



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

1.1 Motor Listrik

Motor listrik banyak berperan dalam perkembangan industri dan membawa pembaharuan di segala bidang. Berbagai macam motor listrik yang telah dibuat dan dijalankan dengan menggunakan arus searah dan arus bolak balik.

Motor arus bolak balik adalah motor yang banyak digunakan untuk berbagai macam keperluan industri. Motor bolak balik (Motor AC) ialah suatu mesin yang berfungsi untuk mengubah tenaga listrik arus bolak balik (Listrik AC) menjadi tenaga gerak atau tenaga mekanik, dimana tenaga mekanik itu berupa putaran dari pada motor.

Dari segala macam motor listrik maka motor induksi (motor tidak serempak) yang paling banyak sekali dipakai, hal itu disebabkan karena strukturnya yang sederhana, kokoh dan harganya relatif murah dan mudah dirawat.

Didalam penginstalan dan pengontrolan di industri baik itu secara manual maupun secara otomatis dengan menggunakan beberapa komponen listrik yang tidak terlepas dari gangguan-gangguan yang dapat mengakibatkan terjadinya kerusakan pada peralatan tersebut. Adapun gangguan ini dari dalam atau dari luar, misalnya benturan mekanis goncangan-goncangan atau debu. Sedangkan gangguan-gangguan pada rangkaian tersebut seperti hubung singkat, arus lebih atau kegagalan isolasi serta kesalahan lainnya yang mengakibatkan peralatan dan sistem tersebut tidak dapat beroperasi dan juga membahayakan operatornya itu sendiri. Dilain pihak peralatan keamanan diharapkan dapat bekerja dengan cepat dan baik guna dapat mengalokasikan gangguan yang terjadi dengan aman. Hal itu dimaksudkan agar tidak merusak pada sistem peralatan berikutnya, dengan cara ini kerusakan dapat dihindari.

2.1.1 Motor Induksi

Motor listrik berfungsi untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik yang berupa tenaga putar. Motor induksi merupakan motor arus bolak-balik (AC) yang paling luas digunakan. Penamaannya berasal dari kenyataan bahwa arus rotor motor ini bukan diperoleh dari sumber tertentu, tetapi merupakan arus yang terinduksi sebagai akibat adanya perbedaan relatif antara putaran rotor dengan medan putar (*rotating magnetic field*) yang dihasilkan oleh arus stator.

Adapun keuntungan-keuntungan dalam menggunakan motor induksi adalah sebagai berikut:⁷

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

Namun di samping berbagai keuntungan tersebut diatas, masih juga terdapat kerugian-kerugian dalam penggunaan motor induksi sebagai berikut

1. Pengaturan kecepatan motor induksi sangat mempengaruhi efisiensinya.

⁷ Rijono Yon, Dasar Teknik Tenaga Listrik, (Yogyakarta: Andi, 2004), hal.310

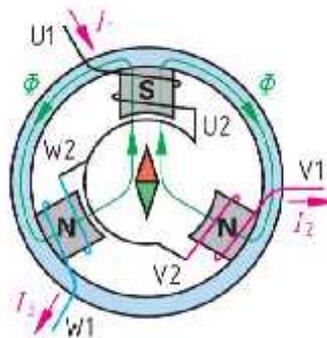


2. Kecepatan motor induksi akan menurun seiring dengan bertambahnya beban, tidak seperti motor DC atau motor shunt.
3. Kopel awal mutunya rendah dibandingkan dengan motor DC shunt.

Penggunaan motor induksi di industri ini adalah sebagai penggerak, seperti untuk *blower*, kompresor, pompa, penggerak utama proses produksi atau mill, peralatan *workshop* seperti mesin-mesin bor, grinda, *crane*, dan sebagainya.

2.1.2 Prinsip Kerja Motor Induksi⁹

Prinsip kerja motor induksi dapat dilihat dari gambar 2.1 di bawah ini:



Gambar 2.1 Prinsip Kerja Motor Induksi⁹

Ketika tegangan fasa U masuk ke belitan stator menjadikan kutub S (*south* = selatan), garis2 gaya magnet mengalir melalui stator, sedangkan dua kutub lainnya adalah N (*north*=utara) untuk fasa V dan fasa W. Kompas akan saling tarik menarik dengan kutub S.

