TUGAS AKHIR

ANALISIS SISTEM MOTOR PENGGERAK PADA MOBIL LISTRIK DENGAN KAPASITAS SATU PENUMPANG

Diajukan dalam rangka untuk menyelesaikan Studi Diploma 3 Untuk memperoleh Gelar Ahli Madya

Disusun Oleh :

Aditya Kuswardana

5211311002

PROGAM STUDI DIPLOMA 3 TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

2016

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh :

Nama : Aditya Kuswardana
NIM : 5211311002
Program Studi: Teknik Mesin D3
Judul : ANALISIS SISTEM MOTOR PENGGERAK PADA MOBIL LISTRIK DENGAN KAPASITAS SATU PENUMPANG

Telah dipertahankan didepan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan memperoleh gelar Ahli Madya pada Program Studi Teknik Mesin D3, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang.

Panitia Ujian

Ketua : Samsudin Anis S.T,. M.T. Ph.D.
NIP. 197601012003121002 ( )

Sekretaris : Widi Widayat S.T., M.T.
NIP. 197408152000031001 ( )

Dewan Penguji

Pembimbing : Dr. Dwi Widjanarko, S.Pd, S.T, M.T.
NIP. 196901061994031003 ( )

Penguji Utama : Dr. M. Burhan Rubai Wijaya M.Pd.
NIP. 196302131988031001 ( )

Penguji Pendamping : Dr. Dwi Widjanarko, S.Pd, S.T, M .T.
NIP. 196901061994031003 ( )

Ditetapkan di Semarang
Tanggal :

Mengesahkan
Dekan Fakultas Teknik

Dr. Nur Qudus M.T
NIP. 196911301994031001

ABSTRAK

Aditya Kuswardana. 2016. **ANALISIS SISTEM MOTOR PENGGERAK PADA MOBIL LISTRIK DENGAN KAPASITAS SATU PENUMPANG,** Tugas Akhir. Teknik Mesin. Fakultas Teknik. Universitas Negeri Semarang.

Kegiatan manusia pada saat ini mengalami banyak perkembangan, salah satunya adalah perkembangan di bidang otomotif, yang ditandai dengan meningkatnya permintaan jumlah kendaraan sebagai penunjang aktifitas kegiatan keseharian. Sedangkan di Indonesia hampir seluruh kendaraan yang beredar masih menggunakan bahan bakar minyak sebagai bahan bakar utamanya. Pesatnya perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi menimbulkan suatu ide, untuk menciptakan kendaraan alternatif sebagai pengganti kendaraan berbahan bakar minyak, yaitu dengan kendaraan terbarukan yang ramah dengan lingkungan.

Energi listrik merupakan energi terbarukan yang ramah lingkungan. Energi listrik juga dapat diaplikasikan pada kendaraan sebagai sumber bahan bakar yaitu pada kendaraan. Penggunaan mobil listrik dirasa lebih efektif selain tidak menimbulkan polusi, kontruksinya lebih sederhana, suaranya halus, tahan lama, serta memiliki efisiensi energi yang tinggi dibanding dengan kendaraan berbahan bakar minyak. Penggunaan mobil listrik tentunya membutuhkan motor listrik. Motor listrik terbagi menjadi 2 berdasarkan sumber arusnya yaitu motor arus searah (DC) dan motor arus bolak-balik (AC). Pada tugas akhir ini mobil listrik menggunakan motor DC bertipe brushless karena motor DC bertipe brushless memiliki rating putaran rpm yang tinggi, kecepatan motor DC dapat di kontrol dengan mudah sesuai dengan kebutuhan yang diperlukan. Motor DC tipe brushless berbeda dengan motor DC tipe brush. Pada motor DC tipe brushless tidak menggunakan sikat/brush untuk mengalirkan arus antara stator dan rotor.

Hasil analisis pada sistem motor penggerak pada mobil listrik dengan kapasitas satu penumpang dijelaskan sebagai berikut : (1) Data hasil pengukuran arus pada motor listrik didapatkan arus yang mengalir pada RPM rendah, dan lebih rendah daripada RPM yang tinggi. Dengan hasil perbandingan penggunaan 3,53 ampere pada 100 RPM dan pada 10,33 ampere pada 556 RPM. (2) Motor listrik penggerak yang digunakan sebagai sistem penggerak pada mobil listrik dengan kapasitas satu penumpang, mampu melaju pada kecepatan 37,24 km/jam dengan menghiraukan faktor beban dan penghambat lainnya. (3) Motor penggerak yang digunakan sebagai sistem penggerak pada mobil listrik dengan kapasitas satu penumpang, mampu menempuh jarak sejauh 115,38 km dengan mengabaikan beban dan faktor penghambat lainnya serta kecepatan yang stabil. (4) Baterai yang digunakan untuk mensuplai arus motor yang digunakan sebagai sistem penggerak pada mobil listrik dengan kapasitas satu penumpang, mampu bertahan selama 9,06 jam dengan digunakan secara terus menerus tanpa berhenti.

Kata kunci : motor listrik, sistem penggerak

MOTO DAN PERSEMBAHAN

MOTO :

1. Percaya diri adalah kunci dari kesuksesan.
2. Gagal dua kali bukan berartiakhir dari segala-galanya, mungkin dikesempatan ke tiga anda akan menjadi raja.
3. Belajarlah dari kesalahan, karena dari kesalahanlah kita belajar untuk Menjadi lebih baik dari sebelumnya.
4. Jangan tunda pekerjaanmu agar kesuksesanmu tidak tertunda.
5. Hargailah waktu semaksimal mungkin, karena waktu tidak akan pernah mundur.
6. Putus asa bukanlah akhir dari segalanya dan jangan bilang tidak Sebelum mencobanya.

PERSEMBAHAN :

1. Bapak dan Ibu tercinta.
2. Segenap keluarga besarku tercinta.
3. Semua teman-teman D3 Otomotif

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan pembuatan Proyek Akhir dan dapat menyelesaikan laporan dengan judul **"ANALISIS SISTEM MOTOR PENGGERAK PADA MOBIL LISTRIK DENGAN KAPASITAS SATU PENUMPANG"** dengan lancar. Dimana laporan Proyek Akhir ini di susun untuk memenuhi salah satu syarat kelulusan mahasiswa Teknik Mesin Diploma 3.

Penulis juga sangat berterima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dari awal hingga selesainya penyusunan laporan ini, untuk itu pada kesempatan kali ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Nur Qudus, M.T., Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
2. Bapak Rusiyanto S.Pd., M.T., Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang.
3. Bapak Widi Widayat, S.T, M.T., Ketua Prodi Teknik Mesin D3.
4. Bapak Dr. Dwi Widjanarko, S.Pd, S.T, M.T., pembimbing yang dengan pengarahan dan petunjuknya telah membantu penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini.
5. Bapak Ahmad Mustamil Khoiron pembimbing lapangan yang telah memberikan arahan serta arahan di lapangan.
6. Rekan-rekan serta semua pihak yang telah membantu terselesaikannya Proyek Akhir ini.

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

Penulis telah berusaha semaksimal mungkin sesuai dengan kemampuan yang dimiliki dalam penyusunan laporan ini. Penulis sangat berharap adanya saran dan kritik yang membangun demi kesempurnaan laporan ini. Akhirnya dengan segala kerendahan hati penulis berharap semoga laporan ini dapat memberikan manfaat, baik pada penulis maupun pada pembaca.

Semarang,

Penulis

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL..... i

HALAMAN PENGESAHAN..... ii

ABSTRAK..... iii

MOTO DAN PERSEMBAHAN..... iv

KATA PENGANTAR..... v

DAFTAR ISI..... vii

DAFTAR TABEL..... ix

DAFTAR GAMBAR..... x

BAB 1 PENDAHULUAN..... 1

A. Latar Belakang..... 1

B. Permasalahan..... 4

C. Tujuan..... 4

D.Manfaat..... 5

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

A. Terminologi Dasar..... 6

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

B. Pengertian Motor Listrik..... 12

C. Prinsip Dan Mekanisme Kerja Motor Listrik..... 13

D. Jenis-Jenis Motor Listrik..... 16

E. Motor Brushless..... 28

BAB III PENGUKURAN DAN ANALISA MOTOR

A. Metodologi Analisa Motor Penggerak..... 35

B. Pengumpulan Referensi..... 36

C. Pemasangan Rangkaian Sistem Motor..... 38

D.Pengambilan Data..... 42

E.Analisa Data..... 49

F. Grafik Analisis..... 51

BAB IV PENGUKURAN DAN ANALISA MOTOR

Kesimpulan..... 66

Saran..... 67

DAFTAR PUSTAKA..... 68

LAMPIRAN-LAMPIRAN..... 71

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan motor DC (*brusless*) dengan (*Brushed*)..... 33

