

## 2. DASAR TEORI

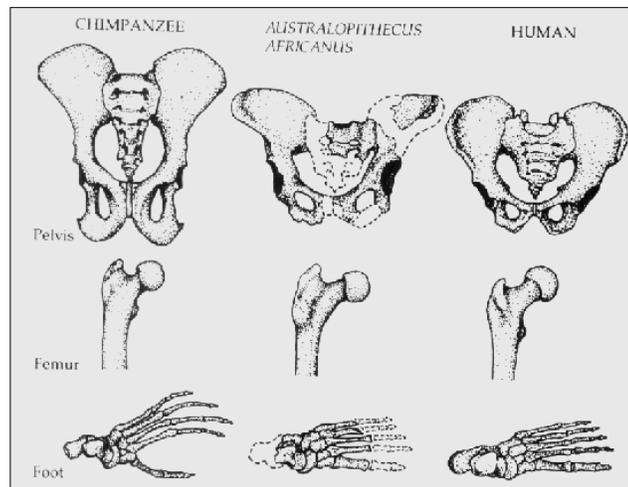
Bab Dasar teori akan dijelaskan tentang teori dasar yang dipakai dalam merancang dan membangun robot. Teori-teori yang akan dijelaskan adalah teori biologi, teori desain dan teori mekanika.

### 2.1. Bipedalisme

Bipedalisme berasal dari kata bipedal, artinya berkaki dua bipedalisme adalah istilah yang digunakan untuk mengungkapakan suatu keadaan cara berjalan pada subspecies primata. Cara berjalan yang dimaksud adalah berjalan tegak dengan dua kaki dan bertumpu seluruhnya pada kaki bagian belakang.

#### 2.1.1. Evolusi Bipedal<sup>1</sup>

Perkembangan bipedal menjadi penting karena turut memperkuat teori evolusi. Bipedalisme mampu menjelaskan proses evolusi, khususnya pada anggota gerak manusia.



Gambar 2.1. Perkembangan Bipedalisme

---

<sup>1</sup> Berge, C. Hand, L, *Bipedalism*  
<<http://www.micro.utexas.edu/courses/mcmurry/spring98/13/moya.html>>

Gambar di atas menunjukkan perubahan anatomi anggota gerak pada subspecies primata, yakni Simpanse, *Australopithecus aferansis* dan manusia. *A. afarensis* masih menjadi perdebatan para ahli, dimana subspecies ini akan dimasukkan pada golongan kera, manusia, peralihan/kombinasi antara keduanya, atau dianggap sebuah mata rantai yang hilang.

Primata tersebut telah berjalan tegak seperti manusia namun anatomi dan proporsi tulangnya tidak sama. Terdapat persamaan dan perbedaan pada bagian tubuh lainnya seperti gigi, volume otak, dan lain-lain. Sebagai contoh; *Lucy* (dari jenis *A. afarensis*) hampir memiliki rangka yang lengkap, menunjukkan dengan jelas bahwa lengan *A. Afaresis* mempunyai proporsi seperti manusia, dengan kakinya saja yang agak pendek (Hand,1993). Sosoknya seperti manusia tetapi fleksibilitas pada sambungan mata kaki masih seperti simpanse. ( Kingdon, 1993).

Menerapkan cara berjalan tegak, dikombinasikan dengan analisis lingkungan tempat fosil ditemukan, menyiratkan bahwa nenek moyang manusia, dua juta tahun yang lalu hidup di daerah yang lebih terbuka dibandingkan keturunannya (Hand,1993). Diperkirakan pada masa itu evolusi manusia berkaitan dengan bipedalisme, *A. afarensis* mulai meninggalkan kebiasaan *arboreal* (hidup di pepohonan). Namun *A. afarensis* tetap mampu untuk memanjat pohon pada saat ada bahaya, dan bisa jadi mereka tidur di atas pohon, di area di mana tidak ada gua untuk tempat berlindung.

