



## BAB II LANDASAN TEORITIS

### 2.1 Pengertian Sistem Starter

Kamus Besar Bahasa Indonesia, “Sistem adalah seperangkat unsur yang secara teratur saling berkaitan sehingga membentuk suatu rangkaian komponen yang berhubungan satu sama lain”. Suatu *engine* tidak dapat berputar dengan sendirinya, dibutuhkan tenaga dari luar untuk mengengkol dan membantunya untuk hidup. Diantara berbagai peralatan yang ada, sekarang automobil menggunakan motor listrik yang dikombinasikan dengan magnetic switch untuk mendorong pinion gear yang berputar ke dalam atau keluar dari hubungan dengan ring gear yang ada pada roda penerus (*flywheel*) mesin (Toyota. 2002. Hlm 1). Motor starter adalah suatu penggerak yang dibutuhkan untuk *engine*, karena *engine* tak dapat bekerja dengan sendirinya namun dibutuhkan tenaga dari alat penggerak awal. Motor starter harus dapat membangkitkan momen puntir yang besar dari sumber tenaga baterai yang terbatas. Pada waktu yang bersamaan harus ringan dan kompak. Oleh karena itu maka dipergunakanlah motor series DC (*direct current*). Starter adalah salah satu dari sistem kelistrikan *engine* yang menunjang untuk alat penggerak awal *engine*. Sistem starter yang dilengkapi pada kendaraan bermotor berfungsi untuk memutar motor sebelum terjadi proses pembakaran gas campuran udara bahan bakar oleh percikan api busi pada ruang bakar motor tersebut. Prinsip kerja dari sistem starter adalah mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. (Permana, T. 2008. hlm). Menurut Daryanto (2005. Hlm 372) menjelaskan bahwa “Motor starter berfungsi untuk memutar mesin atau menghidupkan *engine* pada pertama kalinya”.

Jenis-jenis motor starter yang digunakan pada kendaraan bermotor menurut (Permana, T. 2008. hlm) diantaranya:

1. Dilihat dari Voltage yang digunakan
  - a. 6 Volt : pada umumnya digunakan untuk kendaraan roda dua
  - b. 12 Volt : sebagian kecil digunakan untuk kendaraan roda dua, pada umumnya digunakan untuk kendaraan roda empat yang menggunakan bahan bakar bensin

- c. 24 Volt : pada umumnya digunakan untuk kendaraan yang menggunakan bahan bakar solar (kendaraan besar).
2. Dilihat dari penggerak unit pinion menurut Daryanto (2014, hlm 108)
  - a. Starter sekrup tanpa kopling jalan bebas. Pegas peredam kejutan saat pinion berhubungan dan meneruskan momen putar dari poros angker ke poros berulir memanjang.
  - b. Starter sekrup dengan kopling jalan bebas, dengan demikian maka sewaktu motor mulai akan hidup tetapi akan berkaitan dengan roda gaya.
3. Dilihat dari penggunaan motor listrik menurut Daryanto (2014, hlm 108)
  - a. Motor seri
  - b. Motor listrik dengan magnet permanen
4. Dilihat dari rangkaian listrik menurut Daryanto (2014, hlm 108)
  - a. Dengan sakelar mekanis
    - Bentuk sederhana tapi kurang nyaman dalam penggunaannya.
    - Kabel yang digunakan lebih panjang sehingga kerugian tegangan lebih besar.
  - b. Dengan relai
    - Rangkaian menjadi praktis.
    - Kabel ke motor starter lebih pendek sehingga kerugian tegangan kecil.
    - Dapat dikendalikan dengan kunci kontak.
5. Dilihat berdasarkan cara kerjanya
  - a. *Manual starting system*  
*Manual starting system* cara kerjanya yaitu dengan menggunakan poros engkol diputar oleh tangan menggunakan tuas pengengkol.
  - b. *Self starting system*  
*Self starting system* cara kerjanya yaitu poros engkol diputar menggunakan motor listrik yang dipasang pada blok silinder.
6. Dilihat berdasarkan mekanisme pemindah putaran
  - a. *Bendix drive*  
*Bendix drive* yaitu jenis motor starter yang disatukan langsung dengan *engine* dan untuk meneruskan putarannya tidak menggunakan *magnetic solenoid* atau tanpa tuas penarik.

b. *Overrunning clutch*

*Overrunning clutch* yaitu jenis motor starter untuk meneruskan putarannya dibantu menggunakan *solenoid* atau menggunakan tuas penarik.

7. Dilihat berdasarkan pembangkit tenaga puntar

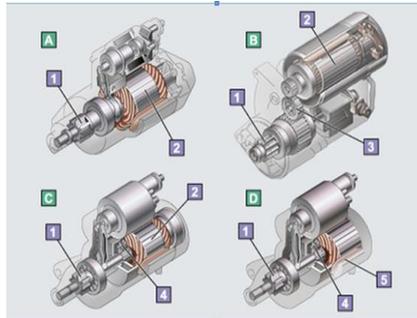
a. Starter reduksi

Starter reduksi dimana jenis motor starter ini dilengkapi dengan *idle gear* yang dipasangkan antara gigi poros *armature* dan *clutch gear*.

b. *Compound starting motor*

*Compound starting motor* dimana jenis motor starter ini lilitan *magnetic field* dirakit berdasarkan lilitan parallel dan lilitan seri.

8. Tipe motor starter dilihat berdasarkan kontruksinya



Gambar 2.1 Tipe-Tipe Motor Starter  
(Sumber : Toyota, 2002, hlm 4)

Keterangan 1 :

- A. Tipe konvensional
- B. Tipe reduksi
- C. Tipe planetary
- D. Tipe planetary reduction-segmen conductor motor

Keterangan 2 :

- 1. Pinion gear
- 2. Armature
- 3. Adle gear
- 4. Planetary gear
- 5. Magnet permanen

A. Tipe Konvensional

Motor starter tipe konvensional tipe ini dimana *armature* dan *pinion gear* berotasi dengan cara yang sama. (Toyota, 2012, hlm 4)

Komponen *pinion gear* mempunyai kecepatan yang sama dengan *armature* hal tersebut disebabkan “*pinion gear* ditempatkan satu poros dengan *armature* dan berputar dengan kecepatan yang sama” (Toyota, 2002, hlm 7). Letak *pinion gear* seporos dengan *armature*, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.1 maka putaran *pinion gear* dan putaran *armature* sama, jadi putarannya menghasilkan gaya yang besar namun memerlukan tenaga listrik yang besar untuk menggerakkan *engine*.