Berikutnya kutub S pindah ke fasa V, kompas berputar 1200, dilanjutkan kutub S pindah ke fasa W, sehingga pada belitan stator timbul medan magnet putar. Buktinya kompas akan memutar lagi menjadi 2400. Kejadian berlangsung silih berganti membentuk medan magnet putar sehingga

⁹ Siswoyo, Teknik Listrik Industri (Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Direktorat Jendral Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan



kompas berputar dalam satu putaran penuh, proses ini berlangsung terus menerus. Dalam motor induksi kompas digantikan oleh rotor sangkar yang akan berputar pada porosnya. Karena ada perbedaan putaran antara medan putar stator dengan putaran rotor, maka disebut motor induksi tidak serempak atau motor sinkron.

2.2 Motor induksi 3 fasa

Disebut motor 3 fasa karena untuk menghasilkan tenaga mekanik, tegangan yang dimasukkan pada rotor tersebut adalah tegangan 3 fasa. Ditinjau dari jenis rotor yang digunakan, dikenal 3 jenis motor, yaitu:

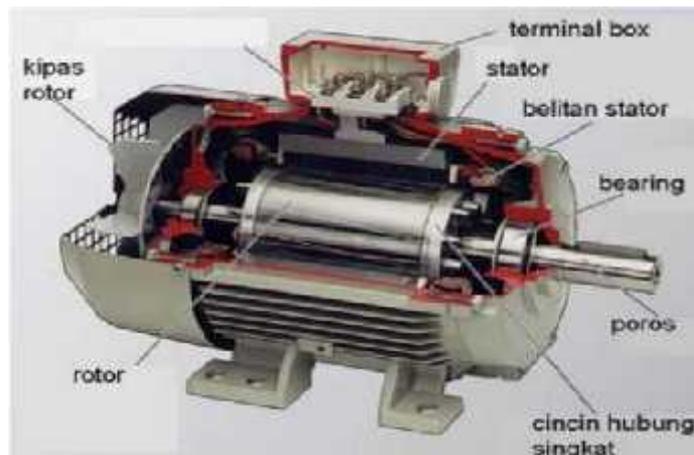
- a. Motor dengan rotor lilit
- b. Motor dengan rotor sangkar tupai
- c. Motor kolektor

Sebagai alat penggerak, motor-motor listrik lebih unggul dibandingkan alat-alat penggerak jenis lain karena motor-motor listrik dapat dikonstruksi sesuai dengan kebutuhan dan karakteristik penggerakan, antara lain:

1. Bisa dibuat dalam berbagai ukuran tenaga
2. Mempunyai batas-batas kecepatan (*speed range*) yang luas
3. Pelayanan operasi mudah, dan pemeliharaannya sederhana
4. Bisa dikendalikan secara manual atau secara otomatis dan
5. bahkan kalau diinginkan bisa dilayani dari jarak jauh (*remote control*). Pemakaian motor listrik sebagai alat penggerak (misalnya untuk keperluan industri) bisa dimungkinkan dengan otomatisasi di dalam proses produksi sehingga biaya operasi bisa ditekan

2.3 Konstruksi motor induksi 3 fasa⁹

Sebuah motor induksi terdiri dari dua bagian utama yaitu rotor dan stator (Lihat Gambar 2.2). Rotor merupakan bagian yang berputar dan stator merupakan bagian yang diam.



Gambar 2.2 Fisik Motor Induksi⁹

Konstruksi motor induksi lebih sederhana dibandingkan dengan motor DC, dikarenakan tidak ada komutator dan tidak ada sikat arang. Sehingga pemeliharaan motor induksi hanya bagian mekanik saja, dan konstruksinya yang sederhana motor induksi sangat handal dan jarang sekali rusak secara elektrik. Bagian motor induksi yang perlu dipelihara rutin adalah pelumasan bearing, dan pemeriksaan kekencangan baut-baut kabel pada terminal box karena kendur atau bahkan lepas akibat pengaruh getaran secara terus menerus.

2.3.1 Stator

Stator merupakan bagian dari motor yang diam. Stator terdiri dari pelat-pelat besi yang disusun sama besar dengan rotor dan pada bagian dalam mempunyai alur-alur yang diberi kumparan kawat tembaga yang berisolasi.

