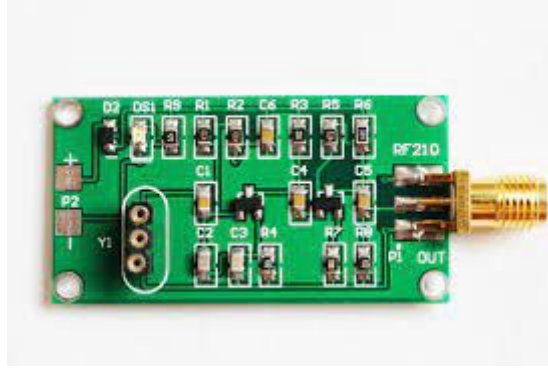
Sirkuit penguat digunakan untuk menguatkan amplitudo sinyal. Penguat dapat digunakan dalam berbagai aplikasi seperti penguat audio untuk meningkatkan kekuatan suara, penguat RF (Radio Frequency) dalam komunikasi nirkabel, dan penguat operasional dalam berbagai aplikasi pengolahan sinyal.

### 2. Penyearah (Rectifier):



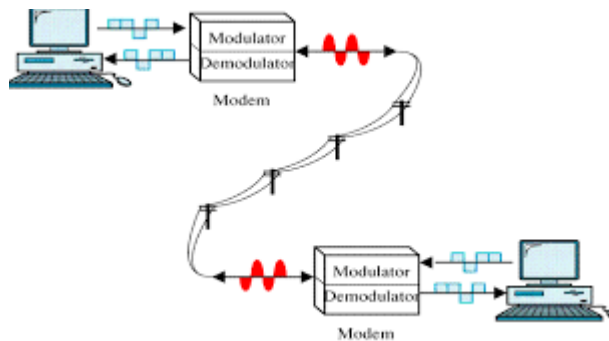
Sirkuit penyearah digunakan untuk mengubah sinyal AC (Alternating Current) menjadi sinyal DC (Direct Current) dengan menghilangkan komponen negatif dari sinyal AC. Ini sering digunakan dalam catu daya (power supply) untuk menghasilkan sinyal DC yang konstan dari sumber daya AC.

### 3. Osilator (Oscillator):



Sirkuit osilator digunakan untuk menghasilkan sinyal frekuensi tertentu. Osilator sering digunakan dalam rangkaian pemancar, sistem komunikasi, dan elektronik musik.

#### 4. Modulator dan Demodulator:



Modulator digunakan untuk mengubah sinyal frekuensi rendah menjadi sinyal frekuensi tinggi, sedangkan demodulator digunakan untuk mengembalikan sinyal frekuensi rendah dari sinyal frekuensi tinggi. Teknik ini digunakan dalam komunikasi nirkabel, seperti modulasi amplitudo (AM) dan modulasi frekuensi (FM).

#### 5. Konverter Digital ke Analog (D/A):



Konverter D/A digunakan untuk mengubah sinyal digital menjadi sinyal analog. Ini sering digunakan dalam perangkat audio digital, seperti pemutar musik digital yang mengubah file musik digital menjadi sinyal analog yang dapat didengar oleh speaker.

#### 6. Konverter Analog ke Digital (A/D):

Konverter A/D digunakan untuk mengubah sinyal analog menjadi sinyal digital. Ini digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti pengukuran sensor analog yang dikonversi menjadi data digital yang dapat diproses oleh mikrokontroler atau komputer.

Selain itu, terdapat juga berbagai jenis filter, mixer, modulator frekuensi, dan berbagai sirkuit lainnya yang digunakan dalam pengolahan sinyal campuran. Setiap jenis sirkuit dan aplikasi memiliki karakteristik dan kegunaan yang unik, sesuai dengan kebutuhan dan tujuan spesifik dari sistem atau perangkat elektronik yang digunakan.

### **3 Analog-Digital Converter (ADC)**

DC adalah suatu perangkat yang mengubah suatu data kontinu terhadap waktu (analog) menjadi suatu data diskrit terhadap waktu (digital). ADC banyak digunakan sebagai pengatur proses industri, komunikasi digital dan rangkaian pengukuran/pengujian. Umumnya ADC digunakan sebagai perantara antara sensor yang kebanyakan analog dengan sistem komputer seperti sensor suhu, cahaya, tekanan/berat, aliran dan sebagainya kemudian diukur dengan menggunakan sistem digital (komputer).

ADC (Analog to Digital Converter) memiliki 2 karakter prinsip, yaitu kecepatan sampling dan resolusi.

1. Kecepatan sampling suatu ADC menyatakan seberapa sering sinyal analog dikonversikan ke bentuk sinyal digital pada selang waktu tertentu. Kecepatan sampling biasanya dinyatakan dalam sample per second (SPS).
2. Resolusi ADC menentukan ketelitian nilai hasil konversi ADC. Sebagai contoh: ADC 8 bit akan memiliki output 8 bit data digital, ini berarti sinyal input dapat dinyatakan dalam 255 ( $2^n - 1$ ) nilai diskrit.

ADC 12 bit memiliki 12 bit output data digital, ini berarti sinyal input dapat dinyatakan dalam 4096 nilai diskrit. Dari contoh diatas ADC 12 bit akan memberikan ketelitian nilai hasil konversi yang jauh lebih baik daripada ADC 8 bit. Prinsip kerja ADC adalah mengkonversi sinyal analog ke dalam bentuk besaran yang merupakan rasio perbandingan sinyal input dan tegangan referensi. Sebagai contoh, bila tegangan referensi ( $V_{ref}$ ) 5 volt, tegangan input 3 volt, rasio input terhadap referensi adalah 60%. Jadi, jika menggunakan ADC 8 bit dengan skala maksimum 255,

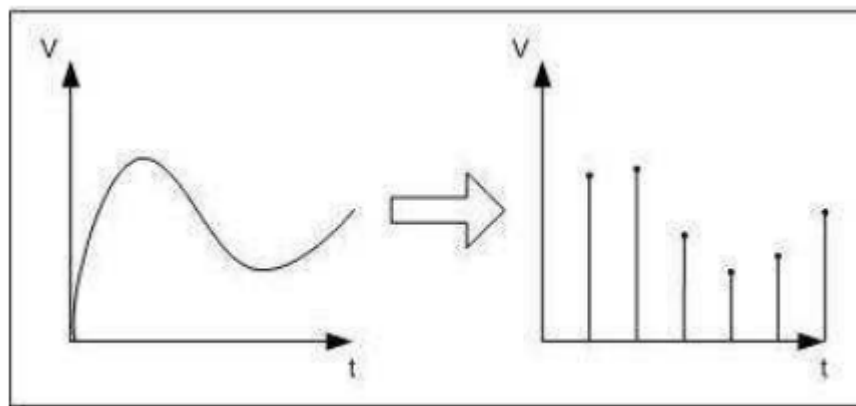
akan didapatkan sinyal digital sebesar  $60\% \times 255 = 153$  (bentuk decimal) atau 10011001 (bentukbiner).

### Proses pada ADC

Ada 3 proses yang terjadi di dalam ADC, yaitu:

#### 1. Pencuplikan

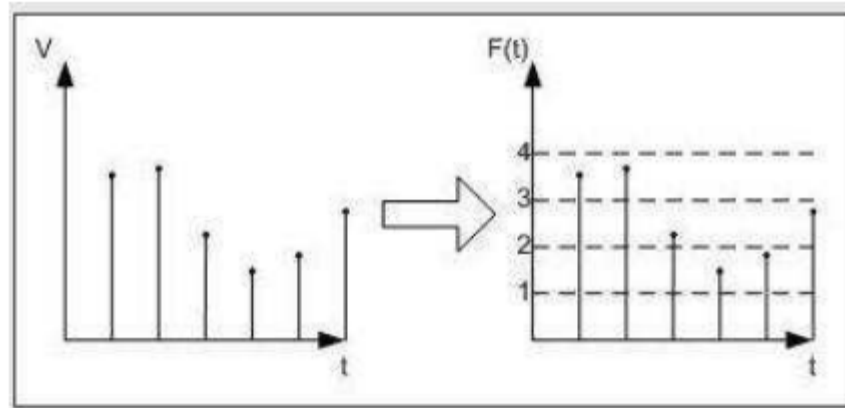
Proses mengambil suatu nilai pasti (diskrit) dalam suatu data 4 kontinu dalam satu titik waktu tertentu dengan periode yang tetap. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada ilustrasi gambar berikut :



Semakin besar frekuensi pencuplikan, berarti semakin banyak data diskrit yang didapatkan, maka semakin cepat ADC tersebut memproses suatu data analog menjadi data digital

#### 2. Pengkuantisasian

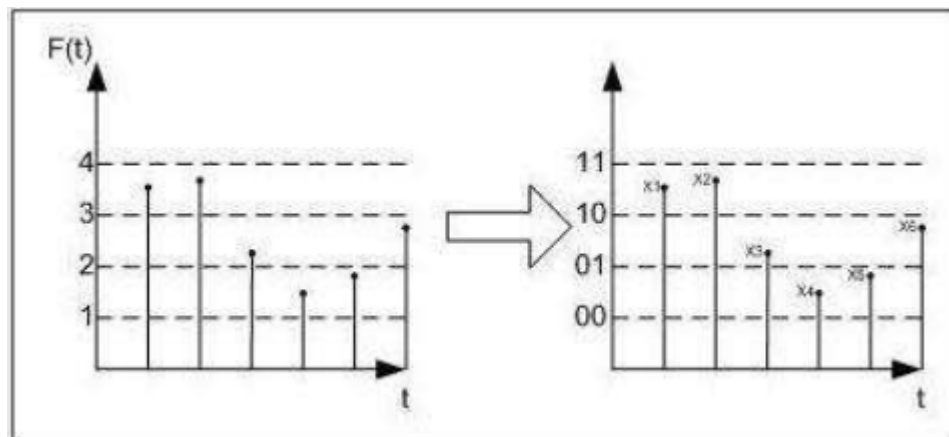
Adalah proses pengelompokan diskrit yang didapatkan pada proses pertama kedalam kelompok-kelompok data. Kuantisasi, dalam matematika dan pemrosesan sinyal digital, adalah proses pemetaan nilai input seperti nilai pembulatan.



Semakin banyak kelompok-kelompok dalam proses kuantisasi, berarti semakin kecil selisih data diskrit yang didapatkan dari data analog, maka semakin teliti ADC tersebut memproses suatu data analog menjadi data digital.

### 3. Pengkodean

Adalah mengkodekan data hasil kuantisasi kedalam bentuk digital (0/1) atau dalam suatu nilai biner.