#### B. Tipe Reduksi

Tipe starter yang memiliki *idle gear* diantaranya *drive* dan *driven gear* seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.1 untuk mengurangi rotasi *armature* dan mengirimnya ke *pinion gear*. (Toyota, 2012, hlm 4). Motor starter tipe reduksi memakai motor kecil yang berkecepatan tinggi, motor starter ini untuk meningkatkan momennya dengan mengurangi kecepatan putaran *armature* menggunakan *idle gear*. “Roda gigi ekstra memperlambat putaran motor sampai sepertiga atau seperempat putaran dan memindahkan putaran tersebut ke *pinion gear*” (Toyota, 2002, hlm 14). Hasil memperlambat putaran *armature* tersebut menghasilkan momen yang lebih besar dibandingkan dengan motor starter tipe konvensional.

#### C. Tipe Planetari

Tipe starter yang memiliki *planetari gear* untuk mengurangi rotasi *armature*. (Toyota, 2012, hlm 4). Motor starter tipe *planetari* menggunakan tiga *planetary gear* untuk mengurangi kecepatan putaran *armature* dengan tujuan meningkatkan torsi. Tipe motor starter ini seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.1 memiliki ukuran lebih kecil dan ringan daripada motor starter tipe reduksi. Motor starter tipe planetari mempunyai kelebihan yaitu memungkinkan *armature* bisa bekerja dengan putaran tinggi, putaran dari *pinion gear* berputar lebih lembut dan arus yang digunakan lebih kecil.

#### D. Tipe *Planetary reduction segmen condutor* motor

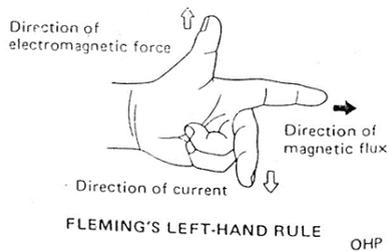
Tipe dengan magnet-magnet permanen digunakan di *field coil* seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.1 *Armature coil* telah dibuat lebih kecil, sehingga panjang keseluruhan menjadi lebih pendek. (Toyota, 2012, hlm 4). Mekanisme perkaitan dan perlepasannya bekerja dengan cara yang sama dengan tipe planetari.

Berdasarkan Toyota (2002, hlm. 1) menjelaskan bahwa kecepatan minimum yang dibutuhkan untuk memutarakan *engine* sebagai berikut: Kecepatan putaran minimum yang diperlukan untuk menhidupkan *engine* berbeda-beda tergantung pada konstruksi dan kondisi operasinya tetapi pada umumnya 40 sampai 60 rpm untuk motor bensin dan 80 sampai 100 rpm untuk motor diesel.

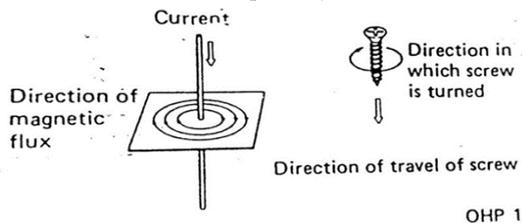
Motor starter yang dijadikan sebagai objek penelitian adalah motor starter tipe reduksi. Kontruksi pada motor starter tipe reduksi *armaturenya* tidak seporos dengan *pinion gear* tapi putaran dari *armaturenya* di reduksikan (diturunkan) oleh *idle gear* sampai sepertiganya. Putaran yang dihasilkan sangat kuat karena memiliki *idle gear*.

## 2.2 Prinsip Kerja Motor Starter

Prinsip kerja motor *starter* menggunakan teori elektromagnet pada elektromagnet terdapat hubungan antara kemagnetan dan kelistrikan. Elektromagnet terjadi ketika sebuah kumparan dialirkan arus listrik maka akan terbentuk garis-garis magnet. Arah gaya magnet ini dapat ditentukan dengan menggunakan kaidah tangan kiri *fleming* berbunyi: “jika suatu kawat kumparan berputar diantara medan magnet pada kumparan tersebut akan menghasilkan arus listrik, aturan tangan kiri *fleming* mengungkapkan arah arus tersebut mengalir. Jika arus tersebut memutar motor listrik, aturan tangan kiri *fleming* akan mengungkapkan arah motor tersebut akan berputar”. Kaidah tangan kanan *fleming* berlaku pada generator, yaitu terdapat hubungan antara penghantar bergerak, arah medan magnet, dan arah resultan dari aliran arus yang terinduksi. Kaidah tangan *fleming* pada gambar 2.2 digunakan untuk menentukan arah putaran kumparan pada sebuah motor listrik. Kaidah tangan kiri *fleming* dibuat atau ditemukan oleh John Ambrose *Fleming* seorang ilmuawan fisikawan yang berasal dari inggris. Bila penghantar ditempatkan diantara kutub N (Utara) dan S (Selatan) dari sebuah magnet permanen maka garis gaya magnet yang terjadi oleh arus listrik dalam penghantar dan garis gaya magnet dari magnet permanen saling berpotongan menyebabkan *magnetic flux* bertambah dibagian bawah penghantar dan berkurang dibagian atas penghantar. Arah gaya yang dibangkitkan oleh perpotongan garis gaya magnet bisa di lihat menggunakan aturan kaidah tangan kiri *fleming*. Aturan tangan kiri *fleming* menggunakan 3 jari penunjuk yaitu ibu jari untuk menunjukkan arah momen, jari telunjuk untuk menunjukkan arah garis gaya magnet dan jari tengah untuk menunjukkan arah arus listrik pada penghantar. Dalam teori elektromagnet, dijelaskan bahwa apabila penghantar (konduktor) dialiri arus listrik maka akan terbentuk medan magnet dan arah medan magnet yang dihasilkan tergantung dari arah arus listrik yang mengalir.

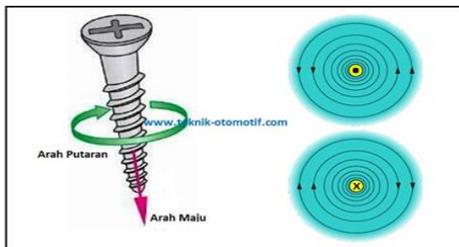


*Gambar 2.2 Kaidah Tangan Kiri Fleming  
(Sumber : New Step 2 Toyota (2002) :2)*



*Gambar 2.3 Kaidah Ampere Dari Ulir Kanan  
(Sumber : New Step 2 Toyota 2002 : 2)*