⁹ Siswoyo, Teknik Listrik Industri (Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Direktorat Jendral Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan

Gambar 2.3 *Stator winding*⁴

Stator mempunyai bagian-bagian :⁴

1. Gandar atau bodi motor, digunakan sebagai bagian 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, digunakan sebagai jembatan bagi aliran arus dari sumber. Disamping itu sikat memegang peranan penting untuk terjadinya komutasi yaitu gesekan antara sikat dan komutator dan biasanya

⁴Frans Nopisha, Menghitung Efisiensi Motor Induksi Tiga Fasa Sistem *Centrifugal* pada *Electrical Submersible Pump (ESP)* di PT. Pertamina EP Region Sumatera, Politeknik Negeri Sriwijaya, hlm.9.



terbuat dari bahan arang. Bagian puncak sikat diberi pelat tembaga guna mendapatkan kontak yang baik antara sikat dan dinding pemegang sikat. Gagang sikat (pemegang sikat) berguna untuk menimbulkan tekanan yang diperlukan antara sikat. Ketiadaan bunga api pada komutator banyak tergantung pada mulur dari 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.

2.3.2 Rotor (bagian motor yang bergerak)

Berdasarkan hukum Faraday tentang imbas magnet, maka medan putar yang secara relative merupakan medan magnet yang bergerak terhadap penghantar rotor akan menginduksikan gaya gerak listrik (ggl). Frekuensi ggl imbas ini sama dengan frekuensi jala-jala.

Besar ggl imbas ini berbanding lurus dengan kecepatan relative antara medan putar dan penghantar rotor. Penghantar-penghantar dalam rotor yang membentuk suatu rangkaian tertutup merupakan rangkaian melaju bagi arus rotor dan searah dengan hukum yang berlaku yaitu hukum Lenz. Arahnya melawan fluksi yang menginduksikan. 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.

Bagian rotor yang merupakan tempat kumparan rotor adalah bagian yang bergerak atau berputar. Rotor terbuat dari material yang sama dengan stator. Lapisan dengan inti berbentuk silinder dipasang langsung pada porosnya. Ada dua tipe rotor pada motor induksi:

- a. Sangkar tupai atau rotor sangkar sederhana
- b. Rotor belitan atau rotor *slip ring*.



Dari bagian motor yang bergerak (rotor) ada beberapa hal yang perlu diketahui antara lain :

1. Komutator, berfungsi sebagai penyearah mekanik yang ersama-sama dengan sikat membuat suatu kerja sama yang disebut komutasi. Supaya menghasilkan.

penyearah yang lebih baik, maka komutator yang digunakan hendaknya dengan jumlah yang besar. Setiap belahan (segmen) komutator berbentuk lempengan. Disamping itu, omutator juga berfungsi untuk mengumpulkan GGL induksi yang terbentuk pada sisi-sisi kumparan. Oleh karena itu komutator dibuat dari bahan konduktor , dalam hal ini digunakan dari campuran tembaga.

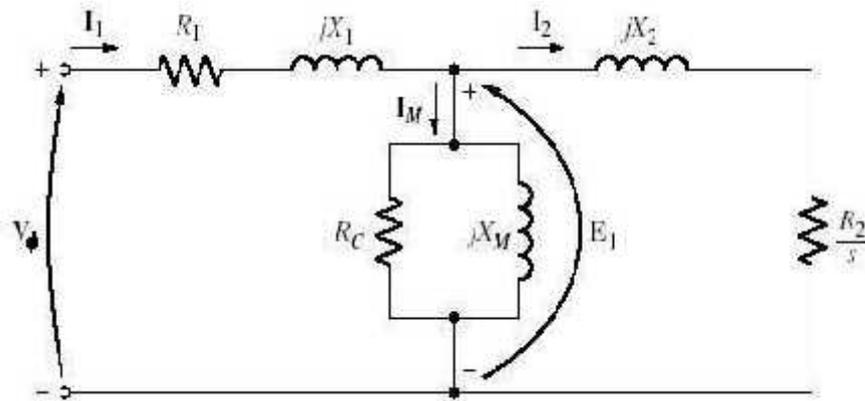
2. Isolator. Isolator yang digunakan terletak antara komutator-komutator dan komutator-komutator poros menentukan kelas dari motor berdasarkan kemampuan terhadap suhu yang timbul dari mesin tersebut. Jadi disamping sebagai isolator terhadap listrik pada panas tertentu pada listrik, maka isolator digunakan harus mampu terhadap panas tertentu.

2.4 Rangkaian Ekuivalen

Motor induksi 3-fasa ini dapat dianalisa berdasarkan rangkaian ekuivalen motor tanpa harus mengoperasikan motor.

