

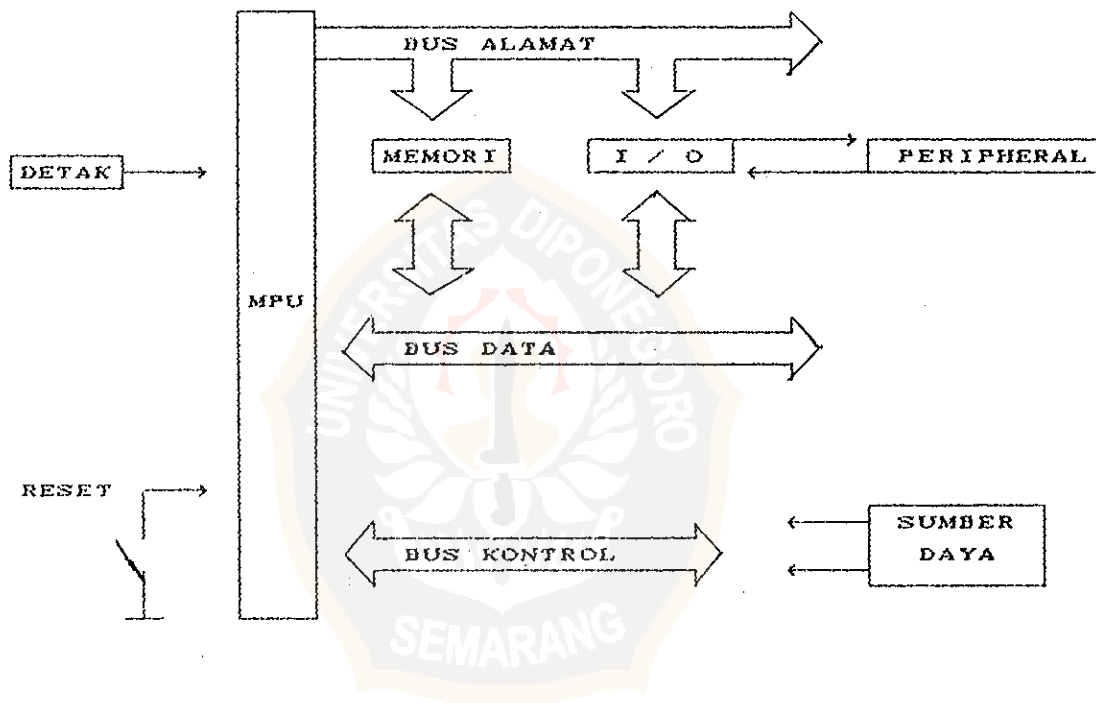
## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1. Komputer

Komputer merupakan alat yang mengolah data dalam bilangan biner dengan mengikuti suatu urutan langkah yang teratur yang disebut program.

Pada dasarnya susunan komputer adalah sebagai berikut :



Gambar 2.1. Bagan Sistem Komputer.

Komputer mempunyai tiga bagian penting, yaitu :

1. Mikroprosesor (MPU) yaitu unit pengolah pusat komputer dalam bentuk mikro.
2. Memori untuk menyimpan data dan program.

3. Port masukan dan keluaran sebagai sarana perantara komunikasi dengan dunia luar atau alat lain sebagai penunjang.

Dalam sistem komputer mikro informasi dinyatakan dalam bilangan biner. Informasi dalam dunia komputer dapat berupa :

- data, yaitu informasi yang perlu diolah untuk mendapatkan suatu hasil
- instruksi, yaitu informasi yang menyatakan operasi apa yang mesti dilakukan
- alamat, yaitu informasi mengenai lokasi memori.

Informasi-informasi ini dipindahkan dari bagian yang satu ke bagian yang lain dalam sistem melalui himpunan jalur penghubung yang disebut dengan bus. Dalam komputer mikro terdapat tiga macam bus, yaitu :

1. Bus data

menyalurkan data atau instruksi dari memori atau port dan sebaliknya. Jadi bus ini sifatnya dua arah.

2. Bus alamat

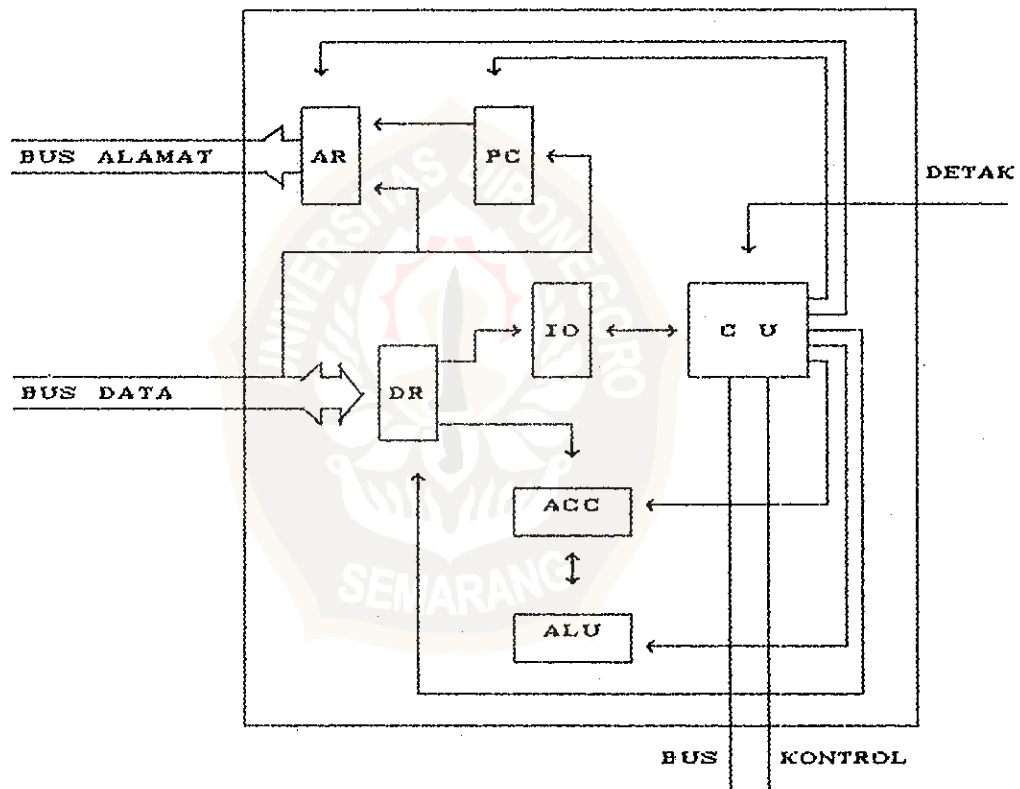
informasi pada bus alamat ini hanya menyatakan alamat memori atau port yang diinginkan oleh mikroprosesor, jadi sifatnya hanya satu arah.

3. Bus kontrol

pada bus ini terdiri dari himpunan jalur yang memiliki fungsi khusus sendiri-sendiri yang pada pokoknya melakukan tugas pengaturan kerja.