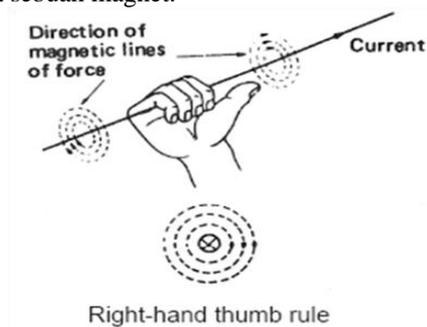
Selain menggunakan kaidah tangan kiri *fleming* ada juga kaidah sekrup ulir kanan, arah arus listrik dan arah flux magnet dapat dinyatakan dengan menggunakan kaidah ulir kanan yang berbunyi “hubungan antara arah arus listrik dengan arah flux magnet dapat digambarkan dengan gerakan sekrup ulir kanan ketika diputar masuk (dikencangkan), ketika arus listrik DC (searah) dialirkan (sesuai dengan arah pengencangan sekrup ulir kanan) maka arah fluksi magnet yang dihasilkan akan searah dengan gerakan memutar sekrup (searah jarum jam)”. Pada kaidah sekrup ulir kanan arus listrik mengalir sesuai dengan arah panah dan medan magnet yang terbentuk akan searah dengan putaran jarum jam. Tanda X pada gambar 2.4 menunjukkan bahwa arus listrik yang mengalir menjauhi titik pusat, Tanda titik menunjukkan bahwa arus listrik yang mengalir mendekati titik pusat dan bila penghantar (konduktor) berada diantara kutub N dan S pada sebuah magnet.



Gambar 2.4 Kaidah Sekrup Ulir Kanan

(Sumber : [Http://Www.Teknik-Otomotif.Com/2017/10/Kaidah-Tangan-Kiri-Fleming-Ulir-Kanan.Html](http://www.Teknik-Otomotif.Com/2017/10/Kaidah-Tangan-Kiri-Fleming-Ulir-Kanan.Html))

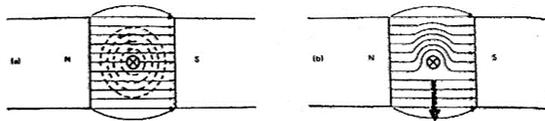
Arus listrik mengalir sesuai dengan arah panah, medan magnet yang terbentuk akan searah dengan putaran jarum jam, tanda X menunjukkan bahwa arus listrik yang dialiri menuju kebawah ulir sekrup, tanda titik menunjukkan bahwa arus listrik yang mengalir dari ujung ulir sekrup ke kepala sekrup, apabila penghantar (konduktor) berada diantara kutub N dan S pada sebuah magnet.



Gambar 2.5 Kaidah Tangan Kanan

(Sumber : [Https://Id.Wikipedia.Org/Wiki/Kaidah\\_Tangan\\_Kanan](https://id.Wikipedia.Org/Wiki/Kaidah_Tangan_Kanan) )

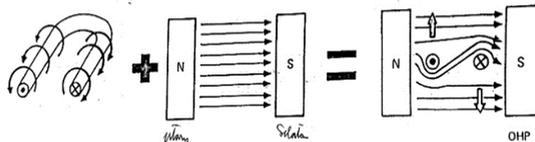
Kaidah ibu jari tangan kanan sama dengan kaidah ulir kanan pada sekrup. Apabila konduktor dipegang dengan tangan kanan dan ibu jari menunjukkan sebagai arah dari arus yang mengalir, sedangkan garis-garis gaya magnet yang akan dihasilkan mempunyai arah sesuai dengan keempat jari lainnya.



Gambar 2.6 Arah Medan Magnet

(Sumber : Training Mekanik A2 Suzuki 1993 )

Pada ilmu kemagnitan, garis-garis gaya medan magnet diluar batang magnet mengarah dari kutub utara ke kutub selatan. Apabila diantara dua kutub magnet tersebut (utara-selatan) diletakkan suatu penghantar (konduktor), kemudian pada penghantar tersebut dialirkan arus listrik, maka di sekeliling konduktor akan terbentuk medan magnet dengan arah putaran jarum jam. Akibatnya medan magnet yang ada di sebelah kiri konduktor akan saling bertumpuan dengan kumpulan garis gaya magnet yang sama arahnya dan yang sebelah kanan konduktor akan saling menghapuskan dengan deminikian akan terjadi gerakan konduktor seperti ditunjukkan pada gambar diatas dari peristiwa tersebut dapat disimpulkan bahwa terdapat hubungan antara elektromagnet force, arah gaya magnet dan arah dari arus.

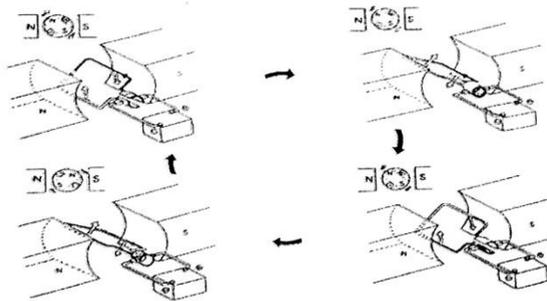


Gambar 2.7 Arah Gaya Magnet

(Sumber : New Step 2 Toyota 2002 : 3 )

Sebuah lilitan kawat (konduktor) yang berbentuk “U. Sesuai dengan penjelasan terdahulu, apabila konduktor dialiri arus listrik maka akan menghasilkan medan magnet yang berbeda . untuk konduktor yang arah arusnya menjauhi (x) arah medan magnet yang timbul akan searah jarum jam. Sedangkan sebaliknya untuk konduktor yang arah arusnya mendekati kita (o) akan menghasilkan arah medan magnet berlawanan jarum jam. Kemudian konduktor tersebut diletakkan diantara kutub magnet utara dan selatan, maka timbul kombinasi garis-garis gaya magnet. Akibatnya di arah “Kutub N” akan timbul tenaga ke bawah dan di “kutub S” akan timbul tenaga ke atas sehingga menimbulkan momen puntir (Hukum tangan kanan *Fleming*). Karena arah arus listrik yang

mengalir tersebut tetap, maka perputaran ini hanya dapat berputar 90° saja.



*Gambar 2.8 Prinsip Kerja Motor Starter  
(Sumber : New Step 2 Toyota 2002 : 3 )*

Gambar diatas menunjukkan prinsip kerja motor *starter* satu siklus penuh dengan satu konduktor. Jika arus baterai mengalir ke konduktor melalui *brush* dan kembali ke baterai lagi. Pada saat yang sama garis-garis gaya magnet dari kutub utara ke kutub selatan dipotong konduktor. Pada bagian yang arah arusnya menjauhi kita akan timbul gerakan ke arah bawah (searah tanda panah) dan pada saat yang sama konduktor yang arah arusnya mendekati kita, timbul gerakan ke arah atas (searah tanda panah pada konduktor). Akibat dari kedua gerakan tersebut, dapat menyebabkan *Armature* (dalam hal ini single konduktor) bergerak setengah putaran, ke arah putaran jarum jam.