Secara matematis, proses ADC dapat dinyatakan dalam persamaan:  $\text{Data ADC} = (V_{in}/V_{ref}) \times \text{Maksimal Data Digital}$ . Dengan  $V_{ref}$  adalah jenjang tiap kelompok dalam proses kuantisasi, kemudian maksimal data digital berkaitan proses ke-3 (peng-kode-an). Sedangkan proses ke-1 adalah seberapa cepat data ADC dihasilkan dalam satu kali proses.

### 4 Digital-Analog Converter (DAC)

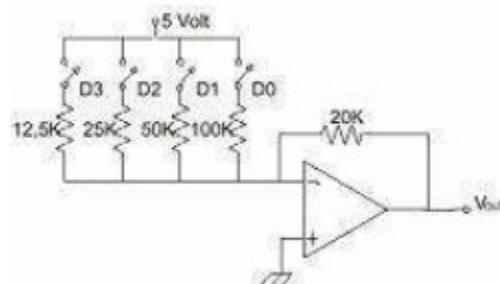
Dalam bidang Elektronika, DAC adalah sebuah piranti untuk mengubah sebuah masukan digital (umumnya adalah biner) menjadi sebuah sinyal analog (arus, tegangan atau muatan elektrik). DAC adalah penghubung antara rangkaian digital dengan rangkaian analog. DAC pada

dasarnya 6 mengkonversi masukan (berupa bilangan biner) ke dalam suatu besaran fisik, biasanya berupa tegangan suatu tegangan listrik. Pada umumnya tegangan keluaran adalah suatu fungsi linear dari sejumlah masukan. Kebanyakan sistem menerima suatu kata digital sebagai sinyal masuk dan menterjemahkan atau mengubahnya menjadi tegangan atau arus analog. Kata digital biasanya dinyatakan dalam berbagai kode, yang paling umum adalah biner murni.

## Rangkaian Dasar DAC

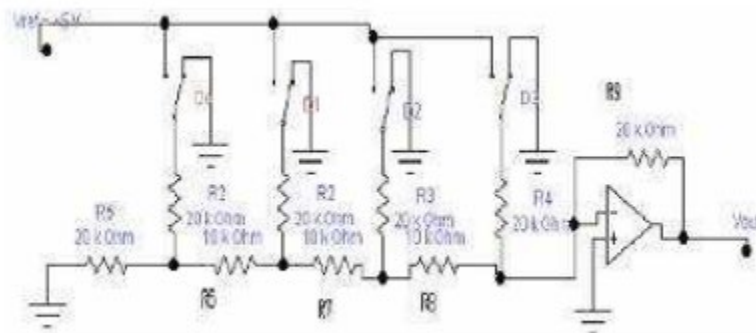
Rangkaian dasar DAC ada 2 jenis :

### 1. DAC Jenis Binary Weight Resistor



Pada DAC jenis ini, pemasangan nilai resistor pada inputinput D0, D1, D2,... adalah sebagai berikut : Nilai R yang ada di D1 adalah  $/2$  dari nilai yang ada di D0, nilai R yang ada di D2 adalah  $/2$  dari nilai yang ada di D1 (atau  $/2$  dari R yang ada di D0) dan seterusnya. Pemasangan nilai R yang seperti itu adalah untuk mendapatkan Vout yang linier (kenaikan per stepnya tetap) Rin dicari dengan memparallel nilai-nilai resistor yang ada pada masing-masing input (D) bila input yang masuk lebih dari satu.

### 2. DAC Jenis R-2R LADDER



Pada DAC jenis R-2R Ladder pemasangan nilai Resistor pada inputinputnya adalah R-2R, jadi kalau nilai  $R = 10\text{ k}$ , maka 2Rnya dipasang 20 k. pemasangan nilai resistor yang seperti itu adalah untuk 8 mendapatkan  $V_{out}$  yang linier (kenaikan per stepnya tetap)

## **5 Karakteristik Konverter D/A & A/D**

Karakteristik penting dari konverter Analog ke Digital (A/D) dan Digital ke Analog (D/A) termasuk:

1. **LSB (Least Significant Bit):** LSB merujuk pada perubahan tegangan atau arus terkecil yang dapat diukur atau dihasilkan oleh konverter. Ini menentukan resolusi konverter, yaitu seberapa detail konverter dapat mewakili sinyal analog. Semakin kecil LSB, semakin tinggi resolusi konverter.
2. **Linearitas:** Linearitas mengacu pada sejauh mana respons konverter terhadap perubahan input atau output menjadi linier atau proporsional. Idealnya, konverter harus memiliki karakteristik linier yang mendekati garis lurus. Ketidaklinearan dapat menghasilkan distorsi pada sinyal yang dikonversi.
3. **Offset:** Offset adalah pergeseran tegangan atau arus keluaran dari nilai yang diharapkan atau diinginkan saat input bernilai nol. Offset dapat terjadi karena ketidaksempurnaan komponen dan ketidaksempurnaan perancangan konverter. Dalam konverter A/D, offset dapat menyebabkan kesalahan pengukuran yang signifikan jika tidak dikoreksi dengan benar.
4. **Gain Error:** Gain error mengacu pada perbedaan antara faktor penguatan aktual konverter dengan nilai yang diharapkan. Ini menggambarkan sejauh mana konverter dapat menghasilkan penguatan yang akurat dan konsisten. Gain error dapat disebabkan oleh ketidaksempurnaan komponen dan ketidaksempurnaan perancangan konverter.

Karakteristik ini penting untuk memastikan akurasi dan kualitas konversi antara domain analog dan digital. Kesalahan dalam karakteristik ini dapat menghasilkan distorsi, kesalahan pengukuran, atau perubahan yang tidak diinginkan dalam sinyal yang dikonversi. Oleh karena itu, perancangan dan kalibrasi yang hati-hati diperlukan untuk meminimalkan kesalahan dan memastikan kinerja yang diinginkan dari konverter A/D dan D/A.

## **6 Perbedaan Sifat Konverter D/A & A/D**

Konverter Digital ke Analog (D/A) dan Analog ke Digital (A/D) memiliki perbedaan sifat yang perlu dipertimbangkan dalam desain sistem. Berikut adalah beberapa perbedaan utama:



## **1. D/A Converter:**

- **Resolusi:** D/A converter harus memiliki resolusi yang cukup tinggi untuk dapat menghasilkan sinyal analog yang akurat dan presisi. Resolusi ditentukan oleh jumlah bit yang digunakan dalam konversi digital-analog. Semakin tinggi jumlah bit, semakin tinggi resolusi yang dapat dicapai.
- **Kecepatan Konversi:** D/A converter harus mampu menghasilkan sinyal analog dengan kecepatan yang sesuai dengan aplikasi yang dituju. Kecepatan konversi ditentukan oleh faktor seperti tingkat sampel dan waktu tunda dalam konverter.
- **Linearitas:** D/A converter harus memiliki karakteristik linier yang baik, yang berarti keluaran yang dihasilkan harus proporsional dengan input digital yang diberikan. Ketidaklinearan dapat menyebabkan distorsi dan kesalahan dalam sinyal yang dihasilkan.

## **2. A/D Converter:**

- **Resolusi:** A/D converter harus memiliki resolusi yang cukup tinggi untuk dapat mengubah sinyal analog menjadi representasi digital yang akurat. Resolusi ditentukan oleh jumlah bit yang digunakan dalam konversi analog-digital. Semakin tinggi jumlah bit, semakin tinggi resolusi yang dapat dicapai dan semakin akurat pengukuran.
- **Kecepatan Konversi:** A/D converter harus mampu melakukan konversi dengan kecepatan yang cukup untuk mengambil dan mengkonversi sinyal analog dalam waktu nyata. Kecepatan konversi ditentukan oleh faktor seperti tingkat sampel dan waktu tunda dalam konverter.
- **Linearitas:** A/D converter harus memiliki karakteristik linier yang baik, yang berarti rentang input analog yang ditangkap harus dikonversi secara linier ke rentang nilai digital yang sesuai. Ketidaklinearan dapat menyebabkan kesalahan dalam pengukuran dan distorsi pada sinyal yang dikonversi.

Desain sistem yang efektif memerlukan pemilihan D/A converter dan A/D converter yang sesuai dengan persyaratan aplikasi. Resolusi, kecepatan konversi, dan linearitas adalah faktor-faktor penting yang harus dipertimbangkan dalam memilih konverter yang sesuai. Selain itu, faktor-faktor lain seperti akurasi, daya yang dikonsumsi, keandalan, dan kemudahan penggunaan juga perlu dipertimbangkan dalam desain sistem yang efektif.

## **7 Integrasi rangkaian digital & Analog dalam satu IC/Paket**

Integrasi rangkaian digital dan analog dalam satu IC (Integrated Circuit) atau paket merupakan konsep penggabungan komponen digital dan analog dalam satu wadah fisik. Tujuan

utama dari integrasi ini adalah untuk meningkatkan kepadatan komponen, efisiensi, dan fungsionalitas dalam sebuah sistem elektronik.

### **Manfaat integrasi rangkaian digital & analog dalam satu IC/Paket**

Integrasi rangkaian digital dan analog dalam satu IC (Integrated Circuit) atau paket memberikan berbagai manfaat dalam pengembangan dan penggunaan sistem elektronik. Berikut ini adalah beberapa manfaat penting dari integrasi rangkaian digital dan analog:

1. Efisiensi Ruang: Dengan mengintegrasikan komponen digital dan analog dalam satu IC/paket, penggunaan ruang fisik dapat dioptimalkan. Hal ini mengurangi kompleksitas penghubungan antar komponen dan meminimalkan kebutuhan akan komponen eksternal, sehingga memungkinkan desain yang lebih kompak dan hemat ruang.
2. Kinerja yang Lebih Baik: Integrasi rangkaian digital dan analog dalam satu IC/paket memungkinkan interaksi langsung antara komponen-komponen tersebut. Hal ini memungkinkan optimisasi desain dan kinerja sistem secara keseluruhan. Misalnya, sinyal analog dapat langsung diakses dan diproses oleh komponen digital, dan sebaliknya, menghasilkan pemrosesan sinyal yang lebih efisien dan akurat.
3. Pengurangan Keberisian (Noise): Dalam integrasi rangkaian digital dan analog, keberisian yang timbul akibat penghubung eksternal dapat dikurangi. Komponen digital yang menyebabkan noise dapat diisolasi secara fisik, sehingga mengurangi dampaknya terhadap komponen analog yang sensitif terhadap gangguan. Ini penting dalam aplikasi di mana kualitas sinyal analog sangat kritis, seperti pemrosesan audio atau pengukuran sensitif.
4. Kemudahan Desain: Integrasi rangkaian digital dan analog dalam satu IC/paket menyederhanakan proses desain sistem. Ketersediaan komponen digital dan analog yang terintegrasi memungkinkan desainer untuk memilih dan menggabungkan komponen yang sesuai dengan kebutuhan secara lebih efisien. Hal ini mengurangi kompleksitas desain dan waktu yang dibutuhkan untuk merancang sistem elektronik.
5. Keandalan: Integrasi rangkaian digital dan analog dalam satu IC/paket dapat meningkatkan keandalan sistem secara keseluruhan. Dengan mengurangi jumlah penghubung eksternal, risiko kesalahan penghubungan dan kegagalan mekanis dapat dikurangi. Selain itu, pengintegrasian juga membantu dalam pengelolaan panas dan meminimalkan efek termal yang dapat mempengaruhi performa dan umur paket.