Tabel 2.2 Perbandingan motor DC (*brusless*) dengan motor induksi..... 34

Tabel 3.1 Pengujian Kecepatan Putaran Pada Motor 43

Tabel 3.2 Pengukuran Arus Pada Motor..... 45

Tabel3.3 Jarak Tempuh Pada Motor..... 46

Tabel 3.4 Kecepatan Motor..... 47

Tabel 3.5 Torsi Pada Motor..... 48

Tabel 3.6 Arus Yang Bekerja Pada Motor..... 48

Tabel 3.7 Penyelesaian Daya Tahan Baterai..... 49

Tabel 3.8 Keterangan Kecepatan Dan Daya Tahan Baterai..... 50

Tabel 3.9 Penghitungan Jarak Tempuh..... 50

Tabel 3.10 Analisis Pada Motor Listrik..... 51

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Fluksi kemagnetan..... 7

Gambar 2.2 Torsi pada porosnya..... 8

Gambar 2.3 torsi pada pengungkit..... 9

Gambar 2.4 Ilustrasi kecepatan pada mobil..... 10

Gambar 2.5 Ilustrasi perputaran suatu objek..... 10

Gambar 2.6 Ilustrasi Percepatan dan Perlambatan Objek bergerak..... 11

Gambar 2.7 Ilustrasi Percepatan dan Perlambatan Objek Berputar..... 12

Gambar 2.8 Penentuan Arah Gerak Kawar Berarus..... 14

Gambar 2.9 Prinsip Kerja Motor DC..... 14

Gambar 2.10 Prinsip Dasar Kerja Motor Listrik..... 15

Gambar 2.11 Klasifikasi Jenis Utama Motor Listrik..... 17

Gambar 2.12 Sumber Tegangan Motor DC..... 17

Gambar 2.13 Sebuah Motor DC..... 18

Gambar 2.14 Stator..... 19

Gambar 2.15 Rotor..... 19

Gambar 2.16 Komutator..... 20

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

Gambar 2.17 Brush dan pemegangnya..... 21

Gambar 2.18 Karakteristik Motor DC *Shunt*..... 22

Gambar 2.19 Karakteristik Motor Seri DC..... 23

Gambar 2.20 Karakteristik Motor Campuran ……..... 24

Gambar 2.21 Motor AC..... 25

Gambar 2.22 Motor Sinkron..... 26

Gambar 2.23 Motor Induksi..... 27

Gambar 2.24 Motor Brushless..... 29

Gambar 2.25 Bentuk potongan rotor dan stator pada motor brushless..... 29

Gambar 2.26 Rotor..... 30

Gambar 2.27 Stator..... 30

Gambar 2.28 Hall Sensor..... 31

Gambar 2.29 Kontroller 31

Gambar 2.30 Sensor Hall dan Perubahan Sinyal PWM..... 32

Gambar 2.31 Kombinasi Nilai Sensor Hall..... 32

Gambar 3.1 Motor Listrik DC..... 37

Gambar 3.2 Kontroller Motor DC..... 37

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

Gambar 3.3 Baterai secara seri..... 39

Gambar 3.4 pemasangan motor di stand..... 40

Gambar 3.5 Pemasangan Kontroller pada Stand..... 40

Gambar 3.6 Identifikasi dan pengelompokan kabel pada kontroler..... 41

Gambar 3.7 Pemasangan instalasi kabel pada kontroler..... 42

Gambar 3.8 Pengetesan Putaran Motor..... 43

Gambar 3.9 Pengambilan Data Arus Pada Motor..... 44

Gambar 3.10 Grafik Hubungan Arus terhadap RPM 52

Gambar 3.11 Grafik Hubungan Arus terhadap Kecepatan..... 53

Gambar 3.12 Grafik Hubungan Arus terhadap Torsi 54

Gambar 3.13 Grafik Hubungan Arus terhadap Daya Tahan Baterai..... 55

Gambar 3.14 Grafik Hubungan Arus terhadap Jarak Tempuh..... 56

Gambar 3.15 Grafik Hubungan RPM terhadap Kecepatan..... 57

Gambar 3.16 Grafik Hubungan RPM terhadap Torsi..... 58

Gambar 3.17 Grafik Hubungan RPM terhadap Daya Tahan Baterai..... …... 59

Gambar 3.18 Grafik Hubungan Kecepatan terhadap Torsi..... 60

Gambar 3.19 Grafik Hubungan Kecepatan terhadap Daya Tahan Baterai..... 61

Gambar 3.20 Grafik Hubungan Kecepatan terhadap Jarak Tempuh 66

Gambar 3.21 Grafik Hubungan Torsi terhadap Daya Tahan Baterai 67

Gambar 3.22 Grafik Hubungan Torsi terhadap Jarak Tempuh.....….. 68

Gambar 3.23 Grafik Hubungan Daya Tahan Baterai terhadap Jarak Tempuh.....69

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Kegiatan manusia pada saat ini banyak mengalami perkembangan, yang salah satunya adalah perkembangan pada bidang otomotif. Hal tersebut ditandai dengan meningkatnya permintaan jumlah kendaraan, yang digunakan sebagai sarana penunjang aktifitas kegiatan keseharian.

Di Indonesia hampir seluruh kendaraan yang ada, masih menggunakan bahan bakar minyak sebagai bahan bakar utamanya. Dari survey California Of University menunjukan, bahwa penggunaan bahan bakar fosil seperti premium, pertamax dan solar sudah mencapai 3 juta kubik per tahun dengan prosentase peningkatan hampir mencapai 20%. Menurut pendapat dari guru besar Institut Teknologi Surabaya (ITS) Mukhtasor, bahwa pada tahun 2041 nanti bisa diperkirakan bahan bakar minyak akan hilang dari peredaran jika penggunaan bahan bakar ini masih tetap besar (Kisworo, 2012 : 3). Oleh karena itu untuk membatasi penggunaan bahan bakar fosil atau minyak, Menteri Energi Nasional melakukan suatu kebijakan yang dituangkan dalam Peraturan Presiden No. 5 Tahun 2006, dengan salah satu kebijakan utamanya adalah konservasi energi. Pada tahun 2025 nanti, konsumsi energi dari minyak bumi ditargetkan akan turun menjadi kurang dari 20% (Harian Kompas, 2013).

Pesatnya perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi menimbulkan suatu ide, untuk menciptakan kendaraan alternatif sebagai pengganti kendaraan

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

berbahan bakar minyak, yaitu dengan kendaraan terbarukan yang ramah dengan lingkungan. Untuk wacana kendaraan yang ramah dengan lingkungan tersebut, dapat diterapkan pada kendaraan yang diaplikasikan pada kendaraan sebagai sumber penggerak.

Energi listrik adalah termasuk salah satu energi alternatif, yang bisa digunakan sebagai pengganti bahan bakar minyak. Energi listrik sendiri tidak asing dalam kehidupan keseharian manusia, dikarenakan pada saat ini energi listrik telah menjadi salah satu kebutuhan pokok pada masyarakat selain kebutuhan sandang, pangan dan papan. Keluwesan energi listrik dalam mengubah energi menjadi bentuk energi lain (mekanis, panas, cahaya) serta penyalurannya yang mudah menyebabkan energi menjadi pilihan utama. Kebutuhan akan energi listrik semakin meningkat, sejalan dengan peningkatan kesejahteraan penduduk. Penggunaan energi listrik khususnya untuk keperluan rumah tangga juga semakin beragam, sebagai akibat dari ditawarkan berbagai peralatan rumah tangga yang memanfaatkan energi listrik seperti setrika, *majicjar*, kulkas, pompa air dan sebagainya.

Penggunaan mobil listrik dirasa akan lebih efektif, karena selain tidak menimbulkan polusi kontruksinya juga lebih sederhana, suaranya halus, tahan lama, serta memiliki efisiensi energi yang tinggi dibanding dengan kendaraan berbahan bakar minyak. Efisiensi keseluruhan mobil listrik adalah 48% pada mobil listrik, sedangkan pada mobil berbahan bakar minyak hanya mencapai efisiensi sekitar 25%. Dengan demikian untuk menggerakan sebuah kendaraan yang mempunyai bobot sama pada kendaraan listrik hanya akan memerlukan

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

energi yang jauh lebih rendah (Indoenergi, 2012). Dengan latar belakang tersebut diatas, maka akan lahir suatu konsep pembuatan mobil listrik dengan kapasitas satu penumpang.

Untuk sebuah mobil listrik tentu membutuhkan beberapa komponen pendukung, yang salah satunya adalah motor listrik. Dalam hal ini motor listrik adalah sebagai komponen utama, yang berfungsi sebagai penggerak pada mobil listrik. Ada beberapa macam jenis tipe motor listrik, sehingga keuntungan yang ditawarkan pada masing-masing mobil listrik yang digerakkan juga beragam. Maka dari itu untuk pemilihan motor listrik yang diterapkan sebagai sistem penggerak, haruslah disesuaikan dengan kebutuhan yang diperlukan oleh mobil listrik itu sendiri.

Dari berbagai jenis tipe motor listrik dengan observasi yang telah dilakukan, digunakanlah motor listrik jenis DC (searah) sebagai sistem penggerak pada mobil listrik. Digunakannya motor DC (searah) sebagai sistem penggerak mobil listrik tersebut, karena mempunyai kelebihan diantaranya dengan mudah dapat digerakan untuk dua arah putaran. Hal tersebut dapat dilakukan, dengan cara mengubah polarilas positif (+) danegatif (-) pada tegangan sumber DC. Selain itu motor DC juga memiliki rating putaran rpm yang tinggi, serta kecepatan motor DC yang dapat di kontrol dengan mudah untuk disesuaikan dengan kebutuhan yang diperlukan. Oleh karena itu perlu juga untuk dianalisa serta dikaji lebih jauh, tentang motor DC yang dipilih untuk digunakan sebagai sistem penggerak pada mobil listrik dengan kapasitas satu penumpang.

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

B. Permasalahan

Permasalahan yang harus diperhatikan pada tugas akhir ini, antara lain :

1. Menganalisis berapa arus yang diperlukan pada motor listrik yang digunakan sebagai sistem penggerak mobil listrik dengan kapasitas satu penumpang ?
2. Menganalisis berapa jarak tempuh motor listrik yang digunakan sebagai sistem penggerak mobil listrik dengan kapasitas satu penumpang ?
3. Menganalisis berapa kecepatan yang dihasilkan oleh motor listrik yang digunakan sebagai sistem penggerak mobil listrik dengan kapasitas satu penumpang ?
4. Menganalisis berapa ketahanan baterai yang digunakan motor listrik sistem penggerak mobil listrik dengan kapasitas satu penumpang ?

C. Tujuan

1. Untuk mengetahui hasil analisis tentang arus yang diperlukan pada motor listrik yang digunakan sebagai sistem penggerak mobil listrik dengan kapasitas satu penumpang.
2. Untuk mengetahui hasil analisis tentang berapa jarak tempuh yang bisa dicapai oleh motor listrik yang digunakan sebagai sistem penggerak mobil listrik dengan kapasitas satu penumpang.
3. Untuk mengetahui hasil analisis tentang kecepatan yang dihasilkan oleh motor listrik yang digunakan sebagai sistem penggerak mobil listrik dengan kapasitas satu penumpang.

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

4. Untuk mengetahui hasil analisis tentang ketahanan baterai yang digunakan pada motor listrik sebagai sistem penggerak mobil listrik dengan kapasitas satu penumpang.

D. Manfaat

1. Dapat mengaplikasikan data teoritis dan praktik, tentang sistem penggerak pada mobil listrik.
2. Dapat memberikan referensi bagi pengemudi, tentang berapa jarak tempuh yang dapat ditempuh oleh motor listrik dengan kapasitas satu penumpang.
3. Dapat memberikan referensi bagi pengemudi, tentang batas kecepatan maksimal yang dapat dicapai motor listrik sebagai sistem penggerak mobil listrik.
4. Dapat memberi referensi bagi pengemudi, tentang batasan waktu yang dapat ditempuh baterai dari kondisi penuh hingga habis sebelum melakukan pengisian ulang pada baterai, sehingga untuk pengemudi dapat mempertimbangkan jarak dan waktu yang akan ditempuh dari hasil data yang diperoleh.