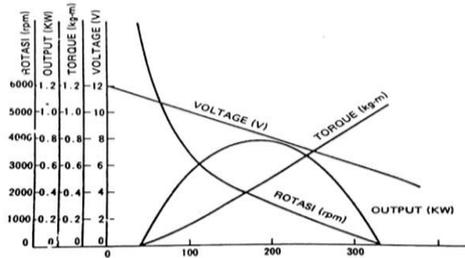
Demikian juga halnya untuk gambar berikutnya akan menghasilkan juga gerakan sebanyak setengah putaran. Sehingga apabila arah dan arus konduktor yang memotong kutu magnet adalah tetap, maka putaran yang kontinyu akan mungkin terjadi. Sedangkan jumlah putaran *torque* yang terjadi sebanding terhadap kedua kekuatan magnet dan panjang konduktor. Dalam motor yang sebenarnya, beberapa set kumparan dipergunakan untuk menghilangkan putaran yang tidak teratur dan memelihara gaya putar yang tetap dengan prinsip dan fungsi yang sama.

### **2.3 Faktor-Faktor Yang Menentukan Dalam Menggunakan Motor Starter Yang Tepat**

Sehubung dengan penggunaan baterai sebagai sumber arus yang harus dapat menghasilkan tenaga putar (*torque*) yang sangat besar, juga ukurannya diharapkan harus kecil dan ringan. Maka untuk itu starter diperlengkapi dengan motor starter searah. Dalam menentukan motor

starter yang tepat menurut kebutuhan suatu mesin, ada beberapa faktor yang perlu diperhatikan.

### 1. Sifat Starter



Gambar 2.9 Diagram Performance Motor Starter Dengan Ukuran 0,8 Kw

( Sumber: Toyota hal 5-4)

Pada umumnya motor starter menggunakan motor starter searah, yang dihubungkan seri dengan *field coil* dan *armature coil*. Mengenai sifat-sifat arus searah dari motor starter diterangkan pada gambar diatas.

Tenaga putar (*torque*) yang dihasilkan oleh motor starter akan menambah kadar arus yang mengalir pada starter secara proporsional. Makin rendah putaran makin besar arus yang mengalir pada starter sehingga menghasilkan tenaga putar yang besar. Apabila putaran tinggi, maka timbul arus berbalik pada *armature coil*. Akibat dari putaran *armature*, arus yang mengalir pada starter sedikit dan mengakibatkan tenaga putar yang dihasilkan rendah.

Kecepatan putar dapat menjadi lebih cepat, tergantung pada perbandingan tenaga yang disuplai pada starter. Hal ini akan berguna sekali pada waktu men-start mesin, di mana diperlukan tenaga yang besar.

Pada gambar 2.9 menunjukkan tegangan yang disuplai pada starter ketika dilakukan pengujian kapasitas. Dari hasil test tersebut menunjukan apabila tegangan pada starter bertambah besar, maka kapasitasnya akan menurun. Dengan demikian kapasitas starter sangat erat hubungannya dengan baterai.

Hubungan antara kecepatan putar dan arus dapat dilihat pada Gambar diatas Pada saat distart, arus yang mengalir menurut grafik pada putaran nol, adalah 330 A (lihat titik perpotongan antara putaran / rpm, dengan garis horizontal arus) dan tegangannya pada waktu itu tegangan terbaca 5,5 V (tarik garis vertikal memotong garis tegangan dan dari titik tersebut tarik garis horizontal memotong V). Atas dasar

ini dihitung jumlah tahanan (R) dari Kumparan medan dan Kumparan anker menjadi:

$$R = \frac{V}{I} = \frac{5.5}{330} = 0,016 \Omega$$

Pada waktu motor stater berputar mencapai putaran 5000 rpm, arus pada starter pada tegangan 11 V akan menjadi:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{11}{0,016} = 687,5 A$$

Tetapi keadaan I sebenarnya seperti dilihat pada gambar diatas arus yang mengalir hanya 70 A. Hal tersebut disebabkan karena dalam magnet *field* terdapat putaran *armature* yang menimbulkan arus berbalik pada *armature coil*, atau adanya arus lawan (Induksi diri) pada kumparan anker, maka arus balik ini menjadi penghambat mengalirnya arus dari baterai. Dari arus berbalik pada waktu negatif (-) besarnya arus dihitung sebagai berikut :

$$I = \frac{V - e}{R}$$

$$e = V - I.R$$

Berdasarkan rumus diatas, maka dapat dihitung sebagai berikut :

$$e = 11 - 70 \times 0,0016 = 9,88 V$$

Jadi arus 11 Volt yang dialirkan oleh 330 A dengan 5,5 Volt akan menjadi 70 Ampere, adalah disebabkan oleh tegangan balik dari *armature coil* atau adanya tegangan balik dari kumparan anker kira-kira sebesar 9,88 Volt.

Apabila mesin mulai berputar dan bila hambatan (*resistan*) putaran berkurang, maka *torque* dari starter menjadi besar dan kecepatannya akan naik, tetapi karena bertambahnya arus berbalik, arus yang mengalir pada *armature coil* akan berkurang. Akibatnya bahwa arus *field coil* yang dihubungkan searah dengan *armature coil* akan berkurang akhirnya motor starter akan menstabilkan putaran *high speed*. Pada saat hambatan (*resistan*) putaran mesin membesar dan putaran tinggi dari starter rendah maka arus bebalik pada *aramture* akan kecil.

## 2. Cranking Speed Dari Mesin

Seperti telah diterangkan bahwa fungsi motor starter yang dikendaki adalah dapat menghidupkan mesin sehingga memperoleh putaran minimum dalam usaha memenuhi pembakaran. Kecepatan minimum yang dibutuhkan untuk menstart mesin, disesuaikan dengan kecepatan putaran engkol adalah sebagai berikut: (Toyota, hlm 5-5)

- a. Model mesin : yang dimaksudkan model mesin di sini adalah meliputi banyaknya siliinder, volume silinder, bentuk ruang bakar dan sifat-sifat karburatornya.
- b. Kondisi mesin : pengertian di sini meliputi temperature tekanan udara, campuran udara bensin dan locatan bungan api.
- c. Faktor lain : adalah putaran minimum yang dibutuhkan untuk menghidupkan mesin, diimbangi terhadap kendaraan temperatur rendah.