Pada anatomi kaki, jika dibandingkan antara primata di masa awal dan manusia modern, ada kekontrasan tentang bagaimana berat beban tubuh dialirkan diantara keduanya. Primata di masa awal, ketika bergerak dengan kedua kaki, berat beban tubuh dialirkan melalui sepanjang sisi kaki, dan tekanan berada pada telapak kaki bagian tengah. Pada manusia, berat bebannya dialirkan melalui sepanjang bagian luar kaki, secara internal berpindah melintasi bola kaki (susunan *metatarsal*, bagian depan kaki), dan berakhir di ibu jari kaki, jauh lebih efisien untuk melangkah (Hunt, 1993).

Kekontrasan antara sambungan lutut pada manusia modern, simpanse dan *Australopithecus afarensis* adalah sebagai berikut, *A. afarensis* dan manusia modern satu sama lain mempunyai “*carrying angle*”, bentuk tipikal mahluk

bipedalisme. Pada simpanse, paha dan tulang kering membentuk satu garis lurus, yang merupakan pengaturan ideal untuk bentuk yang menahan beban tubuhnya pada semua empat anggota gerakannya. Ketika berjalan pada dua kaki, maka pada tiap langkah pusat berat badan harus diayun (hal ini tidak efisien) melalui gerakan memutar untuk menahan kaki. Kontrasnya, pada manusia dan *A. afarensis* paha dan tulang kering membentuk suatu sudut, sehingga paha akan bertemu di lutut, dan kaki dapat berjalan pada satu garis lurus (Berge, 1990).

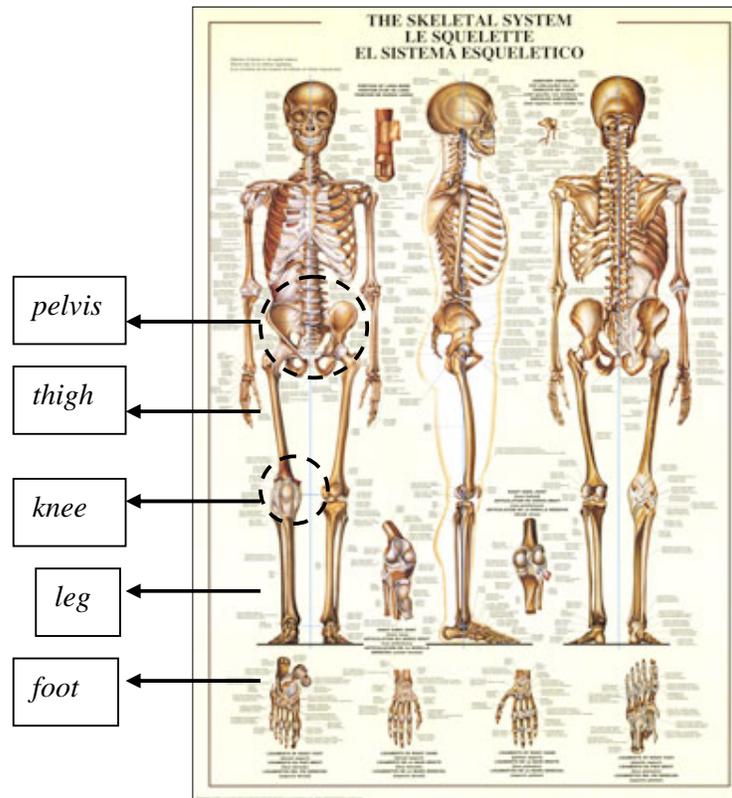
Jika dibandingkan tulang panggul pada *A. afarensis* dan fosil manusia modern dapat dilihat bahwa tulang panggul *hominid* relatif tipis (ceper) dan bulat, dan tulang paha miring ke arah tengah. Ini menunjukkan tubuh didukung oleh tulang panggul dan berat beban badan dialirkan ke bawah secara langsung melalui lutut ketika posisi berdiri (Berge, 1990).