### 2.1.1. Mikroprosesor (MPU)

Mikroprosesor tersusun dari unit logika dan aritmatika, unit kontrol serta sejumlah register. Register disini adalah tempat penyimpanan sementara di dalam mikroprosesor, semacam lokasi memori. Register dapat menyimpan satu kata atau lebih tergantung macamnya. Diagram blok MPU secara sederhana adalah sebagai berikut :



Gambar 2.2. Diagram Blok MPU

Dari diagram blok MPU di atas dapat dilihat terdapat beberapa register diantaranya adalah :

- Register alamat (AR = *Address Register*)

Tempat menyimpan sementara bagi alamat yang akan dikeluarkan ke bus alamat.

- Pencacah Program (PC = *Program Counter*)

Pencacah dwian yang mencacah langkah program. Setiap kali MPU selesai melaksanakan satu instruksi isi PC bertambah.

- Register data (DR = *Data Register*)

Penyimpan sementara data yang dibaca dari memori.

- Penterjemah instruksi (ID = *Instruction Decoder*)

Menterjemahkan instruksi yang diterima untuk kepentingan unit kontrol.

- Unit kontrol (CU = *Control Unit*)

Untai gerbang logik dan pencacah yang mengatur kerja unit-unit lain sesuai instruksi yang diterima.

- Akumulator (ACC = *Accumulator*)

Register serba guna yang sangat penting dalam MPU. Operasi-operasi terhadap data dilakukan di ACC ini.

- Unit aritmatik dan logika (ALU = *Arithmetic Logic Unit*).

Melakukan operasi aritmatik dan logika terhadap data yang ada di akumulator.

Kerja MPU ditentukan oleh urutan instruksi (program) yang diberikan. Program ini disimpan

dalam memori pada lokasi yang berurutan sesuai dengan urutan instruksi tersebut.

### 2.1.2. Memori

Memori tersusun dari sel-sel memori, yang mana setiap sel memori dapat menyimpan satu bit. Kesatuan dari sel-sel yang dapat menyimpan satu kata disebut dengan lokasi. Untuk dapat membedakan antara lokasi yang satu dengan lokasi yang lain maka diberi penomoran yang disebut dengan alamat. Memori dapat digolongkan menjadi dua golongan yaitu :

#### 1. RAM (*Random Access Memory*)

RAM jenis ini memiliki kaki-kaki baca dan tulis (*R/W*) sehingga memungkinkan memori ini melakukan operasi-operasi baca dan tulis. RAM jenis ini sifatnya hanya sementara/sumirna jadi hanya mampu menyimpan data saat diberi sumber daya, apabila sumber daya dimatikan maka data yang tersimpan di memori akan hilang. RAM jenis ini dinamakan dengan RAM statis. Selain RAM statis masih ada RAM dinamis yang menggunakan kapasitor mos sebagai sel penyimpan. RAM dinamis ini membutuhkan penyimpanan yang periodik karena adanya kebocoran muatan yang menyebabkan data hanya dapat disimpan dalam waktu beberapa milidetik saja.

## 2. ROM (*Read Only Memory*)

Dengan memori ini hanya bisa dilakukan operasi baca, data hanya dapat dituliskan sekali saja saat pembuatan di pabrik. Jadi ROM ini bersifat tak sumirna atau tetap.

Penggunaan memori semikonduktor untuk menyimpan data yang sangat besar dinilai belum ekonomis. Untuk itu digunakan medium lain yang mampu menyimpan data yang banyak, bersifat tak sumirna dan mudah dipindahkan sebagai memori sekunder.

Ada beberapa penyimpan data sekunder, antara lain :

- Pita kaset, cara ini tidak praktis dan lambat
- Cakram magnetik, cara ini biasa dipakai karena relatif murah, cepat dan cukup praktis.
- *Bubble memory*, cara yang ini mirip memori semikonduktor biasa, lebih cepat karena tidak membutuhkan mekanisme yang bergerak seperti pada cakram magnetik dan pita kaset.

### 2.1.3. Port masukan dan keluaran (Port I/O)

Jalur komunikasi yang menghubungkan antara sistem komputer dengan dunia luar / alat-alat penunjang disebut dengan port. Melalui port ini informasi dimasukkan atau dikeluarkan dalam sistem. Informasi yang disalurkan ini bisa bit per bit yang dinamakan dengan port serial atau dapat juga

kata per kata (beberapa bit sekaligus) dan dinamakan port paralel. Cara serial lebih lambat karena data yang disalurkan bit demi bit tetapi hanya membutuhkan satu jalur sehingga lebih praktis dan efisien untuk komunikasi jarak jauh. Sebaliknya pada cara paralel lebih cepat karena informasi yang disalurkan dapat beberapa bit sekaligus, tetapi membutuhkan lebih banyak jalur yaitu sebanyak panjang katanya sehingga tidak praktis dan tidak efisien.

Sudah diketahui bahwa komputer mampu melaksanakan tugas-tugas seperti komputasi, simulasi, pengontrol, komunikasi dan lain sebagainya. Seperti halnya dalam skripsi ini tugas komputasi dan pengontrolan dilakukan dengan komputer. Tugas komputer disini adalah mengontrol gerak dari dua buah motor langkah yang telah dikopel pada rangkaian mekanik agar dapat menggerakkan lengan ke arah sumbu X dan sumbu Y sesuai dengan instruksi yang diberikan.

Dengan menggunakan *Card Parallel Printer Adapter* (CPPA) tugas tersebut dapat dilaksanakan. Card ini hampir selalu tersedia pada setiap komputer pribadi. Fungsi utamanya adalah untuk saluran masukan dan keluaran yang dihubungkan dengan pencetak (*printer*), tetapi fungsi tersebut bisa dialihkan untuk keperluan lain seperti halnya

untuk mengontrol gerakan dari kedua motor langkah tersebut.

Pada *IBM Personal Computer*, CPPA ini diletakkan pada memori alamat 378H - 37AH, dimana masing-masing terdiri dari