Dari rangkaian ekuivalen(Gambar 2.4) dibawah ini I_1 merupakan arus yang mengalir pada kumparan stator yang terbagi arus I_m dan I_2 , dimana untuk mencari besarnya arus yang mengalir pada saat pembebanan.¹

¹Andyk Probo Prasetya dkk. Analisis Perbandingan Sistem Pengasutan Motor Induksi 3 Fasa Sebagai Penggerak Pompa Pada Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Wendit Malang. (Malang: Institute Teknologi Nasional Malang, 2012), hlm.225



Gambar 2.4 Rangkaian Ekuivalen Motor Induksi Tiga Fasa

V_ϕ = Tegangan sumber perfasa pada kumparan stator

R_1 = Resistansi kumparan stator

jX_1 = Reaktansi Induktif kumparan stator

R_c = Tahanan Inti Besi

R_2 = Resistansi kumparan rotor dilihat

dari sisi stator jX_2 = Reaktansi Induktif
rotor dilihat dari sisi stator

jX_m = Reaktansi magnet pada Motor

I_1 = Arus kumparan stator

I_2 = Arus pada kumparan rotor dilihat dari sisi stator saat motor
distart.

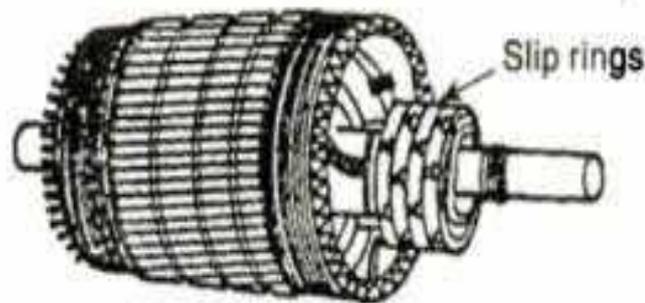
2.5 Klasifikasi motor induksi 3 fasa

Berdasarkan bentuk rotornya, motor induksi tiga fasa dibagi menjadi:

2.5.1 Rotor Belitan

Motor induksi jenis ini mempunyai rotor dengan belitan kumparan tiga fasa sama seperti kumparan stator. Kumparan stator dan rotor juga mempunyai jumlah kutub yang sama. Penambahan tahanan luar sampai harga tertentu, dapat membuat kopel mula mencapai harga kopel maksimumnya.

Motor induksi dengan rotor belitan 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*. Disamping itu dengan mengubah-ubah tahanan luar, kecepatan motor dapat diatur.

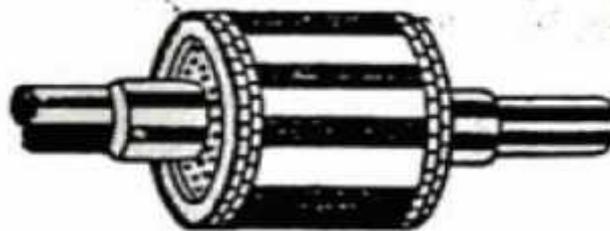


Gambar 2.5 Rotor Belitan atau Rotor Slip Ring¹⁴

2.5.2 Motor rotor sangkar

Motor induksi jenis ini mempunyai rotor dengan kumparan yang terdiri atas beberapa batang konduktor yang disusun sedemikian rupa hingga menyerupai sangkar tupai. konstruksi rotor seperti ini sangat sederhana bila dibandingkan dengan rotor mesin listrik lainnya. Harganya pun murah. Karena konstruksinya yang demikian, maka tidak mungkin diberikan pengaturan tahanan luar seperti pada motor induksi dengan rotor belitan.¹⁴

¹⁴ Zuhail, Dasar Tenaga Listrik, (Bandung: Penerbit ITB, 1991), hal.82-83.



Gambar 2.6 Rotor sangkar tupai

(Sumber : http://agusbudiana1blogspot.co.id/2014/05/motor-listrik_4.html)

Motor rotor sangkar konstruksinya sangat sederhana, yang mana rotor dari motor sangkar adalah konstruksi dari inti berlapis dengan konduktor dipasangkan parallel, atau kira-kira parallel 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 dihubungkan singkatkan dengan cincin ujung Batang rotor dan cincin ujung sangkar yang lebih kecil adalah coran tembaga atau alumunium dalam satu lempeng pada inti rotor. Dalam motor yang lebih besar, batang rotor tidak dicor melainkan dibenamkan kedalam alur kemudian dilas dan ditempatkan parallel terhadap poros motor tetapi kerap kali dimiringkan. Hal ini menghasilkan torsi yang lebih seragam dan juga mengurangi derau dengung magnetic sewaktu motor sedang jalan.