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Sebelum mendiskusikan tentang motor listrik, ada baiknya untuk mengetahui beberapa terminologi yang berhubungan dengan sistem operasi motor secara umum. Menurut pendapat dari Zumain (2009 : 4), bahwa banyak termitologi yang sering digunakan di dalam bidang permesinan diantaranya adalah gaya, torsi, gesekan, kecepatan, percepatan, perlambatan dan sebagainya. Untuk pengertian tersebut dapat dijelaskan masing-masing sebagai berikut :

A. Terminologi Dasar

1. Gaya

   Menurut pendapat Zumain (2009 : 4), bahwa secara umum gaya adalah merupakan suatu dorongan atau tarikan yang diberikan pada suatu benda sehingga menyebabkan benda dapat bergerak. Gaya dapat juga dihasilkan oleh elektromagnet, gravitasi ataupun kombinasi dari gaya fisik lainnya. Adapun gaya sendiri mempunyai suatu satuan, yang diberi nama newton (N).

   Untuk rumus gaya adalah sebagai berikut :

   $$F = m.a$$

   Dimana :

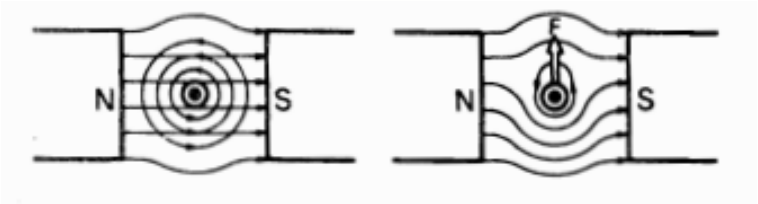
   F : Gaya (N)

   m : massa benda (kg)

   a : percepatan (m/s^2)

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

Gaya yang dipakai pada motor listrik adalah gaya elektromagnet. Menurut Hendrik Antoon Lorentz di dalam Mikrajuddin Abdullah (2006 : 118), bahwa untuk besarnya gaya magnet adalah sebanding dengan kuat medan magnet, kuat arus listrik dan panjang kawat. Untuk pengertian tersebut dapat dijelaskan, bahwa gaya *elektromagnetik* adalah merupakan gaya yang bekerja pada konduktor, apabila arus mengalir pada konduktor didalam medan magnet. Arah pada gaya *elektromagnetik* dapat diumpamakan dengan kutub U dan S pada magnet yang ditempatkan berdekatan antara satu dengan yang lainnya dan konduktor diletakan di tengahnya yang kemudian arus listrik dialirkan melalui konduktor. Garis-garis gaya magnet diatas konduktor adalah lebih kecil, karena fluksi magnet yang dihasilkan oleh magnet arahnya berlawanan dengan arah fluksi yang dihasilkan oleh arus magnet. Tetapi sebaliknya garis garis gaya magnet dibawah konduktor akan lebih besar, karena disebabkan oleh arahnya yang sama (searah). Karena garis gaya magnet bekerja serupa dengan sabuk karet, maka garis gaya magnet cenderung akan menjadi lurus. *Tendensi* ini dibawah konduktor lebih kuat daripada diatasnya sehingga konduktor terdorong keatas (New Step 1)



Gambar 2.1 Fluksi kemagnetan
Sumber New Step 1

Gaya elektromagnet dapat dinyatakan sebagai berikut :

F = B.I.1

Dimana

B = kuat medan magnet (Wb/m^2)

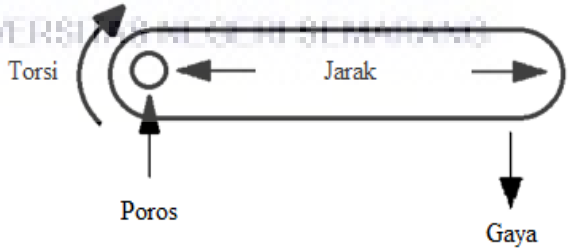
I = Arus yang mengalir pada lilitan motor (A)

1 = panjang kawat lilitan (m)

Pernyataan diatas sering disebut sebagai hukum Lorentz, dan gaya elektromagnet yang ditimbulkan disebut dengan gaya Lorentz (Mikrajuddin Abdullah, 2006:118)

2. Torsi

Menurut pendapat darti Efrizon umar (2008 : 150), bahwa torsi atau momen puntir adalah besaran yang ditimbulkan oleh sebuah gaya terhadap sumbu putar yang dapat memberikan pengaruh terhadap perubahan gerak rotasi pada sebuah benda yang dapat menyebabkan suatu objek dapat berputar. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.2 Torsi pada porosnya

Berdasarkan aturan tangan kiri *Fleming's* maka rumus gaya diatas dapat dikembangkan lebih lanjut sebagai berikut:

$$T = B.I.1.r.Z$$

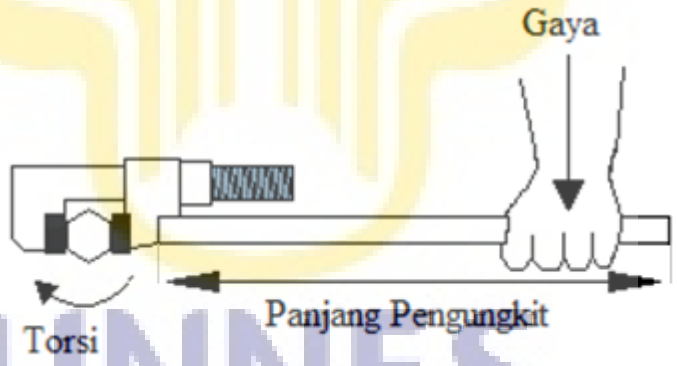
Dimana:

T = Torsi (Nm)

r = jari jari armature m

Z = jumlah lilitan armature yang aktif

Menurut pendapat Zumain (2009 : 5), bahwa dengan rumus tersebut dapat untuk menghitung jumlah lilitan armature pada torsi motor. Sebagai contoh pada torsi motor, yaitu dalam penggunaan kunci-kunci pembuka atau pengencang baut. Adapun untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.2



Gambar 2.3 torsi pada pengungkit

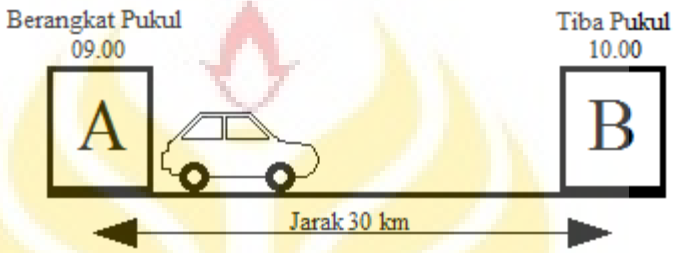
UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

3. Kecepatan

Kecepatan adalah jarak yang ditempuh benda/orang dibagi dengan dibagi dengan waktu atau dirumuskan sebagai berikut :

$$\text{Kecepatan (m/s)} = \frac{\text{Jarak (meter)}}{\text{Waktu (detik)}}$$

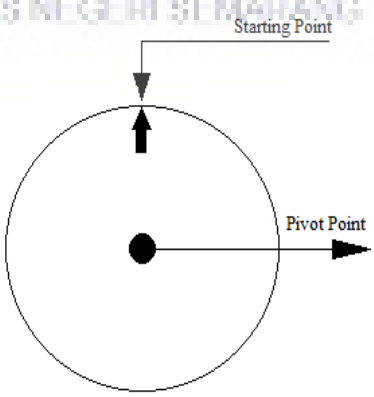
Pada umumnya kecepatan dilambangkan dengan satuan km/jam, seperti contoh sebuah mobil berjalan dari A menuju tempat B yang berjarak 30 km. Mobil tersebut berangkat dari kota A pukul 09.00 dan sampai di kota B pukul 10.00. Jadi kecepatan yang ada pada mobil sebesar 30 km/jam. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.4 sebagai berikut :



Gambar 2.4 Ilustrasi kecepatan pada mobil

Untuk konsep dalam motor DC digunakan kecepatan putar, yaitu kecepatan benda yang bergerak secara berputar dan dapat menyelesaikan satu putaran penuh. Kecepatan putar suatu benda, umumnya dinyatakan dalam putaran per menit (RPM – *Revolution Per Minutes*). Hal tersebut seperti dijelaskan oleh Zumain (2009 : 6), bahwa suatu benda yang berhasil melakukan 20 kali dalam satu menit mempunyai kecepatan 20 RPM.

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG



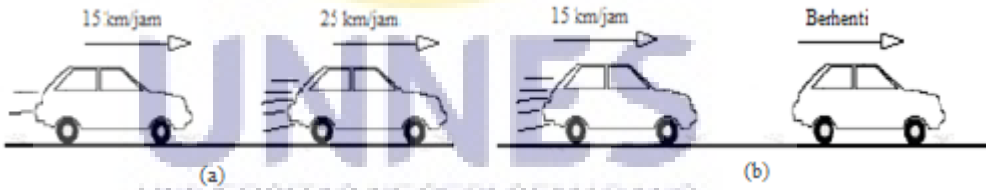
Gambar 2.5 Ilustrasi perputaran suatu objek

4. Percepatan dan Perlambatan

Menurut pendapat dari Zumain (2009 : 6), jika suatu objek memiliki kecepatan awal yang tetap atau konstan kemudian kecepatan objek tersebut mengalami pertambahan kecepatan dari kecepatan awal maka hal tersebut dinamakan dengan percepatan. Sedangkan perlambatan adalah merupakan kebalikan dari percepatan yaitu jika suatu objek memiliki kecepatan awal tetap atau konstan kemudian kecepatan objek tersebut mengalami suatu penurunan atau perlambatan dari kecepatan awal hingga objek tersebut berhenti hal ini dinamakan perlambatan.

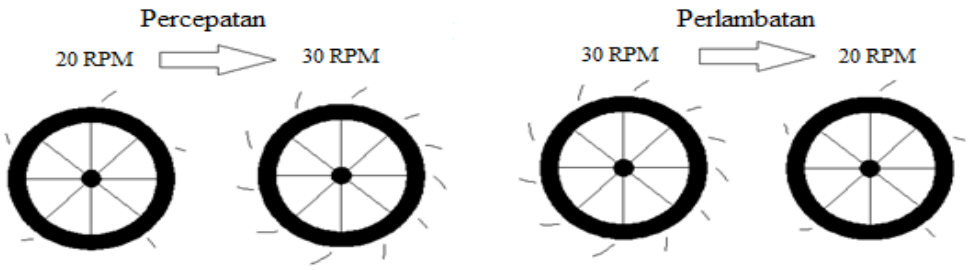
Pendapat tersebut dapat dijelaskan, bahwa melalui perumpamaan suatu mobil dengan kecepatan konstan 15 km/jam, kemudian pedal gas diinjak sehingga kecepatan mobil menjadi 25 km/jam, maka untuk langkah tersebut dinamakan sebagai suatu percepatan. Akan tetapi apabila pedal gas tidak diinjak, maka mobil akan melambat atau bahkan akan berhenti. Maka untuk langkah tersebut dinamakan sebagai suatu perlambatan.