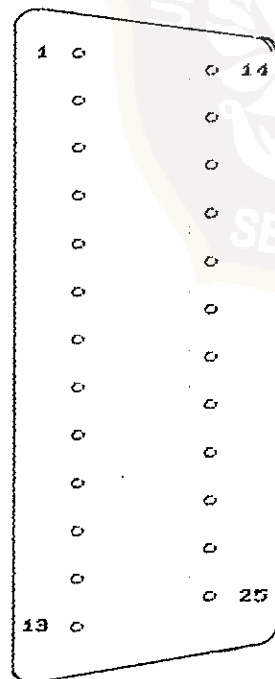
Jalur data pada alamat 378H

Jalur status pada alamat 379H

Jalur kontrol pada alamat 37AH

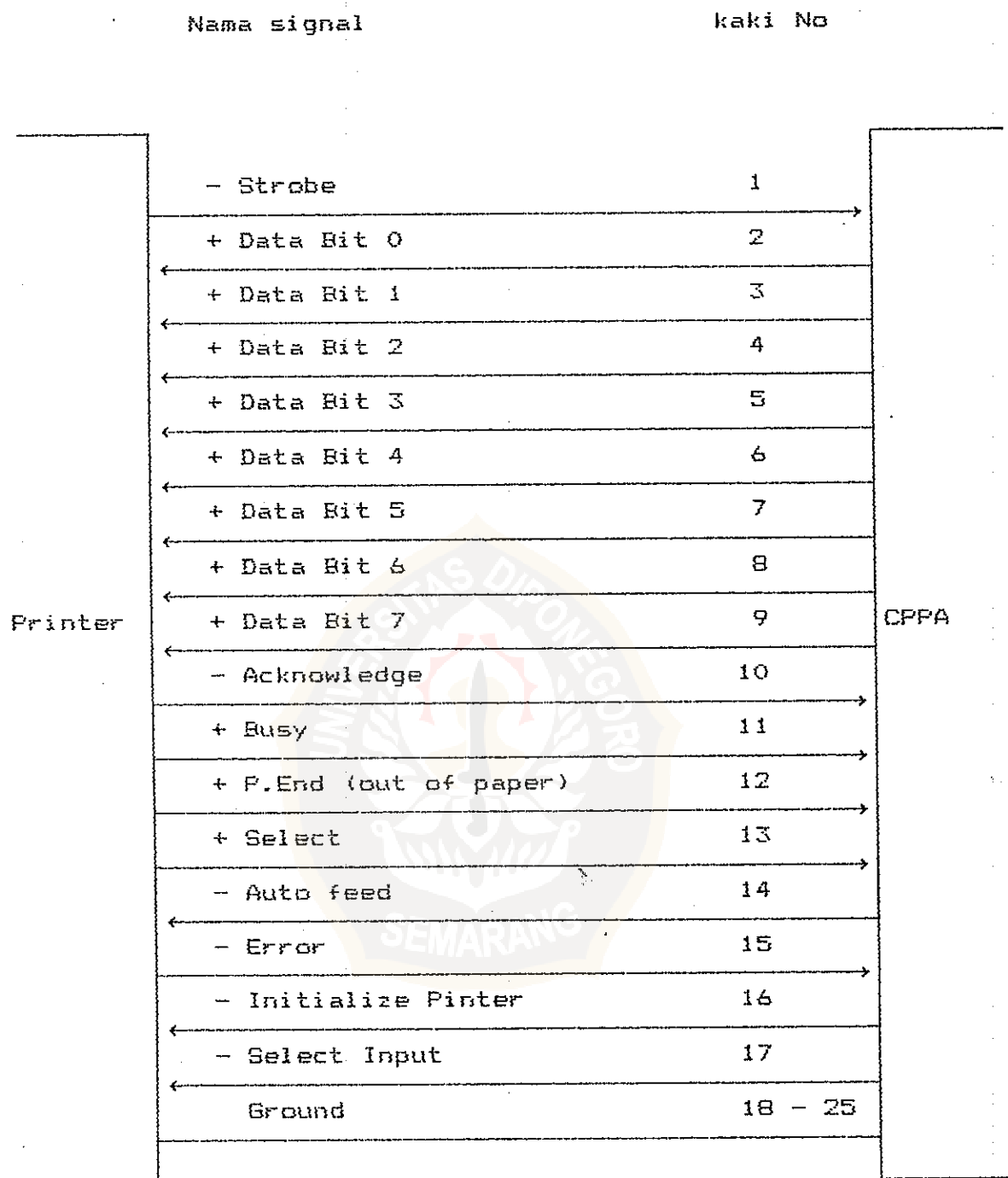
Untuk mengontrol gerak dari kedua motor langkah digunakan jalur data yaitu pada alamat 378H.

Sebagai penghubung dengan piranti di luar komputer, card ini memakai konektor D-Shell 25 pin, gambar dan susunan masing-masing kaki dapat dilihat pada gambar 2.3a dan gambar 2.3b.



Gambar 2.3b. Penampang Konektor D-Shell 25 pin (kaki)





Gambar 2.3b. Spesifikasi Konektor CPPA

## 2.2. Perangkat Lunak

Kemampuan dan keserbagunaan dari komputer didapatkan berkat keterpaduan antara perangkat keras komputer dan perangkat lunaknya. Perangkat keras komputer memungkinkan terlaksananya berbagai operasi pengolahan yang telah dirancang secara lengkap dan pasti, sehingga komputer bisa disebut pengolah data serba guna.

Sedangkan perangkat lunak berfungsi untuk memilih jenis operasi tertentu sehingga fungsi komputer berubah menjadi lebih khusus, yaitu untuk melaksanakan tugas yang bersangkutan, selama program tersebut bekerja.

Banyak perangkat lunak yang beredar dan telah memasyarakat, salah satu diantaranya adalah bahasa pemrograman Turbo Pascal versi 5.5 yang telah penulis pilih untuk menangani skripsi ini. Pemilihan bahasa pemrograman ini didasarkan pada kemudahan dalam pemakaian dan pemahamannya serta eksekusi yang relatif lebih cepat dari program basic, meskipun ada beberapa fungsi yang tidak disediakan oleh bahasa Turbo Pascal.

Bahasa pemrograman Turbo Pascal di dalam skripsi ini bertugas mengambil, menyimpan dan mengolah data yang diberikan oleh operator yang selanjutnya digunakan untuk mengendalikan gerak dari kedua motor langkah yang telah terkopel pada rangkaian mekanik. Untuk bisa mengendalikan gerak/putaran kedua motor langkah, di dalam bahasa Turbo Pascal diperlukan pengalamatan. Pada bahasa Turbo Pascal versi 5.5 telah disediakan perintah yang berbentuk port

(address) yang berguna untuk meraih suatu lokasi beralamat address.

Jika suatu nilai diberikan pada komponen port ini, maka perintah berlaku sebagai keluaran.

Contoh :

```
Port[$378] := 2;
```

artinya memberikan nilai 2 desimal pada lokasi yang beralamat 378H. Nilai 2 desimal ini kemudian dikonversi ke bentuk biner, yang berarti 0010 yang kemudian segera muncul pada port 378H.

### 2.3. Penguat

Dari sudut pandang konseptual tugas pemrosesan sinyal yang paling sederhana adalah penguatan sinyal tersebut. Kebutuhan untuk penguatan timbul karena transduser memberikan sinyal keluaran yang masih lemah yang berukuran mikrovolt ( $\mu V$ ) atau milivolt (mV) disamping itu juga memiliki energi yang relatif kecil. Sinyal yang demikian ini terlalu kecil untuk pemrosesan yang dapat diandalkan.

Rangkaian penguat akan sering bahkan selalu dijumpai dalam rangkaian-rangkaian elektronika khususnya rangkaian analog. Pada dasarnya rangkaian penguat akan menguatkan sinyal-sinyal yang masih lemah menjadi isyarat keluaran yang lebih kuat untuk pemrosesan lebih lanjut. Pada rangkaian penguat, transistor memegang peranan yang sangat penting. Transistor akan menguatkan isyarat/sinyal masukan yang masih lemah menjadi isyarat keluaran yang cukup kuat

yang kemudian dapat digunakan sesuai dengan proses yang akan dikehendaki.