Berdasarkan karakteristik kelasnya motor induksi 3 fasa dibagi menjadi:

1. Kelas A

Motor Induksi 3 fasa kelas A memiliki karakteristik sebagai berikut:

- (a). Torsi awal normal (150 – 170%) dari nilai ratingnya) dan torsi *breakdown* nya tinggi
- (b). Arus awal relatif tinggi dan Slip rendah ($0.0015 < \text{Slip} < 0.005$)
- (c). Tahanan rotor kecil sehingga efisiensi tinggi
- (d). Baik digunakan untuk torsi beban kecil saat *start* dan cepat mencapai putaran penuhnya
- (e). Contoh : pompa dan *fan*

2. Kelas B

Motor Induksi 3 fasa kelas B memiliki karakteristik sebagai berikut:

- (a). Torsi awal normal hampir sama seperti kelas A
- (b). Arus awal rendah (lebih rendah 75% dari kelas A) dan *Slip* rendah ($\text{slip} < 0.005$)
- (c). Arus awal dapat diturunkan karena rotor mempunyai reaktansi tinggi

3. Kelas C

Motor Induksi 3 fasa kelas C memiliki karakteristik sebagai berikut:

- (a). Torsi awal lebih tinggi (200 % dari nilai ratingnya)
- (b). Arus awal rendah dan Slip rendah ($\text{slip} < 0.005$)
- (c). Reaktansi rotor lebih tinggi dari kelas B
- (d). Saat beban penuh slip cukup tinggi sehingga efisiensinya rendah (lebih rendah dari kelas A dan Kelas B)
- (e). Contoh : Kompresor, Konveyor, dan *fort*



4. Kelas D

Motor Induksi 3 fasa kelas D memiliki karakteristik sebagai berikut

- (a). Torsi awal yang paling tinggi dari kelas lainnya
- (b). Arus awal rendah dan Slip tinggi
- (c). Motor ini cocok untuk aplikasi dengan perubahan beban dan perubahan kecepatan secara mendadak pada motor
- (d). Ketika torsi maksimum slip mencapai harga 0.5 atau lebih, sedangkan ketika beban penuh slip antara 8% hingga 15% sehingga efisiensinya rendah
- (e). Contoh : *elevator, crane*.

2.6 Prinsip kerja motor induksi 3 fasa

Perputaran motor pada mesin arus bolak – balik ditimbulkan oleh adanya medan putar (*fluks* yang berputar) yang dihasilkan dalam kumparan statornya. Medan putar ini terjadi apabila kumparan stator dihubungkan dalam fasa banyak umumnya fasa 3. hubungan dapat berupa hubungan bintang atau delta.

Ada beberapa prinsip kerja motor induksi:

1. Apabila sumber tegangan 3 fasa dipasang pada kumparan medan (stator), timbullah medan putar dengan kecepatan (rpm) dengan $f_s =$ frekuensi stator (*Stator line frequency*) atau frekuensi jala-jala dan $p =$ jumlah kutub pada motor.
2. Medan stator tersebut akan memotong batang konduktor pada rotor.
3. Akibatnya pada kumparan jangkar (rotor) timbul tegangan induksi (ggl).
4. Karena kumparan jangkar merupakan kumparan tertutup, ggl (E) akan menghasilkan arus (I).
5. Adanya arus (I) didalam medan magnet menimbulkan gaya (F) pada rotor.



- 6. Bila kopel mula yang dihasilkan oleh gaya (F) pada rotor besar akan memikul kopel beban, rotor akan berputar searah dengan medan putar stator.
- 7. Seperti telah dijelaskan sebelumnya bahwa tegangan induksi timbul karena terpotongnya batang konduktor (rotor) oleh medan putar stator. Artinya agar tegangan terinduksi diperlukan adanya perbedaan relatif antara kecepatan medan stator dengan kecepatan berputar rotor (nr).

2.6.1 Rumus Dasar Motor Induksi¹³

Apabila sumber tegangan 3 fasa diberikan pada komponen stator maka akan timbul medan putar dengan kecepatan.

$$n_s = \frac{120.f}{p} = \text{rpm} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana :

ns = Rotasi per menit sinkron

f = Frekuensi sumber (Hz)

P = Jumlah kutub motor

medan putar rotor stator ini akan memotong batang konduktor rotor, sehingga akan timbul GGL induksi. Batang konduktor yang merupakan rangkaian tertutup sehingga mengalir arus. Arus yang berbeda dalam medan magnet menimbulkan gaya di rotor. Gaya ini akan menghasilkan kopel jika cukup besar, maka yang akan terjadi rotor akan berputar. Pada motor induksi 3 fasa dapat berputar diperlukan adanya perbedaan kecepatan medan putar stator (Ns) dan rotor (Nr).