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada ilustrasi gambar 2.7 sebagai berikut :



Gambar 2.6 Ilustrasi (a) Percepatan dan ilustrasi (b) Perlambatan

Sebagai contoh untuk percepatan ataupun perlambatan pada objek yang berputar adalah roda kendaraan yang sedang berputar. Roda yang berputar dengan kecepatan 20 rpm, kemudian dipercepat lagi menjadi 30 rpm atau untuk kebalikannya dengan diperlambat dari 30 rpm menjadi 20 rpm.



Gambar 2.7 Ilustrasi Percepatan dan Perlambatan.

B. Pengertian Motor Listrik

Seperti dijelaskan oleh UNEP (2006 : 1), bahwa motor listrik adalah merupakan sebuah perangkat elektromagnetis, yang dapat mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Energi mekanik dapat digunakan untuk memutar *impeller* pompa, fan atau blower, menggerakkan kompresor, mengangkat bahan dan lain sebagainya. Motor listrik dapat juga digunakan di dalam rumah, seperti pada *mixer*, bor listrik, kipas angin, ataupun pada alat-alat industri. Oleh karena itu motor listrik kadang disebut pula sebagai "kuda kerja" nya industri, sebab dapat diperkirakan untuk motor-motornya menggunakan sekitar 70% beban listrik total di industri.

Untuk cara kerjanya seperti dijelaskan oleh Sutrisno (2012 : 14), bahwa kutub-kutub dari magnet yang senama akan saling tolak-menolak, dan kutub-kutub yang tidak senama akan tarik menarik. Jadi akan dapat diperoleh suatu gerakan, jika ditempatkan sebuah magnet pada sebuah poros yang dapat berputar pada magnet lain pada suatu kedudukan yang tetap.

Hal tersebut seperti dijelaskan oleh Zumain (2009 : 8), bahwa motor listrik menggunakan energi listrik dan energi magnet yang dapat menghasilkan

suatu energi mekanis, dimana operasi motor tersebut adalah tergantung pada interaksi dua medan magnet. Secara sederhana dapat dikatakan, bahwa motor listrik adalah bekerja menggunakan prinsip dua medan magnet yang dibuat berinteraksi untuk menghasilkan gerakan. Adapun tujuan dari motor listrik, adalah untuk menghasilkan suatu gaya yang dapat menggerakan atau torsi.

Adapun Arisworo (2006 : 233) menjelaskan, bahwa motor listrik menggunakan prinsip hampir sama dengan pita alumunium yang berarus listrik ditempatkan pada medan magnet, namun pada motor listrik menggunakan kawat penghantar melingkar. Motor listrik disebut *electromotor*, yang merubah energi listrik menjadi energi gerak. Arus listrik yang mengalir pada kumparan mendapat gaya *Lorentz* yang menyebabkan dapat berputar pada suatu sumbu.

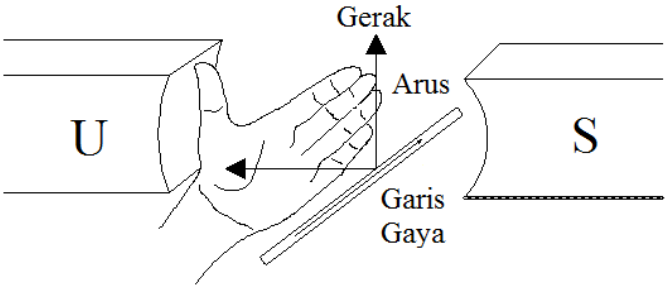
Dari beberapa pengertian tersebut dapat diperoleh kesimpulan, bahwa motor listrik adalah sebuah sistem yang bekerja dengan memanfaatkan energi listrik yang diubah menjadi energi mekanis/gerak dan dipengaruhi oleh gaya elektromagnetik, sehingga motor dapat berputar selama arus lisrik yang mengalir pada sistem motor listrik tercukupi dengan baik.

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

C. Prinsip dan Mekanisme Kerja Motor Listrik

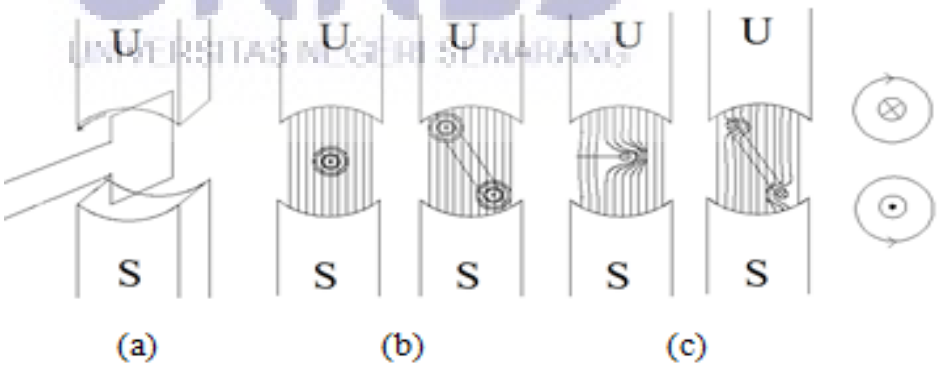
1. Prinsip kerja motor listrik

Menurut penjelasan Rijono (1997 : 163), bahwa jika sepotong kawat dialiri arus listrik diantara dua kutub magnet kutub utara (KU) dan kutub selatan (KS), maka pada kawat tersebut terkena suatu gaya *Lorentz*. Arah gerakan kawat sesuai dengan aturan tangan kiri (perhatikan gambar 2.9).



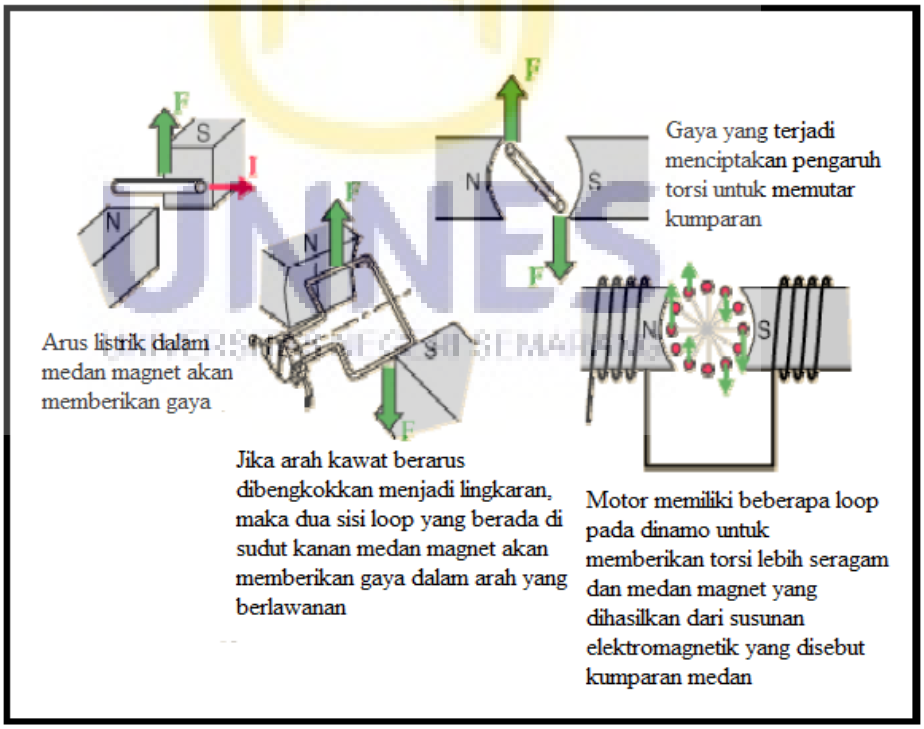
Gambar 2.8 Penentuan Arah Gerak Kawar Berarus
Sumber : Rijono, 1997

Untuk mengetahui arah putaran dari motor searah atau berlawanan dengan jarum jam, perhatikan gambar 2.10. Pada gambar 2.10.a arus listrik yang mengalir melalui sisi kumparan sebalah atas dekat kutub utara (KU) meninggalkan kita sedangkan arah arus sebelah bawah dekat kutub selatan (KS) menuju kita, maka kumparan akan berputar berlawanan arah jarum jam (perhatikan arah medan magnet) sekitar kawat yang terdapat pada gambar 2.10.b dan 2.10.c. Jika ujung kumparan dihubungkan sumber listrik DC dengan polaritas berlawanan dengan polaritas baterai yang terdapat pada gambar 2.10.a, maka kumparan akan berputar searah dengan jarum jam lebih jelasnya lihat gambar. (Yon Rijono, 1997)



Gambar 2.9 Prinsip Kerja Motor DC
Sumber : Rijono, 1997

2. Mekanisme kerja untuk seluruh jenis motor secara umum sama yaitu: (BEE, 2004 dalam jurnal UNEP,2006:1) :
   a. Arus listrik dalam medan magnet akan memberikan gaya
   b. Jika kawat pembawa arus dibengkokkan menjadi sebuah lingkaran/*loop*, maka kedua sisi *loop*atau pada sudut kanan medan magnet akan mendapat gaya pada arah yang berlawanan.
   c. Pasangan gaya menghasilkan tenaga putar/*torque* untuk memutar kumparan.
   d. Motor-motor memiliki beberapa *loop* pada dinamonya, yang berguna untuk memberi tenaga putaran yang lebih seragam. Medan magnetnya dihasilkan oleh susunan elektromagnetik, yang disebut sebagai kumparan medan.