Pada tulang panggul simpanse, *australopithecine* dan manusia modern, jarak antar *acetabuli* kanan dan kiri *australopithecine* lebih pendek dari manusia. Pada *hominids bipedal*, tulang panggul diasumsikan seperti bentuk mangkuk yang tidak terlalu cekung, dilebarkan tapi dengan tulang pangkal paha diperpendek, *sacrum* semakin dekat ke *acetabulum*, sendi *temoral*. Perubahan ini, dengan lengkungan tulang belakang bagian bawah dan *thoacic cage* menjadi datar, membantu mengalirkan berat beban tubuh secara langsung kepada kaki, menghasilkan pusat berat badan seimbang sepanjang sumbu vertikal (Strickberger, 1990).

#### 2.1.2. Bagian Penggerak Kaki

Anggota gerak bagian bawah pada manusia terdiri dari:

- *pelvis*/ tulang panggul
- *thigh*/ tulang paha
- *knee*/ lutut
- *leg*/ tulang betis dan tulang kering
- *foot*/ kaki bagian bawah

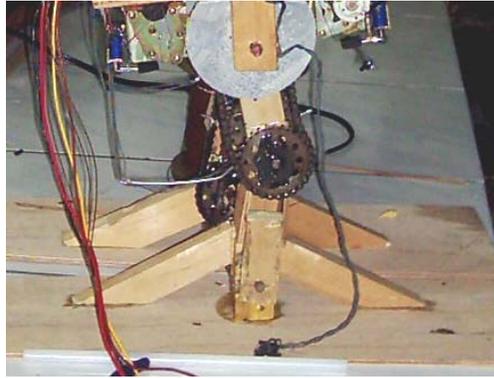


Gambar 2.2. Anggota Gerak Bawah Manusia

Sumber: Francis, Simon. *The Skeletal System*

<[http://www.skfservices.com/acatalog/Anatomical\\_Charts.html](http://www.skfservices.com/acatalog/Anatomical_Charts.html)>

Gambar di atas menunjukkan rangka dan konstruksi tulang manusia untuk pergerakan. Sambungan tulang dari *pelvis* hingga *foot* memungkinkan makhluk hidup yang mengadopsinya memiliki gerakan yang luas. Gerakan untuk sistem bipedal dan hingga menjadi gerakan lari sangat memungkinkan untuk dilakukan. Pada manusia, tulang gerak telah berevolusi menjadi sangat efisien untuk gerakan lari dan berjalan di atas dua kaki. Hal demikian dapat dilihat dari ruas panjang bagian *thigh* dan *leg* cenderung sama. Evolusi demikian membuat manusia dapat memindahkan tubuh sejauh-jauhnya dengan satu langkah daripada konstruksi tulang primata lainnya.



Gambar 2.3 Kaki Robot

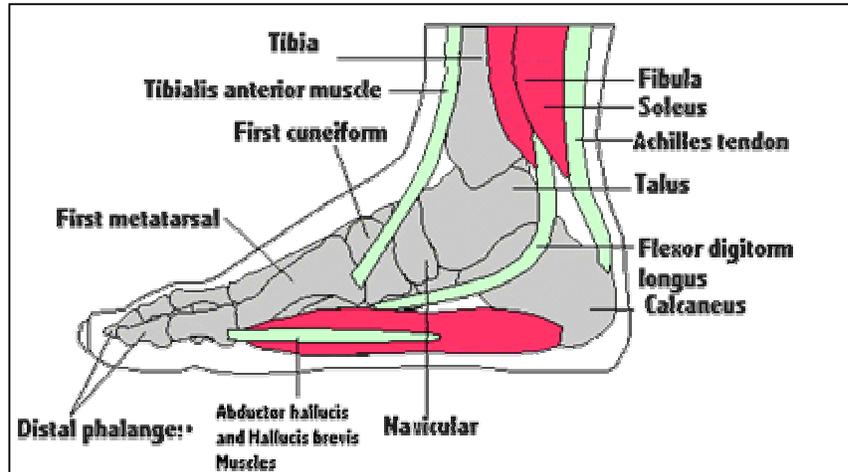
Kaki robot sedapat mungkin juga didesain mendekati bentuk biologis yang berevolusi, yaitu bagian paha yang sama panjang betis dan betis yang tertancap pada telapak kaki dan mampu menyebarkan berat ke telapak kaki.