Perbedaan kecepatan sinkron dengan kecepatan sebenarnya disebut slip.

(s = ns – n) dinyatakan dalam (%)

$$S = \left[\frac{n_s - n}{n_s} \right] \times 100 \% \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana:

S = Slip

¹³ Zuhail.1991.Dasar Tenaga Listrik. Jakarta, ITB, Bandung. Hal : 84



n_s = Rotasi per menit sinkron

n = Rotasi per menit (rpm)

Untuk mengetahui besar arus beban lebih pada motor diketahui terlebih dahulu arus nominal (I_n) dari motor tersebut dan dengan menggunakan data teknis motor induksi pada screw press, sehingga dapat dihitung dengan rumus dibawah ini:

$$I_n 3\phi = \frac{P 3\phi}{\sqrt{3} \times V \times \cos \pi} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana:

I_n = Arus nominal

P = Daya

V = Tegangan

ϕ = fasa

$\cos=0,86$

$$I_n 3\phi = \frac{I_n 3\phi}{\sqrt{3}} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana:

I_n = Arus nominal

$\sqrt{3}$ = Konstanta jika memakai 3 fasa dengan nilai jika di desimalkan 1.73

Setelah I_n diketahui maka dapat dihitung rating tertinggi nilai proteksi (MCCB) sirkuit motor terhadap hubung pendek dengan persentase arus beban penuh motor sangkar dengan pengasutan bintang segitiga langsung pada jaringan adalah :

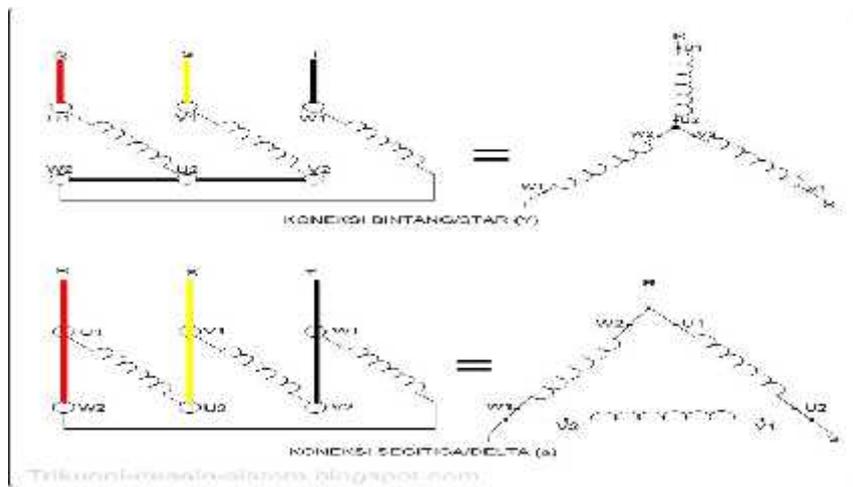
Pemutusan sirkuit = $I_n \times$ % pemutusan sirkuit

Pemutusan sirkuit = $I_n \times 250$ % (2.5)

2.6.2 Pengasutan motor induksi dengan menggunakan star-delta (Y-Δ)¹⁰

¹⁰ Sudirman, Sudaryanto. 2012. Analisis Rangkaian Listrik.jilid-1. Darpublic, Bandung. Hal:124

Pada pengasutan ini selama periode start lilitan motor akan berada dalam hubungan bintang dan selang waktu tertentu akan berpindah ke hubungan lilitan delta. Dengan cara ini kenaikan arus start dapat dibatasi hingga sepertiga kali saja dibandingkan bila motor langsung terhubung delta .pengasut motor ini harus juga dengan peralatan proteksi beban lebih serta produksi terhadap terjadinya kehilangan tegangan.



Gambar 2.7 koneksi star-delta⁸

Besarnya Tegangan Dan Arus Line Pada Sambungan Star/Bintang (Y) Adalah :

$$V_{line} = \sqrt{3} \cdot V_{fasa}$$

$$I_{line} = I_{fasa}$$

Besarnya Tegangan Dan Arus Line Pada Sambungan Delta/Segitiga () Adalah :

$$V_{line} = V_{line} = V_{fase}$$

$$I_{line} = \sqrt{3} \cdot V_{fase} \dots\dots\dots(2.6)$$

Pada saat terjadi overload arus akan naik melebihi 1.73 dari kondisi arus nominal kerja motor sampai *Thermal Overload Relay* (TOR) akan trip sesuai