Gambar 2.10 Prinsip Dasar Kerja Motor Listrik
Sumber : Nave, 2014 dalam jurnal UNEP

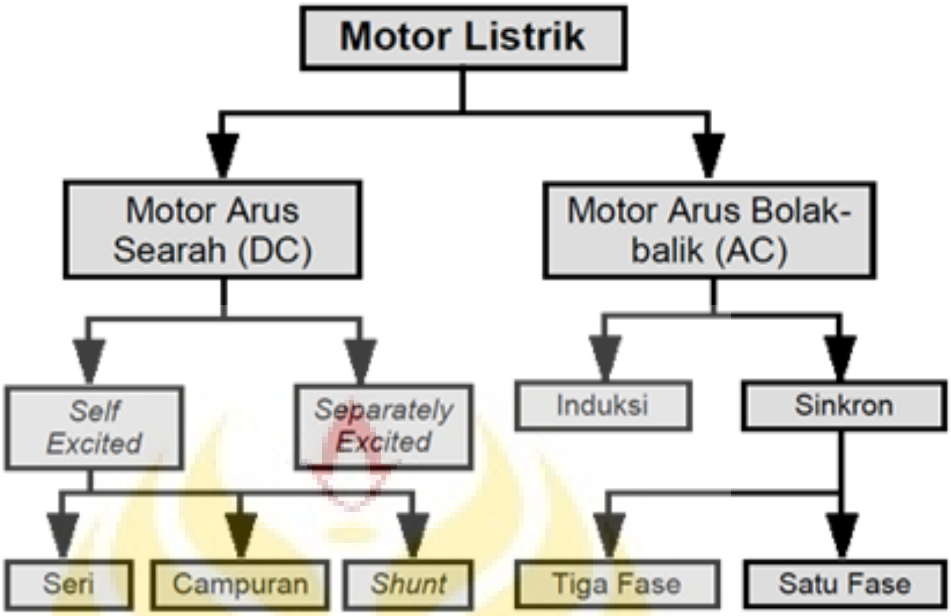
Dalam memahami sebuah motor, sangatlah penting untuk mengerti tentang apa yang dimaksud beban motor. Beban mengacu pada keluaran tenaga putar/ *torque*, sesuai dengan kecepatan yang diperlukan. Beban pada umumnya dapat dikategorikan ke dalam tiga kelompok: (BEE, 2004 dalam jurnal UNEP,2006:1)

1. Beban *torque konstan* adalah beban dimana permintaan keluaran energinya bervariasi dengan kecepatan operasinya, namun *torque* nya tidak bervariasi. Untuk contoh beban dengan *torque* konstan adalah *conveyors*, *rotary kilns*, dan pompa *displacement* konstan.
2. Beban dengan *variabel torque* adalah beban dengan *torque* yang bervariasi dengan kecepatan operasi. Untuk contoh beban dengan variabel *torque*, adalah pompa sentrifugal dan fan (*torque* bervariasi sebagai kwadrat kecepatan).
3. Beban dengan *energi konstan* adalah beban dengan permintaan *torque* yang berubah dan berbanding terbalik dengan kecepatan. Contoh untuk beban dengan daya konstan adalah peralatan-peralatan mesin.

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

D. Jenis-Jenis Motor Listrik

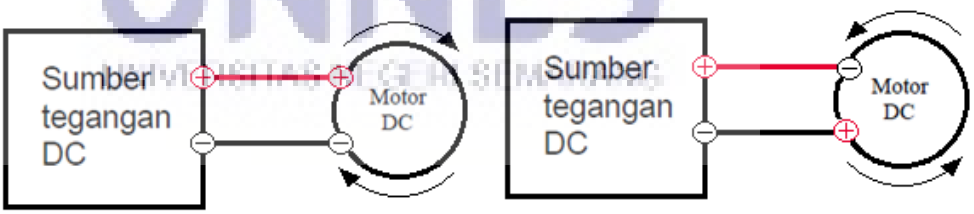
Seperti dijelaskan oleh UNEP (2006 : 2), bahwa motor listrik dapat dikategorikan melalui cara kerjanya yang didasarkan pada *input*, konstruksi, dan mekanisme operasi. Adapun untuk mengetahui tentang klasifikasi jenis utama motor listrik, dapat dijelaskan melalui skema sebagai berikut :



Gambar 2.11 Klasifikasi Jenis Utama Motor Listrik
Sumber : UNEP, 2005

1. Motor Arus Searah

Motor DC menghasilkan output berupa putaran dengan input yang berupa energi. Sesuai namanya, motor arus searah (DC) menggunakan sumber tegangan DC untuk mengoperasikan sebuah motor DC.

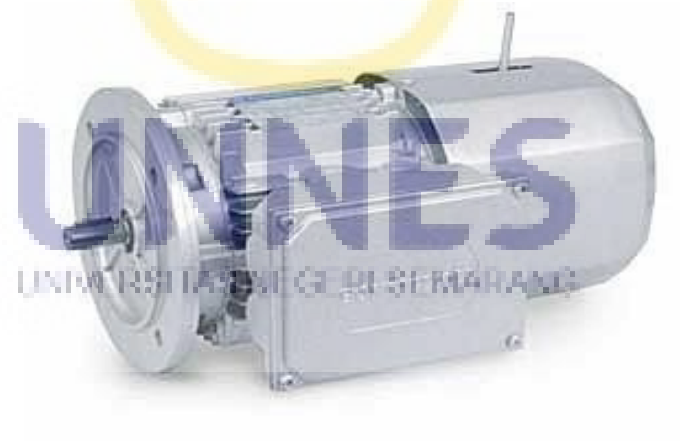


(a) (b)
Gambar 2.12 Sumber Tegangan Motor DC

Jika tegangan sumber positif dihubungkan dengan kutub positif motor dan kutub negatif sumber dihubungkan kutub negatif motor maka motor akan

bergerak searah dengan jarum jam (ditunjukan gambar 2.13 a). Sedangkan jika hubungan dibalik artinya kutub positif tegangan dihubungkan dengan kutub negatif motor dan kutub negatif sumber dihubungkan dengan kutub positif motor maka akan terjadi perubahan putaran yaitu berlawanan dengan arah jarum jam (ditunjukan pada gambar 2.13 b). Menurut Budic Utom (2014), bahwa untuk perubahan tersebut disebabkan oleh arah arus yang mengalir.

Motor DC tersedia dalam banyak ukuran, namun penggunaannya pada umumnya dibatasi beberapa penggunaan berkecepatan rendah, penggunaan daya rendah hingga sedang seperti peralatan mesin dan *rolling mills*, sebab sering terjadi masalah dengan perubahan arah arus listrik mekanis pada ukuran yang lebih besar. Juga, motor tersebut dibatasi hanya untuk penggunaan di area yang bersih dan tidak berbahaya sebab resiko percikan api pada sikatnya. Motor DC juga relatif mahal dibanding motor AC (UNEP,2006 : 4)

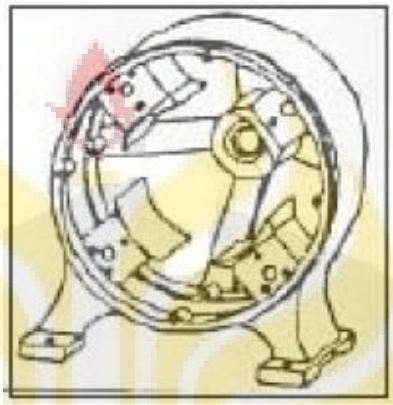


Gambar 2.13 Sebuah Motor DC
Sumber : Direct Industry, 2005 dalam jurnal UNEP)

Motor DC mempunyai beberapa bagian sehingga motor bisa bekerja. Bagian bagian tersebut adalah: (Zumain,2009 : 11).

a. Stator

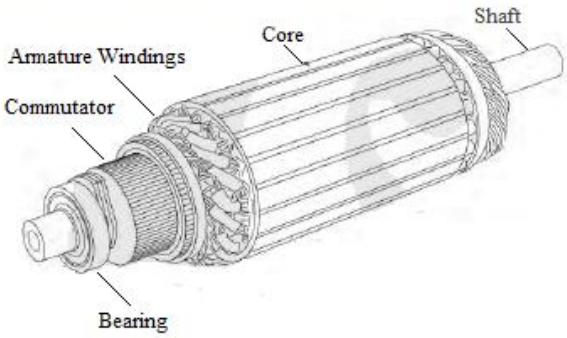
Fungsi stator sebagai bagian dari rangkaian magnetic, karena itu mempunyai seperangkat kutub medan yang dipasangkan di dalam stator. Secara sederhana motor DC memiliki dua kutub medan, dan garis magnetik energi membesar melintas antara kutub-kutub.



Gambar 2.14 Stator
Sumber : Zumain,2009

b. Rotor

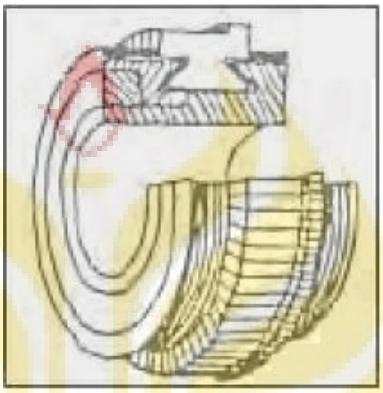
Fungsi dari rotor adalah untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik dalam bentu gerak putar.Rotor terdiri dari poros baja dimana tumpukan berkeping-keping inti yang berbentuk silinder terjepit.Pada inti terdapat alur- alur dimana lilitan rotor diletakan.



Gambar 2.15 Rotor
Sumber : Zumain,2009

c. Komutator

Kontruksi dari komutator terdiri dari batangan tembaga yang dikeraskan/diisolasi dengan sejenis mika.Fungsi komutator adalah mengumpulkan arus induksi dari konduktor jangkar dan mengkorversinya menjadi arus searah melalui sikat.

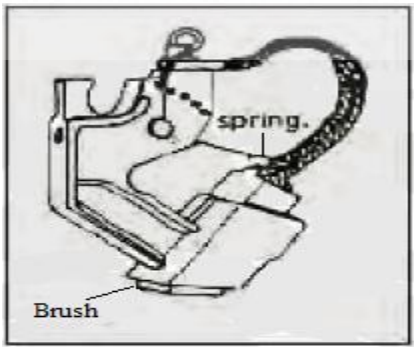


Gambar 2.16 Komutator
Sumber : Zumain,2009

d. Sikat (Brush)

Sikat (*Brush*) adalah terbuat dari campuran bahan karbon yang dilengkapi dengan pegas penekan dan kontok sikatnya. *Brushes* biasanya dipasang dengan ditumpangkan pada sisi komutator, yang kegunaannya adalah untuk menyuplai listrik ke motor.

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG



Gambar 2.17 Brush dan pemegangnya
Sumber : Zumain,2009

Menurut UNEP (2006 : 4), bahwa keuntungan utama dari motor DC adalah sebagai pengendali kecepatan yang tidak mempengaruhi kualitas pasokan daya. Adapun cara kerja motor DC dapat dikendalikan dengan cara mengatur:

a. Tegangan rotor, dengan meningkatkan tegangan pada rotor sehingga kecepatan yang dihasilkan juga akan meningkat.
b. Arus medan, dengan menurunkan arus medan sehingga kecepatan yang dihasilkan juga meningkat.