Kecepatan putaran engkol (*cranking speed*) pada mesin yang normal, tekanan kompresi baik, dan campuran udara serta saat pembakaran yang baik untuk mesin yang mempunyai 4 ~ 6 silinder dengan besar cc 100 s/d 2000 adalah 40 ~ 60 rpm. Untuk jelasnya berikut ini contoh kecepatan putaran engkol adalah sebagai berikut:

Tabel 2.1 Tabel Putaran Poros Engkol Pada Engine  
(Sumber: Toyota, hlm 5-4)

Motor bensin	1 ~ 2 silinder (500 cc)	120 rpm
	4 ~ 6 silinder (1000 ~ 2000 cc)	40 ~ 60 rpm
Motor diesel	4 silinder	80 rpm
	6 silinder	100 rpm

Apabila pemulaan start dengan kecepatan putar melebihi ketentuan di atas, namun mesin masih belum hidup, maka dapat dipastikan adanya kerusakan pada sistem lain. Sedangkan pada waktu mesin distart, tegangan pada baterai tidak menurun, maka *cranking speed* dapat distart kembali dengan putaran *high speed* (20 ~ 40 rpm). Tapi jika pada saat distart, putaran tingginya rendah yakni pada saat arus besar mengalir pada starter, maka *voltage* terminal baterai menurun dan bila pada saat tegangan *ignition coil* berada di bawah normal ( $\pm 8$  Volt) maka *ignition* (penyalakan) tidak mungkin dilakukan. *Cranking speed* minimum yang dibutuhkan apabila tegangan baterai menurun, sekurang-kurangnya diperlukan 40 rpm (Toyota, hlm 5-6).

### 3. Pentingnya “Torque” Untuk Menggerakkan Mesin

*Torque* yang dihasilkan oleh starter merupakan faktor penting dalam menentukan apakah starter dapat berfungsi dengan baik atau tidak. Setiap mesin mempunyai maksimum *torque* yang dihasilkan, misal untuk 4 silinder dengan 1.500 ~ 2000 cc maksimum *torquencya* adalah  $\pm 0,8 \sim 1.0$  kg-m.

Untuk dapat menggerakkan mesin dengan kapasitas tersebut, diperlukan *torque* yang melebihi (sampai 6 kg-m) tetapi dalam hal ini starter hanya mempunyai *torque* yang dihasilkan, digunakan *torque* dengan bantuan pemakaian roda gigi (*gear*).

Jumlah roda gigi pinion dang ring *gear* biasanya berbanding 10 – 13, maka *torque* akan menjadi 10 ~ 13 kali lebih besar. Perbandingan jumlah roda gigi *engine dyna 14 B* perbandingan sebagai berikut : (Toyota, hlm 5-6).

Jumlah gigi starter pinion : 11

Jumlah gigi ring *gear* : 110

Jumlah perbandingan gigi  $\frac{110}{11} = 10$

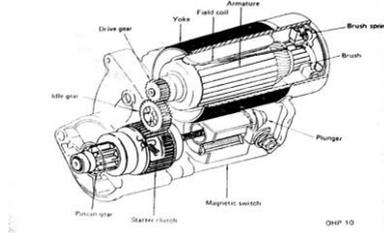
Pada saat *torque* yang diperlukan poros engkol sebesar 6 kgm, maka *torque* yang diperlukan untuk starter adalah : (Toyota, hlm 5-6).

$$\frac{6}{10} = 0,6 \text{ kgm}$$

Dengan demikian dapat diketahui bahwa *torque* yang diperlukan untuk starter adalah 0,6 kgm.

#### 4. Pengaruh Temperatur Rendah Terhadap Penentuan Jenis Starter

Tinggi rendahnya temperatur juga ikut menentukan jenis starter yang bagaimana cocok dipergunakan untuk suatu motor. Makin rendah temperatur berarti tahanan putaran motor makin bertambah, sehingga membutuhkan *torque* yang lebih besar pula untuk dapat memutar engkol. Untuk memenuhi kebutuhan ini, diperlukan suatu starter yang mempunyai daya tahan panas yang tinggi, ukurannya kecil dan ringan, dengan kecepatan *fall gear* dapat membangkitkan *torque* yang lebih besar lagi. Jenis starter yang dapat memenuhi kondisi seperti diatas, dikenal dengan starter reduksi. Penggunaan sifat starter reduksi yang dapat menimbulkan *torque* yang besar pada waktu start, dan dengan menyesuaikan tenaga baterai, maka mampu distart pada waktu temperatur rendah



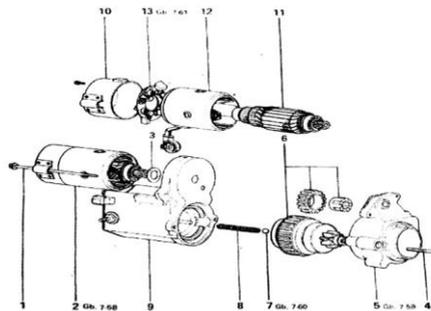
Gambar 2.10 Kontruksi Motor Starter Tipe Reduksi

(Sumber : Toyota hal 5-8)

## 2.4 Kontruksi Motor Starter Tipe Reduksi

Motor starter reduksi adalah motor starter yang disempurnakan dalam bentuk yang lebih kecil dan lebih cepat berputaran. Selain itu juga model ini dapat menghasilkan momen putar yang lebih kuat, karena memakai *idle gear*. Tenaga dari motor starter tidak langsung disalurkan ke roda gaya mesin, tetapi disalurkan dahulu melalui roda gigi sekunder atau reduksi sehingga putarannya lebih lambat. Putaran yang lambat tersebut mempunyai momen puntir yang lebih besar dibandingkan sebelum melalui roda gigi sekunder. Gaya rotasi atau gaya putar dari angker diperlambat sampai sepertiga bagian sehingga dapat menghasilkan momen puntir yang lebih kuat pada gigi pinion, walaupun bentuk motor starternya lebih kecil. Motor starter reduksi cocok untuk kendaraan bermotor yang beroperasi di daerah dingin.

Sistem starter terdiri atas tiga bagian utama, yaitu komponen yang menghasilkan gaya putar, komponen pemindah tenaga, dan saklar magnet. Bagian utama terdiri atas bagian yang bergerak atau rotor dalam hal ini merupakan seperangkat armature dan bagian yang tidak bergerak atau stator berupa kumparan medan. (Raharjo, S. 2010. Hlm 102). Bagian lain merupakan komponen pendukung yang terdiri dari atas sepatu kutub, inti armature, komutator, poros, armature, dan sikat (brush). Komponen dari motor starter tipe reduksi bila keadaan dibongkar dapat dilihat pada gambar dibawah ini



Gambar 2.11 Komponen Motor Starter

(Sumber : Permana, T. 2008 hal 7-21) Keterangan :

1. Baut pengikat
2. *Field frame* (Rangka Medan)
3. Perapat Lakan
4. Baut
5. Rumah Starter
6. Kopling & Roda Gigi *idler*

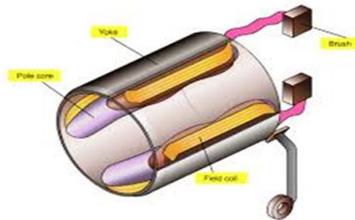
7. Bola Baja
8. Pegas Balik *Plunger*
9. *Magnetic switch*
10. Tutup Ujung
11. *Armature*
12. *Field frame* (Rangka Medan)
13. Pemegang Sikat

Komponen motor starter tipe reduksi terdiri dari beberapa komponen utama sebagai berikut :

**1. Komponen yang menghasilkan gaya putar.**

Inti dari sistem terletak pada komponen penghasil gaya putar, yaitu ada beberapa komponen yang membantu menghasilkan gaya putar meliputi penopang (*yoke*), inti kumparan (*pole core*), kumparan medan (*field coil*), *armature*, sikat (*brush*).