#### 2.1.3. Otot Penggerak Rangka Kaki

Bagian pegerak bawah manusia yang penting selain rangka (pasif) gerak adalah bagian penggerak aktif, yaitu otot (*muscle*). Otot ini yang akan menggerakkan tulang belulang sesuai perintah susunan saraf pusat (otak). Otot memiliki kontruksi yang sangat rumit sesuai dengan kemampuan gerak rangka. Semakin banyak kemungkinan gerak yang dapat dilakukan makhluk hidup, semakin banyak pula jumlah otot untuk satu macam gerakan hingga kira-kira dua kali lipatnya. Otot selain anggota gerak aktif juga memiliki fungsi samping, yaitu memperkuat rangka tulang itu sendiri. Otot dapat meminimalkan trauma benturan pada tulang, jika secara tidak sengaja kaki membentur benda keras. Kekuatan terhadap tekanan pada tulang dapat dibantu otot. Maka otot yang kuat dan terlatih mampu memperkuat kerangka tulangnya.

Otot tidak bisa menekan, mereka hanya dapat menarik dan oleh karena itu cara kerjanya berpasangan namun saling berlawanan. Dengan menarik pada sisi tulang yang berbeda, akan memungkinkan suatu sambungan dapat membuka atau menutup. Gerakan otot saling tarik ini dapat diwakilkan oleh gerakan katrol. Saat katrol berputar, maka hanya ada satu tali yang berkontraksi menghasilkan

tenaga tarik, sedangkan pada sisi yang lain mengendur untuk memberikan gaya putar. Pada gambar 2.4 dan gambar 2.5 ditunjukkan kesamaan pemodelan gerak.



Gambar 2.4 Penggerak Kaki Manusia Oleh Otot

Sumber: Unger, Ken. LeDoux, Ron. *Anatomy Of The Foot*, <[www.foottalk.com](http://www.foottalk.com)>.



Gambar 2.5 Otot Tiruan Pada Telapak Kaki Robot

Pada persamaan gerakan gambar 2.4 dapat dilihat pada gambar 2.5. Diperlihatkan bahwa yang menggerakkan telapak kaki lurus ke depan/belakang adalah *tibialis anterior muscle* dan *achilles tendon*. Gerakan kontraksi dan relaksasi yang bergantian dapat diwakilkan oleh gerakan katrol pada telapak kaki robot.

## 2.2. Teori Mekanik Elektrik

Robot terdiri dari dua bagian besar yaitu mekanis dan elektris. Kedua sub sistem ini akan saling berkaitan

### 2.2.1 Mekanika Robot

Robot memiliki gerakan dasar yang dikontrol oleh rantai pada roda gigi gerakan. Sifat dari gerakan ini adalah mengambil ide dasar dari meja gambar arsitek. Penggaris tegak lurus  $90^\circ$  akan selalu tetap posisinya meski lengan ayun digerakkan kesana-kemari. Penggaris baru akan bergerak jika katrol pusat tempat tali puli utama diputar.

Sifat ini menguntungkan jika robot memiliki satu motor sebagai penggerak satu bagian kaki. Sebagai contoh: motor telapak kaki robot tidak bergerak. Meski motor betis dan motor paha robot bergerak, maka telapak akan tetap posisinya sejajar dengan lantai. Tipe penggerak seperti ini memiliki titik berat yang lebih terlokalisir, karena motor dapat diletakkan saling bedekatan. Kondisi demikian lebih memudahkan pengaturan keseimbangan oleh beban penyeimbang.