6. Biaya: Integrasi rangkaian digital dan analog dalam satu IC/paket dapat membantu dalam pengurangan biaya produksi. Dengan menggunakan satu paket IC yang menggabungkan fungsi digital dan analog, biaya bahan, produksi, dan perakitan dapat dikurangi secara signifikan dibandingkan dengan menggunakan komponen individual yang terpisah.

Integrasi rangkaian digital dan analog dalam satu IC/paket memberikan manfaat penting dalam efisiensi ruang, kinerja, kebersihan, kemudahan desain, keandalan, dan biaya. Ini memungkinkan pengembangan sistem elektronik yang lebih kompak, efisien, and handal dengan performa yang lebih baik.

### **Masalah/tantangan dalam integrasi rangkaian digital & analog satu IC/Paket**

Integrasi rangkaian digital dan analog dalam satu IC/paket juga menghadapi beberapa tantangan atau masalah yang perlu diperhatikan. Berikut ini adalah beberapa tantangan yang terkait dengan integritas rangkaian digital dan analog dalam satu IC/paket:

1. Interferensi Sinyal: Rangkaian digital yang kompleks dan beban arus tinggi dapat menghasilkan interferensi elektromagnetik yang dapat mempengaruhi kinerja sinyal analog yang sensitif. Interferensi ini dapat menghasilkan noise, jitter, atau distorsi pada sinyal analog yang diinginkan. Oleh karena itu, pemisahan yang efektif antara bagian digital dan analog dalam IC/paket dan desain yang baik untuk pemisahan sirkuit daya dan jalur sinyal diperlukan untuk mengatasi masalah ini.
2. Kebocoran Arus: Kebocoran arus pada transistor digital dalam IC dapat mempengaruhi tegangan dan kinerja sirkuit analog yang terhubung. Kebocoran arus ini dapat menyebabkan offset dan distorsi pada sinyal analog. Teknik desain seperti pengaturan tegangan referensi dan teknik kompensasi arus kebocoran digunakan untuk mengatasi masalah ini.
3. Ketahanan Terhadap Gangguan Daya: Rangkaian digital yang bekerja pada frekuensi tinggi dapat menyebabkan fluktuasi tegangan daya yang signifikan. Fluktuasi ini dapat mempengaruhi kinerja sirkuit analog yang sensitif terhadap tegangan daya. Desain yang baik dengan penggunaan regulator tegangan yang tepat dan filter daya yang efektif diperlukan untuk menjaga stabilitas tegangan daya pada rangkaian analog.
4. Crosstalk: Crosstalk terjadi ketika sinyal dari jalur digital bocor ke jalur analog atau sebaliknya. Hal ini dapat menyebabkan interferensi antara sinyal digital dan analog, mengganggu kinerja sistem secara keseluruhan. Desain yang baik termasuk pemisahan yang

tepat antara jalur sinyal digital dan analog, penggunaan penghalang fisik, dan pengaturan yang tepat dalam layout PCB untuk mengurangi efek crosstalk.

5. Pengelolaan Panas: Integrasi rangkaian digital dan analog dalam satu IC/paket dapat menghasilkan peningkatan panas yang signifikan. Panas yang berlebihan dapat mempengaruhi stabilitas dan umur paket serta kinerja sirkuit analog yang sensitif terhadap suhu. Desain termal yang baik, penggunaan heatsink, dan pengaturan pendingin yang tepat diperlukan untuk mengatasi masalah pengelolaan panas.

Tantangan-tantangan ini perlu dipertimbangkan secara cermat dalam desain dan pengembangan rangkaian digital dan analog yang terintegrasi. Dengan mengimplementasikan teknik desain yang tepat dan pengelolaan yang baik, masalah-masalah ini dapat dikurangi atau diatasi sehingga integritas rangkaian digital dan analog dapat tetap terjaga dalam satu IC/paket

Berikut adalah beberapa contoh perangkat sinyal campuran komersial yang umum digunakan:

1. Smartphone
2. Perekam Audio Digital
3. Televisi Digital
4. Sistem Navigasi Satelit
5. Modem

Perangkat-perangkat ini menggabungkan komponen digital dan analog untuk menerima, memproses, dan mengubah sinyal-sinyal campuran sesuai dengan kebutuhan pengguna.

## **E. Evaluasi Pembelajaran**

1. Jelaskan apa yang dimaksud dengan sinyal campuran dan berikan contoh aplikasi dalam kehidupan sehari-hari.
2. Identifikasi jenis sirkuit yang biasa digunakan dalam pengolahan sinyal campuran dan jelaskan fungsinya.
3. Diskusikan karakteristik utama konverter D/A dan A/D beserta pengaruhnya terhadap kualitas sinyal yang dihasilkan.
4. Bandingkan perbedaan prinsip kerja dan kelebihan/keterbatasan konverter D/A dan A/D.

5. Jelaskan bagaimana integrasi rangkaian digital dan analog dilakukan dalam satu IC/paket dan sebutkan manfaatnya.
6. Rancanglah sebuah konverter A/D dengan spesifikasi resolusi 12-bit dan kecepatan sampling 1 KHz. Gambarkan rangkaian dan hitung jumlah level kuantisasi yang tersedia.

## **F. Rangkuman**

- Sinyal campuran terdiri dari komponen analog dan digital.
- Sinyal analog adalah kontinu dalam waktu dan amplitudo, sedangkan sinyal digital terdiri dari serangkaian nilai diskrit.
- Pemrosesan sinyal campuran melibatkan konversi antara domain analog dan digital
- Konverter D/A mengubah sinyal digital menjadi sinyal analog, sementara konverter A/D melakukan kebalikan.
- Resolusi, akurasi, kecepatan sampling, dan respons frekuensi adalah parameter penting dalam konverter D/A dan A/D.
- Resolusi mengukur tingkat detail dalam representasi sinyal digital ke analog atau sebaliknya.
- Akurasi mencerminkan sejauh mana konverter dapat mereproduksi sinyal asli.
- Kecepatan sampling adalah jumlah sampel per detik yang dapat ditangkap atau dihasilkan oleh konverter.
- Respons frekuensi menggambarkan kisaran frekuensi yang dapat ditangkap atau dihasilkan oleh konverter.
- Integrasi rangkaian digital dan analog dalam satu paket membawa manfaat seperti ukuran yang lebih kecil, biaya yang lebih rendah, dan kinerja yang lebih baik.

## **G. Referensi**

- Nasution, M. H., & Hidayat, R. (2017). Dasar-Dasar Elektronika Digital dan Analog. PT. Refika Aditama.
- Suyanto, E. (2017). Konverter Data (ADC dan DAC) dan Implementasinya dengan Mikrokontroler. Informatika.
- Ariyanto, A., & Rahmat, M. (2019). Desain Sistem Elektronik dengan Mikrokontroler ATmega. Deepublish.
- Agung, M. H., & Adi, P. R. (2018). Pengenalan Mikrokontroler AVR: Teori, Perancangan, dan Praktikum. Deepublish.

## **BAB 6**

### **PARAMETER RANCANGAN DESAIN SISTEM**

#### **A. Pendahuluan**

Pada modul ini, Anda akan mempelajari tentang parameter rancangan dalam desain sistem. Parameter rancangan adalah faktor-faktor yang harus dipertimbangkan untuk mencapai performa yang diinginkan dalam suatu sistem. Modul ini akan membahas definisi parameter rancangan, parameter desain pada energi switching, produk tunda daya, disipasi daya, margin kebisingan, masalah distribusi catu daya, sumber kopling, degradasi sinyal, strategi desain, perangkat lunak untuk kebisingan dan degradasi sinyal, serta perbandingan efek saluran transmisi pada pemutusan pasif dan aktif.

## **B. Capaian Pembelajaran**

1. Memahami konsep dan definisi parameter rancangan dalam desain sistem.
2. Mengidentifikasi dan menjelaskan parameter desain pada energi switching.
3. Memahami pengertian dan pentingnya produk tunda daya serta disipasi daya.
4. Mengerti margin kebisingan dan cara mengurangi kebisingan dalam sistem.
5. Memahami masalah distribusi catu daya dan strategi penanganannya.
6. Mengetahui sumber kopling dan degradasi sinyal dalam desain sistem.
7. Memahami strategi desain dan penggunaan perangkat lunak untuk mengatasi kebisingan dan degradasi sinyal.
8. Membandingkan efek saluran transmisi pada pemutusan pasif dan aktif.

## **C. Tujuan Pembelajaran**

1. Menjelaskan konsep dan pentingnya parameter rancangan dalam desain sistem.
2. Mengidentifikasi dan menerangkan parameter desain pada energi switching.
3. Memahami produk tunda daya dan disipasi daya serta dampaknya pada sistem.
4. Mengerti margin kebisingan dan cara mengelolanya dalam desain sistem.
5. Mengetahui masalah distribusi catu daya dan metode penanganannya.
6. Menerangkan sumber kopling dan degradasi sinyal dalam desain sistem.
7. Memahami strategi desain dan perangkat lunak yang dapat digunakan untuk mengatasi kebisingan dan degradasi sinyal.
8. Membandingkan efek saluran transmisi pada pemutusan pasif dan aktif dalam desain sistem.

## **D. Pembahasan**

Dalam proses desain sistem, penting untuk memiliki pemahaman yang jelas tentang parameter rancangan. Parameter rancangan adalah karakteristik, spesifikasi, dan faktor-faktor lain yang harus dipertimbangkan saat merancang sistem untuk mencapai performa yang diinginkan. Dengan menentukan parameter-parameter ini dengan tepat, kita dapat memastikan bahwa sistem yang dirancang dapat beroperasi dengan baik sesuai dengan kebutuhan dan tujuan yang ditetapkan.