Menurut Gatot Bintoro (2000 : 25), bahwa untuk motor DC dapat dibedakan menjadi 2 berdasarkan sumber arus penguat magnetnya dan juga berdasarkan hubungan gulungan medan untuk penguat magnet terhadap dinamonya. Berdasarkan perbedaan tersebut dapatlah dijelaskan sebagai berikut :

a. Motor DC arus penguat terpisah

   Motor DC arus penguat terpisah (*Separately Excited*) adalah Motor DC yang arus penguat magnetnya berasal dari sumber arus DC dan letaknya berada diluar kontruksi motor.

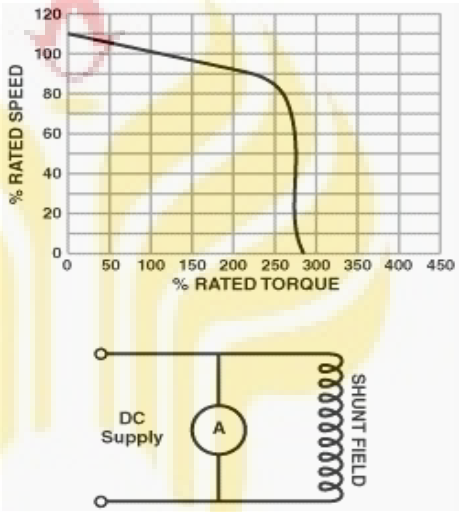
UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

b. Motor DC arus penguat sendiri

   Motor DC arus penguat sendiri (*Self Excited*) adalah Motor DC yang arus penguat magnetnya berasal dari sumber arus DC dan letaknya berada pada dalam motor itu sendiri. Dalam motor DC arus penguat sendiri terbagi atas 3 jenis berdasarkan pada gulungan medan untuk penguat magnet terhadap lilitan jangkarnya, yaitu:

1) Shunt

Pada motor *shunt*, gulungan medan (medan *shunt*) disambung secara paralel dengan gulungan stator (A) seperti diperlihatkan dalam gambar 2.19. Karena itu total arus dalam jalur adalah merupakan penjumlahan dari arus medan dan arus lilitan jangkar. (Rodwell International Corporation, 1999 dalam jurnal UNEP).



Gambar 2.18 Karakteristik Motor DC *Shunt*
Sumber : Rodwell International Corporation,1999dalam jurnal UNEP

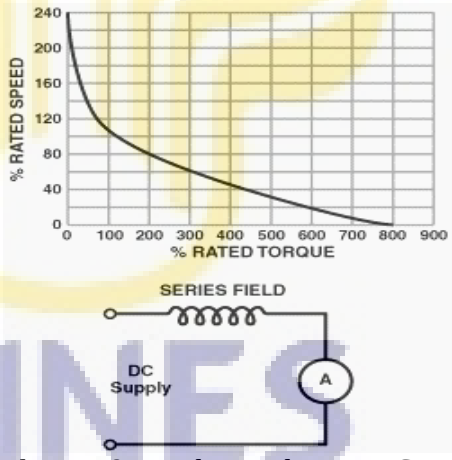
Berikut tentang kecepatan motor *shunt*:(E.T.E,1997dalam jurnal UNEP,2006:5)

a) Kecepatan pada prakteknya konstan tidak tergantung pada beban hingga *torque* tertentu setelah kecepatannya berkurang(lihat Gambar 2.19) dan oleh karena itu cocok untuk penggunaan komersial dengan beban awal yang rendah, seperti peralatan mesin.
b) Kecepatan dapat dikendalikan dengan cara memasang tahanan dalam susunan seri dengan gulunganstator (kecepatan berkurang)

atau dengan memasang tahanan pada arus medan (kecepatan bertambah).

2) Seri

Dalam motor seri, gulungan dari medan (medan *shunt*) dihubungkan secara seri dengan gulungan stator (A) (seperti ditunjukkan dalam gambar 2.18). Oleh karena itu, arus medan sama dengan arus lilitan jangkar. Motor seri cocok untuk penggunaan yang memerlukan *torque* penyalaan awal yang tinggi, seperti derek dan alat pengangkat *hoist* (lihat Gambar 2.20) (Rodwell International Corporation, 1999dalam jurnal UNEP,2006:5):



Gambar 2.19 Karakteristik Motor Seri DC
Sumber :Rodwell International Corporation,1999dalam jurnal UNEP)

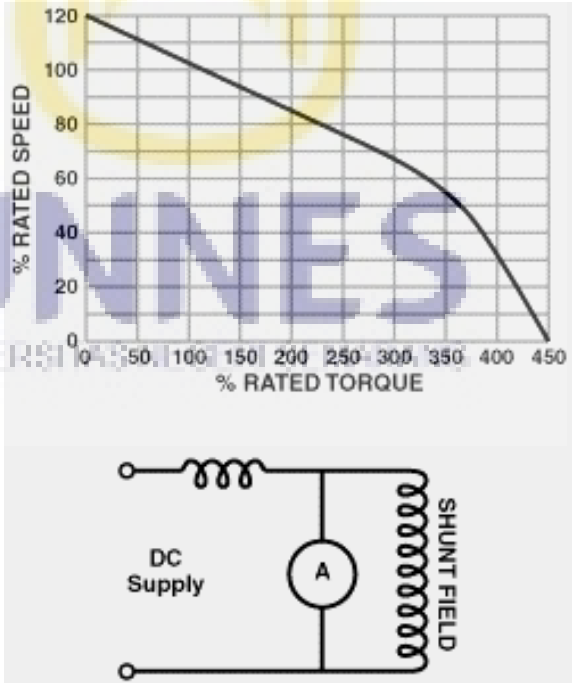
Berikut tentang kecepatan motor seri: (L.M. Photonics Ltd, 2002dalam jurnal UNEP,2006:5)

a) Kecepatan dibatasi pada 5000 RPM

b) Harus dihindarkan menjalankan motor seri tanpa ada beban sebab motor akan mempercepat tanpa terkendali.

3) Campuran

Motor Campuran merupakan gabungan motor seri dan *shunt*. Pada motor campuran, gulungan medan (medan *shunt*) dihubungkan secara paralel dan seri dengan gulungan stator (A) (seperti yang ditunjukkandalam gambar 2.21). Sehingga motor kompon memiliki *torque* penyalaan awal yang bagus dan kecepatan yang stabil. Makin tinggi persentase penggabungan (yakni persentase gulungan medan yang dihubungkan secara seri), makin tinggi pula *torque* penyalaan awal yang dapat ditangani oleh motor ini. Contoh, penggabungan 40-50% menjadikan motor ini cocok untuk alat pengangkat *hoist* dan derek, sedangkan motor kompon yang standar (12%) tidak cocok (my Electrical, 2005 dalam jurnal UNEP, 2006 : 6).



Gambar 2.20 Karakteristik Motor Campuran
Sumber :Rodwell International Corporation,1999dalam jurnal UNEP

2. Motor Arus Bolak Balik

Motor AC dapat bekerja dalam hubungan dengan tegangan sumber AC, sehingga konstruksi dari motor AC juga berbeda pada gulungan rotor maupun statornya. Pada kumparan statornya dibuat hanya satu fasa yang digulung sedemikian rupa, sehingga apabila dialiri dengan arus listrik akan membentuk kutub-kutub yang berpasangan. Sedangkan untuk rotornya digunakan rotor sangkar, yang apabila motor AC diberikan suatu sumber tegangan DC maka motor tidak akan dapat bekerja sebagaimana mestinya. (Budic Utom, 2014)

Gambar 2.21 Motor AC
Sumber : fahmi,2013

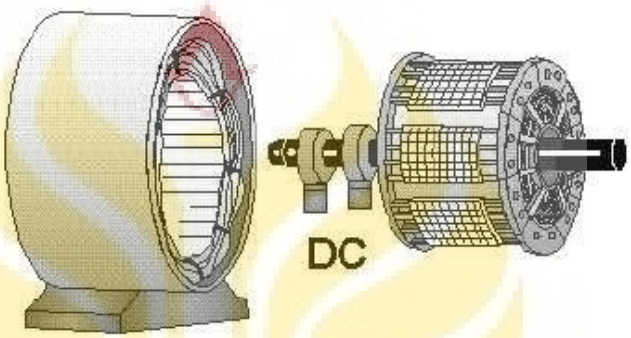
UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

Untuk motor AC sendiri dapat dibedakan menjadi dua, yang dapat dijelaskan sebagai berikut :

a. Motor sinkron

Motor sinkron adalah motor AC, bekerja pada kecepatan tetap pada sistim frekwensi tertentu. Motor tersebut memerlukan arus searah (DC) sebagai pembangkit daya, yang memiliki *torque* awal rendah.

Karena itu motor sinkron cocok untuk penggunaan awal dengan beban rendah, seperti kompresor udara, perubahan frekwensi dan generator motor. Motor sinkron mampu untuk memperbaiki faktor daya sistim, sehingga sering digunakan pada sistim yang menggunakan banyak listrik. (UNEP,2006)



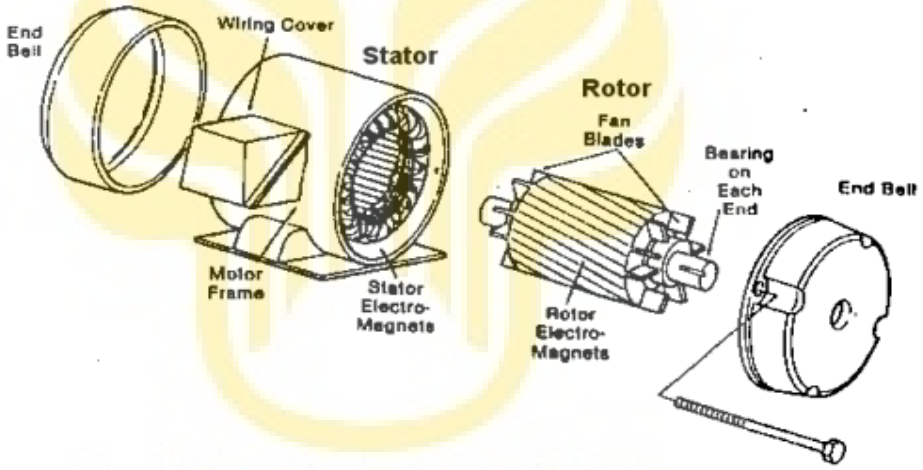
Gambar 2.22 Motor Sinkron
Sumber : Integrated Publishing, 2003dalam jurnal UNEP