Sebelum dilanjutkan mengenai penguatan, akan penulis bahas dahulu sekilas tentang komponen utama dari penguat itu sendiri yaitu transistor. Transistor itu sendiri terdiri dari tiga jenis (Sedra dan C. Smith, 1990) yaitu :

1. Transistor Efek Medan (*Field Effect Transistor, FET*)

Yang juga sangat dikenal dengan transistor efek medan sambungan (*Junction Field Effect Transistor, JFET*). Nama transistor efek medan berasal dari kenyataan bahwa aliran arus antara kedua terminal piranti ini dikendalikan oleh medan listrik, yang pada gilirannya ditentukan oleh suatu tegangan yang diberikan pada terminal ketiga. FET juga disebut transistor kutub tunggal (*Unipolar Transistor*), karena arus dibawa oleh pembawa muatan (elektron atau lubang) yang mengalir melalui satu tipe semikonduktor (tipe n pada FET dengan saluran n atau tipe p pada FET pada saluran p). JFET sangat berguna untuk perancangan penguat khusus, terutama untuk menangani sinyal masukan yang impedansinya sangat tinggi.

2. Transistor Efek Medan Semikonduktor Oksida-logam.

(*Metal-oxid Semiconductor Field Effect Transistor, MOSFET*). MOSFET ini sebenarnya adalah jenis lain dari FET, yaitu seperti halnya dengan JFET. Transistor MOS ini disamping dapat dibuat dengan ukuran yang sangat kecil juga relatif lebih mudah dibandingkan dengan

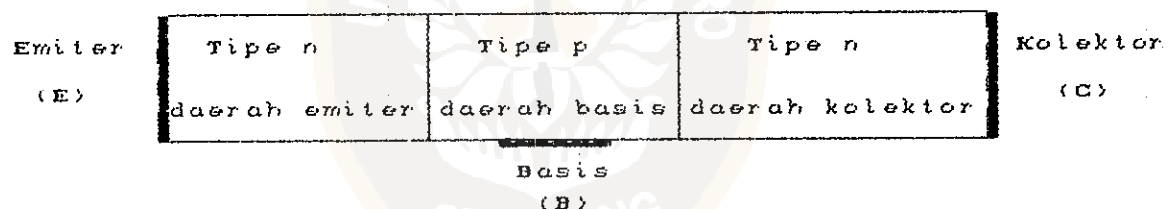
transistor dwikutub (*bipolar*).

### 3. Transistor sambungan Dwikutub (*Bipolar Junction Transistor, BJT*)

Transistor jenis ini telah banyak digunakan dalam rangkaian diskret dan rangkaian terpadu baik analog maupun digital. Lain halnya dengan FET, transistor dwikutub ini pemberian arus antara kedua terminal dilakukan melalui bahan semikonduktor tipe p dan tipe n yang seri.

Untuk selanjutnya akan dibahas mengenai penguat yang menggunakan transistor dwikutub, karena dalam skripsi ini hanya menggunakan transistor dwikutub.

Struktur transistor dwikutub (*bipolar*) dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.4. Struktur transistor NPN

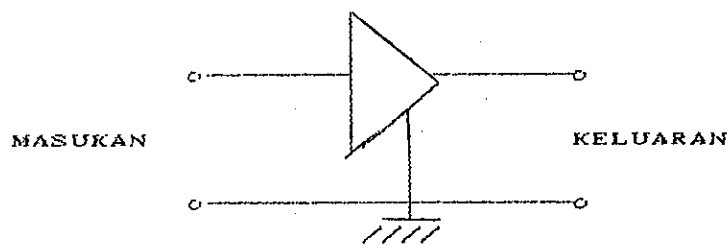
Transistor ini terdiri dari dua sambungan pn yaitu sambungan emitor-basis (EBJ) dan sambungan kolektor-basis (CBJ). Dengan ini dapat diperoleh mode pengoperasian BJT yang berbeda seperti yang diperlihatkan dala tabel dibawah ini, yaitu tergantung pada kondisi bias (maju atau balik) tiap-tiap sambungan.

Tabel 2.1. Tabel mode operasi BJT

Mode	EBJ	CBJ
Pancung	balik	balik
Aktif	maju	balik
Jenuh	maju	maju

Mode aktif adalah mode yang digunakan bila transistor dioperasikan sebagai penguat, sedangkan mode pancung dan jenuh penerapannya pada pensaklaran (*switching*). Untuk itu jika transistor akan digunakan sebagai penguat harus diberi bias pada mode aktif yaitu pada sambungan emiter-basis diberi bias maju dan sambungan kolektor-basis diberi bias balik/mundur.

Untuk penggambaran yang lebih umum telah ditunjukkan bahwa penguat mempunyai dua terminal masukan yang berbeda dengan dua terminal keluarannya. Situasi yang lebih umum lagi digambarkan pada gambar 2.5. dimana terdapat sebuah terminal bersama (sekutu) antara port masukan dan port keluaran penguat. Terminal sekutu ini digunakan sebagai titik acuan (*reference point*) dan disebut sebagai tanah dari rangkaian (*circuit ground*).



Gambar 2.5. Simbol rangkaian penguat dengan sebuah terminal sekutu

### Bati Tegangan

Penguat linier menerima sinyal masukan  $V_i(t)$  dan memberikan keluaran pada tahanan beban  $R_L$  suatu sinyal keluaran  $V_o(t)$  yang merupakan replika yang telah dibesarkan dari  $V_i(t)$ . Bati tegangan penguat didefinisikan oleh :

$$\text{Bati tegangan } (A_v) = \frac{V_o}{V_i} \quad \dots \quad (2.1)$$

### Bati Daya dan Arus

Ciri penting yang membedakan antara penguat dengan transformator adalah penguat menaikkan daya sinyal, sedang pada transformator meskipun tegangan yang diberikan ke beban dapat lebih besar dari pada tegangan yang masuk pada bagian primernya tetapi daya yang diberikan ke beban lebih kecil atau paling banyak sama dengan daya yang diberikan oleh sumber sinyal. Sebaliknya penguat memberikan daya yang lebih besar ke beban dari pada yang diperoleh dari

sumber sinyal, berarti penguat mempunyai bati daya (*power gain*). Bati daya penguat didefinisikan sebagai :

$$\text{Bati daya } (A_p) = \frac{\text{Daya beban } (P_L)}{\text{Daya masukan } (P_i)} \quad \dots (2.2)$$

$$= \frac{V_o I_o}{V_i I_i} \quad \dots (2.3)$$

$I_o$  merupakan arus yang diberikan oleh ke beban ( $R_L$ ) dan  $I_i$  adalah arus yang ditarik oleh penguat dari sumber sinyal, seperti tampak pada gambar 2.5a. Bati arus (*current gain*) penguat didefinisikan sebagai :

$$\text{Bati arus } (A_i) = \frac{I_o}{I_i} \quad \dots (2.4)$$

Dari persamaan (2.1) dan (2.4) diperoleh :