## **1 Definisi Parameter Rancangan**

Parameter rancangan mencakup berbagai karakteristik sistem yang harus diperhatikan. Misalnya, dalam desain sistem komunikasi, parameter seperti kecepatan transmisi, kapasitas kanal, dan kualitas sinyal sangat penting. Sedangkan dalam desain sistem kontrol, respons sistem terhadap perubahan input dan stabilitas sistem menjadi parameter yang kritis. Memahami karakteristik sistem yang diinginkan membantu menentukan parameter rancangan yang relevan.

Spesifikasi sistem adalah persyaratan khusus yang harus dipenuhi oleh sistem yang dirancang. Spesifikasi ini dapat berupa kisaran nilai untuk parameter tertentu, batasan kesalahan, atau persyaratan performa lainnya. Misalnya, dalam desain sistem audio, spesifikasi seperti rentang frekuensi, distorsi harmonik total, dan tingkat kebisingan mungkin menjadi fokus utama. Menentukan spesifikasi dengan jelas membantu memastikan bahwa sistem yang dirancang sesuai dengan kebutuhan pengguna.

Parameter rancangan juga harus mempertimbangkan faktor lingkungan di mana sistem akan beroperasi. Misalnya, dalam desain sistem elektronik yang akan digunakan di lingkungan industri dengan kondisi suhu ekstrem, parameter seperti rentang suhu operasi dan toleransi terhadap kelembaban menjadi penting. Memahami faktor-faktor lingkungan membantu menentukan batasan dan keandalan sistem dalam kondisi yang diharapkan. Parameter rancangan juga melibatkan kebutuhan daya sistem. Hal ini meliputi pemilihan dan penggunaan sumber daya yang tepat, serta pengelolaan daya yang efisien dalam sistem. Dalam desain sistem energi terbarukan, misalnya, parameter seperti efisiensi konversi energi dan manajemen daya yang adaptif menjadi perhatian utama. Memahami kebutuhan daya sistem membantu dalam merancang solusi yang efisien dan berkelanjutan.

## **2 Parameter Desain Pada Energi Switching, Produk Tunda Daya, Disipasi Daya & Margin Kebisingan.**

### **Energi switching**

Energi Switching: Energi switching merujuk pada energi yang dikonsumsi saat sirkuit beralih dari satu keadaan logika ke keadaan logika lainnya. Perhitungan energi switching melibatkan mengalikan tegangan pasokan dengan kapasitansi yang terlibat dalam proses switching dan frekuensi switching. Lebih tinggi frekuensi switching, semakin besar energi yang dikonsumsi.



Penting untuk mengoptimalkan desain sirkuit untuk mengurangi energi switching guna meningkatkan efisiensi dan masa pakai baterai.

Untuk menghitung energi switching, perlu diperhatikan tegangan dan arus switching serta durasi switching. Energi switching dapat dihitung menggunakan rumus:

$$E = 0.5 * C * V^2$$

Di mana E adalah energi switching, C adalah kapasitansi yang terlibat dalam switching, dan V adalah tegangan switching.

### **Produk tunda daya**

Produk tunda daya adalah hasil perkalian antara daya yang dikonsumsi oleh sirkuit dan waktu tunda yang dibutuhkan untuk proses operasionalnya. Perhitungan produk tunda daya melibatkan mengalikan daya dengan waktu tunda. Semakin rendah produk tunda daya, semakin baik kinerja sirkuit dalam hal efisiensi daya dan kecepatan operasional.

Produk tunda daya dapat dihitung dengan rumus:

$$PDP = \text{Power} * \text{Delay}$$

Di mana PDP adalah produk tunda daya, Power adalah daya yang dikonsumsi oleh rangkaian, dan Delay adalah waktu tunda rangkaian.

### **Disipasi daya**

Disipasi daya adalah jumlah daya yang hilang dalam bentuk panas saat komponen atau rangkaian bekerja. Untuk menghitung disipasi daya, perlu diketahui resistansi internal komponen dan arus yang melewati komponen tersebut. Disipasi daya dapat dihitung menggunakan rumus:

$$P = I^2 * R$$

Di mana P adalah daya yang dihasilkan, I adalah arus yang melewati komponen, dan R adalah resistansi internal komponen.

### **Margin kebisingan**

Margin kebisingan adalah jarak antara level sinyal yang diinginkan dengan level kebisingan yang terjadi dalam sistem. Untuk menghitung margin kebisingan, perlu diketahui level sinyal dan level kebisingan. Margin kebisingan dapat dihitung dengan rumus:

$$\text{Margin} = \text{Sinyal} - \text{Kebisingan}$$

Di mana Margin adalah margin kebisingan, Sinyal adalah level sinyal yang diinginkan, dan Kebisingan adalah level kebisingan yang terjadi.

### **3 Masalah Distribusi Catu Daya**

Distribusi catu daya (power distribution) mengacu pada sistem yang digunakan untuk mengirimkan daya listrik dari sumber catu daya ke berbagai perangkat atau beban yang membutuhkan daya tersebut. Ini melibatkan proses penyaluran dan pengaturan tegangan dan arus listrik agar sesuai dengan kebutuhan perangkat yang terhubung. Pada tingkat yang lebih luas, distribusi catu daya mencakup penyediaan dan pengaturan sumber daya listrik untuk berbagai fasilitas atau bangunan, seperti gedung perkantoran, pabrik, rumah sakit, atau pusat data. Sistem distribusi catu daya biasanya terdiri dari transformator, panel distribusi, kabel penghantar, sakelar, perlindungan arus pendek, dan perangkat pengendali lainnya.

Tujuan utama dari distribusi catu daya adalah menyediakan daya listrik yang stabil, aman, dan andal ke perangkat yang membutuhkannya. Beban listrik yang terhubung ke sistem distribusi dapat memiliki kebutuhan daya yang beragam, sehingga distribusi catu daya harus mampu mengatasi variasi ini dengan menyediakan tegangan yang sesuai dan kemampuan untuk mengalirkan arus yang cukup. Selain itu, distribusi catu daya juga melibatkan perhatian terhadap efisiensi energi, perlindungan terhadap gangguan listrik seperti lonjakan atau gangguan arus pendek, dan pengendalian suhu untuk mencegah overheating pada peralatan elektronik.

Dalam konteks perangkat elektronik dan mikroelektronika, distribusi catu daya sering mengacu pada penyediaan daya yang tepat dan stabil ke sirkuit terintegrasi (IC) dan komponen elektronik lainnya di dalam perangkat. Ini melibatkan desain dan implementasi rangkaian pengaturan tegangan, filter penyaring, regulator tegangan, dan perlindungan kelebihan arus. Dengan distribusi catu daya yang baik, perangkat dan sistem elektronik dapat berfungsi dengan baik dan terlindungi dari risiko kerusakan yang disebabkan oleh gangguan listrik atau ketidakstabilan daya.

Ada beberapa masalah yang terkait dengan distribusi catu daya yang dapat mempengaruhi kinerja dan keandalan sistem. Beberapa masalah tersebut antara lain:

1. Drop tegangan (Voltage Drop): Penurunan tegangan yang terjadi saat daya listrik mengalir melalui saluran distribusi, dapat mengakibatkan penurunan kinerja perangkat.
2. Gangguan Arus Pendek (Short Circuit): Hubungan langsung antara kabel positif dan negatif pada saluran distribusi dapat menyebabkan arus pendek yang merusak komponen dan mengganggu operasi sistem.
3. Gangguan Listrik (Electrical Noise): Distribusi catu daya yang tidak baik dapat menyebabkan kebisingan listrik yang mengganggu kinerja perangkat elektronik dan merusak data.
4. Ketidakseimbangan Beban (Load Imbalance): Beban daya yang tidak terdistribusi secara merata pada fase atau saluran distribusi dapat menyebabkan ketidakseimbangan beban dan potensi kegagalan sistem.
5. Kehilangan Daya (Power Loss): Peralihan energi dalam distribusi catu daya menghasilkan kehilangan daya yang dapat mengurangi efisiensi keseluruhan sistem.
6. Panas Berlebih (Excessive Heat): Resistansi berlebihan dalam saluran distribusi dapat menyebabkan peningkatan suhu yang berlebihan, merusak komponen dan mempersingkat umur pakai perangkat.
7. Ketidakstabilan Tegangan: Variasi tegangan yang signifikan dalam distribusi catu daya dapat menyebabkan ketidakstabilan sistem dan merusak komponen sensitif.

Untuk mengatasi masalah distribusi catu daya, Dengan mengimplementasikan langkah-langkah ini, masalah terkait dengan distribusi catu daya dapat diminimalkan, dan kualitas dan keandalan sistem dapat ditingkatkan. Beberapa langkah yang dapat diambil antara lain:

1. Desain yang Tepat: Rancang sistem catu daya dengan mempertimbangkan kebutuhan daya yang tepat, termasuk tegangan dan arus yang diperlukan oleh setiap komponen. Gunakan komponen yang memiliki efisiensi tinggi untuk mengurangi kehilangan daya yang tidak perlu.

2. Pemilihan Kabel dan Pengkabelan yang Baik: Pilih kabel dengan ukuran yang sesuai dan resistansi rendah untuk mengurangi kehilangan daya dan jatuh tegangan. Pastikan pengkabelan dilakukan dengan baik dan terhindar dari potensi kopling yang tidak diinginkan.
3. Filtering dan Penyaringan: Gunakan filter dan penyaringan yang tepat untuk menghilangkan noise dan gangguan pada catu daya. Filter dapat mengurangi interferensi dan spike tegangan yang dapat merusak komponen.
4. Grounding yang Baik: Lakukan grounding yang baik untuk mengurangi potensi gangguan bumi dan memastikan lintasan kembali yang efektif bagi arus.
5. Penggunaan Regulator Tegangan: Gunakan regulator tegangan yang stabil untuk menjaga tegangan catu daya tetap pada tingkat yang diinginkan, mengurangi fluktuasi dan kebisingan.
6. Pemisahan Sinyal dan Daya: Pisahkan jalur sinyal dan jalur daya secara fisik untuk menghindari kopling yang tidak diinginkan antara keduanya.
7. Pengukuran dan Monitoring: Lakukan pengukuran dan pemantauan secara teratur untuk mengidentifikasi masalah potensial dalam distribusi catu daya dan mengambil tindakan perbaikan yang diperlukan.

#### **4 Sumber Kopling & Degradasi Sinyal**

Sumber kopling dalam desain sistem merujuk pada interaksi atau pengaruh saling antara komponen atau jalur yang berbeda dalam suatu sistem. Hal ini dapat terjadi dalam berbagai bentuk, seperti kopling magnetik, kopling kapasitif, atau kopling induktif.