- a. Penopang (*Yoke*) dan inti kumparan (*Pole Core*)



*Gambar 2.12 Field Coil Pole Core Dan Yoke*

(Sumber : M-Edukasi.Kemdukbud.Gp.Id)

*Yoke* berfungsi sebagai tempat mengikatkan *pole core* yang dibuat dari besi/logam berbentuk silinder dan merupakan pelindung/rumah dari *armature*. Sedangkan *Pole Core* berfungsi untuk menopang *field coil* dan memperkuat medan magnet yang ditimbulkan oleh *field coil*. Pada umumnya setiap *starter* mempunyai 4 *pole core* yang diikatkan pada *yoke* dengan sekrup. *Field winding* yang kedua ujungnya terpasang *brush* dan akan menjadi medan elektromagnet apabila dialiri arus listrik.

- b. Kumparan Medan (*Field Coil*)



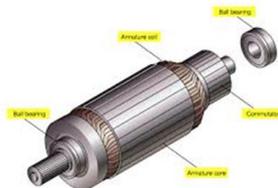
Gambar 2.13 Field Coil

(Sumber : [Http://Www.Amscovf.Com](http://www.amscovf.com))

Untuk menghasilkan medan magnet pada starter, pada starter tidak digunakan magnet permanen. Melainkan suatu magnet yang kuat yang dihasilkan dengan jalan mengalirkan arus listrik ke suatu kumparan yang disebut field coil.

*Field coil* dibuat dari lempengan tembaga untuk mampu mengalirkan arus listrik yang kuat. Arus mengalir melewati field coil untuk menghasilkan kemagnetan yang kuat pada pole core dan memperkuat garis gaya magnet. Field coil disambungkan secara seri dengan armature coil, agar arus yang melewati field coil juga mengalir ke armature coil. (Toyota, hlm 5-9)

c. *Armature & Shaft*



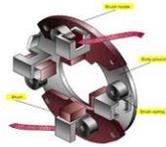
Gambar 2.14 Armatur

(Sumber : [M-Edukasi.Kemdikbud.Go.Id](http://M-Edukasi.Kemdikbud.Go.Id))

aturure core, armature shaft, commutator, armature coil dan bagian-bagian lainnya. Kedua ujung-ujungnya ditopang (*disupport*) oleh bearing-bearing untuk memungkinkan *armature coil* dirakit di dalam celah-celah *core* dan masing-masing ujungnya disambungkan pada *segmen comutator*. Dengan demikian arus mengalir melewati semua *coil* dan *armature* dapat berputar dengan tujuan menghasilkan *torque*. *Armature* bagian motor yang berputar, terdiri dari *armature core*, *armature coil*, *comutator* dan lain-lain. *Armature berputar* diakibatkan dari interaksi antara medan magnet yang dibangkitkan oleh *field coil* dengan *armature coil*. *Armature* berfungsi untuk menghasilkan arus

dari kumparan medan melalui sikat positif ke kumparan *armature* dan dari kumparan *armature*

d. Sikat (*Brush*)



Gambar 2.15 *Brush*

(Sumber : M-Edukasi.Kemdikbud)

Motor starter biasanya dilengkapi dengan 4 buah sikat (*brush*). Dua buah diikatkan pada pemegang yang diisolasi dan disambungkan dengan *armature coil* melalui *commutator*. Sedangkan sikat lainnya diikat pada pemegang yang dihubungkan ke massa body kendaraan. Sikat ditekan ke *commutator* oleh pegas. Bila sikat tersebut telah aus atau tekanan pegasnya menjadi lemah, maka sikat tidak akan dapat melakukan hubungan baik dengan *commutator*. Akibatnya, starter tidak akan dapat menerima *torque* yang memadai untuk menghasilkan *torque* yang dibutuhkan. Fungsi sikat (*brush*) untuk meneruskan arus listrik dari *field coil* ke *armature coil* langsung ke massa melalui *commutator*.

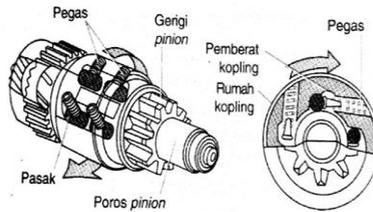
## 2. Komponen pemindah tenaga

Komponen sistem starter yang memindahkan gaya putar motor starter ke roda gaya dinamakan kopling starter (*starter clutch*). Jadi fungsi kopling starter yaitu meneruskan momen putar *armature shaft* kepada *ring gear* melalui *pinion gear*, sehingga *ring gear* berputar. Kopling starter juga berfungsi sebagai pengaman dari *armature coil* (mencegah kerusakan starter) bilamana putaran mesin yang tinggi cenderung memutar balik *ring gear* lebih besar dari putaran *pinion gear*, karena itu kopling starter berfungsi mencegah iku berputarnya *armature* akibat putaran roda gaya, yang melampaui putaran *armature*.

Cara kerja kopling starter

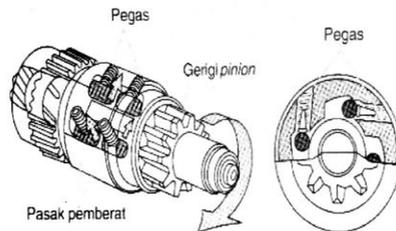
a) Pada saat starter bekerja

Pemberat akan meluncur ke dalam alur luar mengunci bagian luar dan alur dalam bersama-sama dan memindahkan momen puntir dari roda gigi kopling ke pasak seperti yang ditunjukkan pada gambar dibawah



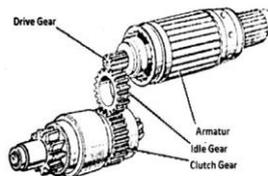
*Gambar 2.16 Kopling Saat Starter Bekerja*  
(Sumber : Toyota hlm 5-21)

- b) Pada saat mesin sudah hidup dan putaran mesin mulai memutar roda gerigi pinion melalui roda gaya. Bagina alur dalam yang berhubungan dengan poros *pinion* dan pasak ilir akan berputar lebih cepat dibandingkan dengan bagian alur luar. Pemberat akan menekan pegas dan akan kembali ke posisi semula sehingga alur dalam akan terbebas dari alur luar dapat dilihat pada gambar dibawah dari kejadian tersebut dapat mencegah *armature* dari putaran yang berlebihan.