### 2.2.2 Transmisi Tenaga

Energi mekanik dapat ditransmisikan ke media gerak lain melalui bermacam-macam media transmisi energi. Pada robot dua kaki ini digunakan dua macam transmisi yaitu transmisi roda gigi dan transmisi tali puli katrol.

Transmisi menggunakan roda gigi memerlukan syarat, yaitu tipe/nomor gigi harus sama antara *pinion* dan *spur*. Selain bidang persentuhan dengan roda gigi lain, adapula roda gigi yang memiliki diameter berbeda tetapi menjadi satu sumbu putar. Roda gigi bertumpuk ini bisa berfungsi memperlambat kecepatan lingkaran sekaligus memperkuat torsi pada kecepatan sudut yang sama.

Berikut adalah persamaan dua buah roda gigi

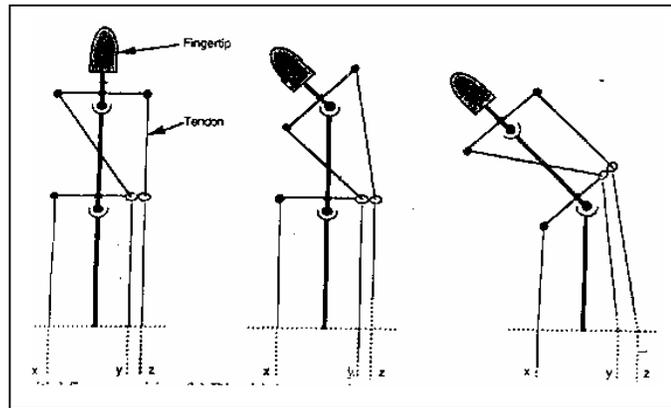
$$\frac{\text{keliling}A}{\text{keliling}B} = \frac{\text{gigi}A}{\text{gigi}B} = \frac{\text{kecepatan\_sudut}B}{\text{kecepatan\_sudut}A} \quad (2.1)$$

Pada roda gigi yang tandem berserta sistemnya dapat dihitung dengan rumus diatas tetapi dengan kecepatan sudut sama. Pada motor penggerak robot memiliki sistem transmisi gigi pada setiap sendi kaki. Transmisi ini digunakan untuk memperbesar torsi (momen puntir) sehingga beban robot untuk melangkah dapat dilakukan meski menggunakan motor kecil. Penggunaan cara ini dapat menghemat konsumsi arus listrik dan memperhalus gerakan robot.



Gambar 2.6 *Gearbox* Atau Sistem Transmisi Roda Gigi

Transmisi rantai dan roda gigi digunakan untuk memindahkan gaya putar ke posisi yang agak jauh. Selain sebagai transmisi, penggunaan rantai ini juga digunakan untuk mempertahankan posisi terhadap suatu bagian gerak meski bagian gerak lain berubah posisi. Kecenderungan bertahan pada posisinya dapat dilihat pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 Sistem Transmisi Tali Puli Katrol

Sumber: Russell, Andrew R.. *An Introduction to Robotics*. Melbourne: Mi-tec Publishing , 1996.

Sistem transmisi tali puli katrol pada gambar 2.6 memiliki sifat bila sumbu Y dan sumbu Z ditarik sedemikian rupa hingga bagian *fingertip* miring ke kiri, maka saat sumbu X ditarik kemanapun, bagian *fingertip* memiliki posisi tetap menurut sumbunya.