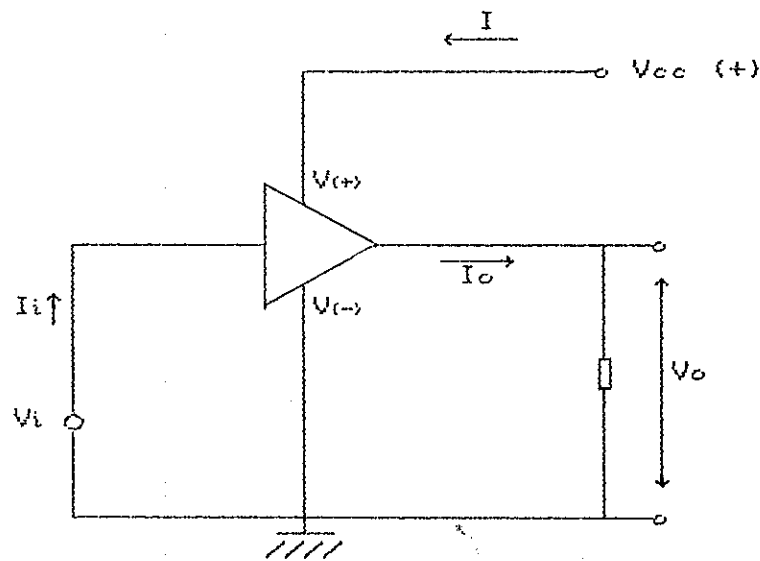
$$A_p = A_v A_i \quad \dots (2.5)$$

#### Catu daya penguat

Karena daya yang diberikan pada beban lebih besar dari pada daya yang diperoleh dari sumber sinyal, maka akan timbul pertanyaan mengenai asal sumber daya tambahan tersebut. Jawaban atas pertanyaan ini diperoleh dengan mengamati kenyataan bahwa penguat membutuhkan catu daya dc untuk operasinya. Sumber daya dc tersebut memberikan daya tambahan yang diberikan pada beban seperti halnya setiap daya yang mungkin didisipasikan dalam rangkaian internal penguat (daya demikian diubah menjadi panas).

Gambar 2.6. dibawah ini menunjukkan penguat yang dilengkapi dengan catu daya.





Gambar 2.6. Rangkaian Penguat yang dilengkapi dengan catu daya

Untuk mengoperasikan penguat, terminal yang bertanda  $V(+)$  dihubungkan dengan catu daya (+) dan terminal yang bertanda  $V(-)$  dihubungkan dengan ground dari catu daya. Arus dari catu daya ditunjukkan dengan  $I$ , sedang  $I_i$  adalah arus masukan dari sumber dan  $I_o$  adalah arus beban atau arus keluaran dari penguat. Daya dc yang diberikan pada penguat dari catu daya adalah :

$$P_{dc} = V I \quad \dots (2.6)$$

Bilá daya yang didisipasikan dalam rangkaian penguat dinyatakan  $P_{dis}$ , persamaan keseimbangan daya bagi penguat dapat ditulis sebagai :

$$P_{dc} + P_i = P_L + P_{dis} \quad \dots (2.7)$$

Karena daya yang diambil dari sumber sinyal biasanya kecil, maka efisiensi penguat didefinisikan sebagai :

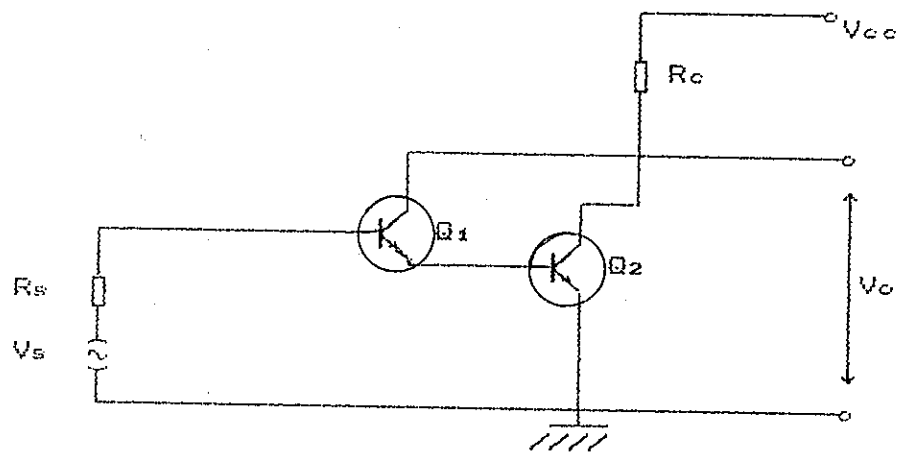
$$\eta = \frac{P_L}{P_{dc}} \times 100 \% \quad \dots \quad (2.8)$$

Efisiensi daya merupakan parameter unjuk kerja dari suatu penguat.

### Penguat Darlington

Dalam banyak hal penguatan sering digunakan lebih dari satu transistor. Dalam hal ini perlu menghubungkan satu transistor dengan transistor lain secara langsung agar diperoleh penguatan arus yang besar untuk isyarat AC maupun DC. Selain itu penggabungan langsung antara dua transistor juga dilakukan untuk membuat rangkaian lebih sederhana, ringkas dan mempunyai titik operasi yang lebih mantap yang tidak berubah. Seperti pada penguat darlington ini, antara transistor pertama dan transistor kedua dihubungkan langsung. Seperti halnya penguat lainnya, penguat darlington juga akan menguatkan sinyal masukan yang masih lemah menjadi sinyal keluaran yang lebih kuat yang nantinya dapat digunakan untuk pemrosesan lebih lanjut. Penguat darlington merupakan suatu rangkaian transistor yang terdiri dari pengikut emitor yang dihubungkan kaskade, khususnya sepasang. Penguatan tegangan keseluruhan mendekati 1. Pada rangkaian penguat darlington kaki emitor transistor yang pertama dihubungkan

dengan kaki basis pada transistor kedua, seperti terlihat pada gambar di bawah ini :



Gambar 2.7. Rangkaian Penguat Darlington

Pada rangkaian penguat darlington ini akan mempunyai faktor penguatan arus sebesar  $\beta_1\beta_2$ , karena kedua transistor di atas dapat dianggap sebagai satu transistor dimana dari gambar :

$$I_c = \beta I_B$$

Sehingga

$$\begin{aligned} I_{c2} &= \beta_2 I_{B2} \\ &= \beta_2 I_{c1} \\ &= \beta_2 (1 + \beta_1) I_{B1} \end{aligned}$$

Kadang dari pabrik pembuat transistor sudah dibuat sepasang transistor pnp maupun npn dalam hubungan darlington. Dari data komponen  $\beta_{min} = 2000$  dan  $\beta_{max} = 20000$ .