Kopling magnetik terjadi ketika medan magnet dari satu komponen atau jalur mempengaruhi kinerja komponen atau jalur lainnya. Misalnya, dalam desain rangkaian elektronik, transformator atau induktor dapat mengalami kopling magnetik yang menyebabkan saling pengaruh antara gulungan-gulungan di dalamnya. Hal ini dapat menghasilkan transfer energi atau sinyal dari satu komponen ke komponen lainnya, yang dapat mengganggu operasi yang diinginkan.

Kopling kapasitif terjadi ketika medan listrik dari satu komponen atau jalur berpengaruh pada komponen atau jalur yang berdekatan secara kapasitif. Misalnya, dua jalur yang berdekatan

pada papan sirkuit cetak (PCB) dapat mengalami kopling kapasitif yang menyebabkan timbulnya sinyal yang tidak diinginkan atau noise. Ini bisa terjadi karena adanya kapasitansi parasit antara jalur-jalur tersebut.

Kopling induktif terjadi ketika arus yang mengalir pada satu jalur mempengaruhi jalur lain melalui induksi magnetik. Misalnya, ketika arus yang tinggi mengalir melalui kumparan induktor, medan magnet yang dihasilkan dapat mempengaruhi kinerja kumparan induktor lain yang berdekatan. Ini dapat menyebabkan peningkatan atau penurunan arus pada kumparan yang terkena kopling induktif.

Degradasi sinyal dapat terjadi akibat sumber kopling tersebut. Sinyal yang mengalami kopling dengan sumber lain dapat mengalami perubahan amplitudo, distorsi, atau bahkan hilangnya informasi yang penting. Degradasi sinyal ini dapat menyebabkan gangguan dalam sistem dan mempengaruhi kualitas atau kehandalan kinerja sistem secara keseluruhan.

Untuk mengatasi masalah sumber kopling dan degradasi sinyal, beberapa langkah dapat dilakukan dalam desain sistem. Pertama, pemisahan fisik antara jalur yang rentan terhadap kopling dapat dilakukan dengan menjaga jarak yang cukup antara komponen atau jalur yang saling berinteraksi. Kedua, teknik grounding yang baik dapat membantu mengurangi kemungkinan kopling yang tidak diinginkan. Ketiga, penggunaan bahan isolasi yang sesuai dapat membantu menghambat penyebaran medan listrik atau medan magnet yang dapat menyebabkan kopling. Keempat, penggunaan filter atau peredam pada jalur yang sensitif dapat meredam sinyal yang tidak diinginkan sebelum mencapai komponen yang sensitif.

### **Pengaruh sumber kopling dan degradasi sinyal terhadap perilaku sirkuit**

Pengaruh positif dari sumber kopling adalah ketika sinyal yang dikopel dari satu bagian sirkuit dapat memberikan kontribusi yang diinginkan atau berguna pada bagian lainnya. Misalnya, dalam rangkaian penguat, sinyal input yang dikuatkan kemudian dikopel ke bagian berikutnya untuk diproses lebih lanjut. Dalam hal ini, sumber kopling membantu meningkatkan amplitudo atau kualitas sinyal dan memperkuat output yang dihasilkan.

Namun, pengaruh negatif dari sumber kopling dapat menyebabkan degradasi sinyal dan mempengaruhi perilaku sirkuit secara negatif. Salah satu contoh negatifnya adalah kopling tak diinginkan atau interferensi antara jalur sinyal yang berbeda dalam sirkuit. Hal ini bisa terjadi

ketika sinyal yang seharusnya terisolasi atau terpisah terganggu oleh sinyal dari jalur lainnya, menghasilkan distorsi, noise, atau gangguan yang mengurangi kualitas sinyal. Kopling tak diinginkan dapat terjadi melalui kapasitansi parasit, induktansi parasit, resistansi parasit, atau efek elektromagnetik lainnya antara komponen atau jalur sirkuit.

Selain itu, degradasi sinyal juga dapat terjadi akibat resistansi internal komponen, kapasitansi parasit, induktansi parasit, dan perubahan karakteristik frekuensi komponen saat beroperasi dalam suhu atau kondisi lingkungan yang berbeda. Hal ini dapat menghasilkan penurunan amplitudo, perubahan bentuk gelombang, distorsi frekuensi, atau pergeseran fase yang mengganggu integritas sinyal.

Pengaruh sumber kopling dan degradasi sinyal terhadap perilaku sirkuit sangat penting untuk dipahami dan dikelola dalam desain sirkuit yang baik. Melalui pemilihan komponen yang tepat, pemodelan dan perhitungan yang akurat, teknik pemisahan sinyal yang efektif, pengurangan noise dan gangguan, serta penggunaan teknik mitigasi dan pengkompensasian yang sesuai, dampak negatif dari sumber kopling dan degradasi sinyal dapat diminimalkan sehingga kinerja sirkuit dapat ditingkatkan.

Selain itu, pengaruh sumber kopling dan degradasi sinyal juga dapat menyebabkan beberapa masalah terkait dengan performa sirkuit. Beberapa masalah umum yang mungkin muncul akibat pengaruh tersebut adalah:

1. Penurunan kualitas sinyal: Sumber kopling dan degradasi sinyal dapat mengakibatkan penurunan kualitas sinyal, seperti penurunan amplitudo, peningkatan distorsi, atau pergeseran fase. Hal ini dapat mengurangi akurasi dan kejernihan sinyal yang diproses oleh sirkuit.
2. Interferensi elektromagnetik (EMI): Ketika sinyal yang dikopel atau jalur yang berdekatan saling berinteraksi, dapat terjadi interferensi elektromagnetik. EMI dapat menghasilkan noise yang tidak diinginkan atau gangguan sinyal yang dapat mengganggu kinerja sirkuit.
3. Ketidakstabilan: Sumber kopling yang tidak diinginkan atau perubahan karakteristik sirkuit akibat degradasi sinyal dapat menyebabkan ketidakstabilan dalam operasi sirkuit. Hal ini dapat mengakibatkan osilasi, fluktuasi, atau respons yang tidak terduga.

4. Gangguan lintas jalur (crosstalk): Jika jalur sinyal yang berbeda saling mengkopel secara tak diinginkan, dapat terjadi gangguan lintas jalur. Crosstalk dapat mengakibatkan pencampuran atau interferensi sinyal, yang dapat mengganggu pemrosesan sinyal yang benar di dalam sirkuit.
5. Degradasi respons frekuensi: Pengaruh sumber kopling dan degradasi sinyal dapat menyebabkan perubahan respons frekuensi sirkuit. Hal ini dapat mengakibatkan pergeseran frekuensi, pembatasan bandwidth, atau distorsi frekuensi yang mempengaruhi kualitas sinyal yang diproses.

## **5 Perbandingan Efek Saluran Transmisi Pada Pemutusan Pasif & Aktif**

Efek saluran transmisi, terutama pemutusan pasif dan aktif, memiliki dampak signifikan pada sinyal yang dikirim melalui saluran tersebut. Pemutusan pasif terjadi ketika saluran transmisi mengalami pemutusan fisik, seperti kerusakan kabel atau konektor yang mengakibatkan terputusnya aliran sinyal. Pemutusan aktif, di sisi lain, terjadi ketika sinyal yang dikirim melalui saluran mengalami gangguan yang mengubah karakteristiknya.

- Pemutusan pasif dalam saluran transmisi menghasilkan pengurangan amplitudo sinyal yang dikirim. Hal ini dapat menyebabkan sinyal menjadi lemah atau bahkan tidak terdeteksi oleh penerima. Selain itu, pemutusan pasif juga dapat menyebabkan refleksi sinyal yang mengakibatkan distorsi dan gangguan pada sinyal. Oleh karena itu, penting untuk menjaga integritas fisik saluran transmisi agar tetap terhubung dengan baik dan terhindar dari kerusakan fisik.
- Pemutusan aktif dalam saluran transmisi dapat disebabkan oleh berbagai faktor, seperti interferensi elektromagnetik, gangguan sinyal, atau ketidaksempurnaan komponen dalam saluran. Pemutusan aktif mengubah karakteristik sinyal dengan menghasilkan distorsi, penurunan kualitas sinyal, atau bahkan kehilangan informasi yang dikandung oleh sinyal. Pemutusan aktif juga dapat menyebabkan munculnya noise atau gangguan tambahan dalam sinyal.

Untuk mengatasi efek pemutusan pasif dan aktif, beberapa langkah dapat diambil. Pertama, pemeliharaan dan pemeriksaan rutin pada saluran transmisi penting untuk mendeteksi dan memperbaiki pemutusan pasif sebelum mengakibatkan gangguan yang lebih serius. Selain itu,

penggunaan perangkat perlindungan seperti penutup atau perisai dapat membantu mengurangi risiko pemutusan pasif akibat gangguan fisik eksternal.

Untuk pemutusan aktif, teknik pengurangan noise dan gangguan dapat digunakan, seperti penggunaan filter sinyal untuk menghilangkan komponen frekuensi yang tidak diinginkan, penggunaan isolasi galvanik untuk memisahkan sirkuit yang rentan terhadap gangguan, atau penggunaan teknik modulasi yang lebih tahan terhadap gangguan.

Dalam perbandingan efek pemutusan pasif dan aktif, pemutusan pasif umumnya menghasilkan dampak yang lebih signifikan terhadap sinyal, karena terjadi pemutusan fisik yang menyebabkan hilangnya sinyal secara keseluruhan atau penurunan amplitudo yang besar. Pemutusan aktif, meskipun dapat menyebabkan distorsi dan penurunan kualitas sinyal, seringkali masih memungkinkan sinyal untuk diterima dengan beberapa tingkat ketidaksempurnaan.

## **6 Analisis Monte Carlo**

Analisis Monte Carlo adalah metode numerik yang digunakan untuk menghitung hasil statistik dari suatu model matematis dengan menggunakan simulasi acak. Metode ini dinamai sesuai dengan nama kota Monte Carlo di Monako yang terkenal dengan kasino dan perjudian, karena melibatkan penggunaan angka acak dalam simulasi. Metode Monte Carlo pertama kali diperkenalkan oleh fisikawan Amerika Serikat bernama Stanislaw Ulam pada tahun 1940-an ketika ia sedang bekerja di Proyek Manhattan. Ulam menggunakan metode ini untuk memodelkan dan menganalisis perilaku neutron dalam bom atom. Setelah itu, metode Monte Carlo berkembang dan menjadi salah satu teknik yang paling umum digunakan dalam analisis statistik dan simulasi.