*Gambar 2.17 Kopling Saat Mesin Hidup*  
(Sumber: Toyota, hlm 5-210)

### 3. *Idle Gear (Reduction gear)*

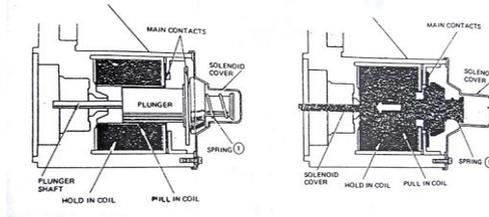


*Gambar 2.18 Reduction Gear*  
(Sumber: Toyota, 2002, hlm 8)

*Reduction gear* seperti gambar yang di tunjukan di atas berfungsi meneruskan daya putar motor ke *pinion gear* dan meningkatkan

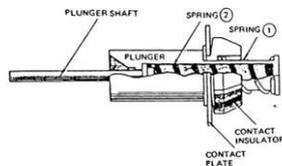
torsi/momen putar dengan mengurangi putaran motor. Daya yang dihasilkan berasio sepertiga sampai seperempat. *Reduction gear* terdiri dari tiga gigi yaitu *drive gear*, *idle gear* dan *clutch gear*. komponen ini yang membedakan dengan tipe motor starter yang lainnya.

#### 4. Saklar *Magnetic (Magnetic Switch)*



Gambar 2.19 *Magnetic Switch Motor Starter Tipe Reduksi*  
(Sumber: Toyota, hlm 5-22)

Saklar magnet terdiri dari rumah, tutup *solenoid*, *pull-in coil* untuk menarik *plunger* dan *hold-in coil* untuk menahan *plunger*. *Plunger* dipakai untuk mendorong *pinion* keluar dari *main contact* untuk mensuplai daya dari baterai ke motor. Selanjutnya terminal utama akan tertutup oleh gerak *plunger* seperti terlihat pada gambar di atas. Tapi pada waktu yang bersamaan *plunger* menekan pegas (*spring 1*). Kontak plate dan *plunger* merupakan satu kesatuan. Jadi apabila starter switch pada posisi ON, *plunger* tertarik ke dalam dan *plunger shaft* mendorong *clutch pinion shaft* keluar.



Gambar 2.20 *Plunger pada Motor Starter Tipe Reduksi*  
(Sumber: Toyota, hlm 5-22)

Gambar di atas menunjukkan bahwa pegas (*spring 2*) dipasang di dalam *plunger*. Fungsinya sama seperti *drive spring* yang sudah diuraikan pada bagian yang menguraikan *clutch*. Apabila *pinion* berhubungan dengan *ring gear*, *plunger* akan menekan *spring 2*, menutup terminal utama. Dengan tertutup terminal utama, akibatnya *armature* berputar dan selanjutnya *pinion* akan berkaitan dengan *ring gear* secara sempurna.

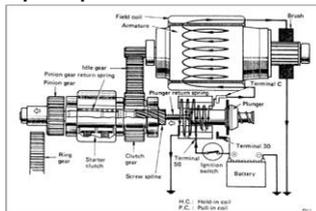
*Magnetic switch* terdiri dari *hold-in coil*, *pull-in coil*, *return spring*, *plunger* dan komponen lain dioperasikan oleh gaya magnet yang dibangkitkan di dalam kumparan dan mempunyai dua fungsi yaitu mendorong *pinion gear* sehingga dapat berhubungan dengan *flywheel* dan menarik kembali *pinion gear* setelah *flywheel* berputar

karena sudah terjadi pembakaran didalam *engine* serta berfungsi bekerja sebagai *main switch* atau *relay* yang memungkinkan arus yang besar dari baterai mengalir ke motor starter. Terminal yang terdapat pada *magnetic switch* ialah:

- a. Terminal 30 : berhubungan dengan positif baterai.
- b. Terminal 50 : berhubungan dengan terminal ST *ignition switch*
- c. Terminal C : berhubungan dengan *field coil* motor starter.

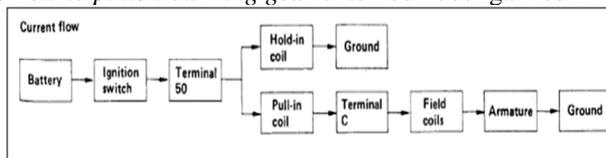
## 2.5 Cara Kerja Sistem Starter

### 1. Kunci kontak pada posisi start



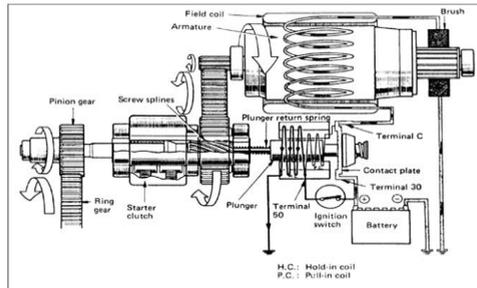
Gambar 2.21 Diagram pada kunci kontak ketika posisi Start  
(Sumber: Imam Muda, 2013, hlm 113)

Bila kunci kontak diputar pada posisi START, terminal 50 dilalui arus listrik dari baterai ke *hold-in* dan *pull-in coil*. Dari *pull-in coil* arus kemudian mengalir ke *field coil* dan *armature coil* melalui terminal C. Pada titik ini motor berputar pada kecepatan rendah, dengan adanya energi pada *pull-in coil* menyebabkan tegangannya turun yang mana akan membatasi arus yang mengalir ke komponen motor (*field coil* dan *armature*). Pada saat yang sama, *pull-in* dan *hold-in coil* membangkitkan medan magnet yang menekan plunger kekiri melawan *return spring*. Berhubungan dengan *ring gear*. Kecepatan motor yang rendah pada tahap ini menyebabkan kedua roda gigi berhubungan dengan lembut. Alur spiral juga membantu *pinion* dan *ring gear* untuk berhubungan lebih lembut.



