



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Motor Induksi¹

Motor Induksi berfungsi untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik yang berupa tenaga putar. Motor Induksi terdiri dari dua bagian yang sangat penting yaitu stator atau bagian yang diam dan rotor atau bagian berputar. Pada motor AC, kumparan rotor tidak menerima energi listrik secara langsung, tetapi secara induksi seperti yang terjadi pada energi kumparan transformator. Oleh karena itu motor AC dikenal dengan motor induksi. Dilihat dari kesederhanaannya, konstruksinya yang kuat dan kokoh serta mempunyai karakteristik kerja yang baik, motor induksi tiga fasa yang cocok dan paling banyak digunakan dalam bidang industri. Penggunaan motor induksi yang banyak dipakai di kalangan industri mempunyai keuntungan sebagai berikut :

1. Bentuknya yang sederhana dan memiliki konstruksi yang kuat dan hampir tidak pernah mengalami kerusakan yang berarti.
2. Harga relatif murah dan dapat diandalkan.
3. Efisiensi tinggi pada keadaan berputar normal, tidak memerlukan sikat sehingga rugi – rugi daya yang diakibatkannya dari gesekan dapat dikurangi.
4. Perawatan waktu mulai beroperasi tidak memerlukan starting tambahan khusus dan tidak harus sinkron.

Namun disamping hal tersebut diatas, terdapat pula faktor – faktor kerugian yang tidak menguntungkan dari motor induksi yaitu sebagai berikut :

1. Pengaturan kecepatan dari motor induksi sangat mempengaruhi efisiensinya.
2. Kecepatan motor induksi akan menurun seiring dengan bertambahnya beban, tidak seperti motor DC atau motor shunt.
3. Kopel awal mutunya rendah dibandingkan dengan motor DC shunt.

¹ Rijono, Yon, Drs. 1997. Dasar Teknik Tenaga Listrik. Andi, Yogyakarta. Hal : 306



2.1.1 Klasifikasi Motor Induksi²

Motor Induksi memiliki berbagai jenis yang dapat diklasifikasikan antara lain berdasarkan prinsip kerja, berdasarkan macam arus, dan berdasarkan kecepatan.

A. Berdasarkan Prinsip Kerja

1. Motor Sinkron. - Biasa (tanpa slip ring) - Super (dengan slip ring).
2. Motor Asinkron. - Motor Induksi (*Squirrel Cage* dan *Slip Ring*).

B. Berdasarkan Macam Arus

1. Satu fasa Motor ini hanya memiliki satu gulungan stator, beroperasi dengan pasokan daya satu fasa, memiliki sebuah rotor sangkar tupai, dan memerlukan sebuah alat untuk menghidupkan motornya. Sejauh ini motor ini merupakan jenis motor yang paling umum digunakan dalam peralatan rumah tangga, seperti kipas angin, mesin cuci dan pengering pakaian.
2. Tiga fasa Medan magnet yang berputar dihasilkan oleh pasokan tiga fasa yang seimbang. Motor tersebut memiliki kemampuan daya yang tinggi, dapat memiliki sangkar tupai atau gulungan rotor (walaupun 90% memiliki rotor sangkar tupai); dan penyalaan sendiri. Diperkirakan bahwa sekitar 70% motor di industri menggunakan jenis ini, sebagai contoh, pompa, *compressor*, *belt conveyer*, jaringan listrik, dan *grinder*.

C. Berdasarkan Kecepatan

1. Kecepatan konstan
2. Kecepatan berubah
3. Kecepatan diatur

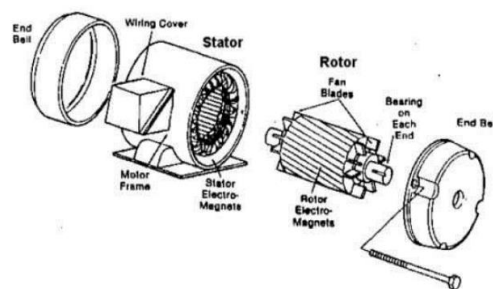
²Rijono, Yon, Drs. 1997. Dasar Teknik Tenaga Listrik. Andi, Yogyakarta. Hal : 309



2.1.2 Konstruksi Motor Induksi³

Pada dasarnya motor induksi terdiri dari suatu bagaian yang tidak berputar (stator) dan bagian yang bergerak memutar (rotor) seperti pada gambar 2.1. Secara

ringkas stator terdiri dari blek – blek dinamo yang berisolasi pada satu sisinya dan mempunyai ketebalan 0,35 – 0,5 mm, disusun menjadi sebuah paket blek yang berbentuk gelang. Disisi dalamnya dilengkapi dengan alur – alur. Didalam alur ini terdapat perbedaan antara motor asinkron dengan lilitan sarang (rotor sarang atau rotor hubung pendek) dan gelang seret dengan lilitan tiga fasa. Atau dari sisi lainnya bahwa inti besi stator dan rotor terbuat dari lapisan (email) baja silikon tebalnya 0,35 – 0,5 mm, tersusun rapi, masing – masing terisolasi secara elektrik dan diikat pada ujung – ujungnya.



Gambar 2.1 Konstruksi Motor Induksi³

Lamel inti besi stator dan rotor bagian motor dengan garis tengah bagian motor, dengan garis tengah bagian luar dari stator lebih dari 1 m. Bagi motor dengan garis tengah yang lebih besar, lamel inti besi merupakan busur inti segmen yang disambung – sambung menjadi satu lingkaran. Celah udara antara stator dan rotor pada motor yang kecil adalah 0,25 – 0,75 mm, pada motor yang besar sampai 10 mm. Celah udara yang besar ini disediakan bagi kemungkinan terjadinya perenggangan pada sumbu sebagai akibat pembebanan transversal pada sumbu atau sambungannya. Tarikan pada pita (belt) atau beban yang tergantung tersebut akan menyebabkan sumbu motor melengkung.

³Rijono, Yon, Drs. 1997. Dasar Teknik Tenaga Listrik. Andi, Yogyakarta. Hal : 311

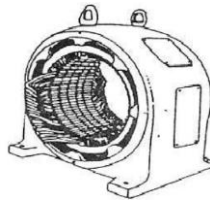


Pada dasarnya inti besi stator dan belitan rotor motor tak serempak ini sama dengan stator dan belitan stator mesin serempak. Kesamaan ini dapat ditunjukkan bahwa pada rotor mesin tak serempak yang dipasang / sesuai dengan stator mesin tak serempak akan dapat bekerja dengan baik.

A. Stator (Bagian Motor Yang Diam)

Pada bagian stator terdapat beberapa slot yang merupakan tempat kawat (konduktor) dari tiga kumparan yang masing – masing berbeda fasa dan menerima arus dari tiap fasa tersebut yang disebut kumparan stator.

Stator terdiri dari plat – plat besi yang disusun sama besar dengan rotor dan pada bagian dalam mempunyai banyak alur yang diberi kumparan kawat tembaga yang berisolasi seperti pada gambar 2.2 . Jika kumparan stator mendapatkan suplai arus tiga fasa maka pada kumparan tersebut akan timbul flux magnet putar. Karena adanya flux magnet putar pada kumparan stator, mengakibatkan rotor berputar karena adanya induksi magnet dengan kecepatan putar rotor sinkron dengan kecepatan putar stator.



Gambar 2.2 Stator

(sumber : dokumen pribadi)

$$N_s = \frac{120 f}{P} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

N_s = Kecepatan Sinkron (rpm)

f = Besarnya Frekuensi (Hz)

P = Jumlah Kutub Konstruksi

Stator motor induksi sendiri terdiri atas beberapa bagian yaitu :

1. Bodi Motor
2. Inti Kutub magnet dan lilitan penguat magnet



3. Slip ring

1. Bodi Motor

Fungsi utama dari bodi atau gandar motor adalah sebagai bagian dari tempat mengalirnya fluks magnet yang dihasilkan kutub – kutub magnet, karena itu beban motor dibuat dari bahan ferromagnetik. Disamping itu badan motor ini berfungsi untuk meletakkan alat – alat tertentu dan melindungi bagian – bagian mesin lainnya. Biasanya pada motor terdapat papan nama atau name plate yang bertuliskan spesifikasi umum dari motor.

2. Inti Kutub Magnet dan Lilitan Penguat Magnet

Sebagaimana diketahui bahwa fluks magnet yang terdapat pada motor arus searah dihasilkan oleh kutub magnet buatan yang dibuat dengan prinsip elektromagnetis. Lilitan penguat magnet berfungsi untuk mengalirkan arus listrik agar terjadi proses elektromagnetis.

3. Sikat-sikat dan Pemegang Sikat

Fungsi dari sikat adalah sebagai jembatan bagi aliran arus dari sumber dan biasanya terbuat dari bahan arang. Dibawah ini menunjukkan kelompokkelompok tingkatan sikat, antara lain :

- a. Sikat grafit alam
- b. Sikat karbon keras
- c. Sikat elektrografit
- d. Sikat grafit logam
- e. Sikat karbon logam

Sikat-sikat akan aus selama operasi dan tingginya akan berkurang. Aus yang diizinkan ditentukan oleh konstruksi dari pemegang sikat (gagang – sikat). Bagian puncak dari sikat diberi pelat tembaga guna mendapatkan kontak yang baik antara sikat dan dinding pemegang sikat. Satu atau dua pengantar yang fleksibel dibenamkan ke dalam sikat untuk menghantarkan arus dari sikat ke jepitan dari pemegang sikat bila sikat – sikat terdapat pada kedudukan yang benar, maka baut harus dieratkan sepenuhnya. Ini menetapkan jembatan sikat dalam suatu kedudukan yang tidak dapat bergerak pada pelindung ujung. Gagang sikat (pemegang sikat) berguna untuk menimbulkan tekanan yang diperlukan antara sikat. Ketiadaan bunga api pada



komutator banyak tergantung pada perakitan dan pemasangan gagang sikat. Tiap – tiap gagang sikat dilengkapi dengan suatu pegas yang menekan pada sikat melalui suatu sistem tertentu sehingga sikat tidak terjepit.

B. Rotor (Bagian Motor yang Bergerak)³

Berdasarkan hukum faraday tentang induksi magnet, maka medan putar yang secara relatif merupakan medan magnet yang bergerak terhadap penghantar rotor akan menginduksikan gaya gerak listrik (ggl). Frekuensi ggl induksi ini sama dengan frekuensi jala-jala. Besar ggl induksi ini berbanding lurus dengan kecepatan relatif antara medan putar dan penghantar rotor. Penghantar – penghantar dalam rotor yang membentuk suatu rangkaian tertutup, merupakan rangkaian laju arus rotor dan searah dengan hukum yang berlaku yaitu hukum lenz. Arahnya melawan fluksi yang menginduksi, dalam hal ini arus rotor itu ditimbulkan karena adanya perbedaan kecepatan yang berada diantara fluksi atau medan putar stator dengan penghantar yang diam. Rotor akan berputar dalam arah yang sama dengan arah medan putar stator, untuk mengurangi beda kecepatan diatas. Jika rotor dibebani, maka putaran rotor akan turun sehingga terjadi perbedaan kecepatan putaran antara rotor dan stator, perbedaan kecepatan putaran ini disebut slip.

1. Motor Rotor Sangkar

Motor rotor sangkar konstruksinya sangat sederhana, yang mana rotor dari motor sangkar adalah konstruksi dari inti berlapis dengan konduktor dipasangkan paralel, atau kira – kira paralel dengan poros yang mengelilingi permukaan inti. Konduktornya tidak terisolasi dari inti, karena arus rotor secara alamiah akan mengalir melalui tahanan yang paling kecil konduktor rotor. Pada setiap ujung rotor, konduktor rotor semuanya dihubung singkatkan dengan cincin ujung.

Pada gambar 2.3 merupakan Bentuk motor rotor sangkar sendiri d Batang rotor dan cincin ujung sangkar yang lebih kecil adalah coran tembaga atau almunium dalam satu lempeng pada inti rotor.