Memperhatikan gambar tersebut di atas, dapat dijelaskan untuk komponen utama motor sinkron sebagai berikut :

1) Rotor. Perbedaan utama antara motor sinkron dengan motor induksi adalah bahwa rotor mesin sinkron berjalan pada kecepatan yang sama dengan perputaran medan magnet. Hal ini memungkinkan sebab medan magnit rotor tidak lagi terinduksi. Rotor memiliki magnet permanen atau arus DC-*excited*, yang dipaksa untuk mengunci pada posisi tertentu apabila dihadapkan dengan medan magnet lainnya.
2) Stator. Stator menghasilkan medan magnet berputar yang sebanding dengan frekwensi yang dipasok.

b. Motor induksi

Motor induksi merupakan motor listrik arus bolak balik (ac) yang paling luas digunakan Penamaannya berasal dari kenyataan bahwa motor ini bekerja berdasarkan induksi medan magnet stator ke statornya, dimana arus rotor motor ini bukan diperoleh dari sumber tertentu, tetapi merupakan arus yang terinduksi sebagai akibat adanya perbedaan relatif antara putaran rotor dengan medan putar (rotating magnetic field) yang dihasilkan oleh arus stator. (Zuriman,2013)



Gambar 2.23 Motor Induksi
Sumber :Automated Buildings dalam jurnal UNEP

Menurut Zuriman Anthony (2013), bahwa komponen utama pada motor induksi adalah terdiri dari stator dan rotor. Adapun penjelasannya masing-masing adalah sebagai berikut :

1) Stator adalah bagian yang diam dan mempunyai kumparan yang dapat menginduksikan medan elektromagnetik pada kumparan rotor.
2) Rotor adalah bagian yang bergerak akibat adanya induksi magnet dari kumparan stator yang diinduksikan kepada kumparan rotor.

Adapun untuk motor induksi menurut Parekh (2013) dalam jurnal UNEP dapat di klasifikasi menjadi motor induksi satu fase dan motor induksi tiga fase, yang masing-masing dapat dijelaskan sebagai berikut :

1) Motor induksi satu fase

Motor ini memiliki satu gulungan *stator*, beroperasi dengan pasokan daya satu fase, memiliki sebuah rotor kandang tupai, dan memerlukan alat untuk menghidupkan motornya. Merupakan jenis motor yang paling umum digunakan dalam peralatan rumah tangga, seperti fan angin, mesin cuci dan pengering pakaian.

2) Motor induksi tiga fase.

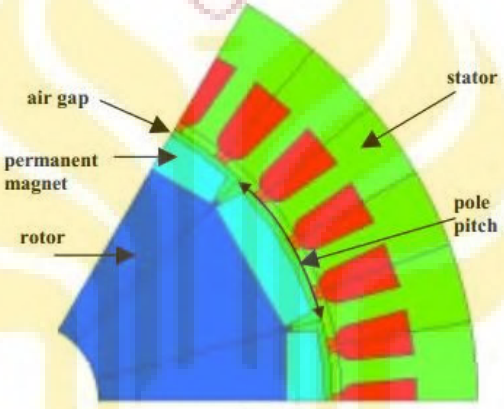
Medan magnet yang berputar dihasilkan oleh pasokan tiga fase yang seimbang. Memiliki kemampuan daya yang tinggi dan penyalaan sendiri, yang diperkirakan sekitar 70% motor di industri menggunakan jenis ini, sebagai contoh, pompa, kompresor, *belt conveyor*, jaringan listrik , dan *grinder*..

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

E. Motor *Brushless*

Motor Brushless (BLDC) banyak digunakan dalam dunia industri. Motor Brushless (BLDC) menggunakan arus searah (DC) sebagai sumber tegangan. Motor Brushless (BLDC) tidak menggunakan sikat dan komutator sebagai proses komutasi, tetapi digantikan gulungan yang terhubung dengan kontrol elektronik. Jadi pada motor Brushless (BLDC) proses komutasinya menggunakan elektronik (Padmaraja Yedamale, 2003).

Gambar 2.24 Motor Brushless



Gambar 2.25 Bentuk potongan rotor dan stator pada motor brushless
Sumber: Muljadi and Green, 2002

Untuk komponen, prinsip operasi dan perbedaan antara motor *Brushless* dengan motor jenis lain dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Komponen Motor *Brushless*.

   a. Rotor

   Terbuat dari magnet permanen yang dapat terdiri dari dua hingga delapan pasang kutub dengan alternatif kutub utara dan kutub selatan. Berdasarkan kebutuhan kerapatan medan magnet, bahan magnetic yang tepat dipilih untuk membuat rotor. Magnet besi secara umum digunakan untuk membuat magnet permanen. (Padmaraja Yedamale, 2003)

Gambar 2.26 Rotor

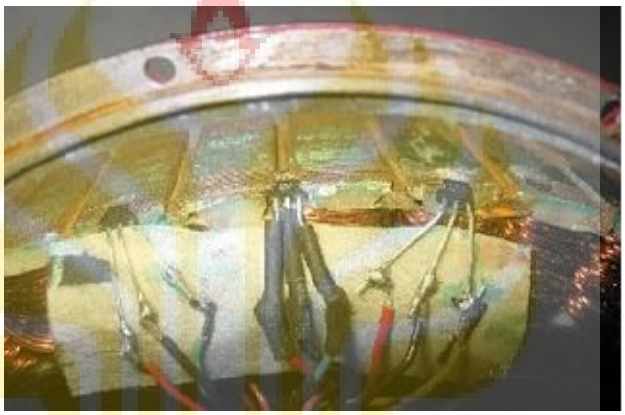
b. Stator

Stator terdiri dari tumpukan laminasi baja dengan lilitan yang ditempatkan pada celah yang dipotong aksial pada sepanjang pinggir lingkaran. Ada dua macam jenis pada stator: motor trapesium dan spiral. Perbedaan ini dibuat atas dasar hubungan antar kumparan di lilitan stator untuk memberikan berbagai jenis arah balik gaya listrik. Stator motor trapesium menunjukan pemberian arah balik gaya listrik berbentuk trapesium sedangkan stator motor spiral pemberian arah balik gaya listrik berbentuk spiral. (Padmaraja Yedamale, 2003)

Gambar 2.27 Stator

c. Hall Sensor

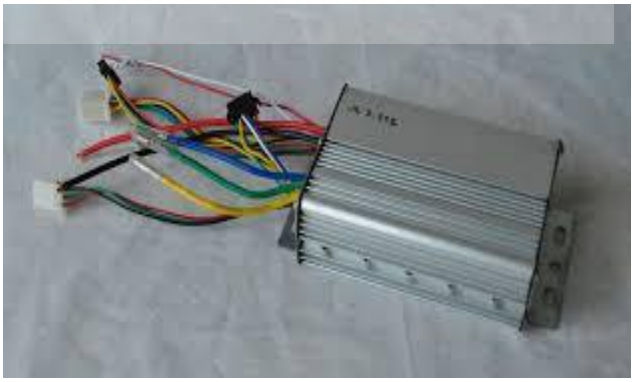
Hall sensor atau *hall-effect sensor* adalah merupakan *sensor*, yang dapat digunakan untuk mendeteksi medan magnet. *Hall-effect* sensor akan dapat menghasilkan sebuah tegangan yang tepat dengan kekuatan medan magnet yang diterima oleh *sensor* tersebut. (Abe Dharmawan, 2009)



Gambar 2.28 Hall Sensor

d. Kontroller

Rangkaian kontrol selain sebagai pengontrol perpindahan arus juga sebagai pengarah putaranrotor. Oleh karena itu, *kontroller* membutuhkan beberapa cara untuk menentukan *orientasi* rotor.(Abe Dharmawan, 2009)

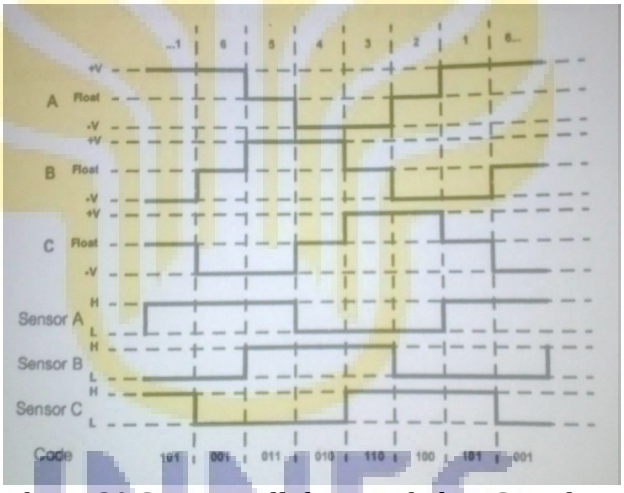


Gambar 2.29 Kontroller

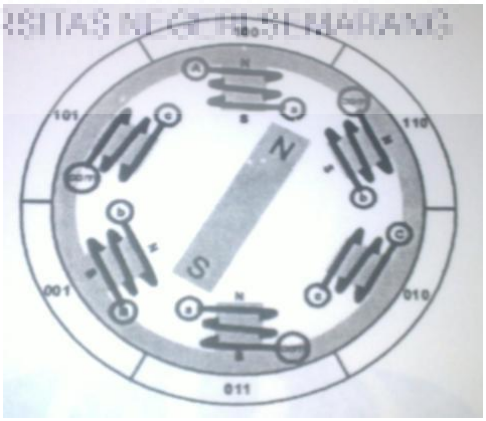
2. Prinsip Operasi.

Menurut Muhammad Azzumar (2012 : 18), bahwa ketika sensor hall menunjukkan kombinasi tertentu maka sinyal PWM akan berubah mengikuti kombinasi yang telah ditentukan, misal kombinasi sensor hall menunjukkan 101, maka PWM A dan B akan menyala, sedangkan C akan floating, kombinasi 001, PWM A dan C menyala, sedangkan B akan floating, dan seterusnya. Kondisi floating hanya terdapat pada metode PWM six-step, sedangkan pada metode PWM sinusoidal, kondisi floating merupakan suatu kondisi di mana sinyal sinusoidal berubah dari positif ke negative atau sebaliknya melewati nilai 0.