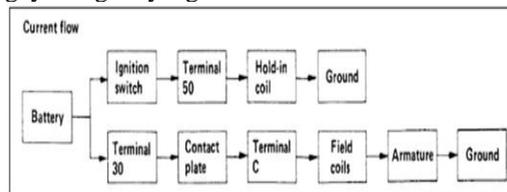
Gambar 2.22 Aliran Arus Kelistrikan Ketika Kunci Kontak Posisi ST  
(Sumber: Imam Muda, 2013, hlm 113)

## 2. *Pinion gear* dan *ring gear* berhubungan



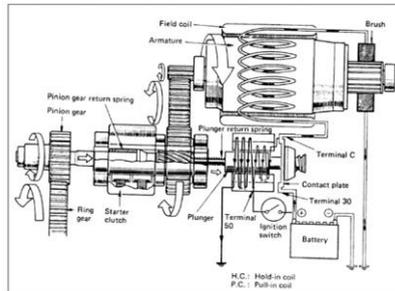
Gambar 2.23 Diagram Ketika *Pinion Gear* dengan *Ring gear* Berhubungan  
(Sumber: Imam Muda, 2013, hlm 114)

Bila *magnetic switch* dan alur *spiral* mendorong *pinion gear* pada posisi dimana berkaitan penuh dengan *ring gear*, *contact plate* menyentuh *plunger* membuat *main switch* "on" oleh hubungan singkat antara terminal 30 dan terminal C. Akibat hubungan ini maka arus yang melalui motor starter lebih besar, yang menyebabkan motor berputar dengan momen yang lebih besar pula. Alur *spiral* membantu *pinion gear* berkaitan lebih kuat dengan *ring gear*. Pada saat yang sama, tegangan pada ujung *pull-in coil* menjadi sama sehingga tidak ada arus yang mengalir melalui kumparan ini. *plunger* kemudian ditahan pada posisinya hanya dengan gaya magnet yang dihasilkan oleh *hold-in coil*.



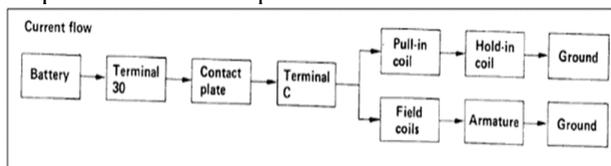
Gambar 2.24 Aliran Arus Kelistrikan *Pinion Gear* dengan *Ring gear* Berhubungan  
(Sumber: Imam Muda, 2013, hlm 114)

## 3. Kunci kontak pada posisi *ON*



Gambar 2.25 Diagram pada Kunci Kontak Kelisrikan Posisi ON  
(Sumber: Imam Muda. 2013, hlm 115)

Bila kunci kontak dikembalikan ke posisi *ON* dari posisi *START*, maka tegangan yang diberikan ke terminal 50 akan putus. *Main switch* akan tetap tertutup, tetapi sebagian arus mengalir dari terminal C ke *hold-in coil* melalui *pull-in coil*. Dengan mengalirnya arus melalui *hold-in coil* dengan arah yang sama seperti pada saat kunci kontak *START*, hal ini akan membangkitkan medan magnet yang menarik *plunger*. Pada *pull-in coil*, arus mengalir dengan arah berlawanan, dan membangkitkan medan magnet yang akan mengembalikan *plunger* pada posisinya semula. Medan magnet yang dihasilkan oleh kedua kumparan ini akan saling meniadakan, sehingga *plunger* akan tertarik mundur oleh *return spring*. Dengan demikian, arus yang besar yang diberikan ke motor akan terputus dan bersamaan dengan itu pula *plunger* akan membebaskan hubungan *pinion gear* dengan *ring gear*. *Armature* yang digunakan pada motor starter tipe reduksi tidak memerlukan mekanisme *brake* seperti yang digunakan pada motor starter tipe konvensional.



Gambar 2.26 Aliran Arus Kelistrikan Ketika Kunci Kontak Posisi ON  
(Sumber: Imam Muda, 2013, hlm 115)

## 2.6 Pembangkitan Energi Listrik Pada Motor Starter

### 1. Hubungan Tegangan – Arus

Besaran arus pada kawat tidak hanya bergantung pada tegangan, tetapi juga pada hambatan yang diberikan pada kawat terhadap aliran electron. Elektron-elektron diperlamabat karena adanya interaksi dengan atom-atom kawat. Maka tinggi hambatan ini makin kecil arus untuk suatu tegangan  $V$ . Ginacoli (2001, hlm 67-68) arus berbanding terbalik dengan hambatan. Ketika digabungkan hal ini didapatkan:

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

dimana  $R$  adalah hambatan kawat atau suatu alat lainnya,  $V$  adalah beda potensial yang melintas alat tersebut, dan  $I$  adalah arus yang mengalir padanya. Hubungan ini sering dituliskan:

$$V = I R$$

Persamaan ini yang dikenal sebagai hukum Ohm.

### 2. Induktansi

Elemen rangkaian yang menyimpan energi didalam suatu medan magnetic adalah inductor (juga dinamakan Induktansi). Arus yang berubah-ubah tiap waktu, energi biasanya disimpan selama beberapa bagian siklus dan kemudian dikembalikan ke sumber selama bagian siklus yang lain. Induktansi dilepas dari sumber, maka magnetic akan hilang, dengan kata lain tidak ada energi yang disimpan tanpa adanya sumber yang tersambung (Edminister, JA. 2004, hlm 7).

Hubungan daya dan energi adalah sebagai berikut:

$$P = VI$$

Keterangan :

$P$  = daya (watt)

$V$  = tegangan (volt)

$I$  = arus (ampere)

### 3. Daya

Besarnya daya *output* lebih tinggi dibandingkan besar daya *input*. Perbedaan tersebut dapat diperoleh nilai *efesien* daya yang dihasilkan pada motor starter dengan menggunakan rumus:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \% \quad (\text{Zuhal,}$$

1991, hlm. 157)

Keterangan,

$$\begin{aligned} \eta &= \text{Efisiensi} \\ P_{out} &= \text{Daya Output} \\ P_{in} &= \text{Daya Input} \end{aligned}$$

### 4. Pengaturan kecepatan

Pengaruh kecepatan memegang peranan penting dalam motor arus searah, karena motor arus searah mempunyai karakteristik kopel kecepatan yang menguntungkan dibandingkan dengan motor lainnya. Motor arus searah dapat diturunkan rumusnya menurut zuhal (1991, hlm 153) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} E &= Cn\Phi \\ E &= V_t - I_a R_a \\ n &= \frac{V_t - I_a R_a}{C\Phi} \end{aligned}$$

dari persamaan diatas, dapat dilihat bahwa kecepatan ( $n$ ) dapat diatur dengan mengubah-ubah besaran  $\Phi$ ,  $R_a$ , atau  $V_t$ .

### 5. Momen gaya

Momen puntir (*torque*) mengelilingi satu sumbu, akibat suatu gaya, adalah ukuran efektifitas gaya dalam menghasilkan rotasi mengelilingi sumbu tersebut.

Pada masalah ini digunakan persamaan (Khurni & Gupta. 1982. Hlm 107)

$$P = \frac{2\pi NT}{60}$$

Dimana:

$$\begin{aligned} P &= \text{daya (watt)} \\ T &= \text{momen putir (N.m)} \\ N &= \text{kecepatan (rpm)} \end{aligned}$$