Analisis Monte Carlo adalah teknik komputasi yang mengandalkan penggunaan angka acak dan simulasi untuk memperkirakan hasil statistik dari suatu model matematis. Metode ini menggabungkan prinsip-prinsip statistik dengan simulasi acak untuk menghasilkan perkiraan yang mendekati nilai sebenarnya. Ada 3 fungsi utama analisis ini yaitu Estimasi, Analisis Resiko dan Optimasi.

1. Estimasi: Metode Monte Carlo dapat digunakan untuk mengestimasi hasil statistik dari suatu model matematis ketika model tersebut tidak memiliki solusi analitik yang mudah dihitung. Misalnya, dalam keuangan, metode Monte Carlo digunakan untuk memperkirakan nilai tukar saham atau nilai opsi.



2. Analisis Risiko: Metode Monte Carlo sangat berguna dalam menganalisis risiko dan ketidakpastian dalam berbagai bidang. Dengan menggunakan simulasi acak, metode ini dapat menghasilkan distribusi probabilitas untuk hasil yang mungkin, sehingga memungkinkan analisis risiko yang lebih komprehensif.
3. Optimisasi: Metode Monte Carlo juga dapat digunakan untuk mencari solusi optimal dalam masalah optimisasi. Dengan melakukan serangkaian simulasi acak, metode ini dapat mengeksplorasi berbagai kombinasi parameter dan memilih solusi yang memberikan hasil terbaik.

Untuk mengimplementasikan analisis Monte Carlo, diperlukan penggunaan perangkat lunak atau bahasa pemrograman yang mendukung simulasi acak. Beberapa alat atau bahasa pemrograman yang sering digunakan dalam implementasi metode Monte Carlo adalah MATLAB, Python, R, Ms. Excel.

Analisis Monte Carlo dalam desain rangkaian (circuit) digunakan untuk mengatasi ketidakpastian dan variabilitas yang terkait dengan komponen elektronik, parameter desain, atau kondisi operasional. Metode Monte Carlo memungkinkan insinyur desain untuk memperoleh pemahaman yang lebih baik tentang kinerja rangkaian dan memperkirakan sejauh mana variasi dalam parameter desain atau ketidakpastian komponen dapat mempengaruhi hasil yang diinginkan. Dalam analisis Monte Carlo untuk desain rangkaian, langkah-langkah umumnya meliputi:

1. Spesifikasi Parameter: Tentukan parameter desain yang ingin dievaluasi dan tentukan distribusi probabilitas yang sesuai untuk masing-masing parameter tersebut. Distribusi probabilitas ini dapat berdasarkan pengetahuan dan pengalaman sebelumnya, data karakteristik komponen, atau pengukuran sebelumnya.
2. Simulasi Monte Carlo: Lakukan simulasi Monte Carlo dengan memasukkan variasi angka acak ke dalam nilai-nilai parameter desain. Setiap simulasi menghasilkan satu set nilai parameter yang dihasilkan secara acak berdasarkan distribusi probabilitas yang ditentukan sebelumnya. Dalam setiap simulasi, jalankan rangkaian dan catat hasil yang diinginkan, seperti respons frekuensi, tegangan output, atau arus kerja.

3. Analisis Statistik: Setelah menjalankan sejumlah simulasi Monte Carlo, analisis statistik dapat dilakukan untuk menganalisis hasil dan memahami variabilitas yang mungkin terjadi. Statistik yang umum digunakan meliputi rata-rata, standar deviasi, distribusi probabilitas, atau interval kepercayaan. Hal ini membantu dalam mengidentifikasi area sensitif dalam desain dan mengukur sejauh mana variasi parameter dapat mempengaruhi kinerja rangkaian.
4. Evaluasi Kinerja: Berdasarkan hasil analisis statistik, insinyur desain dapat mengevaluasi kinerja rangkaian dalam menghadapi variasi parameter desain atau ketidakpastian komponen. Ini membantu dalam mengambil keputusan desain yang lebih baik, seperti memilih komponen dengan toleransi yang lebih ketat, memodifikasi desain untuk mengurangi dampak variasi parameter, atau menetapkan batasan toleransi yang sesuai untuk memenuhi spesifikasi kinerja.

Dalam implementasi analisis Monte Carlo dalam desain rangkaian, perangkat lunak simulasi elektronik seperti SPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis) atau perangkat lunak desain rangkaian khusus seperti Cadence atau Altium Designer dapat digunakan. Perangkat lunak ini menyediakan fasilitas untuk melakukan simulasi Monte Carlo dengan memasukkan variasi parameter dan menganalisis hasil statistik dari hasil simulasi.

Six Sigma adalah metodologi yang digunakan untuk meningkatkan kualitas proses dengan mengurangi variabilitas dan kesalahan dalam produksi atau operasi. Metode ini sangat relevan dalam analisis Monte Carlo dalam desain rangkaian karena dapat membantu mengidentifikasi dan mengontrol variabilitas yang ada.

Dalam konteks analisis Monte Carlo, Six Sigma dapat diterapkan dengan langkah-langkah berikut:

1. Definisikan Tujuan: Tentukan tujuan kualitas yang ingin dicapai dalam desain rangkaian. Misalnya, mungkin tujuan tersebut adalah memastikan bahwa kinerja rangkaian memenuhi spesifikasi yang ditentukan.
2. Identifikasi Parameter Kritis: Identifikasi parameter desain yang kritis dan berpotensi mempengaruhi kualitas atau kinerja rangkaian. Parameter ini dapat berupa nilai-nilai resistor, kapasitor, induktor, atau parameter lain yang relevan.

3. Pengukuran Baseline: Lakukan pengukuran atau simulasi awal untuk mendapatkan pemahaman tentang variabilitas parameter kritis dan kinerja rangkaian saat ini.
4. Analisis Monte Carlo: Gunakan metode analisis Monte Carlo untuk memodelkan variasi parameter kritis. Berdasarkan distribusi probabilitas yang ditentukan, lakukan simulasi Monte Carlo untuk memperoleh sejumlah hasil yang mungkin berdasarkan variasi parameter tersebut.
5. Evaluasi Sigma Level: Analisis hasil simulasi Monte Carlo untuk memperoleh estimasi sigma level, yang menggambarkan tingkat variabilitas dalam proses desain. Sigma level merupakan ukuran standar deviasi relatif terhadap batasan spesifikasi. Semakin tinggi sigma level, semakin sedikit variabilitas dan risiko kesalahan yang terjadi.
6. Identifikasi Sumber Variabilitas: Identifikasi sumber-sumber variabilitas yang signifikan dan perhatikan variabilitas tersebut dalam proses desain. Misalnya, jika komponen tertentu memiliki toleransi yang lebar, pertimbangkan penggunaan komponen dengan toleransi yang lebih ketat untuk mengurangi variabilitas.
7. Implementasi Perbaikan: Dengan mempertimbangkan temuan dari analisis Monte Carlo dan fokus pada pengurangan variabilitas, implementasikan perbaikan dalam desain rangkaian. Misalnya, lakukan pemilihan komponen yang lebih konsisten, pertimbangkan desain redundan, atau terapkan strategi pengendalian kualitas lainnya.
8. Monitor dan Kontrol: Setelah perbaikan diimplementasikan, monitor dan kontrol kinerja rangkaian untuk memastikan bahwa target kualitas tercapai. Lakukan pengukuran periodik, evaluasi hasil, dan lakukan tindakan perbaikan lanjutan jika diperlukan.

Dengan menggunakan pendekatan Six Sigma dalam analisis Monte Carlo, insinyur desain dapat mengidentifikasi dan mengurangi variabilitas yang dapat mempengaruhi kualitas dan kinerja rangkaian. Hal ini membantu meningkatkan tingkat keberhasilan desain, mengurangi risiko kesalahan, dan meningkatkan kepuasan pelanggan.

## **E. Rangkuman**

- Parameter rancangan adalah variabel-variabel yang digunakan untuk menggambarkan karakteristik dan kinerja sistem elektronik.
- Penting untuk memahami dan menentukan parameter rancangan yang tepat agar mencapai tujuan desain yang diinginkan.
- Parameter rancangan yang relevan dalam desain sistem energi switching mencakup efisiensi konversi energi, respons waktu, dan kebisingan sirkuit.
- Contoh parameter rancangan dalam desain sirkuit daya meliputi pengontrol switching dan komponen pasif.
- Masalah distribusi catu daya meliputi drop tegangan, gangguan arus pendek, kebisingan listrik, ketidakseimbangan beban, kehilangan daya, dan panas berlebih.
- Masalah distribusi catu daya dapat berdampak pada performa sistem dan memerlukan strategi desain yang tepat.
- Strategi desain dapat digunakan untuk mengurangi kebisingan dan degradasi sinyal dalam sistem elektronik.
- Penggunaan perangkat lunak simulasi dan analisis membantu memprediksi dan mengoptimalkan performa sistem dalam menghadapi kebisingan dan degradasi sinyal.

## **F. Referensi**

- Rifai, A. A., & Purnomo, M. H. (2015). Dasar-Dasar Elektronika Daya. Penerbit Andi.
- Hartono, D., & Santoso, A. B. (2013). Elektronika Daya (Teori, Perancangan, dan Implementasi). Penerbit Andi.
- Hidayat, A. (2013). Teknik Rancangan Rangkaian Listrik. Penerbit Andi.
- Widodo, A. (2017). Teknik Analisis Rangkaian Listrik. Penerbit Andi.

## **BAB 7**

### **CIRCUIT MODELING & METODE SIMULASI**

#### **A. Pendahuluan**

Modul ini membahas tentang Circuit Modeling & Metode Simulasi, yang merupakan konsep dan teknik penting dalam desain dan analisis rangkaian elektronik. Dalam pengembangan dan perancangan rangkaian elektronik, pemodelan sirkuit dan simulasi menjadi langkah kritis untuk memahami perilaku dan kinerja rangkaian sebelum implementasi fisik. Pemodelan sirkuit melibatkan representasi matematis atau abstraksi dari komponen dan hubungan dalam suatu rangkaian. Dengan menggunakan model sirkuit yang tepat, kita dapat menggambarkan respons dan karakteristik rangkaian, termasuk arus, tegangan, impedansi, dan transfer daya antara komponen yang berbeda.