## 2.4. Motor Langkah

Untuk bisa menggerakkan letak sensor ke arah sumbu X dan sumbu Y diperlukan lengan-lengan yang dapat bekerja sebagaimana kebutuhan di atas, yaitu lengan-lengan yang dapat bergerak ke arah sumbu X dan sumbu Y. Untuk ini diperlukan motor yang dapat menggeser lengan-lengan tersebut dengan teliti. Untuk ketepatan dan ketelitian pergeseran maka diperlukan motor langkah, karena motor langkah dapat berhenti pada kondisi tertentu dan dapat mempertahankan kedudukannya atau kondisinya tersebut. Dalam penerapannya pada rangkaian mekanik dapat dilakukan dengan mengkonversikan gerak rotasi yang dihasilkan oleh motor langkah ke bentuk gerak translasi sehingga dapat menggerakkan lengan-lengan mekanik, dengan demikian posisi sensor dapat digerakkan/dipindahkan ke posisi yang diinginkan.

Motor langkah (*stepper motor*) merupakan motor dengan rotor yang dapat berputar langkah demi langkah (*step by step*), dapat berputar searah putaran jarum jam atau berlawanan dengan arah putaran jarum jam. Dan juga motor langkah dalam tahap-tahap awal hanya mempunyai resolusi 4 step per revolusi, berarti mempunyai sudut langkah  $90^\circ$ . Kebanyakan motor langkah belakangan ini mempunyai resolusi setinggi 200 step per revolusi, jadi mempunyai sudut langkah yang lebih kecil yaitu  $1,8^\circ$ .

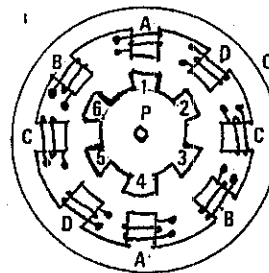
### 2.4.1. Jenis-jenis motor langkah

Jenis motor langkah berdasarkan sifat

kemagnetan stator maupun rotornya terdiri dari dua macam (Jonny, 1994) yaitu :

A. Tipe VR (*Variable Reluctance*)

Struktur dari motor langkah tipe VR ini adalah seperti pada gambar di bawah ini.



P : rotor

Q : stator

Gambar 2.8. Struktur motor langkah tipe VR

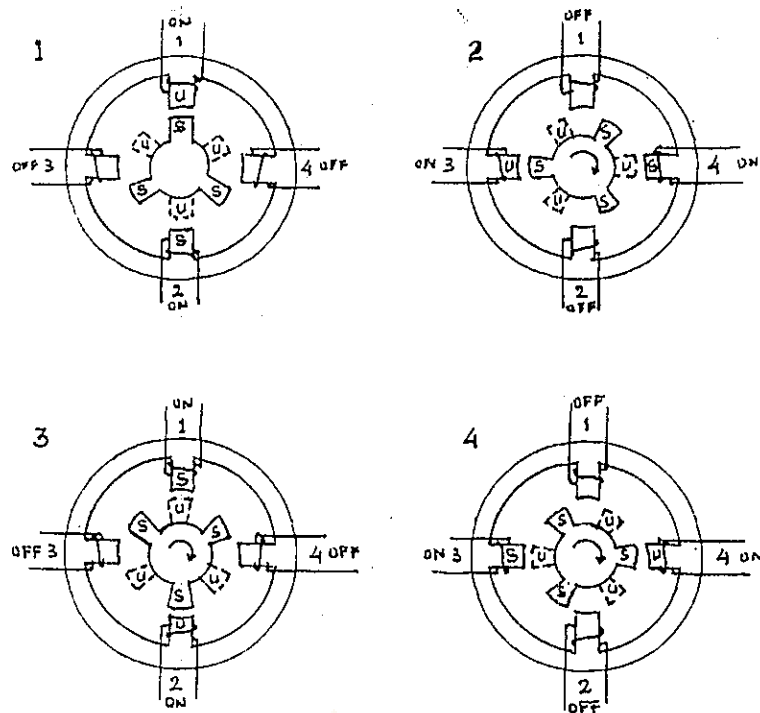
Pada motor langkah tipe VR ini terdapat gigi-gigi yang berpasangan dan saling berhadapan. Jumlah gigi pada stator dan gigi pada rotor tidak sama, sehingga dengan prinsip bahwa susunan magnetik selalu berusaha untuk meminimalkan jarak celah dalam bidang magnetik antara gigi rotor dan gigi statornya maka motor langkah ini dapat dioperasikan. Kemagnetan yang terjadi pada motor langkah tipe VR ini ditimbulkan dengan memberi arus pada kumparan-kumparan yang ada secara berurutan. Hal ini sesuai dengan hukum induksi magnet tentang kemagnetan yang ditimbulkan oleh arus listrik.

Menurut gambar di atas, stator mempunyai 8 gigi yang terdiri atas 4 pasang yaitu gigi A

berpasangan dengan gigi A', gigi B berpasangan dengan gigi B' dan seterusnya. Sedangkan rotornya hanya mempunyai 6 gigi. Perputaran satu langkah terjadi bila kumparan A diberi arus maka gigi 1 pada rotor akan meluruskan diri dengan gigi 1 pada stator. Kemudian pemberian arus pindah ke kumparan B maka gigi 6 pada rotor akan meluruskan diri dengan gigi 8 pada stator. Ini berarti pemberian arus dari kumparan A ke kumparan B mengakibatkan motor langkah bergerak satu langkah. Jika pemberian arus dilanjutkan ke kumparan berikutnya dengan berurutan maka motor akan berputar sesuai dengan jumlah langkah, kecepatan dan arah sesuai dengan instruksi yang diberikan.

#### B. Tipe PM (*Permanent Magnet*)

Jika pada motor langkah tipe VR sifat magnet ditimbulkan oleh adanya arus pada kumparan, sedangkan pada motor langkah tipe PM (*Permanent Magnet*) rotor terbuat dari magnet permanen. Gigi-gigi magnet kutub utara dan kutub selatan dibuat berselingan. Adapun struktur dasar dari motor langkah tipe PM adalah sebagai berikut :