Untuk lebih jelasnya tentang pengertian tersebut, perlu diperhatikan gambar 2.31 dan 2.32 di bawah ini :



Gambar 2.30 Sensor Hall dan Perubahan Sinyal PWM
Sumber :Muhammad Azzumar, 2012:18



Gambar 2.31 Kombinasi Nilai Sensor Hall
Sumber :Muhammad Azzumar, 2012:18

3. Perbandingan Motor Brushless Dengan Motor Jenis Lain.

Tabel 2.1Perbandingan motor DC tanpa sikat (*brusless*) dengan motor DC dengan sikat (*Brushed*).

Ciri	Motor Brusless	Motor Brushed
Pergantian	Pergantian posisi hallsensor berbasis elektronik.	Pergantian menggunakan Sikat.
Pemeliharaan	Kurang diperlukan karena tidak adanya sikat.	Pemeliharaan berkala diperlukan.
Ketahanan	Lebih Panjang.	Lebih Pendek.
Karakteristik kecepatan/torsi	Datar. Memungkinkan operasi di semua kecepatan dengan beban.	Cukup datar. Pada kecepatan tinggi gesekan pada sikat akan meningkat sehingga torsi berkurang.
Efisiensi	Tinggi. Tidak adanya arus yang terkikis oleh sikat.	Menengah.
Tenaga yang dihasilkan/besarnya tutup	Tinggi. Bentuknya kecil Karena motor brushless memiliki gulungan yang terhubung pada Stator sehingga panas ada dapat dihilangkan dengan baik.	Rendah. Panas yang dihasilkan oleh dinamo dibuang memalui celah udara sehingga suhu pada celah udara meningkatkan Sehingga daya output menjadi berkurang.
Rating Kecepatan	Tinggi, Tidak ada Pembatasan mekanik yang terjadi padasikat/komutator.	Lebih rendah, terjadinya gesekan pada sikat.
Kebisingan	Rendah.	Menghasilkan suara pada sikat yang bergesekan dengan komutator.
BiayaPembuatan	Lebih tinggi, karena memiliki magnet permanen, biaya pembuatan lebih tinggi.	Rendah.
Kontrol	Rumit dan Mahal.	Sedarhana dan Rendah.
Pengontrol kecepatan	Sebuah controller selalu diperlukan untuk menjaga motor tetap berjalan. Controller yang sama dapat digunakan untuk mengontrol kecepatan.	Kontroller tidak diperlukan pada kecepatan.tetap; controller hanya diperlukan jika kecepatan kontrol yang diinginkan.

Sumber :Padmaraja Yedamale, 2003

Tabel 2.2 Perbandingan motor DC tanpa sikat (*brusless*) dengan motor induksi.

Ciri	Motor *brushless*	Motor induksi
Karakteristik kecepatan/torsi	Datar. Memungkinkan operasi di semua kecepatan dengan beban.	Tidak stabil,torsirendah torsi pada kecepatan rendah.
Tenaga yang dihasilkan	Tinggi karena memiliki magnet permanen di rotor dan ukuran lebih kecil dapat dicapai untuk daya output yang diberikan.	Sedang, Karena kedua stator dan rotor memiliki gulungan dan daya keluaran dengan ukuran lebih rendah.
Torsi awal	Tidak ada permintaan khusus dalam torsi awal.	Kira-kira sampai tujuh kali kecepatan.
Pengontrol kecepatan	Sebuah kontroller selalu diperlukan untuk menjaga motor tetap berjalan. Controller yang sama dapat digunakan untuk mengontrol kecepatan.	Tidak ada kontroler diperlukan untuk kecepatan tetap.kontroller diperlukan hanya jika kecepatan variabel yang diinginkan.
Slip	Tidak ada slip yang terjadi pada frekuensi rotor dan stator.	Rotor berjalan pada frekuensi yang lebih rendah dibandingkan dengan Frekuensi dan slip bertambah pada beban motor.

Sumber :Padmaraja Yedamale, 2003

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

BAB IV

A. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan analisis motor penggerak pada mobil listrik dengan kapasitas satu penumpang, maka ada beberapa kesimpulan yang dapat diambil antara lain sebagai berikut:

1. Data hasil pengukuran arus pada motor listrik didapatkan arus yang mengalir pada RPM rendah, dan lebih rendah daripada RPM yang tinggi.Dengan hasil perbandingan penggunaan 3,53 ampere pada 100 RPM dan pada 10,33 ampere pada 556 RPM.
2. Motor penggerak yang digunakan sebagai sistem penggerak pada mobil listrik dengan kapasitas satu penumpang, mampu menempuh jarak sejauh 115,388964km dengan mengabaikan beban dan faktor penghambat lainnya serta kecepatan yang stabil .
3. Motor listrik penggerak yang digunakan sebagai sistem penggerak pada mobil listrik dengan kapasitas satu penumpang, mampu melaju pada kecepatan 37,24 km/jam dengan menghiraukan faktor beban dan penghambat lainnya.
4. Baterai yang digunakan untuk mensuplai arus motor yang digunakan sebagai sistem penggerak pada mobil listrik dengan kapasitas satu penumpang, mampu bertahan selama 9,06 jamdengan digunakan secara terus menerus tanpa berhenti.

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

B. SARAN

Berdasarkan pada hasil, pembahasan dan kesimpulan,supaya sistem penggerak yang digunakan pada mobil listrik dapat bekerja dengan baik maka disarankan sebagai berikut:

1. Periksa secara berkala arus yang bekerja pada motor penggerak karena jika arus yang mengalir pada kumparan mengalami penurunan maka kerja motor listrik kurang maksimal.
2. Beban yang digunakanjangan berlebihan mulai dari rangka, bodi dan lain-lain supaya kinerja motor tidak terlalu berat sehingga kecepatannya bisa maksimal.
3. Selalu periksa keadaan baterai sebelum mobil listrik digunakan karena baterai merupakan sumber arus yang digunakan untuk menggerakan motor penggerak pada mobil listrik.

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

Daftar Pustaka

Arisworo, Djoko & Yusa, 2006, *IPA Terpadu Biologi Kimia Fisika*, PT Grafindo Media Pratama. Bandung.

Automated Buildings.www.automatedbuildings.com/news/jul01/art/abbd/abbf2.gif

Budic Utom, 2013, *Catatan Bebas Mesin AC*, Universitas Sebelas Maret, Surabaya http://oc.its.ac.id/ambilfile.php?idp=1216diakses pada tanggal 15 Oktober 2014.

Bureau of Energy Efficiency (BEE), 2004, *Energy Efficiency In Electrical Utilities*, Book 3, Ministry of power, India

Bureau of Energy Efficiency (BEE). 2005. *Components of an Electric Motor* Ministry of Power, India.

Bureau of Indian Standards.*Indian Standard Code for Motors – IS1231*.

Dharmawan, Abe, 2009, *Pengendali Motor DC Brushless dengan Metode PWM Sinusoidal Menggunakan ATMega 16*, Jakarta

DirectIndustry, 2005, *Virtual Industry Exhibition*.www.directindustry.com

Efrizon umar,2008, *Buku Pintar fisika*, Media Pusindo, Jakarta

Electricians Toolbox Etc (E.T.E.), 1997.*Motor Characteristics*.www.myelectrical.com/book/Machines/DC%20Machine%20Construction%20(Field%20Winding).aspx?%09%09%09ID=P040507102940

Fahmi Aziz, 2013, *Tugas Mata Kuliah EL2244 Pengantar Elektronika*, Motor AC, Bandung.

Fush, A, 2009, *Hybrid Vehicle*, Buku Teks, Boca Raton, CRC Press, Surabaya.

Gatot Bintoro, *Dasar-dasar Pekerjaan Las*, 2000, Kanisius, Jogjakarta.

Harian Kompas tebit 4 November 2013.http://teknologi.kompasiana.com/terapan/2013/11/04/bahan-bakar-nabati-energi-untuk-masa-depan-indonesia-606555.html. Diakses pada 10 Oktober 2014.

IndoEnergi, 2012,Keunggulan dan Kelemahan Mobil Listrik.http://www.indoenergi.com/2012/04/keunggulan-dan-kelemahan-mobil-listrik.html diakses pada 10 Oktober 2014.

Integrated Publishing, 2003, *Synchronised Motors, In: Neets, Module 01, Introduction to Matter, Energy, and Direct Current, Chapter 4, Alternating Current Motors.* www.tpub.com/content/neets/14177/css/14177_92.htm

Kisworo, 2012, *Dunia Menangis karena Energi*, Pekalongan

L.M.Photonics Ltd, 2002, *DC Motor Control*.www.lmphotonics.com/vsd/vsd_02.htm

Mikrajuddin Abdullah, 2006. *IPA Fisika Jilid 3*.Erlangga. Bandung

Muhammad Azzumar, 2012. Pemodelan dan Simulasi Brushless DC Motor Kecil Untuk Aplikasi Aktuator Sirip Roket, Universitas Indonesia, Depok

Muljadi E., Green J., 2002. Cogging Torque Reduction in a Permanent Magnet Wind Turbine Generator, American Society of Mechanical Engineers Wind Energy Symposium, Nevada

MyElectrical, 2005, *DC Machine Construction*.www.myelectrical.com/book/Machines/DC%20Machine%20Construction%20(Field%20Winding).aspx?%09%09%09ID=P040507102940

Nave C.R, 2005, *How does anelectric motor work?* In: Hyperphysics, Electricity and Magnetism. Department of Physics and Astronomy, Georgia State University.

Padmaraja Yedamale, 2003, *Brushless DC motor Fundamental*, Microchip Technology Inc. Amerika Serikat.

Parekh, R., 2003, *AC Induction Motors Fundamentals, AN887* Microchip Technology Inc. Amerika Serikat.

Rijono, Yon, 1997, *Dasar Teknik Tenaga Listrik*, Edisi Revisi, Penerbit Andi, Jakarta

Rodwell International Corporation, 1999, *Basic Motor Theory*.On: Reliance Electric Motor Technical Reference home page www.reliance.com/mtr/mtrthr.htm

Sutrisno dkk, 2012, *Kursi Roda Elektrik*, Jakarta.

Toyota, 1995, New Step 1, PT Toyota Astra, Jakarta.

United Nasional Environment Programme (UNEP), 2006, *Pedoman Efisiensi Energi untuk Industri di Asia, motor listrik*.Badan Produktifitas Nasional. India.

US Department of Energy (US DOE).*Fact Sheet:Determining Motor Load and Efficiency.* Developed as part of: Motor Challenge, a program of US DOE www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/pdfs/10097517.pdf

Zumain, M Andri. 2009. *Prototipe Mobil Listrik Dengan Menggunakan Motor DC Magnet Permanen 0,37 HP*, Depok.

ZurimanAnthony, 2013, *Bahan ajar, MOTOR INDUKSI*, Universitas narotama Surabaya.

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG