

BAB II

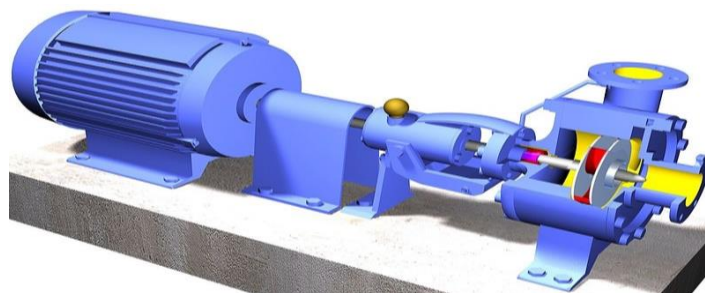
LANDASAN TEORI

2.1. Pengertian Pompa

Pompa adalah mesin atau peralatan mekanis yang digunakan untuk menaikkan cairan dari tempat yang rendah ke tempat yang tinggi atau untuk mengalirkan cairan dari tempat yang bertekanan rendah ke tempat yang bertekanan tinggi dan juga sebagai penguat laju aliran pada suatu sistem jaringan perpipaan.

Pada prinsipnya, pompa mengubah energi mekanik putaran pompa menjadi energi aliran fluida. Energi yang diterima oleh fluida akan digunakan untuk menaikkan tekanan dan mengatasi hambatan yang terdapat pada saluran yang dilalui.

Pompa area *balance of plant* PLTGU priok digunakan untuk memindahkan fluida berupa air sebagai proses pendinginan kondesor dan untuk proses perubahan air laut menjadi air *make up* sebagai air penambah. Selain itu pompa juga berfungsi sebagai penambah tekanan fluida .



Gambar 2.1 Motor Listrik di kopel dengan pompa.

2.2 Pengertian Motor Induksi

Motor listrik merupakan motor listrik arus bolak balik (ac) yang paling luas digunakan. Motor induksi sangat banyak digunakan di dalam kehidupan sehari hari di industri maupun rumah tangga. Motor induksi yang umum

dipakai adalah motor induksi 3 fasa dan motor induksi 1 fasa. Motor induksi 3 fasa dioperasikan pada sistem tenaga 3 fasa dan banyak digunakan dalam industri.

2.3 Prinsip Kerja Motor Induksi

Bila pada ke-3 fasa belitan stator diberikan tegangan 3 fasa seimbang maka pada inti stator akan terjadi medan putar, yang berputar sesuai dengan kecepatan sinkron. Fluksi yang berputar di sepanjang inti stator itu akan memotong batang-batang konduktor rotor, sehingga terimbas suatu tegangan imbas di rotor. Karena batang rotor terhubung singkat maka akan mengalir arus rotor pada batang-batang rotor tersebut, yang merupakan gaya putar rotor. Motor berputar dengan kopel putar sebesar gaya tersebut kali jari-jari (jarak batang konduktor - as).

Bila salah satu fasa masukan terputus, jadi motor hanya mendapat masukan 2 fasa maka tak akan terjadi medan putar sehingga kopel motor tidak terbangkitkan dan motor gagal *start*. Pada kondisi motor tanpa beban maka putaran motor mendekati N_s .

$$S = \frac{N_s - N}{N_s} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana S akan selalu ada pada operasi motor *asinkron*.

Pada beban mekanis motor makin besar, S akan makin besar pula. Saat itu kopel motor akan mengimbangi kopel beban. Beban yang besar akan menarik arus motor yang besar pula sehingga kopel motor = kopel beban dan terjadi pada putaran kerja sistem motor-beban.

2.4 Prinsip Pengontrolan Motor Induksi

Kata kontrol berarti mengatur atau mengendalikan, jadi yang dimaksud dengan pengontrolan motor adalah pengaturan atau pengendalian motor mulai dari pengasutan, pengoperasian hingga motor itu berhenti. Maka pengontrolan motor dapat dikategorikan menjadi tiga bagian menurut fungsinya, yaitu:

1. Pengontrolan pada saat pengasutan (*starting*)

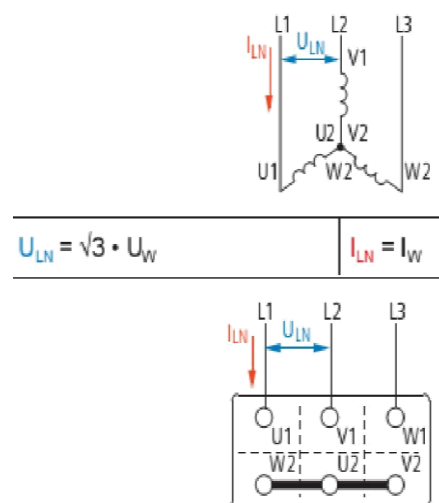
2. Pengontrolan pada saat motor dalam keadaan beroperasi
3. Pengaturan kecepatan, pembalikan arah putaran dan lain-lain)
4. Pengontrolan pada saat motor berhenti beroperasi (pengereman).

Motor induksi (*Asynchronous motor*) secara luas banyak digunakan di fasilitas industri dan bangunan besar. Rancangan dan perawatannya sederhana, dapat disesuaikan pada berbagai aplikasi di lapangan dan pengoperasiannya ekonomis. Ini sangat menguntungkan sebagai solusi pengendali motor induksi pada sisi harga dan kualitas.

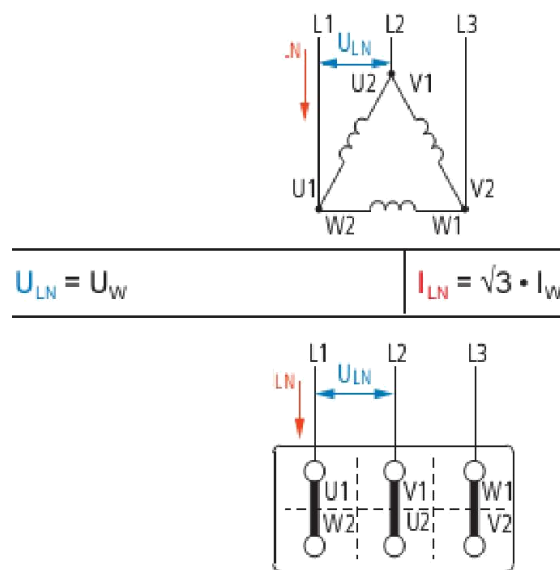
Karakteristik motor induksi tiga-fasa adalah arus bebannya tinggi pada sumber tegangan dengan pengasutan langsung. Menghasilkan arus *start* dan lonjakan yang tinggi jika diaplikasikan pada tegangan penuh, akan mengakibatkan penurunan tegangan sumber dan pengaruh transien torsi pada sistem mekanik.

2.5 Hubungan Motor Induksi Tiga Fasa

Jika motor induksi tiga-fasa dihubungkan ke sumber tegangan, data pada pelat nama motor harus disesuaikan dengan sumber tegangan dan frekuensinya. Hubungan diimplementasikan melalui enam terminal (versi standar) pada kotak terminal motor dan perbedaannya antara dua jenis rangkaian, hubungan bintang dan hubungan segitiga. Contoh untuk sumber tegangan tiga fasa 400 Volt, 50 Hz (lihat gambar 2.2 dan 2.3).



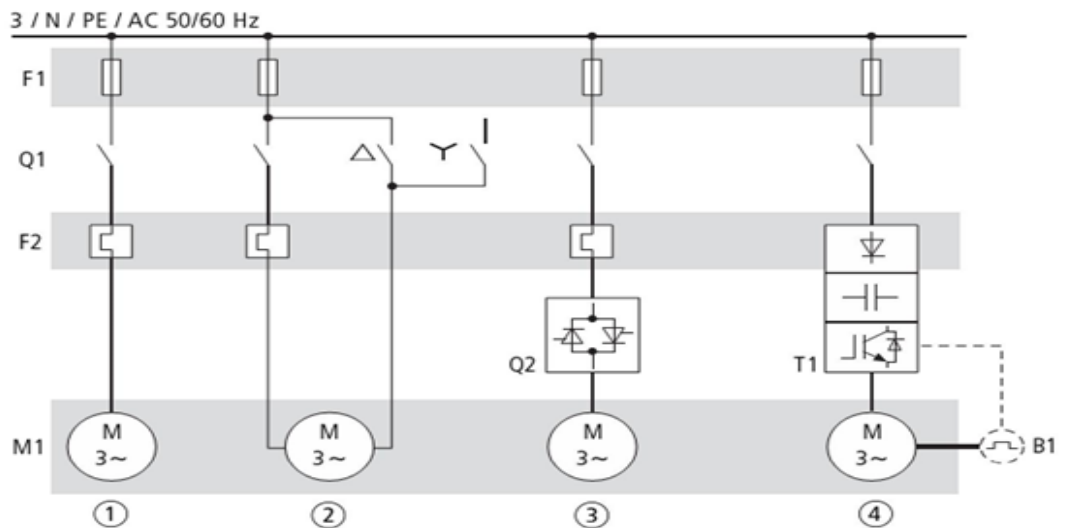
Gambar 2.2 Hubungan Bintang.



Gambar 2.3 Hubungan Segitiga.

2.6 Metode Pengasutan Motor Induksi

Pengasutan motor induksi dapat dilakukan antara lain :



Gambar 2.4. Metode Pengasutan Motor.

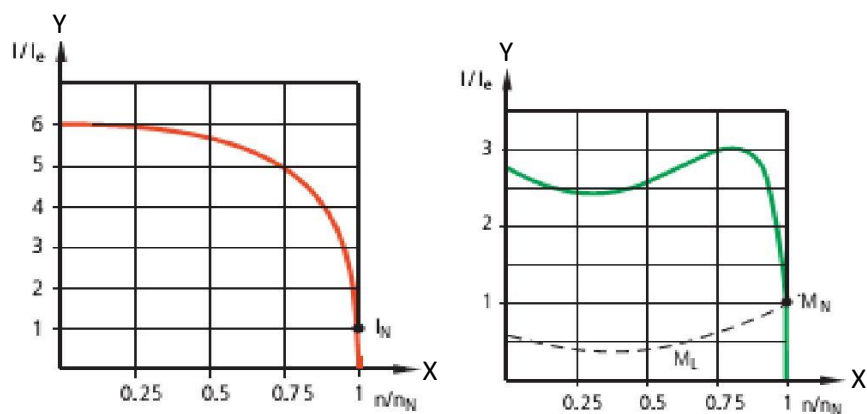
1. Pengasutan langsung motor.
2. Pengasutan *Start-delta* (bintang-segitiga) motor.
3. *Soft starter* (Q2), motor *starter* kontinyu dan bertahap, alternatif secara

elektronik sebagai pengganti pengasutan *Start-delta* (bintang-segitiga) motor.

4. *Variable Frequency Drivers* atau inverter sebagai pengendali kecepatan motor dan terintegrasi dengan proteksi motor secara elektronik.

2.6.1 Pengasutan Langsung (Direct on line/DOL starter)

1. Karakteristik umum :
 - a. Arus *starting* : 4 sampai 8 kali arus nominal.
 - b. Torsi *starting* : 0,5 sampai 1,5 kali torsi nominal.
2. Kriteria pemakaian :
 - a. 3 terminal motor , daya rendah sampai menengah.
 - b. Arus *starting* tinggi dan terjadi drop tegangan.
 - c. Peralatan sederhana.