Gambar 2.9. Struktur Motor Langkah tipe PM

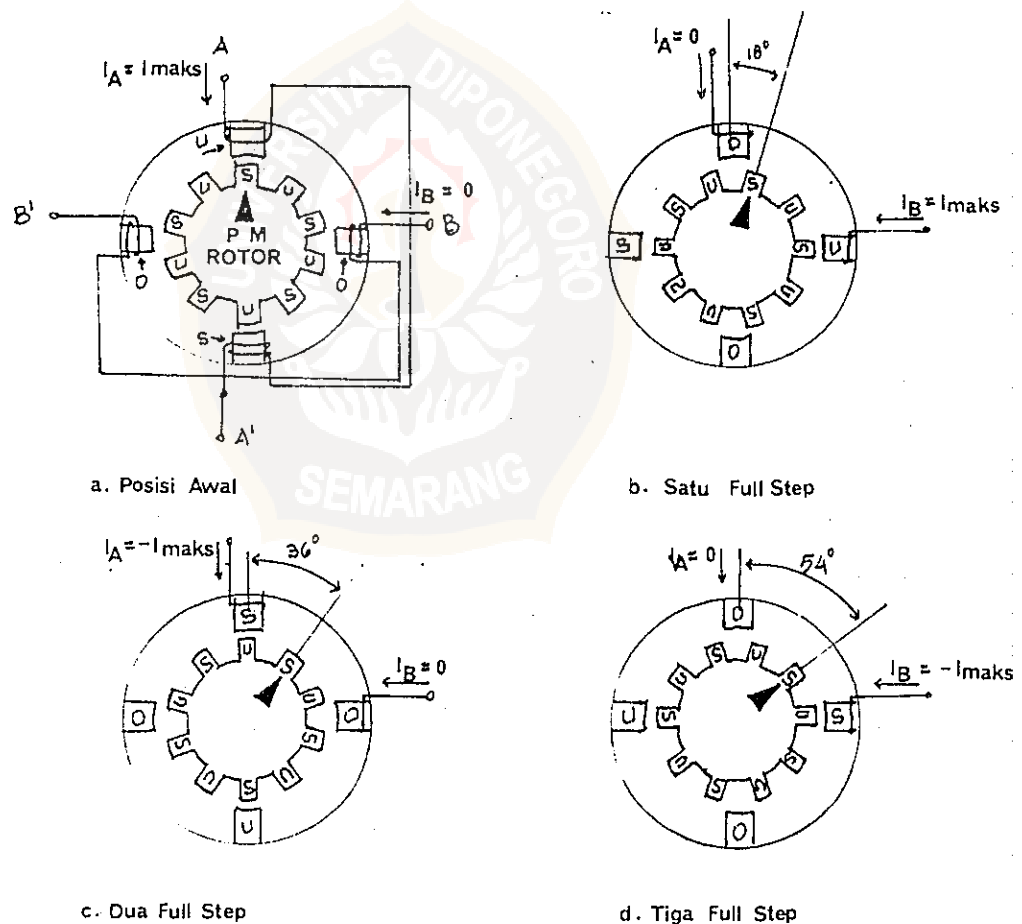
Pengoperasian motor langkah tipe PM ini dilakukan dengan cara pensaklaran (switch) secara bergantian yaitu dengan membuat saklar 1 dan 2 pada posisi "ON" (kumparan 1 dan kumparan 2 dialiri arus), yang lainnya "OFF" (kumparan 3 dan kumparan 4 tidak dialiri arus) kemudian dibalik dengan membuat saklar 3 dan 4 pada posisi "ON" dan saklar 1 dan 2 pada posisi "OFF". Dengan pengertian seperti di atas akan diperoleh gerakan satu langkah. Jika pensaklaran ini dilakukan terus secara berurutan maka akan diperoleh perputaran motor langkah sesuai dengan jumlah langkah, arah perputaran dan kecepatan dari motor langkah.

### 2.4.2. Pengoperasian motor langkah

Pengoperasian motor langkah dibagi menjadi tiga (Bateson, 1991) yaitu :

#### A. Operasi Full-Step (Full-Step Operation)

Operasi full-step motor langkah terdiri atas gerakan satu full-step untuk setiap input pulsa. Misalkan struktur motor langkah seperti pada gambar di bawah ini, dimana motor langkah mempunyai 4 kutub yang melingkar dalam stator, kutub-kutub itu adalah A, B, A' dan B'.



Gambar 2.10. Model Motor Langkah dalam operasi Full-step



Gambar di atas menggambarkan motor langkah tipe PM dengan 10 pasang kutub utara dan selatan. Resolusi dari motor langkah ini adalah sama dengan jumlah kutub dalam rotor (dalam gambar 10 buah) dikalikan dengan jumlah kutub dalam stator yaitu 2, jadi motor langkah ini mempunyai 20 step per revolusi. Dengan demikian mempunyai sudut langkah sebesar  $18^\circ$ .

Pada operasi full-step ini kumparan bagian atas dan bagian bawah (A dan A') dihubungkan seri begitu juga dua kumparan disisi kanan dan kiri (B dan B') juga dihubungkan seri. Arus input yang digunakan untuk sambungan ditandai dengan A dan B, yaitu pada bagian atas dan sisi kanan. Kutub atas rotor pada gambar 2.10a. ditandai dengan anak panah, hal ini untuk memudahkan kita dalam mengamati gerakan dari kutub / gigi-gigi rotor pada saat rotor membuat beberapa full-step.

Pada gambar 2.10a. motor pada posisi start. Arus  $I_{max}$  masuk pada kumparan A, tidak ada arus yang masuk pada kumparan B. Arah arus masuk  $I_A$  seperti tampak pada gambar masuk ke kumparan A, membuat kutub atas stator menjadi kutub selatan (diberi label "S") dan kutub bagian bawah stator menjadi kutub utara (diberi label "U"). Ketidakhadiran arus pada kumparan B mengakibatkan

kondisi demagnetik pada dua sisi kutub (diberi label "0"). Penjajaran kutub-kutub pada rotor dan stator adalah seperti halnya gaya tarik magnet antar kutub-kutub yang berlawanan yang akan menahan rotor pada posisi yang digambarkan.

Pada gambar 2.10b, arus  $I_{max}$  masuk pada kumparan B dan tidak ada arus yang masuk pada kumparan A. Seperti halnya pada gambar 2.10a, dua kutub pada stator (atas dan bawah) menjadi berkondisi demagnetik (diberi label "0"). Sedangkan kutub pada sisi kanan menjadi kutub selatan ("S") dan kutub pada sisi kiri kutub utara ("U"). Gaya tarik menarik antara kutub-kutub yang berlawanan telah mengakibatkan motor langkah ini berputar satu step searah dengan putaran jarum jam, dan gaya magnet ini akan menahan rotor pada posisi yang baru seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.10b.

Gambar 2.10c. dan gambar 2.10d. memperlihatkan putaran motor langkah pada step-step berikutnya.

Tabel 2.2. menunjukkan sudut langkah dan dua fase arus untuk 5 full-step.