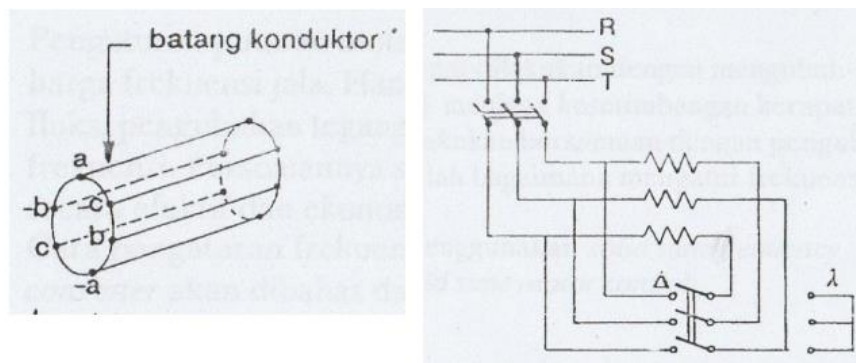
³Eugene.C.Lister. 1993. Mesin dan Rangkaian Listrik Edisi Keenam. Erlangga, Jakarta. Hal : 210



Gambar 2.3 Motor Rotor Sangkar

Dalam motor yang lebih besar, batang rotor tidak dicor melainkan dibenamkan kedalam alur kemudian dilas ditempatkan paralel terhadap poros motor tetapi kerap kali dimiringkan. Hal ini menghasilkan torsi yang lebih seragam dan juga mengurangi suara dengung magnetik sewaktu motor sedang jalan.

Motor induksi jenis ini mempunyai rotor dengan kumparan yang terdiri dari beberapa batang konduktor yang disusun sedemikian rupa sehingga menyerupai sangkar tupai yang terlihat pada gambar 2.4 konstruksi rotor seperti ini sangat sederhana bila dibandingkan dengan rotor jenis mesin listrik lainnya. Dengan demikian harganya pun murah karena konstruksinya yang demikian, padanya tidak mungkin diberikan pengaturan tahanan luar seperti pada motor induksi dengan rotor belitan. Untuk membatasi arus mula yang besar, tegangan sumber harus dikurangi dan biasanya digunakan oto transformator atau saklar Y – D (gambar 2.4). Tetapi berkurangnya arus akan berakibat berkurangnya kopel mula, untuk mengatasi hal ini dapat digunakan jenis rotor dengan sangkar ganda.



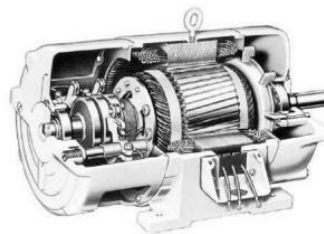
Gambar 2.4 Batang Konduktor dan Saklar Y-D.⁴

⁴Zuhal. 1991. Dasar Tenaga Listrik. ITB, Bandung. Hal : 83



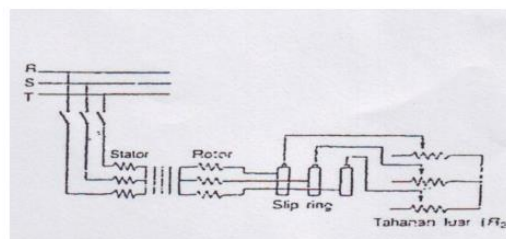
2. Motor Rotor Belitan

Motor rotor lilit atau motor cincin slip berbeda dengan motor rotor sangkar dalam konstruksi rotornya. Bentuk motor rotor belitan dapat dilihat pada gambar 2.5. Seperti namanya rotor dililit dengan lilitan terisolasi serupa dengan lilitan stator. Lilitan fasa rotor dihubungkan secara Y dengan poros motor. Ketiga cincin slip yang terpasang pada cincin slip dan sikat – sikat dapat dilihat berada disebelah kiri lilitan rotor. Lilitan rotor tidak dihubungkan ke pencatu. Cincin slip dan sikat semata – mata merupakan penghubung tahanan kendali variabel luar ke dalam rangkaian motor. Motor rotor lilit kurang banyak digunakan dibandingkan dengan motor rotor sangkar karena harganya mahal dan biaya pemeliharaan lebih besar.



Gambar 2.5 Motor Rotor Belitan

Seperti yang terlihat pada gambar 2.6, penambahan tahanan luar sampai harga tertentu dapat membuat kopel mula mencapai harga maksimum, kopel mula yang besar ini memang diperlukan pada waktu start. Motor induksi dengan rotor lilit memungkinkan penambahan pengaturan tahanan luar. Tahanan luar yang dapat diatur ini dihubungkan ke rotor melalui cincin, selain untuk menghasilkan kopel mula yang besar tahanan luar tadi diperlukan untuk membatasi arus mula yang besar pada saat start motor.



Gambar 2.6 Rangkaian Rotor Belitan⁵

⁵Zuhal. 1991. Dasar Tenaga Listrik. ITB, Bandung. Hal : 82

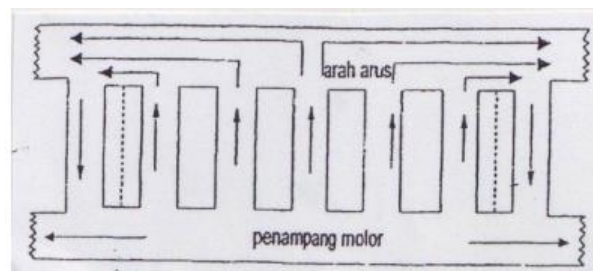


Disamping itu dengan mengubah tahanan luar, kecepatan motor dapat diatur. Dibawah ini terdapat rangkaian induksi dengan belitan memungkinkan penambahan tahanan luar.

3. Beda Motor Induksi Rotor Sangkar Dengan Rotor Lilit

Rotor sangkar dapat dianggap sebagai lilitan – lilitan seri dengan langkah penuh (full pitch). Pada gambar 2.7 , Lilitan – lilitan seri tersebut dibentuk oleh pasangan – pasangan batang konduktor yang ujung – ujungnya disatukan oleh cincin hubung singkat. Jika kita bandingkan antara rotor sangkar dan rotor lilit ada perbedaan-perbedaan sebagai berikut :

- a) Karakteristik motor induksi rotor sangkar sudah *fixed*, sedang pada motor induksi dengan rotor lilit masih dimungkinkan variasi karakteristiknya dengan cara menambahkan rangkaian luar melalui ring atau sikatnya.
- b) Jumlah kutub pada rotor sangkar menyesuaikan terhadap jumlah kutub pada lilitan statornya, sedangkan jumlah kutub pada rotor sudah tertentu.



Gambar 2.7 Arus pada Rotor Sangkar

Suatu keuntungan dari motor induksi dengan rotor lilit adalah dapat ditambah tahanan luar. Hal ini sangat menguntungkan untuk starting motor pada beban yang berat dan sekaligus sebagai pengatur putaran motor. Rangkaian motor induksi dengan rotor lilit, dilengkapi dengan tahanan luar. Dalam penggunaannya rotor sangkar lebih banyak dipakai sebab harganya murah. Kelemahan pada starting torque diatasi dengan konstruksi double squirrel cage dan deep bar cage.



2.1.4 Prinsip Kerja Motor Induksi Tiga Fasa⁶

Pada dasarnya ada beberapa prinsip penting pada motor-motor induksi yaitu :

1. Apabila sumber tegangan tiga fasa dipasang pada kumparan stator, timbulah medan putar dengan kecepatan

$$N_A = \frac{120}{p} f \dots\dots\dots(2.2)$$

2. Medan putar stator tersebut akan memotong batang konduktor pada rotor.
3. Akibatnya pada kumparan rotor timbul induksi (ggl) sebesar :

$$E_2 = 4,44 \times f_2 \times N_2 \dots\dots\dots(2.3)$$

4. Karena kumparan rotor merupakan rangkaian yang tertutup, ggl (E) akan menghasilkan arus (I).
5. Adanya arus didalam medan magnet menimbulkan gaya pada motor.
6. Bila kopel mula dihasilkan oleh gaya (F) pada rotor cukup besar untuk memikul kopel beban, rotor akan berputar searah dengan medan putar stator.
7. Tegangan induksi timbul karena terpotongnya batang konduktor (rotor) oleh medan putar stator. Artinya agar tegangan terinduksi diperlukan adanya perbedaan relatif antara kecepatan medan putar stator (n_s) dengan kecepatan berputar rotor (n_r).

8. Perbedaan kecepatan antara n_r dan n_s disebut slip (s) dinyatakan dengan :

$$\% \text{ slip} = \frac{N_s - N_r}{N_s} \times 100 \% \dots\dots\dots(2.4)$$

9. Bila $n_r = n_s$, tegangan tidak akan terinduksi dan arus tidak mengalir pada kumparan jangkar (rotor), dengan demikian tidak dihasilkan kopel. Kopel motor akan ditimbulkan apabila n_r lebih kecil dari n_s .

2.1.5 Rugi-rugi pada Motor

Rugi – rugi motor listrik sebagian dapat ditemukan dengan cara konvensional yaitu dengan percobaan beban nol dan percobaan block rotor (hanya untuk motor arus bolak – balik). Percobaan beban nol dapat menentukan rugi – rugi rotasi motor. Pada keadaan beban nol, seluruh daya listrik input motor digunakan untuk mengatasi rugi – rugi inti dan rugi – rugi mekanik.

⁶Sumanto. 1993. Motor Listrik Arus Bolak Balik .Yogyakarta Hal : 8



Rugi – rugi listrik motor dapat ditentukan yaitu tahanan DC, tahanan belitan dapat langsung diukur pada terminal belitan jangkar dan belitan penguat secara pengukuran DC, yaitu dengan mengukur tegangan dan arus dengan sumber DC pada belitan tersebut, atau dengan menggunakan ohm meter (jembatan wheatstone) Pada motor AC, tahanan equivalen motor dapat ditentukan dengan percobaan block rotor (hubungan singkat), dimana pada keadaan ini rangkaian equivalen motor adalah sama dengan rangkaian equivalen hubung singkat dari suatu transformator. jadi daya keadaan ini merupakan rugi – rugi tahanan atau belitan pada keadaan ini rugi – rugi inti dapat di abaikan karena tegangan hubungan singkat relatif kecil di bandingkan dengan nominalnya Rugi rugi stray load adalah rugi – rugi yang paling sulit ditukur dan berubah terhadap beban motor. rugi – rugi ini ditentukan sebagai rugi – rugi sisa (rugi – rugi pengujian dikurangi rugi – rugi konvensional),

Rugi – rugi pengujian adalah daya input di kurangi daya output, rugi-rugi konvensional adalah jumlah dari rugi - rugi inti, rugi – rugi mekanik, rugi – rugi belitan. Rugi-rugi stray load juga dapat ditentukan dengan anggapan kira-kira 1 % dari daya output dengan kapasitas 150 kw atau lebih. Dan untuk motor – motor yang lebih kecil dari itu dapat di abaikan.

2.1.6 Rugi-rugi Pada Motor Induksi

Dapat dikatakan efisiensi 100%. Tetapi pada keadaan yang sebenarnya, tentu ada kerugian energi yang menyebabkan efisiensi dibawah 100 %. Dalam sistem konversi energi elektro mekanik yakni dalam operasi motor – motor listrik terutama pada motor induksi, total daya yang diterima sama dengan daya yang diberikan, ditambah dengan kerugian daya yang terjadi, atau :

$$P_{in} = P_{out} + P_{Rugirugi} \dots \dots \dots (2.5)$$

Dimana :

P_{in} : Total daya yang diterima motor (watt)

P_{out} : Daya yang diterima motor untuk melakukan kerja (watt)

$P_{rugi-rugi}$: Total kerugian daya yang dihasilkan oleh motor (watt)



Dari persamaan diatas, perlu di pelajari faktor – faktor yang menyebabkan efesiensi selalu dibawah 100 %. Untuk itu perlu diketahui kerugian daya apa yang saja yang timbul selama motor beroperasi :

1. Belitan dalam motor yang dinamakan rugi – rugi listrik (rugi- rugi belitan)
2. Kerugian daya yang timbul langsung karena putaran motor, yang dinamakan rugi – rugi rotasi Rugi – rugi rotasi ini terbagi menjadi dua jenis yaitu :
 - a. Rugi – rugi mekanis akibat putaran .
 - b. Rugi –rugi inti akibat kecepatan putaran dan fluks medan.

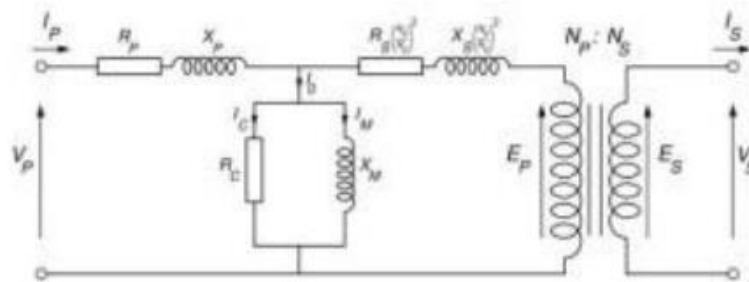
2.1.7 Menghitung Daya Keluaran Motor

Menghitung daya keluaran motor harus diketahui seluruh rugi daya yang ada daya masuk ke motor bersifat elektris dapa diketahui secara mudah dengan melakukan pengukuran secara langsung namun rugi-rugi daya misalnya rugi daya lilitan baik stator maupun rotor sulit untuk diketahui melalui pengukuran demikian juga dengan rugi daya yang bersifat mekanik seperti rugi gesek dan angin serta daya keluaran yang bersifat mekanik pada poros motor sulit untuk diketahui melalui pengukuran. Untuk itu perlu dicari cara lain untuk menghitung besarnya daya daya tersebut khususnya bila ingin diketahui besarnya daya mekanik keluar dari motor yang terdapat pada poros motor. Salah satu cara yang banyak digunakan adalah dengan menggunakan teori diagram lingkaran motor induksi. Dan teori tersebut dapat diketahui besarnya seluruh daya yang bekerja pada motor induksi, baik secara langsung dengan perhitungan maupun secara tidak langsung dengan menggunakan diagram lingkaran yang telah dibuat. Disamping itu untuk mengetahui rumusan seluruh daya yang bekerja didalam motor induksi juga dapat dilihat dari rangkaian ekivalennya dimana rangkaian ekivalen dari tranformator. Perbedaanya adalah terletak pada sisi sekunder pada trafo dan sisi rotor pada motor.

Seperti gambar 2.8, Pada transformator, keluaran berupa besaran listrik dan tidak ada gerakan sehingga rangkaian ekivalen trafo pada sisi sekundernya terhubung buka. Sedangkan pada motor listrik keluaranya berupa gesekan yang timbul sebagai



akibat adanya interaksi antara rapat fluks magnet (B) dan arus yang mengalir pada rotor (I_r) sehingga rangkaian ini sisi rotornya harus dalam keadaan tertutup.



Gambar 2.8 Rangkaian ekuivalen motor listrik saat motor diam tak berputar

Keterangan :

V_1 : Tegangan sumber ke stator

E_1 : GGL pada stator

I_1 : Arus masuk ke stator

I_1' : Ekuivalen arus rotor pada stator

R_1 : Tahanan stator

E_2 : GGL rotor

X_2 : Reaktansi stator

R_2 : Tahanan lilitan rotor

R_c : Tahanan ekuivalen inti besi

X_2 : Reaktansi ekuivalen inti besi

I_2 : Arus pada lilitan rotor

I_0 : Arus tanpa beban

Terlihat pada gambar 2.8 bahwa bila motor berputar dengan beban sehingga mengakibatkan terjadinya slip sebesar ' s ', belum dapat diekspresikan pada rangkaian ekuivalen tersebut. Untuk menyatakan keadaan tersebut. Untuk menyatakan keadaan tersebut di lakukan perubahan terhadap rangkaian ekuivalen rotor seperti yang ditunjukkan pada gambar 3a dan 3b pada saat motor dibebani putarannya akan berubah dan menurut rumus 2 besarnya slip tersebut adalah



$$S = \frac{N_s - N_r}{N_m} \dots\dots\dots(2.6)$$

Dengan n_m : kecepatan putar motor (rpm) ; $N_s = (60 \times f_1) / p$: kecepatan putar medan sinkron (rpm); s : slip; f_2 : frekuensi sumber (Hz) dan p : jumlah pasang kutub dalam keadaan tersebut frekuensi arus rotor $f_2 = sf_2$ sehingga besar ggl rotor dan reaktansi rotor sebagai fungsi frekuensi masing masing berubah menjadi sE_2 dan sX_2 . Dengan demikian maka rangkaian rotor pada saat motor berputar dan dibebani dengan slip "s" adalah seperti yang ditunjukkan pada gambar 3a, dan untuk mengekspresikan besarnya beban di lakukan penjabaran sebagai berikut :

$$\begin{aligned} E_2 &= I_2 (R_2 + jsX_2) \\ &= I_2 (R_2 I_s - R_2 + R_2 + jX_2) \\ &= I_2 \{ (R_2 I_s - R_2) + (R_2 + jX_2) \} \\ &= I_2 [R_2 = jX_2 + R_2 (1 - s : s)] \dots\dots\dots(2.7) \end{aligned}$$

2.2 Pompa

Pompa adalah suatu alat untuk memindahkan fluida cair dari suatu tempat ke tempat lain dengan memberikan gaya tekan terhadap zat yang akan dipindahkan. Contohnya, pemindahan minyak mentah dari tangki penampungan bahan baku ke dalam kolom distilasi untuk diolah, contoh lainnya yaitu pengangkatan air dari dalam sumur untuk dialirkan ke rumah warga.

Pada dasarnya, prinsip kerja pompa dalam melakukan pengaliran yakni dengan cara memberikan gaya tekan terhadap fluida. Tujuan dari gaya tekanan tersebut ialah untuk mengatasi friksi atau hambatan yang timbul di dalam pipa saluran ketika proses pengaliran sedang berlangsung. Friksi tersebut umumnya disebabkan oleh adanya beda elevasi (ketinggian) antara saluran masuk dan saluran keluar, dan juga karena adanya tekanan balik yang harus dilawan. Tanpa adanya tekanan pada cairan maka cairan tersebut tidak mungkin untuk dialirkan/dipindahkan.

2.2.1 Jenis-Jenis Pompa

Pada bagian ini akan dijelaskan tentang jenis-jenis pompa, karena seperti yang telah



disebutkan di atas bahwa pompa hadir dengan berbagai jenis berdasarkan cara kerjanya masing-masing. Secara garis besar, alat ini hanya digolongkan dalam dua jenis, yakni pompa perpindahan positif (positive displacement pump) dan pompa dinamik (dynamic pump).

Pada dasarnya, cairan apapun dapat ditangani oleh hampir semua jenis pompa, namun pemilihannya harus disesuaikan dengan viskositas cairan dan perbedaan elevasi. Dalam pengaplikasiannya di lapangan, pompa sentrifugal dianggap lebih ekonomis dan lebih banyak digunakan bila dibandingkan dengan pompa rotary dan reciprocating.

A. Pompa Perpindahan Positif

Pompa ini dikenal sesuai dengan caranya beroperasi yaitu, cairan diambil dari sisi suction, kemudian diberi gaya tekan di dalam rumah pompa dan dipindahkan ke sisi discharge, perpindahan fluida di dalam rumah pompa berlangsung secara positif. Pompa ini digunakan di berbagai macam sektor industri, terutama untuk memindahkan air maupun fluida berviskositas tinggi. Pompa perpindahan positif masih digolongkan menjadi 2 jenis berdasarkan cara pemindahannya, yaitu:

1. Pompa *Reciprocating*

Cara kerja pada pompa *reciprocating* saat mengalirkan fluida yaitu, mengkonversikan atau mengubah energi mekanis dari penggerak pompa menjadi energi dinamis/potensial terhadap cairan yang dipindahkan, perpindahan energi ke cairan terjadi melalui elemen berupa gear atau sering juga disebut crank/cam yang bergerak secara memutar dan memberikan dorongan terhadap piston. Piston inilah yang selanjutnya akan menekan fluida ke arah discharge sehingga dapat mengalir. Jadi dapat disimpulkan bahwa, prinsip kerja dari pompa reciprocating yakni memberikan tekanan terhadap cairan melalui jarum piston. Dalam penggunaannya di lapangan, pompa ini dominan digunakan untuk pemompaan cairan kental, contohnya untuk keperluan pengaliran minyak mentah.

2. Pompa *Rotary*

Pompa jenis ini memiliki prinsip kerja yang tidak jauh berbeda dengan pompa



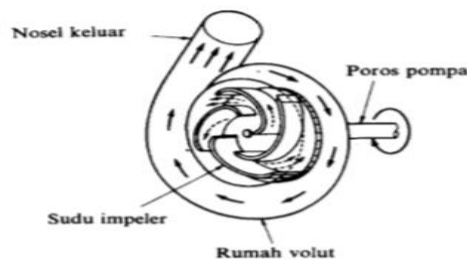
reciprocating, tetapi elemen pemindahannya tidak bergerak secara translasi melainkan bergerak secara rotasi di dalam casing (rumah pompa). Perpindahan dilakukan oleh gaya putaran sebuah gear dan baling-baling di dalam sebuah ruang bersekat, namun masih pada casing yang sama. Komponen utama pompa rotary sendiri terdiri dari: gear dalam, gear luar, lobe dan baling-baling dorong. Pompa ini umumnya digunakan untuk layanan khusus dengan kondisi khusus di lokasi industri.

B. Pompa Dinamik

Pompa dinamik juga dikarakteristikan oleh caranya beroperasi, yaitu; impeler yang berputar akan mengubah energi kinetik menjadi tekanan maupun kecepatan yang diperlukan untuk mengalirkan fluida. Sama halnya dengan pompa perpindahan positif, pompa dinamik juga masih digolongkan ke dalam dua jenis, yaitu:

1. Pompa Sentrifugal⁷

Pompa sentrifugal, seperti diperlihatkan dalam Gambar 2.9, mempunyai sebuah impeler (baling-baling) untuk mengangkat zat cair dari tempat yang lebih rendah ke tempat yang lebih tinggi.



Gambar 2.9 Bagan aliran fluida dalam pompa sentrifugal⁷.

Daya dari luar diberikan kepada poros pompa untuk memutar impeler di dalam zat cair. Maka zat cair yang ada di dalam impeler, oleh dorongan sudu-sudu ikut berputar. Karena timbul gaya sentrifugal maka zat cair mengalir dari tengah impeler ke luar melalui saluran di antara sudu-sudu. Di sini head tekanan zat cair menjadi lebih tinggi. Demikian pula head kecepatannya bertambah besar karena zat cair mengalami

⁷Sularso. 2000. Pompa dan Kompresor . Jakarta Hal : 4



percepatan. Zat cair yang keluar dari impeler ditampung oleh saluran berbentuk volut (spiral) di keliling impeler dan disalurkan ke luar pompa melalui nosel. Di dalam nosel ini sebagian head kecepatan aliran diubah menjadi head tekanan.

Jadi impler pompa berfungsi memberikan kerja kepada zat cair sehingga energi yang dikandungnya menjadi bertambah besar. Selisih energi per satuan berat atau head total zat cair antara flens isap dan flens keluar pompa disebut Head Total Pompa.

Dari uraian di atas jelas bahwa pompa sentrifugal dapat mengubah energi mekanik dalam bentuk kerja poros menjadi energi fluida. Energi inilah yang mengakibatkan pertambahan head tekanan, head kecepatan, dan head potensial pada zat cair yang mengalir secara kontinyu.

2. Pompa Desain khusus

Pompa jenis ini dirancang untuk suatu kondisi khusus di dalam berbagai bidang sesuai dengan kebutuhannya. Contohnya jet pump atau ejector, pompa jenis ini terdiri dari sebuah tabung pancar, nozzle konvergen dan venturi berbentuk diffuser. Cara kerjanya ialah, pada bagian konvergen dihubungkan dengan pipa yang berfungsi sebagai penghisap cairan. Fluida dapat terhisap oleh pompa karena adanya daya penggerak dalam bentuk energi tekanan, selanjutnya fluida akan dialirkan melalui nozzle dan masuk kedalam tabung dengan kecepatan tinggi sehingga menyebabkan kevakuman di dalam tabung pompa. Fluida yang terhisap tadi akan menyatu dengan fluida penggerak dan kemudian ikut mengalir. Pompa desain khusus seperti jet pump umumnya digunakan di sumur-sumur minyak, selain itu, model lainnya juga banyak digunakan oleh pemadam kebakaran untuk memompakan busa bersama dengan air.

2.2.2 Performa Pompa

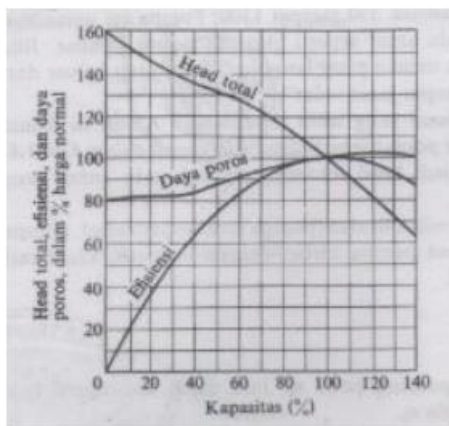
Bentuk pompa umumnya tergantung dari N_s . Jadi dapat dimengerti bila karakteristiknya tergantung pada N_s . Karakteristik sebuah pompa dapat digambarkan dalam kurva – kurva karakteristik, yang menyatakan besarnya head total pompa, daya



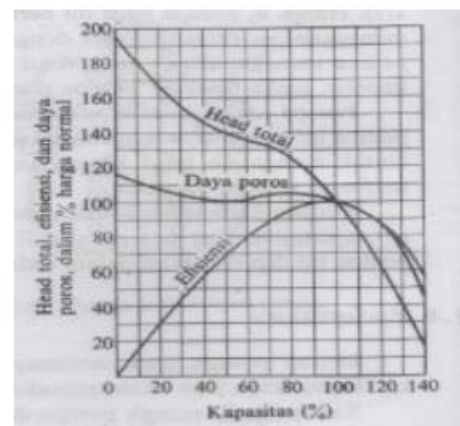
Politeknik Negeri Sriwijaya

poros dan efisiensi pompa terhadap kapasitas. Kurva performansi tersebut biasanya digambarkan pada kecepatan yang tetap.

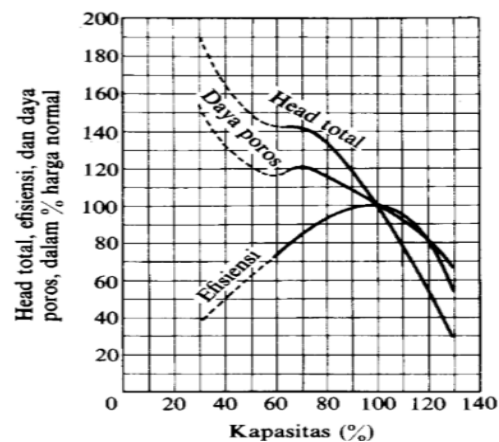
Gambar 2.10(a),(b) memperlihatkan contoh kurva performansi untuk pompa dengan harga ns yang berbeda – beda. Di sini besarnya kurva karakteristik dinyatakan dalam persen. Titik 100% untuk harga kapasitas, Head total pompa, dan daya pompa diambil pada keadaan efisiensi maksimum.



(a) Kurva karakteristik pompa Vout



(b) Kurva karakteristik pompa aliran campur



(c) kurva karakteristik pompa aksial

Gambar 2.10 Karakteristik pompa⁸

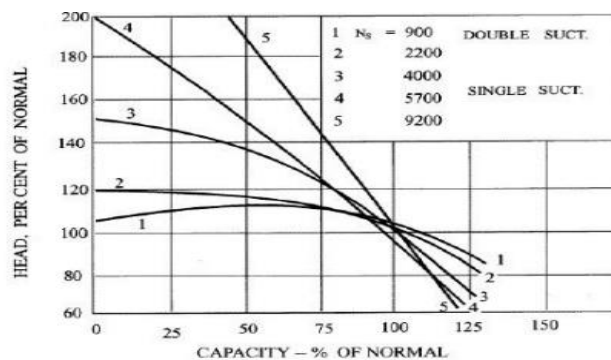
⁸Sularso. 2000. Pompa dan Kompresor . Jakarta Hal : 10



Politeknik Negeri Sriwijaya

Pada gambar 2.10 dapat dilihat bahwa apabila zat cair mendidih, maka akan timbul gelembung-gelembung uap zat cair. Hal ini dapat terjadi pada zat cair yang sedang mengalir di dalam pompa maupun di dalam pipa. Tempat-tempat yang bertekanan rendah dan fatis yang berkecepatan tinggi di dalam aliran, sangat rawan terhadap terjadinya kavitasi.

Pada pompa misalnya, bagian yang mudah mengalami kavitasi adalah pada sisi isapnya. Kavitasi akan timbul bila tekanan isap terlalu rendah. Jika pompa mengalami kavitasi, maka akan timbul suara berisik dan getaran. Selain itu performansi pompa akan menurun secara tiba-tiba, sehingga pompa tidak dapat bekerja dengan baik. Jika pompa dijalankan dalam keadaan kavitasi secara terus menerus dalam jangka lama, maka permukaan dinding saluran di sekitar aliran yang berkavitasi akan mengalami kerusakan. Permukaan dinding akan termakan sehingga menjadi berlubang-lubang atau bopeng. Peristiwa ini disebut erosi kavitasi, sebagai akibat dari tumbukan gelembung-gelembung uap yang pecah pada dinding secara terus-menerus.



Gambar 2.11 Kapasitas Kecepatan Spesifik yang berbeda-beda

Dari gambar 2.11 terlihat bahwa kurva Head – Kapasitas menjadi semakin curam pada pompa dengan harga n_s semakin besar. Kurva daya terhadap kapasitas mempunyai harga minimum bila kapasitas aliran sama dengan nol pada pompa sentrifugal dengan n_s kecil. Sebaliknya, pada pompa aliran.

Campur dan pompa aliran aksial dengan n_s besar, harga daya mencapai maksimum pada kapasitas aliran sama dengan nol. Kurva efisiensi terhadap kapasitas



dari pompa sentrifugal pada umumnya berbentuk mendekati busur lingkaran.

Harga efisisensinya hanya sedikit menurun bila kapasitas berubah menjauhi harga optimumnya.

2.2.3 Dasar Perhitungan Pompa

Pada sebuah mesin listrik yang digunakan sebagai motor pompa daya listrik yang dihasilkan ditentukan oleh beberapa faktor antara lain :

A = Luas penampang pipa (m^2)

ρ = Massa jenis cairan (kg/m^3)

Q = Debit aliran (m^3/s)

v = Kecepatan aliran (m/s)

Sehingga daya mekanik pada pompa dapat ditentukan dengan menggunakan rumus :

$$P_{\text{mekanik}} = \rho \cdot Q \cdot v^2 \dots\dots\dots(2.8)$$

Debit aliran pada pompa air adalah luas penampang pipa yang digunakan dikali dengan kecepatan aliran cairan yang dipompakan pada pipa tersebut dan secara teoritis dirumuskan dengan :

$$Q = A \cdot v \dots\dots\dots(2.9)$$

$$A = \pi \cdot r^2 \dots\dots\dots(2.10)$$

1. Reynold Number

Reynold Number digunakan untuk mengetahui jenis aliran yang terjadi dalam sistem aliran fluida di dalam pipa

$$Re = \frac{\rho \cdot d \cdot v}{\mu} \dots\dots\dots(2.11)$$



Dimana :

$Re = \text{Reynold number}$

$\rho = \text{Massa jenis fluida (kg/m}^3 \text{)}$

$v = \text{Kecepatan aliran (m/s)}$

Pembagian jenis aliran berdasarkan *Reynold Number* yaitu :

- Jika *Reynold Number* < 2300 adalah jenis aliran laminar.
- Jika *Reynold Number* $= 2300$ adalah jenis aliran transisi.
- Jika *Reynold Number* > 2300 adalah jenis aliran turbulen.

2. Daya Air

Daya air merupakan energi yang secara efektif diterima oleh fluida dari pompa per satuan waktu, dan dapat dirumuskan :

$$P_f = \gamma \cdot Q \cdot H \dots\dots\dots(2.12)$$

Dimana :

$\gamma = \text{Berat fluida per satuan volume (kN/m}^3 \text{)}$

$Q = \text{Kapasitas (m}^3 \text{/s)}$

$H = \text{Head total pompa (m)}$

$P_f = \text{Daya fluida (kW)}$

2.3 Jenis Starting Pada Motor

Pemakaian motor listrik sebagai tenaga penggerak di industri dalam pengoperasian dapat dibagi kedalam tiga tahap pengendalian/pengontrolan :

- a) Pengontrolan pada saat motor akan dijalankan.

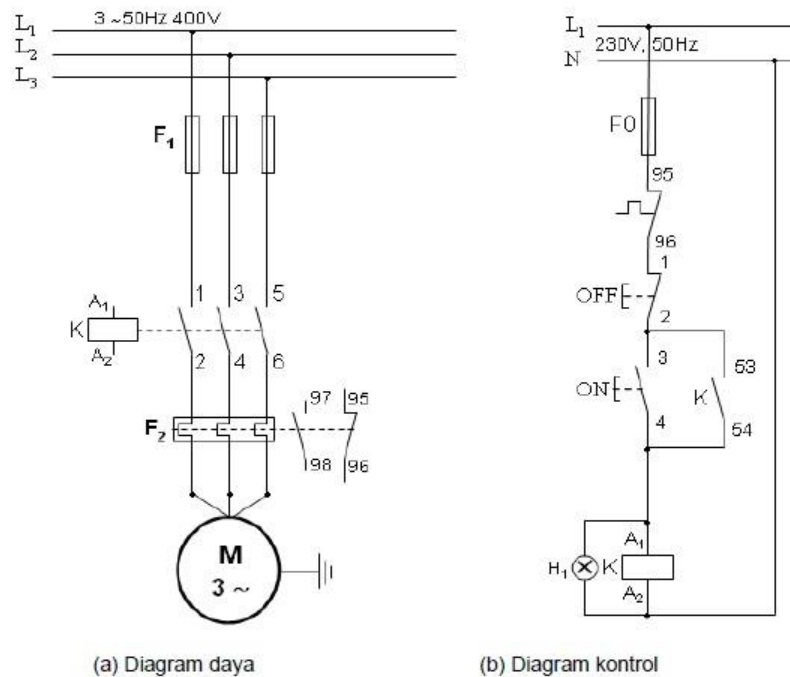


- b) Pengontrolan pada saat motor sudah berjalan (pengaturan kecepatan, pembalikan arah putaran dan lain-lain)
- c) Pengontrolan pada saat motor akan dihentikan (pengereman).

Pengasutan motor adalah termasuk kedalam pengontrolan motor pada saat dijalankan yang tujuannya adalah untuk mengurangi arus mula jalan (arus starting). Macam-macam pengasutan motor induksi 3 fasa adalah sebagai berikut:

1. Starting secara Direct on line (DOL)

Pengasutan secara langsung DOL (direct on line) akan menarik arus sangat besar dari jaringan (6 – 7 kali arus normal), dan torsi pengasutan 0,5 – 1,5 x torsi nominal dan digunakan untuk daya tidak lebih dari 5 kW.



Gambar 2.12 Starting motor DOL

Pada gambar 2.12 (a) dan (b) merupakan diagram kontrol daya dari starting motor DOL. Perlu diperhatikan bahwa dengan sistem DOL, waktu pengasutan singkat, tidak lebih dari 10 detik dan kapasitas BHP motor maksimum 5kW. Atau pengasutan DOL

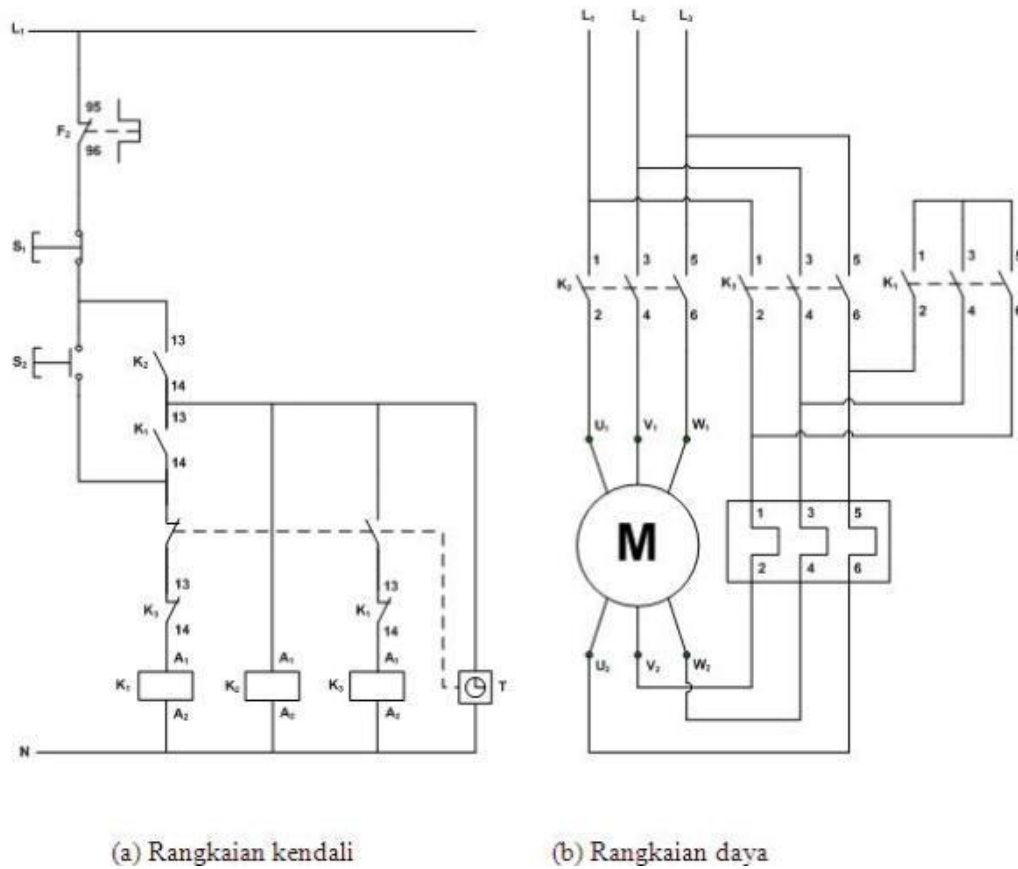


dapat direkomendasikan dengan kapasitas motor hingga 0,5 -1MW apabila waktu asut 5 detik dan persediaan daya pada feeder cukup, dimana waktu t dan besaran kuat arus starting motor tidak melampau tripping alat proteksi.

2. Starting dengan Star Delta

Pada gambar 2.13 merupakan diagram daya dan control dari star delta. Star awal dilakukan dalam hubungan bintang dan kemudian motor beroperasi normal dalam hubungan delta. Pengendalian bintang ke delta dapat dilakukan dengan sakelar mekanik Y / Δ atau dengan relay / kontaktor magnet.

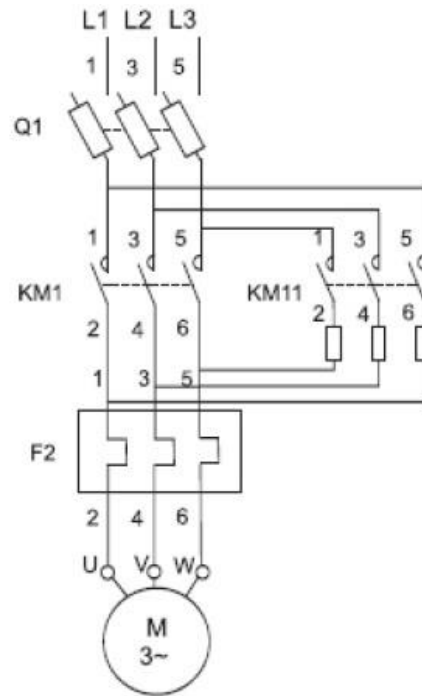
Metode starting Y / Δ banyak digunakan untuk menjalankan motor induksi rotor sangkar yang mempunyai daya di atas 5 kW (atau sekitar 7 HP). Untuk menjalankan motor dapat dipilih starter yang umum dipakai antara lain : saklar rotari Y / Δ , saklar khusus Y / Δ atau dapat juga menggunakan beberapa kontaktor magnet beserta kelengkapannya yang dirancang khusus untuk rangkaian starter Y / Δ . Perlu diingat jika pada name plat motor tertulis 220/380 V, sedangkan tegangan jala-jala yang tersedia sumber 3 fasa 380 V, maka motor tersebut hanya boleh dihubungkan bintang (Y) artinya motor berjalan normal pada hubungan bintang pada tegangan 380 V. Motor tersebut dapat dilakukan starting Y / Δ . Apabila dihubungkan pada tegangan jala 3 fasa 220 V. Besar arus pada hubungan bintang adalah 1/3 kali arus jika motor dihubungkan segitiga.



Gambar 2.13 Starting way delta

3. Starting Dengan Menggunakan Tahanan Primer (Primary Resistance)

Starting dengan menggunakan tahanan primer adalah suatu cara menurunkan tegangan yang masuk ke motor melalui tahanan yang disebut tahanan primer karena tahanan ini terhubung pada sisi stator. Penggunaan metode starting ini banyak digunakan untuk motor-motor kecil. Untuk rangkaian diagram satu garis dari starting ini dapat dilihat pada gambar 2.14.

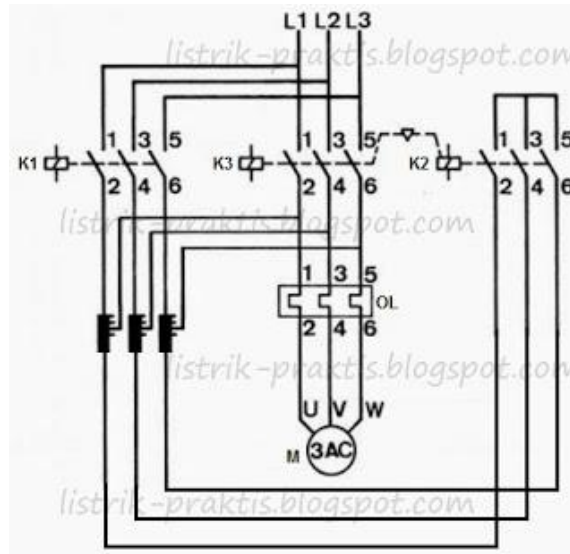


Gambar 2.14 Starting dengan **Tahanan Primer**

Pada gambar 2.14, merupakan diagram control dari Starting dengan **Tahanan Primer**. Bedanya dari starting jenis yang lain, starting ini menggunakan tahanan pada kontaktor 11.

4. Starting dengan Auto Transformer

Starting dengan cara ini adalah dengan menghubungkan motor pada tahapan tegangan sekunder auto transformer terendah. Setelah beberapa saat motor dipercepat, transformator diputuskan dari rangkaian dan motor terhubung langsung pada tegangan penuh. Keuntungan dari metoda starting ini adalah tegangan motor pada saat distart pada kondisi torsi yang telah besar daripada metoda starting dengan tahanan primer (primary resistance starting), pada penurunan tegangan yang sama dan arus jaringan yang sama.

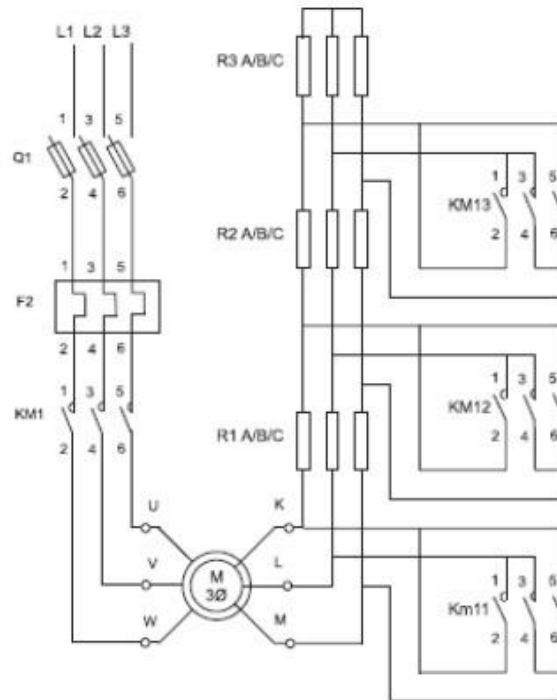


Gambar 2.15 Starting dengan Auto Transformer

Pada gambar 2.15, dapat dilihat bahwa untuk starting jenis ini menggunakan 3 buah kontaktor dan 3 buah autotransformator yang berfungsi untuk mengurangi tegangan supply karena aliran daya motor tersebut melalui autotrafo yang dihubungkan bintang. Untuk besar penurunan tegangan yang diberikan motor tergantung dengan posisi tapping pada gulungan autotransformator tersebut.

5. Starting dengan Pengaturan Tahanan Rotor.

Cara ini adalah untuk menurunkan arus starting (I_2) dengan menggunakan tahanan (R) yang dihubungkan pada rangkaian rotor. Starting ini hanya dapat dipakai untuk motor induksi motor rotor lilit (motor slip ring), sedangkan untuk motor induksi rotor sangkar hal ini tidak bisa dilakukan. Motor induksi rotor lilit juga disebut motor induksi cincin geser (slipring), rotornya mempunyai lilitan yang dihubungkan ke tahanan luar. Dapat dilihat pada gambar 2.16, pada waktu starting, rotor dihubungkan dengan tahanan (Rheostat) dengan harga R yang maksimum. Setelah motor running, maka rheostat dihubung singkat dan rangkaian rotor dalam hubungan bintang secara langsung tanpa disisipi Rheostat.



Gambar 2.16 Starting dengan Pengaturan Tahanan Rotor.

2.4 Jenis-jenis Sensor

Sensor adalah sesuatu yang digunakan untuk mendeteksi adanya perubahan lingkungan fisik atau kimia. Variabel keluaran dari sensor yang diubah menjadi besaran listrik disebut Transduser. Berikut jenis sensor yang banyak digunakan :

2.4.1 Sensor Proximity

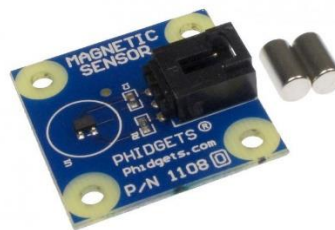
Sensor proximity merupakan sensor atau saklar yang dapat mendeteksi adanya target jenis logam dengan tanpa adanya kontak fisik. Biasanya sensor ini terdiri dari alat elektronis solid-state yang terbungkus rapat untuk melindungi dari pengaruh getaran, cairan, kimiawi, dan korosif yang berlebihan. Sensor proximity dapat diaplikasikan pada kondisi penginderaan pada objek yang dianggap terlalu kecil atau lunak untuk menggerakkan suatu mekanis saklar. Bentuk saklar ini bisa dilihat pada gambar 2.17.



Gambar 2.17 Sensor *Proximity*.

2.4.2 Sensor Magnet

Sensor Magnet atau disebut juga relai buluh, adalah alat yang akan terpengaruh medan magnet dan akan memberikan perubahan kondisi pada keluaran. Dapat dilihat pada gambar 2.18, Seperti layaknya saklar dua kondisi (on/off) yang digerakkan oleh adanya medan magnet di sekitarnya. Biasanya sensor ini dikemas dalam bentuk kemasan yang hampa dan bebas dari debu, kelembapan, asap ataupun uap.



Gambar 2.18 Sensor Magnet.

2.4.3 Sensor Sinar

Sensor sinar terdiri dari 3 kategori. Fotovoltaic atau sel solar adalah alat sensor sinar yang mengubah energi sinar langsung menjadi energi listrik, dengan adanya penyinaran cahaya akan menyebabkan pergerakan elektron dan menghasilkan tegangan. Demikian pula dengan Fotokonduktif (fotoresistif) yang akan memberikan perubahan tahanan (resistansi) pada sel-selnya, semakin tinggi intensitas cahaya yang terima, maka akan semakin kecil pula nilai tahanannya. Sedangkan Fotolistrik adalah sensor yang berprinsip kerja berdasarkan pantulan karena perubahan posisi/jarak suatu sumber sinar (inframerah atau laser) ataupun target pemantulnya, yang terdiri dari



pasangan sumber cahaya dan penerima.

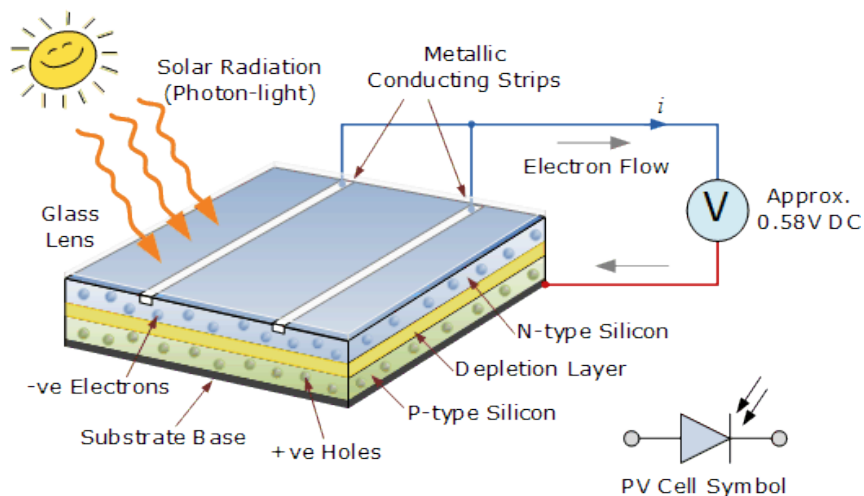
a. Sensor Cahaya Tipe Fotovoltaik

Sensor cahaya tipe fotovoltaiik adalah sensor cahaya yang dapat memberikan perubahan tegangan pada output sensor cahaya tersebut apabila sensor tersebut menerima intensitas cahaya. Salah satu [contoh sensor cahaya](#) tipe fotovoltaiik adalah solar cell atau sel surya seperti pada gambar 2.19.



Gambar 2.19 [contoh sensor cahaya](#) tipe fotovoltaiik

Sensor cahaya tipe photovoltaic adalah alat sensor sinar yang mengubah energi sinar langsung menjadi energi listrik. Sel solar silikon yang modern pada dasarnya adalah sambungan PN dengan lapisan P yang transparan. Jika ada cahaya pada lapisan transparan P akan menyebabkan gerakan elektron antara bagian P dan N, jadi menghasilkan tegangan DC yang kecil sekitar 0,5 volt per sel pada sinar matahari penuh. Berikut konstruksi dari sensor cahaya tipe fotovoltaiik.



Gambar 2.20 konstruksi dari sensor cahaya tipe fotovoltaiik.



b. Sensor Cahaya Tipe Fotokonduktif

Sensor cahaya tipe fotokonduktif akan memberikan perubahan resistansi pada terminal outputnya sesuai dengan perubahan intensitas cahaya yang diterimanya. Sensor cahaya tipe fotovoltai ini ada beberapa jenis diantaranya adalah :

- a) LDR (*Light Depending Resistor*)
- b) Photo Transistor
- c) Photo Dioda

a) LDR (*Light Depending Resistor*)



Gambar 2.21 LDR (*Light Depending Resistor*)

LDR adalah sensor cahaya yang memiliki 2 terminal output, dimana kedua terminal output tersebut memiliki resistansi yang dapat berubah sesuai dengan intensitas cahaya yang diterimanya seperti gambar 2.21. Dimana nilai resistansi kedua terminal output LDR akan semakin rendah apabila intensitas cahaya yang diterima oleh LDR semakin tinggi.

b) *Photo Transistor*



Gambar 2.22 *Photo transistor*

Photo transistor adalah suatu transistor yang memiliki resistansi antara kaki kolektor dan emitor dapat berubah sesuai intensitas cahaya yang diterimanya. *Photo*



transistor memiliki 2 terminal output dengan nama emitor dan kolektor, dimana nilai resistansi emeitor dan kolektro tersebut akan semakin rendah apabila intensitas cahaya yang diterim photo transistor semnakin tinggi.

c) Photo Dioda



Gambar 2.23 Photo dioda

Photo dioda adalah suatu dioda yang akan mengalami perubahan resistansi pada terminal anoda dan katoda apabila terken cahaya. Nilai resistansi anoda dan katoda pada photo dioda akan semakin rendah apabila intensitas cahaya yang diterima photodioda semkin tinggi.

c. Sensor Cahaya Tipe Fotolistrik (Inframerah)

Sensor cahaya infra merah adalah sensor cahaya yang hanya akan merespon perubahan cahaya inframerah. Sensor cahaya infra merah pada umumnya berupa photo ttransistor atau photo dioda. Dimana apabila [sensor cahaya infra merah](#) ini menerima pancaran cahaya infra merah maka pada terminal outputnya akan memberikan perubahan resistansi. Akan tetapi ada juga sensor cahaya yang telah dibuat dalam bentuk chip IC penerima sensor infra merah seperti yang digunakan pada penerima remote televisi. Dimana chip IC sensor infra merah ini akan memberikan perubahan tegangan output apabila IC sensor infra merah ini menerima pancaran cahaya infra merah. Berikut adalah bentuk dari IC sensor infra merah tersebut.



Gambar 2.24 Sensor Cahaya Ultraviolet

Sensor cahaya ultraviolet merupakan sensor cahaya yang hanya merespon perubahan intensitas cahaya ultraviolet yang mengenainya. Sensor cahaya ultraviolet ini akan memberikan perubahan besaran listrik pada terminal outputnya pada saat menerima perubahan intensitas pancaran cahaya ultraviolet. Sensor cahaya yang populer salah satunya UVtron. Modul sensor cahaya UVtron akan memberikan perubahan tegangan output pada saat sensor UVtron menerima perubahan intensitas cahaya ultraviolet. Berikut adalah bentuk modul sensor cahaya UVtron.



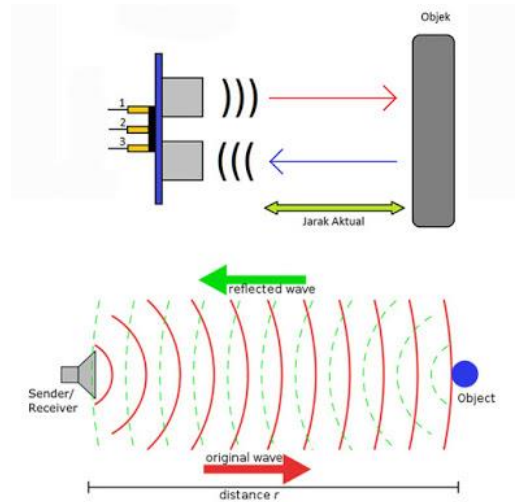
Gambar 2.25 Modul [sensor cahaya](#) ultraviolet UVtron

2.4.4 Sensor Ultrasonik

Pada sensor ultrasonik, gelombang ultrasonik dibangkitkan melalui sebuah alat yang disebut dengan piezoelektrik dengan frekuensi tertentu. Piezoelektrik ini akan menghasilkan gelombang ultrasonik (umumnya berfrekuensi 40kHz) ketika sebuah osilator diterapkan pada benda tersebut. Secara umum, alat ini akan menembakkan gelombang ultrasonik menuju suatu area atau suatu target. Setelah gelombang menyentuh permukaan target, maka target akan memantulkan kembali gelombang tersebut. Gelombang pantulan dari target akan ditangkap oleh sensor, kemudian sensor



menghitung selisih antara waktu pengiriman gelombang dan waktu gelombang pantul diterima.



Gambar 2.26 cara kerja sensor ultrasonik

Gambar 2.26 diatas menunjukkan cara kerja sensor ultrasonik dengan *transmitter* dan *receiver* (atas), sensor ultrasonik dengan single sensor yang berfungsi sebagai transmitter dan receiver sekaligus .

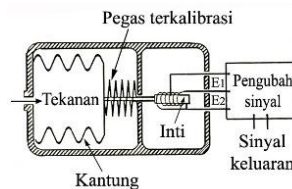
Secara detail, cara kerja sensor ultrasonik adalah sebagai berikut:

- Sinyal dipancarkan oleh pemancar ultrasonik dengan frekuensi tertentu dan dengan durasi waktu tertentu. Sinyal tersebut berfrekuensi diatas 20kHz. Untuk mengukur jarak benda (sensor jarak), frekuensi yang umum digunakan adalah 40kHz.
- Sinyal yang dipancarkan akan merambat sebagai gelombang bunyi dengan kecepatan sekitar 340 m/s. Ketika menumbuk suatu benda, maka sinyal tersebut akan dipantulkan oleh benda tersebut.
- Setelah gelombang pantulan sampai di alat penerima, maka sinyal tersebut akan diproses untuk menghitung jarak benda tersebut. Dimana S merupakan jarak antara sensor ultrasonik dengan benda (bidang pantul), dan t adalah selisih antara waktu pemancaran gelombang oleh transmitter dan waktu ketika gelombang pantul diterima receiver.



2.4.5 Sensor Tekanan

Sensor tekanan - sensor ini memiliki transduser yang mengukur ketegangan kawat, dimana mengubah tegangan mekanis menjadi sinyal listrik. Dasar penginderaannya pada perubahan tahanan pengantar (transduser) yang berubah akibat perubahan panjang dan luas penampangnya.



Gambar 2.27 konstruksi sensor tekanan

Konstruksi dari sebuah sensor tekanan terdiri dari pegas terkalibrasi, kantung pengubah sinyal inti dan juga sinyal keluar (output). Prinsip kerja dari sensor ini dapat diawali dengan adanya perubahan tekanan pada kantung. Tekanan ini menyebabkan perubahan posisi inti kumparan yang dapat mengubah induksi magnetic pada kumparan . kumparan yang digunakan di sensor tekanan ini adalah *Center Tap* (CT) yang mana jika bagian intinya mengalami pergeseran maka induktansi pada salah satu kumparan akan meningkat. Namun hal yang sebaliknya terjadi dikumparan yang lain, yakni induksi kumparannya berkurang. Pengubah sinyal disensor tekanan ini memiliki fungsi mengubah induktansi magnetic pada kumparan menjadi sebuah tegangan listrik.

2.4.6 Sensor Kecepatan (RPM)

Sensor kecepatan atau velocity sensor merupakan suatu sensor yang digunakan untuk mendeteksi kecepatan gerak benda untuk selanjutnya diubah kedalam bentuk sinyal elektrik. Dalam prakteknya ada beberapa sensor yang digunakan untuk berbagai keperluan ini, sensor-sensor tersebut diantaranya:

- Tachometer dan Stroboscope
- Kabel Piezoelectric
- Muzzle velocity
- Encoder Meter



1. *Tachometer dan Stroboscope*

Pada setiap pelatihan audit pengukuran kecepatan misalnya untuk motor, pengukurannya sangat kritis karena kemungkinan terdapat perubahan frekuensi, slip pada *belt* dan pembebanan. Dalam hal ini ada dua jenis alat pengukur kecepatan yaitu *tachometer* dan *stroboscope*.

Tachometer.

Tachometer sederhana adalah jenis alat kontak, yang dapat digunakan untuk mengukur kecepatan yang memungkinkan dapat diakses secara langsung.

Tachometer biasanya merupakan magnet permanen generator DC kecil. Jika generator berotasi akan menghasilkan tegangan DC yang proporsional langsung terhadap kecepatan.



Gambar 2.28 Tachometer.

Pada *tachometer*, roda *tachometer* dikontakkan dengan badan yang berputar. Karena adanya gesekan diantara keduanya, setelah beberapa detik kecepatan roda *tachometer* sama dengan kecepatan poros berputar. Kecepatan ini ditampilkan pada panel sebagai putaran per menit (rpm). Kecepatan dari putaram poros diukur menggunakan magnetik pick up sensor.

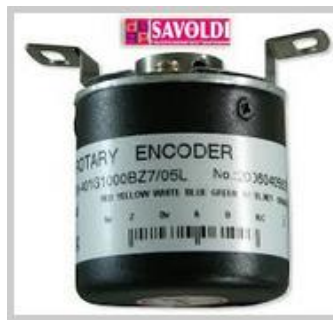
Kumparan kecil yang terletak dekat magnet menerima pulsa setiap kali magnet lewat. Dengan mengukur frekuensi pulsa maka kecepatan poros bisa ditentukan. Tegangan yang keluar adalah sangat kecil dan membutuhkan proses penguatan (amplifikasi) untuk bisa diukur.

2.4.7 Sensor Penyandi (*Encoder*)

Sensor Penyandi (*Encoder*) digunakan untuk mengubah gerakan linear atau putaran menjadi sinyal digital, dimana sensor putaran memonitor gerakan putar dari suatu alat. Sensor ini biasanya terdiri dari 2 lapis jenis penyandi, yaitu; Pertama,



Penyandi rotari tambahan (yang mentransmisikan jumlah tertentu dari pulsa untuk masing-masing putaran) yang akan membangkitkan gelombang kotak pada objek yang diputar. Kedua, Penyandi absolut (yang memperlengkapi kode binary tertentu untuk masing-masing posisi sudut) mempunyai cara kerja sang sama dengan perkecualian, lebih banyak atau lebih rapat pulsa gelombang kotak yang dihasilkan sehingga membentuk suatu pengkodean dalam susunan tertentu. Untuk bentuk dari sensor penyandi yang tersedia diluaran dapat dilihat pada gambar 2.29.



Gambar 2.29 Sensor Penyandi

2.4.8 Sensor Suhu

1. *Thermostat*

Thermostat adalah jenis Sensor suhu Kontak (*Contact Temperature Sensor*) yang menggunakan prinsip *Electro-Mechanical*. Thermostat pada dasarnya terdiri dari dua jenis logam yang berbeda seperti Nikel, Tembaga, Tungsten atau aluminium. Dua Jenis Logam tersebut kemudian ditempel sehingga membentuk Bi-Metallic strip. Bi-Metallic Strip tersebut akan bengkok jika mendapatkan suhu tertentu sehingga bergerak memutuskan atau menyambungkan sirkuit (ON/OFF) seperti yang terlihat pada gambar 2.30. Thermostat sering digunakan pada peralatan listrik seperti Oven, Seterika dan *Water Heater*.



Gambar 2.30 *Thermostat*.



2. Thermistor

Thermistor adalah komponen elektronika yang nilai resistansinya dipengaruhi oleh Suhu. Thermistor yang merupakan singkatan dari Thermal Resistor ini pada dasarnya terdiri dari 2 jenis yaitu PTC (*Positive Temperature Coefficient*) yang nilai resistansinya akan meningkat tinggi ketika suhunya tinggi dan NTC (*Negative Temperature Coefficient*) yang nilai resistansinya menurun ketika suhunya meningkat tinggi seperti pada gambar 2.31.

Thermistor yang dapat mengubah energi listrik menjadi hambatan ini terbuat dari bahan keramik semikonduktor seperti Kobalt, Mangan atau Nikel Oksida yang dilapisi dengan kaca.

Keuntungan dari Thermistor adalah sebagai berikut :

- a) Memiliki Respon yang cepat atas perubahan suhu.
- b) Lebih murah dibanding dengan Sensor Suhu jenis RTD (Resistive Temperature Detector).
- c) Rentang atau Range nilai resistansi yang luas berkisar dari 2.000 Ohm hingga 10.000 Ohm.
- d) Memiliki sensitivitas suhu yang tinggi.



Gambar 2.31 *Thermistor.*

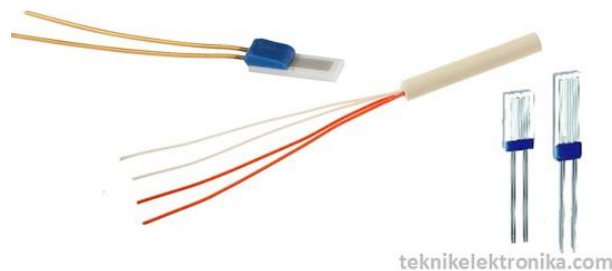


3. *Resistive Temperature Detector (RTD)*

Resistive Temperature Detector atau disingkat dengan RTD memiliki fungsi yang sama dengan Thermistor jenis PTC yaitu dapat mengubah energi listrik menjadi hambatan listrik yang sebanding dengan perubahan suhu. Namun Resistive Temperature Detector (RTD) lebih presisi dan memiliki keakurasian yang lebih tinggi jika dibanding dengan Thermistor PTC. Resistive Temperature Detector pada umumnya terbuat dari bahan Platinum sehingga disebut juga dengan *Platinum Resistance Thermometer* (PRT). Untuk bentuk dari sensor ini dapat dilihat pada gambar 2.32.

Keuntungan dari Resistive Temperature Detector (RTD) :

- a) Rentang suhu yang luas yaitu dapat beroperasi di suhu -200°C hingga $+650^{\circ}\text{C}$.
- b) Lebih linier jika dibanding dengan Thermistor dan Thermocouple
- c) Lebih presisi, akurasi dan stabil.



Gambar 2.32 *Resistive Temperature Detector.*

4. *Thermocouple (Termokopel)*

Thermocouple adalah salah satu jenis sensor suhu yang paling sering digunakan, hal ini dikarenakan rentang suhu operasional *Thermocouple* yang luas yaitu berkisar -200°C hingga lebih dari 2000°C dengan harga yang relatif rendah. *Thermocouple* pada dasarnya adalah sensor suhu *Thermo-Electric* yang terdiri dari dua persimpangan (junction) logam yang berbeda. Salah satu Logam di *Thermocouple* dijaga di suhu yang tetap (konstan) yang berfungsi sebagai junction referensi sedangkan satunya lagi dikenakan suhu panas yang akan dideteksi. Dengan adanya perbedaan suhu di dua persimpangan tersebut, rangkaian akan menghasilkan tegangan listrik tertentu yang



nilainya sebanding dengan suhu sumber panas. Keuntungan *Thermocouple* adalah sebagai berikut :

- a) Memiliki rentang suhu yang luas
- b) Tahan terhadap guncangan dan getaran
- c) Memberikan respon langsung terhadap perubahan suhu.



Gambar 2.33 *Thermocouple*.

2.5 Sistem Proteksi

Suatu sistem tenaga listrik tidak selamanya berjalan normal, karena dalam kenyataannya dapat terjadi suatu kondisi abnormal (seperti adanya gangguan atau terjadinya short circuit). Kondisi abnormal tersebut dapat membahayakan sistem secara keseluruhan, sehingga diperlukan adanya sistem proteksi yang dapat meminimalisasi efek dari kondisi abnormal tersebut. Fungsi dari sistem proteksi adalah untuk mengidentifikasi gangguan dan memisahkan bagian jaringan yang terganggu dari bagian lain yang masih normal (tidak terganggu) serta sekaligus mengamankan bagian yang masih normal tersebut dari kerusakan atau kerugian yang lebih besar. Gangguan pada sistem tenaga listrik dapat terjadi di pembangkit, jaringan transmisi maupun jaringan distribusi. Dimanapun gangguan itu terjadi, sistem proteksi harus dapat mengidentifikasi dan memisahkan bagian yang terganggu secepat mungkin.

Ada dua syarat dasar yang harus dipenuhi agar sistem proteksi dapat bekerja mengisolasi bagian sistem yang terganggu yaitu :

- a. Sistem tenaga listrik harus memiliki pemutus tenaga dengan jumlah yang cukup



untuk dapat melakukan tugas isolasi.

- b. Setiap pemutus tenaga harus dilengkapi dengan suatu alat kontrol yang dapat mendeteksi kondisi abnormal, dan membuka pemutus tenaga yang diperlukan untuk mengisolasi kondisi abnormal tersebut (selective fault clearance).

Untuk dapat menerapkan prinsip selectivity, suatu sistem tenaga listrik yang terdiri dari banyak pemutus tenaga harus diatur dan dikoordinasikan sedemikian rupa sehingga pada saat terjadinya kondisi abnormal, rele dapat membuka hanya pemutus tenaga yang diperlukan saja, hal inilah yang disebut dengan selective fault clearance. Rele proteksi harus diberi informasi yang memungkinkan rele untuk membedakan antara kondisi abnormal yang berada di dalam zona proteksinya (dimana harus terjadi tripping), dan gangguan eksternal atau arus beban normal (dimana tidak boleh terjadi tripping). Informasi ini diperoleh dari sistem tenaga listrik, seperti arus, tegangan dan sudut fasa antara keduanya yang diukur pada saat terjadi gangguan.

2.5.1 Komponen Proteksi Sistem Tenaga Listrik

Sistem proteksi tenaga listrik pada umumnya terdiri dari beberapa komponen yang di rancang untuk mengidentifikasi kondisi sistem tenaga listrik dan bekerja berdasarkan informasi yang diperoleh dari sistem tersebut seperti arus, tegangan atau sudut fasa antara keduanya. Informasi yang diperoleh dari sistem tenaga listrik akan digunakan untuk membandingkan besarnya dengan besaran ambang-batas (threshold setting) pada peralatan proteksi. Apabila besaran yang diperoleh dari sistem melebihi setting ambang-batas peralatan proteksi, maka sistem proteksi akan bekerja untuk mengamankan kondisi tersebut. Komponen sistem proteksi antara lain terdiri dari :

1. Rele Proteksi (Protection Relay)

Relay adalah suatu alat yang apabila diberi energi oleh besaran-besaran sistem yang tepat dapat memberi indikasi suatu kondisi abnormal. Apabila kontak-kontak rele menutup, maka rangkaian-rangkaian trip pemutus tenaga yang terkait mendapat energi



dan kontak-kontak breaker membuka, mengisolir bagian yang terganggu dari sistem. Rele proteksi dapat diklasifikasi berdasarkan fungsi atau kegunaannya.

2. Thermal Over Load Relay (TOR/TOL)

Instalasi motor listrik membutuhkan pengaman beban lebih dengan tujuan menjaga dan melindungi motor listrik dari gangguan beban lebih supaya motor listrik tidak mengalami kerusakan yang fatal. Rele pengaman arus lebih merupakan pengamanan motor akibat adanya arus lebih/beban lebih. Pengaman beban lebih atau over load yang digunakan pada instalasi motor listrik adalah *Thermal Over Load Relay* (TOR/TOL). Jika arus yang melalui penghantar yang menuju motor listrik melebihi kapasitas atau setting TOR/TOL, maka TOR/TOL drop atau terputus sehingga rangkaian yang menuju motor listrik terputus.

Thermal Over Load Relay (TOR/TOL) biasanya digandengkan dengan kontaktor, dipasaran ada juga pengaman beban lebih yang terintegrasi pada Motor Circuit Breaker. Relay ini biasanya dihubungkan pada kontaktor ke kontak utama 2, 4, dan 6 sebelum dihubungkan ke beban (motor). Gunanya untuk memberikan perlindungan terhadap motor dari kerusakan akibat beban lebih.

1. Penyebab Terjadinya Beban Lebih

Arus yang terlalu besar pada beban atau motor listrik akan mengalir pada belitan motor listrik dan dapat menyebabkan kerusakan dan atau terbakarnya belitan motor listrik. Untuk menghindari terjadinya panas yang berlebihan akibat beban lebih maka harus dipasang *Thermal Over Load Relay* (TOR/TOL) pada suatu rangkaian. Beberapa penyebab terjadinya beban lebih antara lain adalah:

- a. Beban mekanik pada motor listrik terlalu besar.
- b. Arus start terlalu besar dan terlalu lama putaran nominal tercapai atau motor listrik berhenti secara mendadak.
- c. Terjadi hubung singkat pada motor listrik (antara fasa dengan fasa atau antara fasa dengan body).



- d. Motor listrik bekerja hanya dengan 2 fasa atau terbukanya salah satu fasa dari motor listrik 3 fasa.