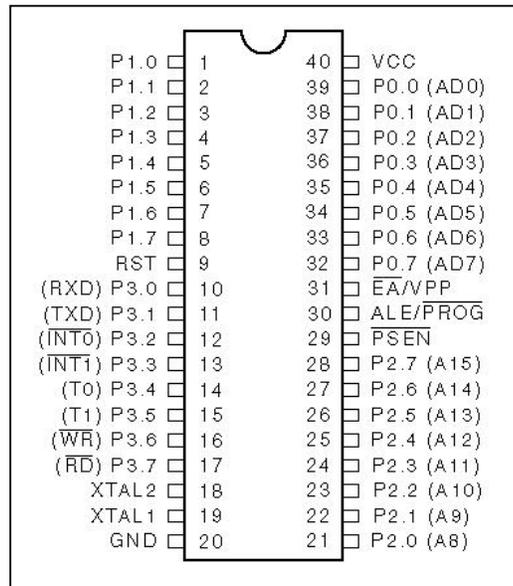
### 2.2.3. Kontrol Elektrik

Robot dua kaki selain terdiri dari komponen fisik juga terdapat komponen elektrik. Komponen elektrik ini memiliki fungsi memberi kontrol gerakan pada komponen fisik.

#### 2.2.3.1 Mikrokontroler

Sebuah *chip* mikrokontroler bukan sebuah prosesor komputer yang memiliki fungsi lengkap. *Chip* ini tidak memiliki memori yang besar layaknya komputer dan juga tidak memiliki kemampuan untuk berkomunikasi dengan media *input* seperti: *keyboards*, *joystick*, dan *mouse*, dan dengan media *output* seperti *monitor* dan *printer* – bila tidak dibangun antar muka yang dirancang khusus untuk peralatan tersebut. Penggabungan beberapa mikrokontroler pada suatu peralatan elektronik dapat membentuk fungsi-fungsi khusus, misal: mesin pabrik, kamera TV, kontrol pengapian mesin mobil, dan sebagainya.

Prosesor kontrol Atmel AT89C51 dipilih dari antara keluarga prosesor Atmel, karena memiliki *port* yang cukup untuk I/O (*input output*) semua bagian kaki robot. Jumlah *bit* yang tersedia, memungkinkan untuk banyak fungsi kaki dapat diprogram dan dikontrol dengan sederhana.



Gambar 2.8 Port Pada AT89C51

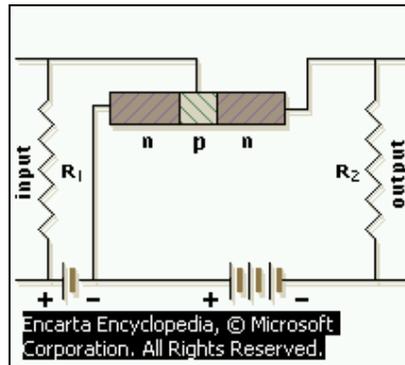
Sumber: Pierre, Jean. *AT89C51*, <<http://www.atmel.com>>.

*Port-port* yang tersedia P0, P1, P2 dan P3 dapat aktif semua apabila pin 31 pada prosesor di beri tegangan 5Volt. Pin 31 (*enable access*) memberikan perintah pada prosesor untuk mengambil *internal program memory* sebagai program untuk diproses.

Setelah *port-port* aktif, maka kontrol tiap *bit* baru dapat dibuat. Kemampuan output maksimum tiap pin adalah berkisar 80 $\mu$ A pada logika '1' dan menarik arus maksimum sekitar 10mA untuk input pin pada logika '0'.

### 2.2.3.2 Kontrol Transistor<sup>2</sup>

Pada transistor, kombinasi dari dua *junctions* dapat digunakan sebagai penguatan. Salah satu tipe transistor adalah n-p-n, yang memuat *layer* (lapisan) tipis dari layer tipe-p diantara *layer* tipe-n, seperti pada ilustrasi pada gambar 2.9.



Gambar 2.9 *Layer* Pada Transistor NPN

Tipe-n pada bagian kiri pada ilustrasi tersebut adalah elemen emitor dari transistor dimana memberikan suplai elektron. Untuk menghasilkan *forward flow* dari arus n ke p, emitor harus memiliki tegangan lebih negatif dari layer tipe-p (basis), untuk mengontrol laju elektron. Layer tipe-n yang lain berfungsi sebagai kolektor, dimana memiliki tegangan jauh lebih besar daripada basis untuk memperkecil arus balik. Elektron mengalir dari emitor menuju basis untuk kemudian mengaktifkan kolektor sehingga elektron mengalir menuju kolektor. Keadaan demikian menjadikan impedansi input (hambatan dalam) antara emitor dan basis menjadi rendah. Lalu impedansi output dari basis dan kolektor menjadi besar. Maka, perubahan kecil pada tegangan basis dapat mengakibatkan perubahan tegangan naik / turun yang besar melewati kolektor, sehingga membuat transistor menjadi penguat yang efektif.

Transistor tipe p-n-p juga memiliki cara kerja yang identik dengan transistor tipe n-p-n. Tipe p-n-p juga memiliki dua *junctions* yaitu tipe-p, maka transistor tipe ini digunakan untuk aplikasi yang menggunakan penguatan terbalik.

Transistor adalah kontrol arus. Transistor dapat pula diibaratkan relay elektronik.

---

<sup>2</sup> Microsoft Encarta Encyclopedia. Microsoft Corporation, 2003.

Pada robot dua kaki dipakai transistor PNP C9012 untuk pengaktifan transistor saat prosesor mengeluarkan logika '0'.

Kemampuan transistor yang paling penting adalah  $I_{EC}$  dan  $\beta$  ( $h_{fe}$ ). Untuk melihat kemampuan  $I_{EC}$  dan  $\beta$  dapat dicari pada *data sheet* transistor C9012.  $H_{fe}$  dapat pula dilihat pada AVO meter digital. Maka berlaku:

$$I_B = \frac{Arus I_{EC}}{H_{fe}} \quad (2.2)$$

Pada rumus 2.2, bila  $I_B$  didapat maka dapat dicari harga R antara pin prosesor dengan kaki Basis.

$$R = \frac{|V_{pin\ Prosesor} - (V_{emitor} - 0,7volt)|}{I_B} \quad (2.3)$$

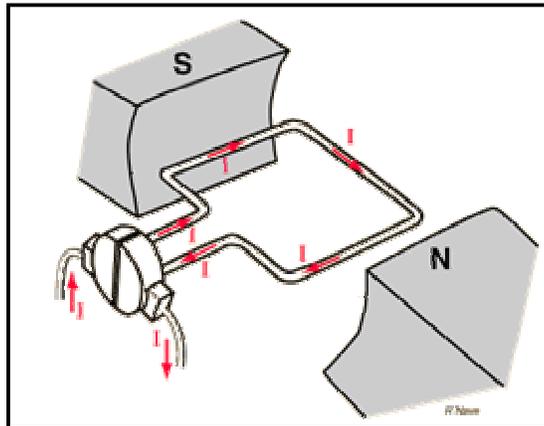
Bila rata-rata  $I_B$  yang didapat adalah 0,1mA, maka harga arus sekecil itu dapat diasumsikan bahwa prosesor tidak terbebani karena maksimum logika '0' adalah 10mA.

### 2.3. Motor DC

Motor DC adalah motor yang dapat berputar searah jarum jam maupun sebaliknya dengan arus searah. Motor ini dapat berputar ke arah *axis* dan *anti axis* dengan torsi yang sama dengan membolak-balik kutub listriknya. Mesin arus searah pada dasarnya sama dengan mesin arus bolak balik. Kumputaran motor DC biasanya terdiri dari beberapa lilitan / jangkar.