Metode simulasi adalah proses penggunaan perangkat lunak komputer untuk menganalisis dan memprediksi perilaku rangkaian elektronik. Dengan simulasi, kita dapat menguji dan memvalidasi desain rangkaian sebelum implementasi fisik, menghemat waktu, biaya, dan sumber daya yang terkait dengan pembuatan prototipe fisik. Dalam modul ini, kita akan mempelajari berbagai teknik pemodelan sirkuit yang umum digunakan, seperti pemodelan komponen pasif dan aktif, analisis sirkuit DC dan AC, serta analisis transien. Selain itu, kita juga akan mempelajari metode simulasi yang populer, seperti simulasi berbasis skematik dan simulasi berbasis perangkat lunak seperti SPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis) atau Proteus

#### **B. Capaian Pembelajaran**

1. Memahami konsep dasar dan prinsip kerja dalam Circuit Modeling & Metode Simulasi.
2. Menggunakan perangkat lunak simulasi untuk memodelkan dan menganalisis rangkaian elektronika.
3. Memahami metode analisis yang digunakan dalam simulasi rangkaian, termasuk analisis DC, analisis AC, dan analisis transien.
4. Mengerti cara memodelkan komponen aktif dalam simulasi, seperti transistor, op-amp, dioda, dan MOSFET.

### C. Tujuan Pembelajaran

1. Memahami konsep dan prinsip dasar dalam Circuit Modeling & Metode Simulasi.
2. Mengenal perangkat lunak simulasi yang digunakan dalam pemodelan dan analisis rangkaian.
3. Mampu menggunakan perangkat lunak simulasi untuk memodelkan dan menganalisis rangkaian elektronika.
4. Memahami metode analisis yang diterapkan dalam simulasi, seperti analisis DC, analisis AC, dan analisis transien.
5. Mampu memodelkan komponen aktif dalam simulasi, termasuk transistor, op-amp, dioda, dan MOSFET.

### D. Pembahasan

#### 1 Pemodelan Pasif

kita membahas tentang pemodelan komponen pasif dalam rangkaian. Komponen pasif seperti resistor, kapasitor, dan induktor memiliki karakteristik yang memengaruhi aliran arus dan tegangan dalam rangkaian. Pemodelan komponen pasif digunakan untuk menggambarkan hubungan matematis antara tegangan dan arus pada komponen tersebut.

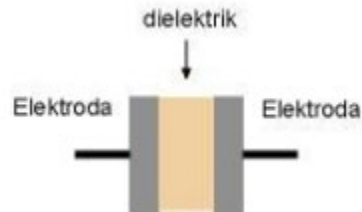
1. Resistor:



Resistor adalah komponen pasif yang memiliki resistansi. Resistansi resistor menentukan seberapa besar hambatan terhadap aliran arus dalam rangkaian. Resistor dapat dimodelkan dengan menggunakan nilai resistansi yang dinyatakan dalam ohm ( $\Omega$ ). Hubungan antara

tegangan (V) dan arus (I) pada resistor dinyatakan oleh hukum Ohm:  $V = I \times R$ , di mana R adalah nilai resistansi.

## 2. Kapasitor:



Kapasitor adalah komponen pasif yang memiliki kemampuan untuk menyimpan dan melepaskan muatan listrik. Kapasitor dapat memodelkan sifat penyimpanan energi dalam bentuk medan listrik antara dua lempeng paralel yang dipisahkan oleh bahan dielektrik. Pemodelan kapasitor menggunakan kapasitansi (C) yang dinyatakan dalam farad (F). Hubungan antara tegangan (V) dan muatan (Q) pada kapasitor dinyatakan oleh persamaan  $Q = C \times V$ .

## 3. Induktor:



Induktor adalah komponen pasif yang memiliki kemampuan untuk menyimpan energi dalam bentuk medan magnetik. Induktor dapat memodelkan sifat penyimpanan energi dalam bentuk medan magnetik yang dihasilkan oleh arus yang mengalir melaluinya. Pemodelan induktor menggunakan induktansi (L) yang dinyatakan dalam henry (H). Hubungan antara tegangan (V) dan arus (I) pada induktor dinyatakan oleh persamaan  $V = L \times dI/dt$ , di mana  $dI/dt$  adalah turunan arus terhadap waktu.

Dengan pemodelan komponen pasif ini, kita dapat menganalisis respons komponen dalam rangkaian DC dan AC. Misalnya, dengan menggunakan pemodelan resistor, kita dapat menghitung tegangan dan arus pada resistor dalam kondisi DC (tegangan konstan) maupun kondisi AC (tegangan yang berubah-ubah dengan frekuensi tertentu). Pemodelan kapasitor dan induktor juga memungkinkan kita untuk menganalisis respons frekuensi rangkaian, perpindahan fase, dan karakteristik penyimpanan energi dalam rangkaian.

## **2 Pemodelan Aktif**

Kita membahas tentang pemodelan komponen aktif dalam desain rangkaian. Komponen aktif, seperti transistor, op-amp, dioda, dan MOSFET, memiliki karakteristik yang lebih kompleks dibandingkan dengan komponen pasif. Untuk menganalisis dan memahami respons komponen aktif terhadap sinyal input, kita perlu menggunakan model matematis yang lebih rumit. Pemodelan komponen aktif memperhitungkan sifat non-linear dari komponen tersebut, yang berarti responsnya tidak selalu sebanding secara linier dengan sinyal input. Model ini menggambarkan hubungan antara tegangan dan arus pada komponen aktif, serta memperhitungkan faktor-faktor seperti hambatan internal, kapasitansi, induktansi, dan karakteristik transkonduktansi.

Pemodelan komponen aktif memungkinkan kita untuk melakukan analisis yang lebih mendalam terhadap respons komponen tersebut. Dengan memahami karakteristik non-linear dan parameter komponen aktif, kita dapat mengoptimalkan kinerja rangkaian secara keseluruhan. Misalnya, kita dapat menyesuaikan tegangan kerja atau mengatur biasing untuk mendapatkan respons yang diinginkan. Pemodelan komponen aktif sangat penting dalam desain rangkaian yang kompleks, terutama pada aplikasi yang membutuhkan penggunaan komponen aktif secara optimal. Dengan menggunakan model matematis yang tepat, kita dapat melakukan simulasi, analisis, dan perancangan yang lebih akurat. Ini membantu kita dalam memprediksi perilaku rangkaian, memperhitungkan efek non-linear, dan membuat keputusan desain yang lebih cerdas.

Dalam Proteus, terdapat berbagai model komponen aktif yang telah terdefinisi dengan baik, sehingga kita dapat langsung menggunakan model-model tersebut dalam simulasi dan analisis rangkaian. Ini mempermudah kita dalam menganalisis performa rangkaian yang melibatkan komponen aktif, serta memfasilitasi pemilihan komponen yang tepat untuk mencapai tujuan desain yang diinginkan.



### 3 Analisis DC

Analisis DC dalam rangkaian elektronik dilakukan untuk menentukan kondisi tetap arus dan tegangan dalam rangkaian saat sinyal input adalah konstan atau tidak berubah. Hal ini berguna untuk memahami bagaimana rangkaian bekerja pada kondisi statis dan mengidentifikasi parameter penting seperti tegangan kerja komponen, arus jenuh, dan kestabilan operasi.

Metode analisis yang umum digunakan dalam analisis DC meliputi analisis titik tetap, metode beda tegangan, dan metode beda arus.

1. Analisis Titik Tetap (DC Operating Point Analysis): Analisis titik tetap digunakan untuk mencari nilai tegangan dan arus tetap dalam rangkaian. Langkah pertama dalam analisis ini adalah menyederhanakan rangkaian dengan menggantikan sumber arus searah dengan resistansi internalnya, dan menggantikan sumber tegangan searah dengan sumber tegangan konstan. Selanjutnya, persamaan Kirchhoff dan hukum Ohm digunakan untuk menghitung tegangan dan arus dalam rangkaian. Analisis titik tetap memberikan informasi tentang tegangan dan arus pada setiap komponen dalam kondisi statis.
2. Metode Beda Tegangan (Voltage Divider Rule): Metode beda tegangan digunakan untuk menghitung tegangan pada simpul rangkaian dengan menggunakan hukum beda tegangan Kirchhoff. Dalam analisis ini, tegangan pada simpul rangkaian dihitung berdasarkan perbandingan resistansi dalam rangkaian. Metode ini berguna dalam menghitung tegangan pada titik tengah rangkaian pembagi tegangan atau simpul lainnya dalam rangkaian.
3. Metode Beda Arus (Current Divider Rule): Metode beda arus digunakan untuk menghitung arus yang mengalir melalui elemen rangkaian paralel dengan menggunakan hukum beda arus Kirchhoff. Dalam analisis ini, arus pada setiap cabang paralel dihitung berdasarkan perbandingan konduktansi atau resistansi dalam rangkaian. Metode ini membantu dalam menghitung arus yang terbagi dalam rangkaian paralel.

Analisis DC sangat penting dalam desain rangkaian karena memberikan pemahaman tentang kondisi operasi tetap dan memungkinkan perancang untuk menentukan nilai komponen yang sesuai. Dengan menganalisis tegangan dan arus dalam kondisi statis, kita dapat memastikan kestabilan operasi rangkaian, mencegah komponen dari kerusakan akibat arus atau tegangan yang berlebihan, dan mengoptimalkan performa rangkaian.

## 4 Analisis AC

Analisis AC dalam rangkaian elektronik dilakukan untuk menganalisis respons rangkaian terhadap sinyal input yang berubah dengan frekuensi. Analisis ini memberikan informasi tentang karakteristik frekuensi rangkaian, seperti respons amplitudo dan fase, dan digunakan dalam desain filter, amplifier, dan rangkaian lainnya.

Dalam analisis AC, penggunaan impedansi kompleks sangat penting. Impedansi kompleks menggambarkan hubungan antara tegangan dan arus dalam rangkaian AC, termasuk perubahan amplitudo dan pergeseran fasa. Impedansi kompleks terdiri dari resistansi (bagian real) dan reaktansi (bagian imajiner).

Beberapa metode yang digunakan dalam analisis AC antara lain:

1. Analisis Impedansi: Dalam analisis ini, impedansi kompleks komponen rangkaian seperti resistor, kapasitor, dan induktor diperhitungkan. Impedansi resistor adalah resistansi, impedansi kapasitor adalah reaktansi negatif (kapasitif), dan impedansi induktor adalah reaktansi positif (induktif). Dengan menggunakan hukum beda tegangan Kirchhoff dan hukum beda arus Kirchhoff, impedansi total rangkaian dapat ditentukan, dan respons frekuensi rangkaian seperti respons amplitudo dan fase dapat dianalisis.
2. Analisis Respons Amplitudo: Analisis ini melibatkan perhitungan respons amplitudo rangkaian terhadap frekuensi. Respons amplitudo menggambarkan sejauh mana amplitudo sinyal keluaran dipengaruhi oleh frekuensi sinyal masukan. Hal ini berguna dalam desain filter, di mana kita dapat mengoptimalkan respons amplitudo untuk menghilangkan atau memperkuat komponen frekuensi tertentu dalam sinyal.
3. Analisis Respons Fase: Analisis ini melibatkan perhitungan respons fasa rangkaian terhadap frekuensi. Respons fasa menggambarkan pergeseran waktu antara sinyal input dan sinyal output dalam rangkaian. Pergeseran fasa ini dapat memiliki implikasi penting dalam aplikasi seperti sistem kontrol dan pemrosesan sinyal.