2. Prinsip Kerja *Thermal Over Load Relay (TOR/TOL)*

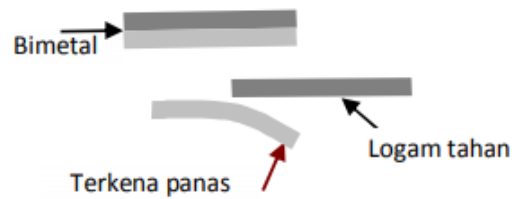
Prinsip kerja *Thermal Over Load Relay (TOR/TOL)* berdasarkan panas (temperatur) yang ditimbulkan oleh arus yang mengalir melalui elemen-elemen pemanas bimetal, yang mengakibatkan bimetal melengkung selanjutnya akan menggerakkan kontak-kontak mekanik pemutus rangkaian listrik kontak 95 – 96 membuka dan kontak 97 – 98 menutup. TOR dipasang secara seri dengan kontak utama kontaktor magnet. Pada gambar bimetal dialiri arus utama. Jika terjadi arus lebih, maka bimetal akan membengkok dan secara mekanis akan mendorong kontak bantu Normally Close (NC) 95-96. Oleh karena dalam prakteknya kontak bantu NC 95-96 disambung seri pada rangkaian koil kontaktor magnet, maka jika NC lepas, koil kontaktor tidak ada arus, kontaktor magnet tidak aktif dan memutuskan kontak utama. Nilai pengaman arus lebih ini bisa diset dengan mengatur jarak pendorong kontak.

Dalam prakteknya pada permukaan rele pengaman arus lebih terdapat bidang kecil yang berbentuk lingkaran, yang tengahnya bisa diputar dengan obeng minus. Juga terdapat tombol tekan untuk mereset. Contoh salah satu TOR ditunjukkan pada Gambar 2.34.



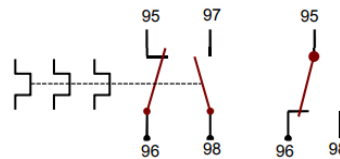
Gambar 2.34 Contoh Salah Satu TOR

Prinsip kerja dari bimetal pada TOR ditunjukkan pada Gambar 2.35 di bawah ini.



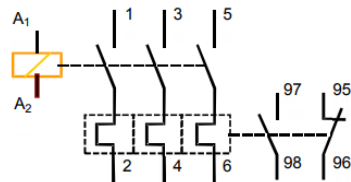
Gambar 2.35 Prinsip Kerja dari Bimetal

Jika terjadi beban lebih maka arus menjadi besar dan menyebabkan penghantar panas. Panas pada penghantar melewati bimetal sehingga bimetal melengkung dan selanjutnya aliran listrik yang menuju motor listrik terputus dan motor listrik belitannya tidak sampai terbakar. Diagram hubungan kontak-kontak pada TOR ditunjukkan pada Gambar 2.36.

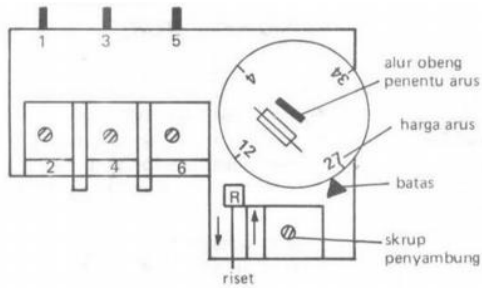


Gambar 2.36 Diagram Kontak-Kontak pada TOR.

Diagram penyambungan kontak-kontak pada TOR pada magnetic contactor ditunjukkan pada Gambar 2.37.

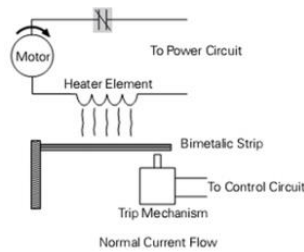


Gambar 2.37 Diagram Penyambungan TOR pada *Magnetic Contactor*.

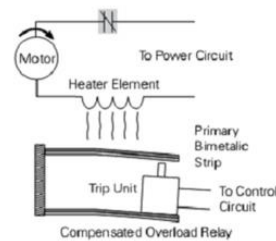


Gambar 2.38 Cara Mengatur TOR.

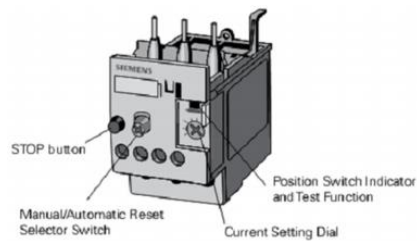
Untuk mengatur besarnya arus maksimum yang dapat melewati TOR, dapat diatur dengan memutar penentu arus dengan menggunakan obeng sampai diperoleh harga yang diinginkan.



Gambar 2.39 TOR dalam keadaan normal.



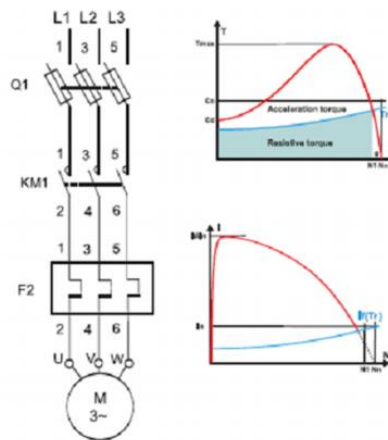
Gambar 2.40 TOR dalam keadaan beban lebih.



Gambar 2.41 Konstruksi TOR.



Perlengkapan lain dari thermal beban lebih adalah reset mekanik yang fungsinya untuk mengembalikan kedudukan kontak 95 – 96 pada posisi semula (menghubung dalam keadaan normal) dan kontak 97 – 98 (membuka dalam keadaan normal). Setelah tombol reset ditekan maka kontak 95 – 96 yang semula membuka akibat beban lebih akan kembali menutup dan kontak 97 – 98 akan kembali membuka. Bagian lain dari thermal beban lebih adalah pengatur batas arus.



Gambar 2.42 Sistem Proteksi Pengontrolan Motor

Dari Gambar 2.42, sistem proteksi pengontrolan motor mempunyai dua, dimana masing-masing akan memproteksi arus yang berbeda, maka batas penyetelan pemutusan arus tidak sama besar. Proteksi dari sumber tegangan dengan sekering, baik untuk rangkaian daya maupun untuk rangkaian kontrol. Fungsi sekering dapat diganti dengan Miniatur Circuit Breaker (MCB), lihat Gambar 2.41. Keandalan Thermal Over Load (TOR) sebagai alat proteksi adalah besaran arus proteksi dapat disetel mengacu kepada arus nominal motor. Untuk mencari arus nominal motor dapat dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$P = \sqrt{3} \times V_L \times I_N \times \cos \varphi \dots \dots \dots (2.13)$$

Keterangan :

P = daya mekanik (watt)

V_L = tegangan listrik (volt)



I_N = Arus Nominal (Ampere)

$\text{Cos } \varphi$ = faktor daya

Besaran arus TOR yang disetel adalah 110 - 120% dari arus nominal motor.

Penyetelan pemutusan arus TOR = $110\% \times I_N$ (2.14)

Untuk alat proteksi lainnya seperti MCB, batas pemutusan arusnya tidak dapat disetel. Untuk menentukan nominal arus MCB sebagai proteksi rangkaian adalah minimum 120% dari kuat arus rangkaian yang diproteksi, misalnya beban motor.

Kontaktor-kontaktor magnet dari Gambar, selain sebagai sakelar, juga berfungsi sebagai proteksi tegangan nol. Dimana bila ke kumparannya tidak bertegangan, maka kontaktor akan memutus hubungan ke beban. Hal ini akan terjadi apabila sistem kontrol tersambar petir. Koordinasi waktu tripping alat-alat proteksi dari Gambar 2.41, harus tepat, dimana waktu pemutusan TOR harus lebih singkat dari waktu pemutusan sekering, terutama saat terjadi gangguan hubung singkat.

3. Karakteristik Thermal Overload Relay

Overload Relay mempunyai karakteristik sesuai dengan standar-standar kelistrikan, diantaranya IEEE, NEMA, IEC, dll. Misalnya suatu Overload Relay (TOR) tertulis IEC 947-4-1, Class 20 bernilai trip = 10 Ampere. Selang waktu trip digunakan agar TOR tidak trip bila sedang start maupun ketika ada beban kejut. Dengan berpedoman pada karakteristik tersebut, maka bisa didesain nilainya dengan memperhatikan arus start dan selang waktunya sehingga tidak trip serta nilai yang tepat untuk trip (sesuai dengan kemampuan motor listrik yang dikendalikan) jika terjadi overload sehingga jaringan listrik segera terputus dan motor listrik aman dari kerusakan/terbakar. Karakteristik motor harus diketahui karakteristik thermalnya berdasarkan informasi dari motor (name plate) tersebut.

- a. Terdapat konstruksi yang berhubungan langsung dengan terminal kontaktor magnet.



- b. Full automatic function, Manual reset, dan memiliki pengaturan batas arus yang dikehendaki untuk digunakan.
- c. Tombol trip dan tombol reset trip, dan semua sekerup terminal berada di bagian depan.
- d. Indikator trip.
- e. Mampu bekerja pada suhu $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ hingga $+55\text{ }^{\circ}\text{C}$ atau $(-13\text{ }^{\circ}\text{F}$ hingga $+131\text{ }^{\circ}\text{F})$.

Thermal overload relay (TOR) mempunyai tingkat proteksi yang lebih efektif dan ekonomis, yaitu:

1. Pelindung beban lebih / Overload.
2. Melindungi dari ketidakseimbangan fasa / Phase failure imbalance.
3. Melindungi dari kerugian / kehilangan tegangan fasa / Phase Loss.

Pada motor FDF arus yang mengalir normal adalah 138 Ampere ,sedangkan pada TOR arus disetting sebesar 155 Ampere, karena menurut aturannya $I\text{-setting} = I\text{ nominal} \times 110\%$.

3.Sekering (fuse)

Sekering adalah suatu peralatan proteksi kerusakan yang disebabkan oleh arus berlebihan yang mengalir dan memutuskan rangkaian dengan meleburkan elemen sekering. Cara kerja fuse, jika dalam sebuah sistem rangkaian elektronika atau rangkain listrik terjadi arus lebih maka sekering (fuse) akan putus sehingga arus listrik tidak lagi mengalir dalam sistem tersebut, hal ini dimaksudkan untuk mengamankan komponen elektronika lain. Kelebihan arus tersebut dapat disebabkan karena adanya hubung singkat atau karena kelebihan beban output. Banyak terjadi kebakaran karena hubung singkat akibat sekering tidak berfungsi, rusak, atau bahkan karena tidak dipasang sama sekali. Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam pemilihan sekering (fuse) sebagai berikut :

1. Arus nominal sekering (current rating) adalah arus yang mengalir secara terus



menerus tanpa terjadi panas yang berlebihan dan kerusakan.

2. Tegangan nominal (voltage rating) yaitu tegangan kerja antar konduktor yang diproteksi atau peralatan.
3. Time current protection yaitu suatu lengkung karakteristik untuk menentukan waktu pemutusan.
4. Pre arcing time adalah waktu yang diperlukan oleh arus yang besar untuk dapat meleburkan elemen sekering.
5. Arcing time adalah waktu elemen sekering melebur dan memutuskan rangkaian sehingga arus jatuh menjadi nol.
6. Minimum fusing current adalah suatu harga minimum dari arus yang akan menyebabkan elemen sekering beroperasi (melebur).
7. Fusing factor adalah suatu perbandingan antara minimum fusing current dengan current rating dari sekering. Umumnya sekering yang tergolong pada semi enclosed mempunyai faktor 2 dan untuk type HRC mempunyai faktor serendah mungkin 1,2.
8. Total operating time adalah waktu total yang diambil oleh sekering secara lengkap dapat mengisolasi dengan gangguan.
9. Cut off ini adalah satuan fungsi yang penting sekering HRC. Jika elemen sekering melebur dan membatasi harga arus yang dicapai ini kita kenal dengan sebutan "arus cut off".
10. Kategori of duty. Sekering diklasifikasikan pada kategori kesanggupan dalam menangani gangguan sesuai dengan harga arus prospective pada rangkaian.

Kategori A1 dan A2 untuk arus prospective. 1.0.kA dan 4.0 kA. Sedangkan untuk kategori AC3, AC4 dan AC5 untuk arus 16,5 kA, 33 kA dan 46 kA. Besarnya arus yang dapat meleburkan suatu pengaman lebur disebut faktor lebur. Besarnya faktor lebur antara 1 hingga 1,5 berdasarkan daerah pemakaian, atau dinyatakan sbb:



$$K = \frac{I}{I_N} \dots\dots\dots(2.15)$$

Dimana :

I = Arus kerja (A)

K = Faktor indikasi (1,1<K<1,5)

In = Arus nominal (A)

$$I_{SC} = k \times I_{start} \dots\dots\dots(2.16)$$