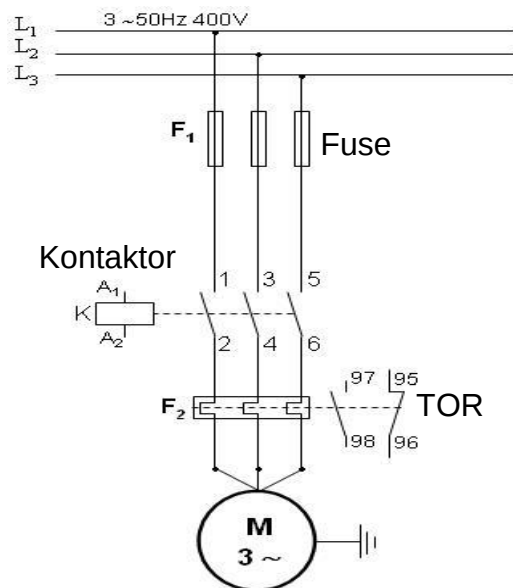
- a. Putaran (X) dan Arus (Y)
- b. Putaran (X) dan Torsi (Y)

Gambar 2.5. Karakteristik arus, torsi dan kecepatan.

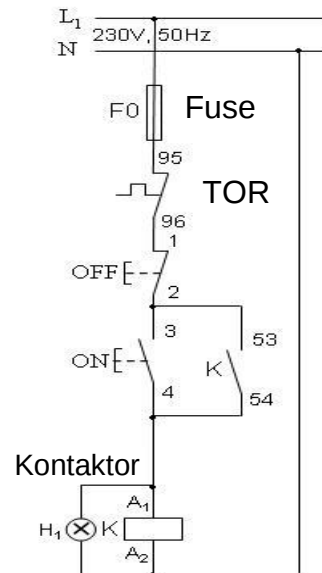
Harga torsi berdasarkan daya dapat ditentukan dari persamaan berikut :

Torsi = 5250 x Daya / Putaran (Newton/Meter)

$$T = 5250 \times \text{HP} / n \text{ (Nm)} \dots \dots \dots (2.2)$$



(a) Diagram daya



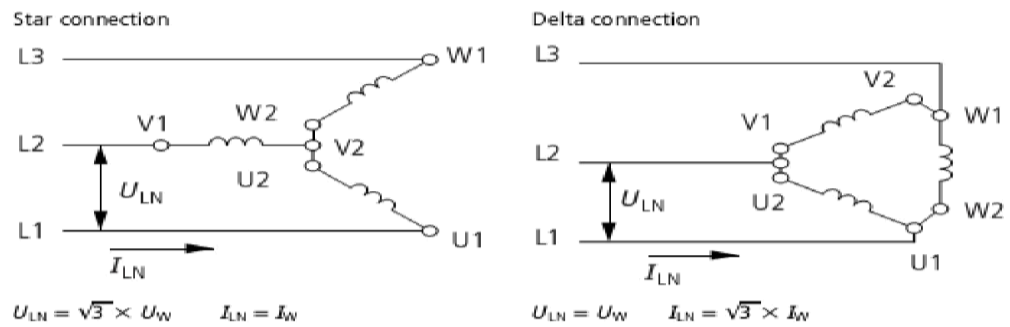
(b) Diagram kontrol

Gambar 2.6 Rangkaian daya dan rangkaian kontrol pengasutan langsung

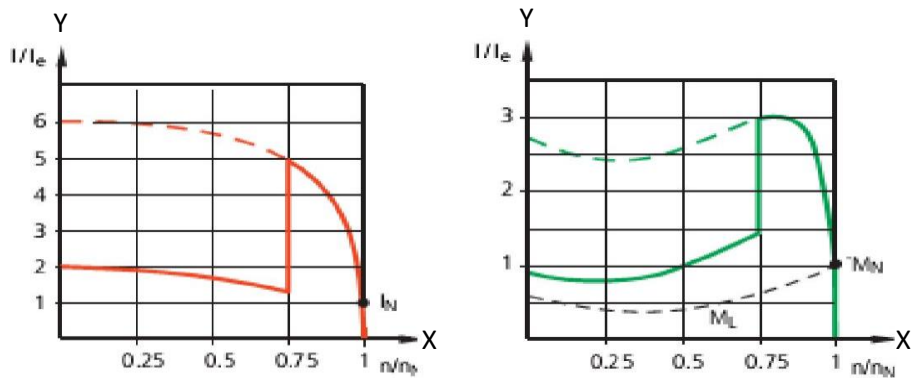
2.6.2 Pengasutan Star-Delta

Metoda pengasutan *star delta* banyak digunakan untuk menjalankan motor induksi yang mempunyai daya di atas 5 kW (atau sekitar 7 HP). Untuk menjalankan motor dapat dipilih *starter* yang umum dipakai antara lain : saklar rotari *star delta*, saklar khusus *star delta* atau dapat juga menggunakan beberapa kontaktor magnit beserta kelengkapannya yang dirancang khusus untuk rangkaian *starter star delta*.

Perlu diingat jika pada *name plate* motor tertulis 220/380 V, sedangkan tegangan jala-jala yang tersedia sumber 220 V, maka motor tersebut hanya boleh dihubungkan star artinya motor berjalan normal pada hubungan star pada tegangan 380 V. Motor tersebut dapat dilakukan *pengasutan* star delta. Apabila dihubungkan pada tegangan jala 3 fasa 380 V.



Gambar 2.7 Perbandingan tegangan hubungan bintang dan segitiga



Gambar 2.8 Karakteristik arus, torsi dan kecepatan.

1. Karakteristik Umum :

- Arus *start* 1,8 sampai 2,6 kali arus nominal
- Torsi *start* 0,5 kali torsi nominal

2. Kriteria pemakaian :

- 6 terminal motor
- Torsi puncak pada perubahan *star* ke *delta*

Perbandingan arus *start* bintang – segitiga

$$I_{st Y} = \frac{V/\sqrt{3}}{Z \text{ fasa}} = \frac{\text{tegangan fasa}}{Z \text{ fasa}}$$

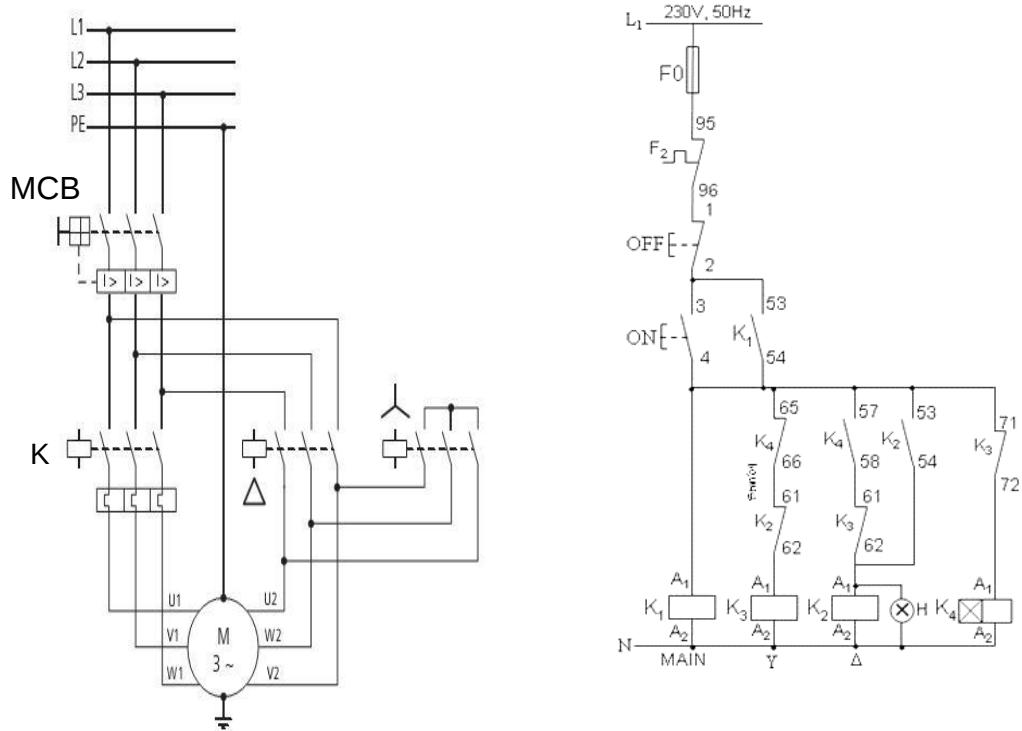
$$I_{st \Delta} = \frac{V}{Z \text{ fasa}} \cdot \sqrt{3}$$

$$\frac{I_{st Y}}{I_{st \Delta}} = \frac{V/\sqrt{3}}{Z \text{ fasa}} \times \frac{Z \text{ fasa}}{V \cdot \sqrt{3}}$$

$$\boxed{\frac{I_{st Y}}{I_{st \Delta}} = \frac{1}{3}}$$

.....(2.3)

Dari hasil rumus di atas dapat dilihat bahwa besar arus pada saat hubungan bintang adalah $1/3$ kali arus jika motor dihubungkan segitiga.



(a) Diagram daya

(b) Diagram kontrol

Gambar 2.9 Rangkaian daya dan pengendali pengasutan Star Delta

2.7 Komponen Pengontrolan Motor Listrik

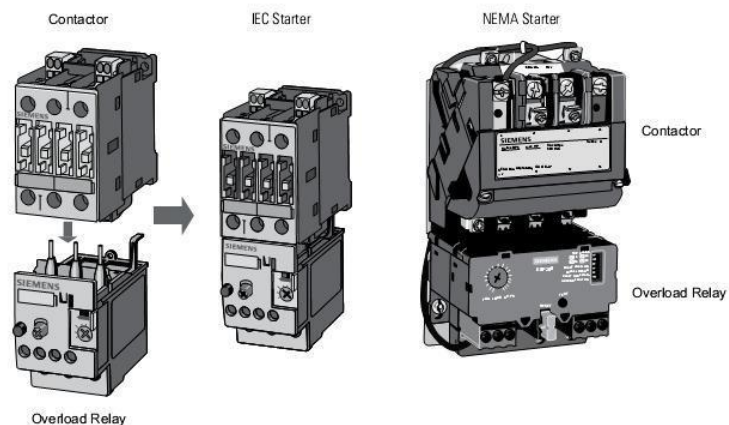
2.7.1. Kontaktor Magnet (*Magnetic Contactor*)

Kontaktor magnet atau sakelar magnet adalah sakelar yang bekerja berdasarkan kemagnetan, artinya saklar ini dapat bekerja apabila ada gaya kemagnetan. Magnet berfungsi sebagai penarik dan pelepas kontak-kontak.

Sebuah kontaktor harus mampu mengalirkan dan memutuskan arus listrik dalam keadaan normal. Arus listrik yang mengalir secara normal adalah arus listrik yang mengalir selama pemutusan tidak terjadi. Kumparan magnet kontaktor (*coil*) dapat dirancang untuk arus searah (DC) atau arus bolak-balik (AC). Kontaktor AC pada inti magnetnya dipasang cincin hubung singkat untuk menjaga arus kemagnetan tetap stabil, sehingga kontaktor tersebut

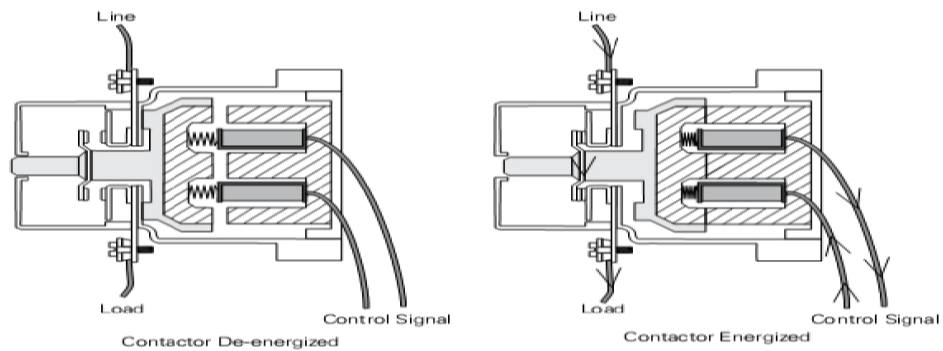
bekerja normal. Sedangkan pada kumparan magnet DC tidak dipasang cincin hubung singkat. Bila kontaktor DC digunakan pada tegangan bolak-balik (AC) maka kemagnetannya akan timbul dan hilang setiap saat mengikuti bentuk gelombang tegangan bolak-balik (AC).

Bila kontaktor yang dirancang untuk tegangan bolak-balik (AC) digunakan pada tegangan searah (DC), maka pada kumparan tersebut tidak akan menimbulkan induksi sehingga kumparan menjadi panas. Sebaliknya bila kontaktor untuk tegangan searah (DC) yang tidak mempunyai cincin hubung singkat dihubungkan dengan tegangan bolak-balik (AC) maka kontaktor tersebut akan bergetar yang disebabkan oleh kemagnetan pada kumparan magnet yang timbul dan hilang setiap detik 100 kali.



Gambar 2.10 Kontaktor magnet.

Biasanya pada sebuah kontaktor terdapat beberapa kontak, yaitu kontak normal terbuka (*normaly open/ NO*) dan kontak normal tertutup (*normaly close/ NC*). Kontak NO berarti saat kontaktor belum bekerja kedudukannya membuka dan bila kontaktor bekerja kedudukan kontakannya menutup/menghubung. Jadi fungsi kontak NO dan NC berlawanan. Fungsi kontak-kontak tersebut terdiri dari kontak utama dan kontak bantu. Kontak utama terdiri dari kontak NO dan kontak bantu terdiri dari kontak NO dan NC. Kontruksi dari kontak utama berbeda dengan kontak bantu, dimana kontak utama mempunyai luas permukaan yang luas dan tebal. Sedangkan kontak bantu luas permukaannya kecil dan tipis



Gambar 2.11 Kontak-kontak pada kontaktor magnet.

Kontak utama digunakan untuk mengalirkan arus daya yang besar pada rangkaian utama, yaitu arus yang diperlukan untuk peralatan listrik misalnya : motor listrik, pesawat pemanas dan sebagainya. Sedangkan kontak bantu digunakan untuk mengalirkan arus pada rangkaian pengendali (kontrol) yang diperlukan untuk kumparan magnet, alat bantu rangkaian, lampu indikator, dan sebagainya. Katagori penggunaan kontaktor magnet sebagai berikut

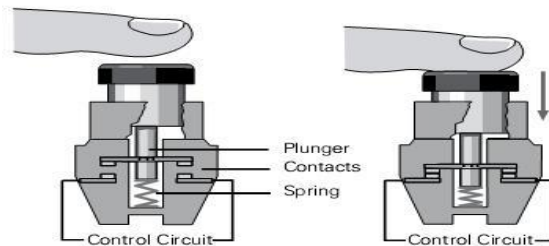
Tabel 2.1 Tabel Kategori Penggunaan Kontaktor Magnet

Kategori	Uraian Kategori menurut IEC
AC1	Non Induktif atau beban induktif ringan.
AC2	<i>Pengasutan Motor slip-ring.</i>
AC3	Pengasutan Motor Induksi Rotor Sangkar dan hanya pensaklaran setelah kecepatan motor naik.
AC4	Pengasutan Motor Induksi <i>Rotor Sangkar</i> dan pengendali <i>inching</i> dan <i>plugging</i> . Rangkaian <i>Start/Stop</i> .
AC11	Rangkaian Kontrol (Auxiliary)

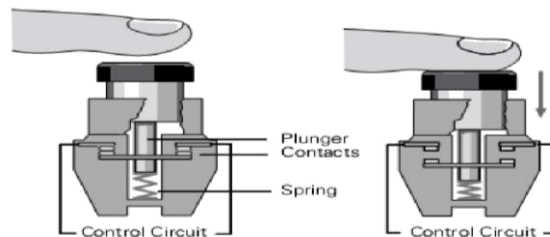
Penggunaan kontaktor harus dipahami rangkaian pengendali (kontrol) dan rangkaian daya (utama). Rangkaian pengendali adalah rangkaian yang hanya menggambarkan bekerjanya kontaktor dengan kontak-kontak bantu. Sedangkan rangkaian utama adalah rangkaian yang khusus melayani hubungan peralatan listrik dengan sumber tegangan (jala-jala).

2.7.2. Tombol tekan (push button).

Tombol tekan masih banyak sekali dipakai untuk mengontrol motor. Tombol yang normal direncanakan untuk berbagai jenis yang mempunyai kontak normal tertutup (*Normaly Close/ NC*) atau kontak normal terbuka (*Normaly Open/ NO*).



Gambar 2.12 Kontruksi tombol tekan NO.



Gambar 2.13 Kontruksi tombol tekan NC

Kontak NO akan menutup, jika tombol ditekan dan kontak NC akan membuka bila tombol ditekan. Tombol tekan NO digunakan untuk *start* sedangkan tombol tekan NC digunakan untuk *stop*.

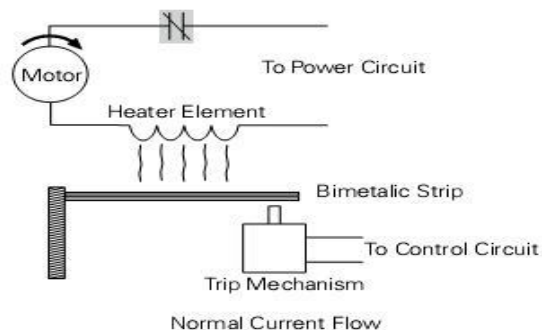
2.7.3. Thermal Over Load Relay (TOR/TOL).

Alat pengaman yang digunakan bila pada motor terjadi beban lebih disebut *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.

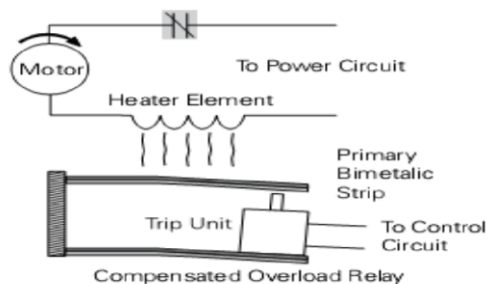
Beberapa penyebab terjadinya beban lebih adalah :

1. Terlalu besarnya beban mekanik pada motor.
2. Kerusakan bearing dan macetnya as
3. Terbukanya salah satu fasa dari motor 3 fasa.

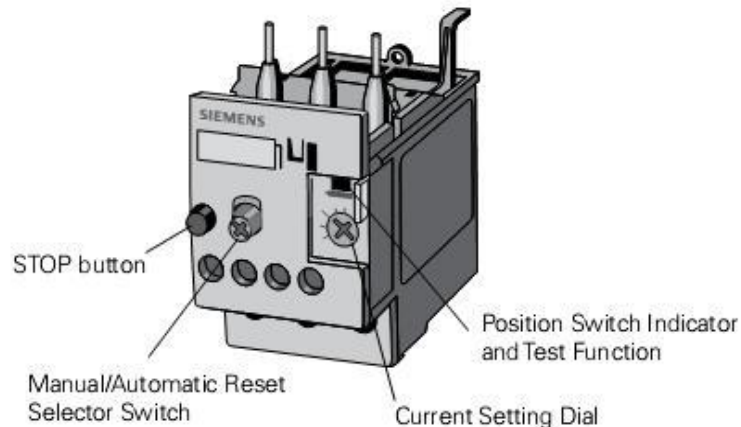
Arus yang terlalu besar timbul pada beban motor akan mengalir pada belitan motor yang dapat menyebabkan kerusakan dan terbakarnya belitan motor. Untuk menghindari hal tersebut terjadi dipasang *Thermal Over Load Relay* (TOR/TOL) pada rangkaian pengendali. Prinsip kerja *Thermal Over Load Relay* (TOR/TOL) 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.



Gambar 2.14 TOR dalam keadaan normal.



Gambar 2.15 TOR dalam keadaan beban lebih.



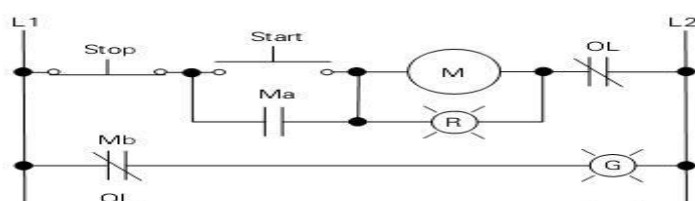
Gambar 2.16 Kontruksi *Thermal Over Load Relay (TOR/TOL)*

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.

2.7.4. Lampu Indikator.

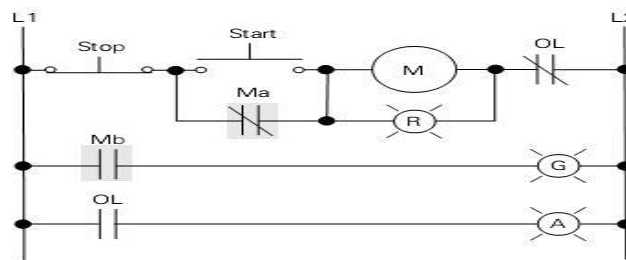
Lampu-lampu indikator merupakan komponen yang digunakan sebagai lampu tanda. Lampu-lampu tersebut digunakan untuk berbagai keperluan misalnya untuk lampu indikator pada panel penunjuk fasa R, S dan T atau L1, L2 dan L3. Selain itu juga lampu indikator digunakan sebagai indikasi bekerjanya suatu sistem kontrol misalnya lampu indikator merah menyala motor bekerja dan lampu indikator hijau menyala motor berhenti.

close kontaktor Mb tertutup, dan lampu indikator warna hijau menyala.



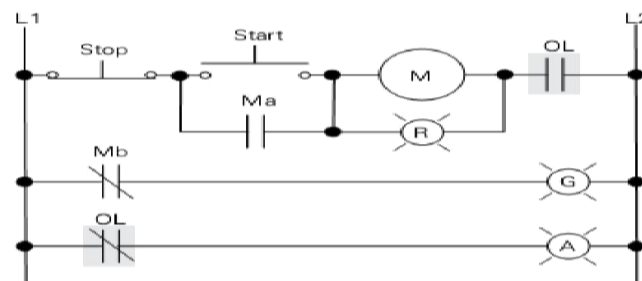
Gambar 2.18 Penggunaan lampu indicator pada rangkaian kontrol.

Jika kumparan kontaktor *energize*, lampu indikator merah menyala mengindikasikan bahwa motor jalan (berputar). Dalam kondisi ini, kontak Mb menjadi terbuka, dan lampu indikator hijau padam. Lampu indikator merah dihubungkan parallel dengan kumparan kontaktor sehingga motor akan berputar terus jika lampu indikator tersebut terbakar.



Gambar 2.19 Kumparan kontaktor *energize*.

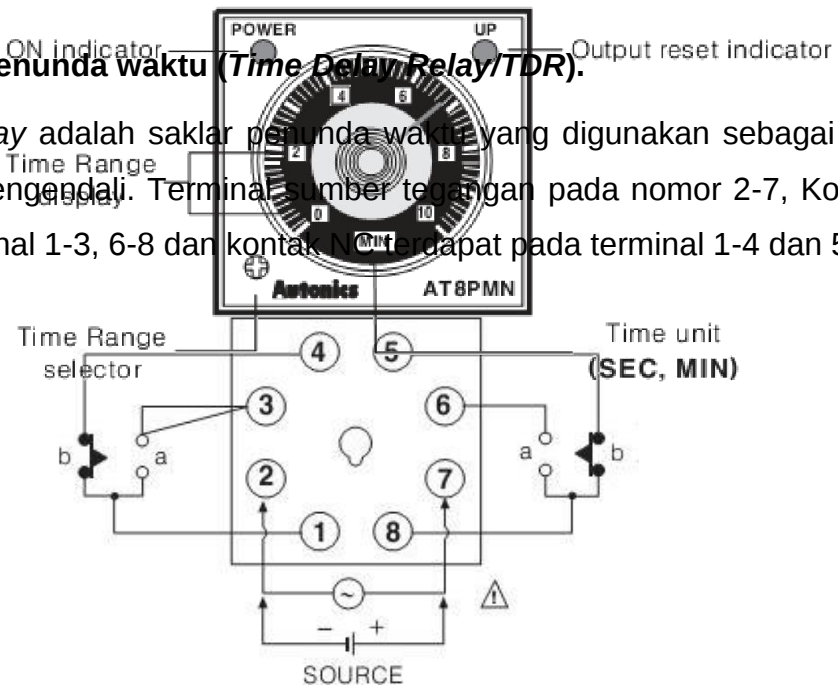
Jika terjadi beban lebih, kontak *normaly close* OL terbuka, motor berhenti dan lampu indikator merah menyala, kontak Mb terbuka, lampu indikator hijau menyala dan kontak *normaly open* OL tertutup, lampu indikator kuning (A) menyala



Gambar 2.20 Saat terjadi beban lebih (*over load*).

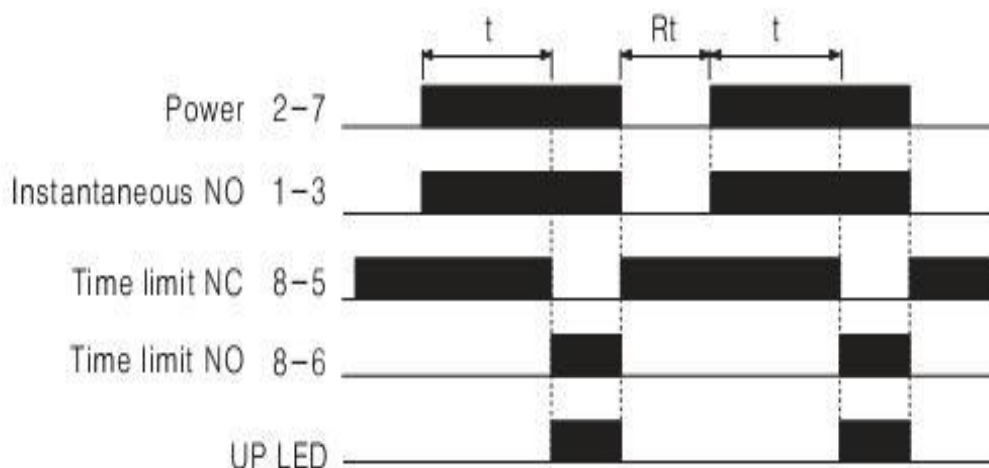
2.7.5. Relay penunda waktu (*Time Delay Relay/TDR*).

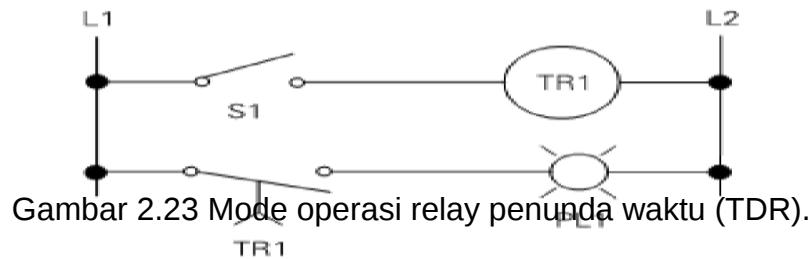
Time Delay adalah saklar penunda waktu yang digunakan sebagai alat bantu sistim pengendali. Terminal sumber tegangan pada nomor 2-7, Kontak NO pada terminal 1-3, 6-8 dan kontak NC terdapat pada terminal 1-4 dan 5-8.



Gambar 2.21 Hubungan terminal relay penunda waktu (TDR).

Gambar 2.22 Bagian depan relay penunda waktu (TDR).

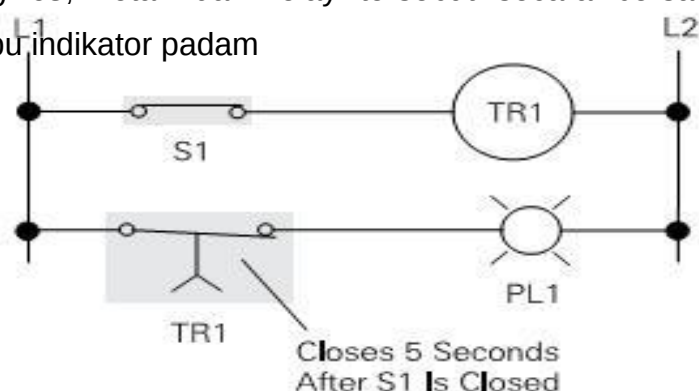




Kebanyakan dari relay penunda waktu yang mempunyai batas pengesetan waktu bervariasi. Contoh, relay penunda waktu memiliki pengesetan waktu dari 0,05 sampai 100 jam. Relay penunda waktu jenisnya ada dua *on-delay* atau *off-delay* yang dapat dihubungkan dengan beban, tergantung bagaimana keluaran dari pengawatan rangkaian. Pada ilustrasi yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini, sebagai contoh *on-delay* atau *closed timer*, juga disebut relay penunda waktu *normally open, time closed* (NOTC). Pada contoh ini relay penunda waktu diset untuk menunda waktu 5 detik.

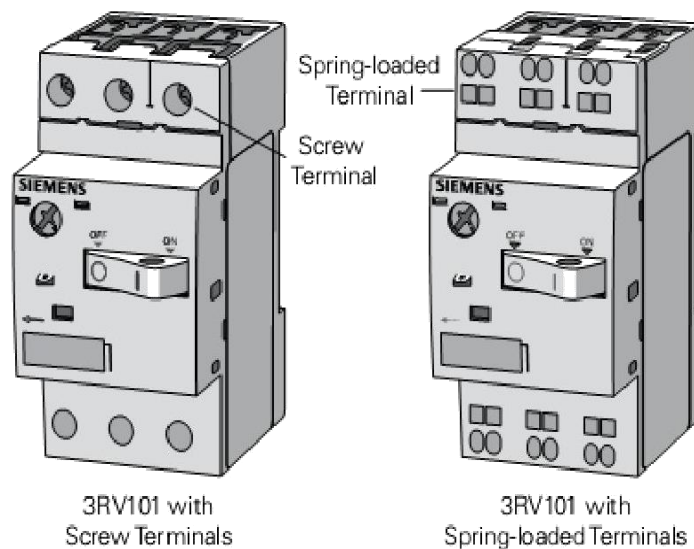
Gambar 2.24 Relay penunda waktu *on-delay*.

Jika S1 tertutup, relay penunda waktu mulai bekerja atau *energizes* (menghitung waktu). Setelah 5 detik, kontak dari relay tersebut menutup, dan lampu indikator menyala. Jika S1 terbuka, relay penunda waktu tidak bekerja atau *de-energizes*, kotak dari relay tersebut secara bersamaan terbuka, sehingga lampu indikator padam



2.7.6. Motor Circuit Breaker.

Motor *Circuit Breaker* adalah pengaman motor listrik yang mengintegrasikan pengaman hubung singkat dan beban lebih.



Gambar 2.26 Kontruksi *Motor Circuit Breaker*.

2.7.7. Sakelar selektor.

Sakelar selektor juga digunakan secara manual mempunyai kontak tertutup dan terbuka. Sakelar selektor dapat dioperasikan dengan per pengembali dan kunci tersedia dua, tiga atau empat jenis posisi.



Gambar 2.27 Kontruksi saklar selektor.

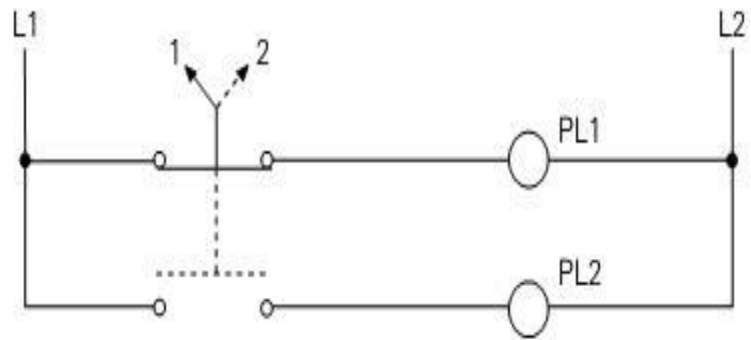
Saklar adalah pemutus dan penyambung aliran arus listrik. Komponen listrik ini sengaja dirancang untuk memiliki dua keadaan, yaitu keadaan menutup, yaitu keadaan tertutup (terhubung) dan keadaan terbuka (tidak terhubung). Dua keadaan tersebut dapat diganti-ganti sehingga rangkaian dapat diubah dari terbuka menjadi tertutup, atau sebaliknya, sesuai dengan keinginan kita. Rangkaian listrik dapat diubah menjadi rangkaian terbuka atau tertutup dengan membuka atau menutup saklar. Jika saklar ditutup (terbentuk rangkaian tertutup), arus listrik akan mengalir dalam rangkaian. Sebaliknya, jika saklar dibuka (terbentuk rangkaian terbuka), arus listrik berhenti mengalir. Secara sederhana, saklar terdiri dari dua bilah logam yang menempel pada suatu rangkaian, dan bisa terhubung atau terpisah sesuai dengan keadaan sambung (on) atau putus (off) dalam rangkaian itu. Material kontak sambungan umumnya dipilih agar supaya tahan terhadap korosi. Kalau logam yang dipakai terbuat dari bahan oksida biasa, maka saklar akan sering tidak bekerja. Untuk mengurangi efek korosi ini, paling tidak logam kontaknya harus disepuh dengan logam anti korosi dan anti karat.

Saklar pemilih ini menyediakan beberapa posisi kondisi on dan kondisi off, ada dua, tiga, empat bahkan lebih pilihan posisi, dengan berbagai tipe geser maupun putar. Saklar pemilih biasanya dipasang pada panel kontrol untuk memilih jenis operasi yang berbeda, dengan rangkaian yang berbeda pula. Saklar pemilih memiliki beberapa kontak dan setiap kontak dihubungkan oleh kabel menuju rangkaian yang berbeda, misal untuk rangkaian putaran motor cepat dan untuk rangkaian putaran motor lambat.

Perbedaan yang mendasar antara tombol tekan dan sakelar selektor adalah dioperasikan secara mekanik. Dengan sakelar selektor operator dapat memutar menjadi kontak terbuka dan tertutup. Sakelar selektor digunakan untuk memilih satu dari dua atau lebih rangkaian yang memungkinkan. Contoh berhenti dan jalan atau berhenti, kecepatan rendah dan kecepatan tinggi.

Pada contoh berikut, lampu pilot PL1 akan menyala jika saklar pada posisi 1, dan lampu pilot PL2 akan menyala pada posisi 2. Ini hanya bagian dari rangkaian kontrol untuk permesinan dan status lampu pilot dapat

digunakan untuk mengindikasikan kondisi mesin, contoh berhenti (stop) dan jalan (run).



Gambar 2.28 Saklar selektor dua posisi