Dengan melakukan analisis AC, kita dapat memahami bagaimana rangkaian merespons sinyal AC pada berbagai frekuensi. Hal ini membantu dalam desain rangkaian yang responsif terhadap frekuensi tertentu, seperti dalam desain filter yang memblokir atau mengamplifikasi

frekuensi tertentu. Analisis AC juga membantu dalam menganalisis stabilitas dan performa rangkaian dalam domain frekuensi.

## **5 Analisis Transien**

Analisis transien dalam rangkaian elektronik dilakukan untuk menganalisis respons rangkaian terhadap perubahan tiba-tiba dalam sinyal input. Analisis transien memberikan informasi tentang waktu respons rangkaian, termasuk perubahan dalam arus dan tegangan, ketika terjadi perubahan dalam sinyal input.

Dalam analisis transien, sinyal input dimodelkan sebagai fungsi waktu yang mendefinisikan perubahan nilai atau bentuk sinyal pada suatu titik waktu tertentu. Respons rangkaian terhadap perubahan ini dianalisis dengan memperhatikan sifat transien dalam rangkaian, seperti waktu pengisian dan pembuangan kapasitor, waktu pemulihan diode, dan respons transient pada komponen lainnya.

Beberapa metode yang digunakan dalam analisis transien antara lain:

1. **Metode Integrasi Numerik:** Metode ini melibatkan pemecahan persamaan diferensial yang menggambarkan hubungan antara arus dan tegangan dalam rangkaian. Persamaan diferensial ini dapat dipecahkan menggunakan metode integrasi numerik seperti metode Euler atau metode Runge-Kutta. Dengan memperoleh solusi numerik dari persamaan diferensial, respons transien rangkaian dapat dianalisis pada berbagai titik waktu.
2. **Analisis Respons Waktu:** Analisis ini melibatkan pencatatan respons rangkaian terhadap perubahan sinyal input sebagai fungsi waktu. Grafik respons waktu menunjukkan perubahan dalam arus dan tegangan dalam rangkaian seiring dengan waktu. Hal ini membantu dalam memahami perubahan respons rangkaian secara keseluruhan dan melihat karakteristik transien seperti waktu stabilisasi dan waktu respons tertentu.
3. **Analisis Puncak dan Tegangan Khusus:** Dalam analisis transien, kita juga dapat menganalisis nilai puncak dan tegangan khusus dalam rangkaian. Nilai puncak menggambarkan nilai maksimum atau minimum dari arus atau tegangan dalam rangkaian selama respons transien. Tegangan khusus seperti tegangan puncak-ke-puncak atau tegangan rata-rata dapat memberikan informasi tambahan tentang respons rangkaian.

Dengan melakukan analisis transien, kita dapat memahami bagaimana rangkaian merespons perubahan tiba-tiba dalam sinyal input. Analisis ini membantu dalam mempelajari waktu respons rangkaian dan efek transien pada komponen, serta dalam mengoptimalkan desain rangkaian untuk respons transien yang diinginkan.

## **6 Keuntungan dan Kerugian Simulasi Sebagai Metode Analisis Rangkaian.**

Simulasi sebagai metode analisis rangkaian memiliki sejumlah keuntungan dan kerugian yang perlu dipertimbangkan. Berikut ini adalah penjelasan secara ilmiah mengenai keuntungan dan kerugian simulasi rangkaian:

Keuntungan:

1. **Ketersediaan Data Akurat:** Dalam simulasi, model matematis sirkuit didasarkan pada data karakteristik komponen yang telah diukur atau disediakan oleh produsen. Ini memungkinkan penggunaan nilai parameter yang akurat, sehingga menghasilkan hasil simulasi yang lebih dekat dengan perilaku sebenarnya.
2. **Fleksibilitas:** Simulasi memungkinkan desainer untuk dengan mudah memodifikasi dan menguji berbagai skenario dan kondisi operasi sirkuit. Dengan merubah nilai komponen, sinyal input, atau parameter lainnya, desainer dapat mengeksplorasi berbagai kemungkinan desain tanpa perlu membangun prototipe fisik yang sebenarnya.
3. **Analisis Lebih Cepat:** Simulasi memungkinkan analisis sirkuit yang lebih cepat dibandingkan dengan metode pengujian fisik. Dengan menggunakan perangkat lunak simulasi yang canggih, waktu yang dibutuhkan untuk mendapatkan hasil analisis dapat dikurangi secara signifikan, sehingga mempercepat proses desain.
4. **Visualisasi dan Analisis yang Mendalam:** Simulasi memberikan kemampuan untuk menganalisis berbagai aspek sirkuit secara mendalam. Hasil simulasi dapat divisualisasikan dalam bentuk grafik, diagram, atau tampilan lainnya, yang memudahkan pemahaman tentang kinerja sirkuit. Selain itu, analisis lebih rinci seperti analisis frekuensi, analisis transient, dan analisis sensitivitas dapat dilakukan dengan lebih mudah dan mendalam.

Kerugian:

1. Keterbatasan Model: Simulasi bergantung pada model matematis yang digunakan untuk merepresentasikan sirkuit. Model-model ini dapat memiliki keterbatasan tertentu dan mungkin tidak dapat mencakup semua aspek kompleksitas sirkuit yang sebenarnya. Pengguna harus memastikan bahwa model yang digunakan sesuai dengan kondisi dan karakteristik sirkuit yang akan dianalisis.
2. Ketidakakuratan Model: Meskipun model yang digunakan dalam simulasi didasarkan pada data yang akurat, tetap ada kemungkinan ketidakakuratan. Faktor-faktor seperti variasi suhu, toleransi komponen, dan non-linearitas komponen dapat mempengaruhi akurasi hasil simulasi.
3. Kebergantungan pada Parameter Input: Hasil simulasi sangat bergantung pada parameter input yang digunakan, seperti nilai komponen dan sinyal input. Jika parameter input tidak tepat atau tidak memadai, maka hasil simulasi dapat menjadi tidak akurat.
4. Keterbatasan Komputasi: Simulasi sirkuit yang kompleks dan detail membutuhkan daya komputasi yang signifikan. Simulasi yang melibatkan banyak komponen atau memiliki tingkat kompleksitas yang tinggi dapat membutuhkan waktu lama untuk dijalankan, tergantung pada kekuatan komputer yang digunakan.

Dalam prakteknya, simulasi rangkaian memiliki keuntungan yang jauh lebih besar daripada kerugian. Keuntungan-keuntungan tersebut memungkinkan desainer untuk menghemat waktu, biaya, dan upaya dalam proses desain dan pengembangan rangkaian elektronik. Dengan simulasi, desainer dapat memperoleh wawasan yang mendalam tentang kinerja sirkuit, memprediksi potensi masalah, dan melakukan iterasi desain untuk mencapai solusi yang optimal.

## **7 Simulasi Rangkaian Sederhana**

Simulasi kali ini mengimplementasikan SPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis). Ada berbagai macam aplikasi SPICE dalam praktik kali ini kita akan menggunakan proteus. Tutorial berupa video yang dapat diakses melalui Youtube. Ikut langkah-langkah berikut dengan selesai dan seksama.

1. Cara install proteus :

<https://www.youtube.com/watch?v=bW2lm3PfCXk&pp=ygUYUYY2FyYSBpbmN0YWxsIHByb3RldXMgOC45>

## 2. Simulasi Rangkaian Di proteus : <https://youtu.be/L1XmhCMYWKA>

Setelah mengikuti langkah diatas berarti kite telah mensimulasikan rangkaian dalam bentuk skematik menggunakan SPICE proteus.

### **E. Rangkuman**

- Parameter rancangan adalah variabel-variabel yang digunakan untuk menggambarkan karakteristik dan kinerja sistem elektronik.
- Penting untuk memahami dan menentukan parameter rancangan yang tepat agar mencapai tujuan desain yang diinginkan.
- Parameter rancangan yang relevan dalam desain sistem energi switching mencakup efisiensi konversi energi, respons waktu, dan kebisingan sirkuit.
- Contoh parameter rancangan dalam desain sirkuit daya meliputi pengontrol switching dan komponen pasif.
- Masalah distribusi catu daya meliputi drop tegangan, gangguan arus pendek, kebisingan listrik, ketidakseimbangan beban, kehilangan daya, dan panas berlebih.
- Masalah distribusi catu daya dapat berdampak pada performa sistem dan memerlukan strategi desain yang tepat.
- Strategi desain dapat digunakan untuk mengurangi kebisingan dan degradasi sinyal dalam sistem elektronik.
- Penggunaan perangkat lunak simulasi dan analisis membantu memprediksi dan mengoptimalkan performa sistem dalam menghadapi kebisingan dan degradasi sinyal.

### **F. Evaluasi Pembelajaran**

#### 1. Praktik Simulasi Rangkaian DC:

Gunakan perangkat lunak Proteus untuk merancang dan mensimulasikan rangkaian amplifikasi sederhana menggunakan transistor. Setelah merancang rangkaian, jalankan simulasi untuk mengukur tegangan dan arus pada setiap komponen rangkaian.

2. Praktik Simulasi Rangkaian AC:

Gunakan perangkat lunak LTspice untuk merancang dan mensimulasikan rangkaian filter aktif Butterworth. Tentukan respons amplitudo dan fase rangkaian terhadap frekuensi sinyal input dalam rentang 100 Hz hingga 10 kHz.

3. Praktik Simulasi Rangkaian Transien:

Gunakan perangkat lunak PSpice untuk merancang dan mensimulasikan rangkaian inverter dengan MOSFET. Ubah sinyal input dari tingkat logika rendah ke tingkat logika tinggi pada  $t = 0$  dan amati respons tegangan output rangkaian terhadap perubahan input.

### **G. Referensi**

Ardianto, D. (2016). Simulasi Rangkaian Elektronika dengan Proteus. Deepublish.

Pambudi, E., & Rasyid, R. (2019). Rangkaian Elektronika Analog dan Digital dengan Proteus. CV. Pustaka Setia.

Pramono, H. (2018). Simulasi Rangkaian Elektronika dengan Proteus. Deepublish.