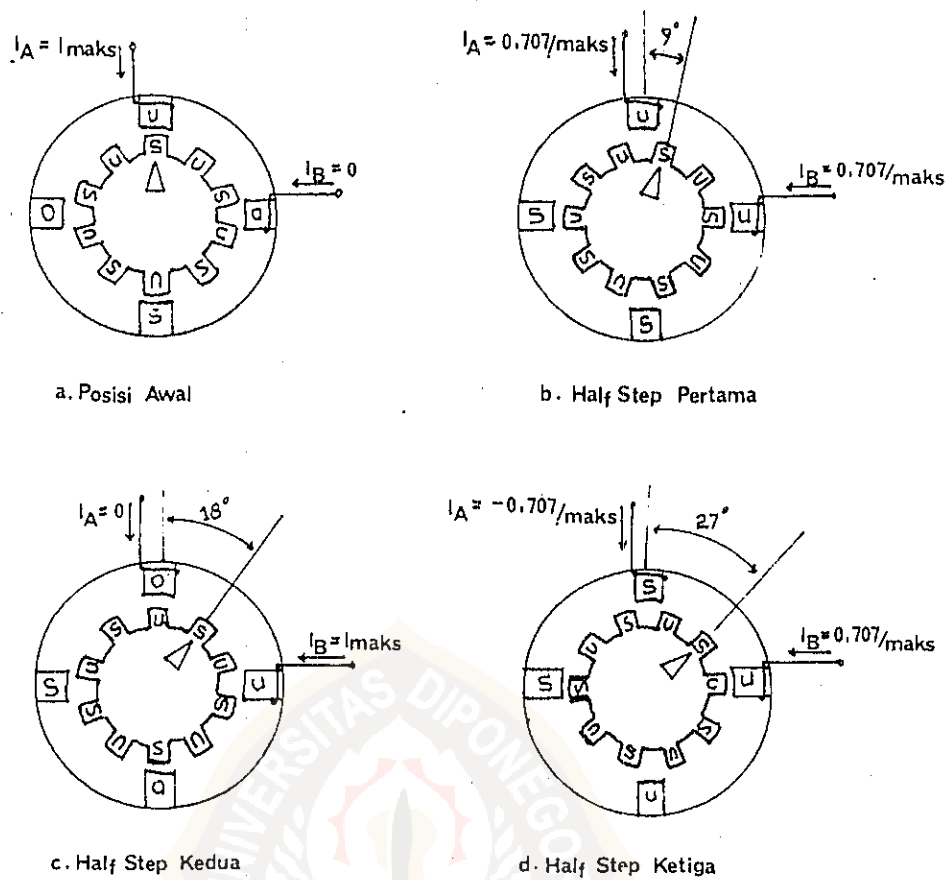
Tabel 2.2. Dua fase arus untuk 5 full-step pada operasi full-step

Step	Sudut langkah $\theta$ (°)	$I_A$ $I_{max}$	$I_B$ $I_{max}$
0	0	1	0
1	18	0	1
2	36	-1	0
3	54	0	-1
4	72	1	0
5	90	0	1

#### B. Operasi Half-Step (Half-Step Operation)

Operasi Half-step dilakukan dengan membagi arus ke kedua kumparan antara dua posisi full-step, seperti tampak pada gambar 2.11 berikut ini.

Kondisi start di tunjukkan pada gambar 2.11a. yaitu dengan memberikan arus  $I_{max}$  pada kumparan A. Gambar 2.11b. menunjukkan kondisi Half-step yang pertama yaitu dengan menurunkan arus pada kumparan A sebesar  $0,707 I_{max}$  dan menaikkan arus pada kumparan B menjadi  $0,707 I_{max}$ . Pada gambar 2.11b. ini terlihat bahwa semua kumparan diberikan arus sehingga semua kumparan stator dimagnetkan dimana bagian atas dan sisi kanan adalah kutub-kutub selatan sedangkan bagian bawah dan sisi kiri adalah



Gambar 2.11. Model Motor Langkah pada operasi Half-step

kutub-kutub utara. Disini bisa dilihat tanda panah pada kutub rotor pada operasi Half-step yang pertama sebesar  $9^\circ$ , jadi tepat setengah dari satu step operasi full-step ( $18^\circ$ ).

Gambar 2.11c. dan 2.11d. menunjukkan dua posisi Half-step yang berikutnya. Tabel 2.3. di bawah ini menunjukkan sudut langkah dan dua fase arus untuk 10 Half-step.

Tabel 2.3. Dua fase arus untuk 10 Half-step pada operasi Half-step

Half-Step	Sudut langkah $\theta$ ( $^{\circ}$ )	I <sub>A</sub> I <sub>max</sub>	I <sub>B</sub> I <sub>max</sub>
0	0	1	0
1	9	0,707	0,707
2	18	0	1
3	27	-0,707	0,707
4	36	-1	0
5	45	-0,707	-0,707
6	54	0	0
7	63	0,070	-0,707
8	72	1	0
9	81	0,707	0,707
10	90	0	1

### C. Operasi Mikrostep (*Microstep Operation*)

Kalau pada operasi Half-step pembagian konsumsi arus ke kedua kumparan antara dua posisi full-step adalah setengahnya maka untuk operasi mikrostep ini pembagian konsumsi arus ke kedua kumparan antara dua posisi full-step dapat lebih kecil lagi. Untuk ukuran-ukuran mikrostep yang umum adalah 1/10, 1/16, 1/32 dan 1/125 dari full-step. Sedangkan harga pembagian arus yang dibutuhkan untuk sebuah mikrostep adalah sebagai berikut :

$$I_A = \cos (90 n / s) \cdot I_{max} \quad \dots (2.9)$$

$$I_B = \sin (90 n / s) \cdot I_{max} \quad \dots (2.10)$$

dimana  $I_{max}$  = harga maksimum arus fase (ampere)

$I_A$  = Arus dalam kumparan fase A

$I_B$  = Arus dalam kumparan fase B

$n$  = Jumlah mikrostep dari posisi start

$s$  = Jumlah mikrostep pada full-step.

Tabel 2.4. dibawah ini menunjukkan sudut langkah dan dua fase arus untuk 10 step pada 1/10 mikrostep.

Tabel 2.4. Dua fase arus untuk 10 step pada operasi 1/10 mikrostep.

mikro step	sudut langkah $\theta$ ( $^{\circ}$ )	$I_A$ $I_{max}$	$I_B$ $I_{max}$
0	0	1	0
1	1,8	0,988	0,156
2	3,6	0,951	0,309
3	5,4	0,891	0,454
4	7,2	0,809	0,588
5	9,0	0,707	0,707
6	10,8	0,588	0,809
7	12,6	0,454	0,891
8	14,4	0,309	0,951
9	16,2	0,156	0,988
10	18,0	0	1

## 2.5. Rangkaian Mekanik

Rangkaian mekanik dalam skripsi ini terdiri dari dua buah lengan yang masing-masing dapat bergerak ke arah sumbu X dan sumbu Y. Lengan ini dapat bergerak karena telah dikopel dengan dua buah motor langkah, dimana setiap motor langkah akan menggerakkan sebuah lengan.

Prinsip kerja dari rangkaian mekanik ini adalah mengubah gerak rotasi dari kedua motor langkah ke dalam gerak translasi kedua lengan. Perubahan dari gerak rotasi ke gerak translasi ini menggunakan batang ulir. Antara batang ulir dengan motor langkah dihubungkan dengan roda gigi dengan perbandingan jumlah gigi  $16 : 60$ , dimana roda gigi dengan jumlah gigi 16 dipasang pada batang ulir sedangkan roda gigi dengan jumlah gigi 60 dipasang pada motor langkah. Dengan berputarnya motor langkah sekali akan memutar batang ulir sebanyak 3,75 kali.

Lengan telah dilengkapi dengan baut yang sesuai dengan batang ulir. Karena batang ulir dibuat pada kondisi tetap maka dengan berputarnya batang ulir akan memutar baut yang ada pada lengan, karena baut dipasang tetap pada lengan maka baut bukan berputar tetapi hanya bergeser. Jadi dengan berputarnya batang ulir akan menggeser lengan. Jarak pergeseran lengan tergantung dari putaran batang ulir.