Berikut adalah urutan operasional motor DC:

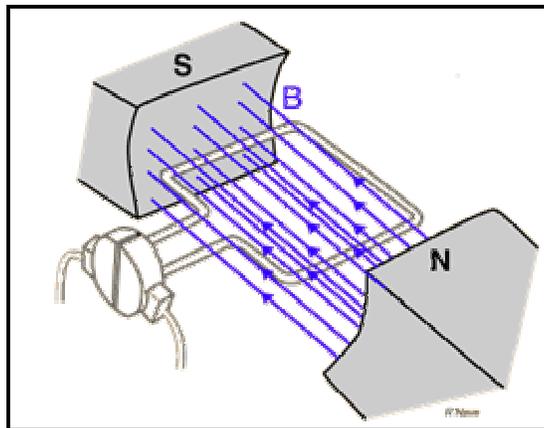
- Motor DC bergerak bila mendapat arus DC dari sikat/komutator. Gerakan arus searah pada koil menghasilkan medan magnet yang memutar seperti kaidah tangan kanan. Pada motor terdapat magnet permanen yang memberi energi magnet secara konstan dan memotong koil.



Gambar 2.10 Koil Motor DC

Sumber: Nave, Rod, Carl. *Motor DC*

<<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/magnetic/motdc.html>>



Gambar 2.11 Medan B Yang Memotong

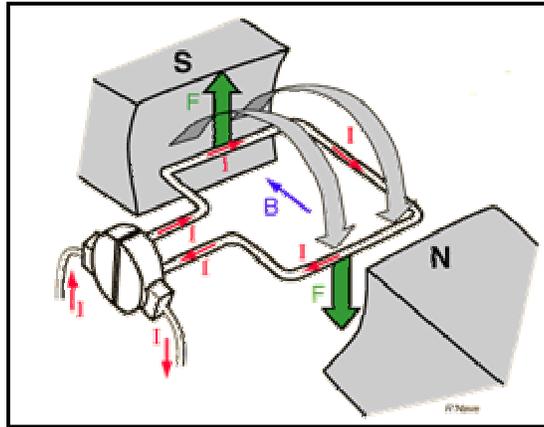
Sumber: Nave, Rod, Carl. *Motor DC*

<<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/magnetic/motdc.html>>

- Sesuai kaidah jari tangan kanan antara F, B, dan I, akan didapatkan tenaga putar (F) yang selalu tegak lurus pada satu konduktor koil. Saat medan F selalu mengikuti, maka terjadi energi putar atau torsi. Semakin banyak lilitan, semakin kuat medan B dan semakin besar arus I, maka torsi (momen puntir) semakin menguat. Hal ini dapat diwakilkan rumus berikut:

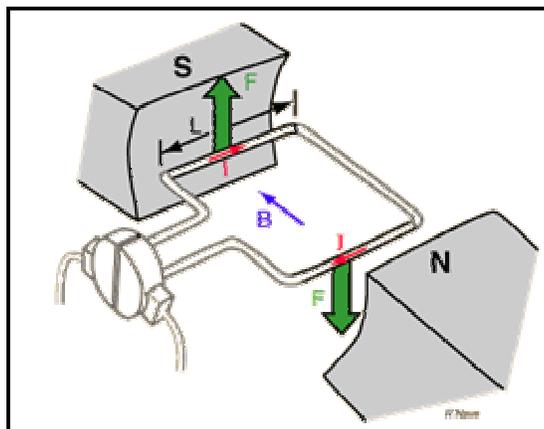
$$F = I \times L \times B \quad (2.4)$$

- Pada rumus 2.4 terdapat satuan  $L$ . Satuan ini jarang diperhitungkan, tetapi bila bidang koil yang terpotong medan  $B$  makin panjang maka panjang  $L$  dapat mengali torsi hingga berlipat-lipat.



Gambar 2.12 Torsi Yang Dihasilkan Motor

Sumber: Nave, Rod, Carl. *Motor DC*  
 <<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/magnetic/motdc.html>>



Gambar 2.13 Faktor Panjang  $L$

Sumber: Nave, Rod, Carl. *Motor DC*  
 <<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/magnetic/motdc.html>>

- Setelah koil berputar karena energi torsi yang dihasilkan, maka motor mengulangi proses berikutnya yang sama dengan koil yang lain. Motor DC akan selalu berputar selama catu daya terpasang.