⁸ Santoso, Djoko dan Rahmadi Heru Setianto. 2009. Teori Dasar Rangkaian Listrik. LaksBang Mediatama, Yogyakarta. Hal:12



dengan setting arus yang diberikan. Maka besar kenaikan arus dan kecepatan waktu trip TOR adalah:

$$*\text{kenaikan arus} = \text{arus nominal kerja motor} \times 1,73 \dots\dots\dots(2.7)$$

$$*\text{kecepatan trip TOR} = \text{kenaikan arus/arus setting TOR} \dots\dots\dots(2.8)$$

2.6.3 Gangguan beban lebih pada motor induksi

Untuk melindungi peralatan seperti motor induksi terhadap kerusakan akibat beban lebih (*overload*) diperlukan suatu pengaman *overload relay* atau biasa di sebut *thermal overload relay* (TOR). Pemanfaatan TOR salah satunya digunakan untuk mengetahui arus lebih yang ditimbulkan oleh beban, sehingga nantiya TOR akan trip sesuai dengan besarnya arus yang ditimbulkan akibat beban. Semakin besar arus yang ditimbulkan maka semakin cepat TOR akan trip. Beberapa penyebab terjadinya beban lebih adalah arus start yang terlalu besar atau motor listrik berhenti secara mendadak, terjadi hubung singkat, terbukanya salah satu fasa dari motor listrik 3 fasa dan beban mekanik motor terlalu besar.²

2.6.4 Bagian-bagian sistem proteksi motor

1. MCCB (*Moulded Case Circuit Breaker*)

MCCB digunakan sebagai pengaman terhadap gangguan arus hubung singkat pada motor screw press.

Data MCCB yang digunakan :

Tipe : compact ns 100/160/250/N/H/L – 3 kutub

Arus : 100 ampere

Daya : 30 KW

MCCB akan bekerja memutuskan rangkaian langsung dari sumber. Cara kerja MCCB pada motor *screw press* ini adalah :

Apabila terjadi gangguan arus hubung singkat pada motor *screw press* maka MCCB akan bekerja. Yang akan memutuskan aliran arus yang mengalir pada motor

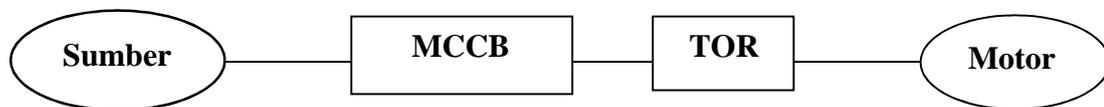
²Darsana Putu. 2015. Sistem Proteksi Daya Listrik Berbasis Mikrokontroler Atmega Dengan Sensor Arus. Universitas Negeri Yogyakarta.



screw press dan motor *screw press* pun akan berhenti bekerja. Maka gangguan beban lebih atau arus hubung singkat pada motor tidak merusak motor.

Jadi pada penggunaan peralatan pengaman yang di gunakan motor sistem pengaman motor *screw press* memiliki dua buah pengaman utama yang mana berfungsi untuk memutuskan arus yang mengalir pada motor jika terjadi gangguan, yang membedakan hanya proses pemutusan pada masing-masing pengaman.

Dibawah ini dapat dilihat penyederhanaan letak dari dua buah pengaman utama pada motor *screw press*.



Gambar 2.8 Letak dua buah proteksi utama pada motor *screw press*



Gambar 2.9 *Moulded Case Circuit Breaker* (MCCB)
(sumber: <https://www.monotaro.id/corp/id.html>)

2. Fuse

Fuse atau sekring adalah alat pengaman yang juga melindungi sistem dari gangguan *short circuit* seperti CB, tetapi *fuse* memiliki respon waktu terhadap gangguan yang lebih cepat dari CB. *Fuse* biasanya dipakai untuk melindungi transformator dan saklar.²

²Darsana Putu. 2015. Sistem Proteksi Daya Listrik Berbasis Mikrokontroler Atmega Dengan Sensor Arus. Universitas Negeri Yogyakarta.

Gambar 2.10 *fuse* lebur²

3. *Thermal Overload Relay (TOR)*

Thermal Overload Relay Merupakan *relay over load* yang berfungsi sebagai proteksi atau pengamanan terhadap beban lebih (*overload*). Dimana bahan bimetal atau logam yang fungsinya untuk mengamankan beban arus atau arus lebih. Yang dimaksud beban lebih adalah beban yang melampaui batas peralatan maksimal dan *thermal overload relay* merupakan peralatan yang bekerja terhadap pemanasan *relay overload* ini bergantung arus dan bekerja terhadap efek pemanasan dari arus yang mengalir melalui *relay*.³

Gambar 2.11 *Thermal overload relay*³

4. Prinsip Kerja *Thermal Overload Relay (TOR)*⁷

³ Fitzgerald dkk. 1990. *Mesin-Mesin Listrik Edisi Keempat*. Erlangga: Jakarta

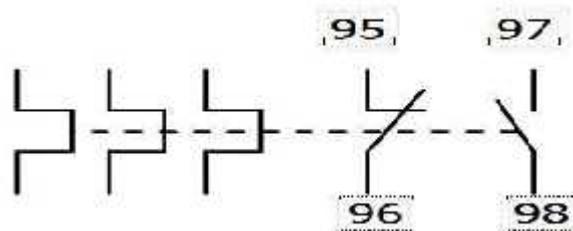
⁷ Rijono, Yon. 1997. *Dasar Teknik Tenaga Listrik*. Yogyakarta : Andi Offset

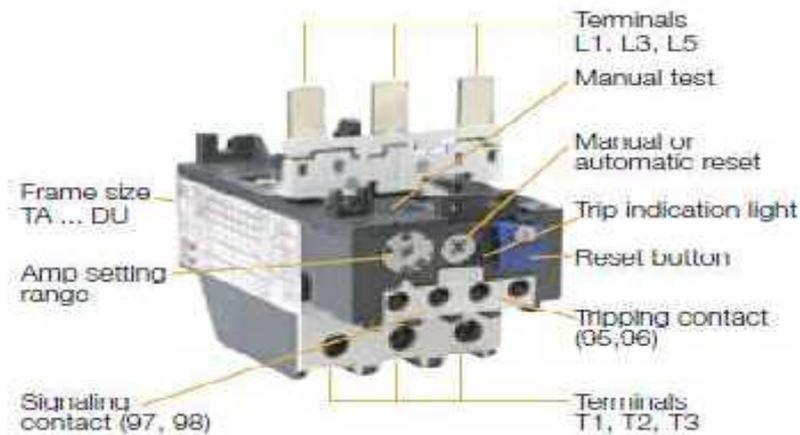
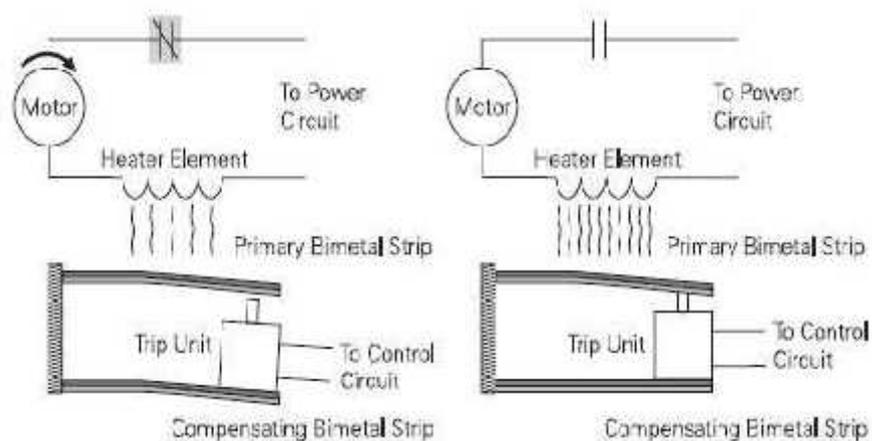


Alat ini bekerjanya berdasarkan muai panjang dua buah logam karena pengaruh panas berlebihan. Bila *resistance* ini dilewati arus lebih besar dari arus nominalnya, maka bimetal strip pada bagian bawah akan melengkung ke kiri dari arus nominalnya,, maka bimetal strip pada bagian bawah akan melengkung ke kiri dan membawa lengan kontak pada bagian bawah tertarik ke kiri dan kontaknya akan terlepas. Selama bimetal strip itu masih panas, maka bagian bawah tetap terbawa atau jika arus yang melalui penghantar yang menuju motor listrik melebihi kapasitas atau pengaturan *Thermal Overload Relay* (TOR), maka *Thermal Overload Relay* (TOR) akan drop atau terputus sehingga rangkaian yang menuju motor listrik terputus. Prinsip kerja termal beban berdasarkan panas atau temperatur yang ditimbulkan oleh arus yang mengalir melalui elemen-elemen pemanas bimetal. Jika panas berlebihan makan salah satu logam bimetal pada *Thermal Overload Relay* (TOR) akan melengkung dan menggerakkan kontak mekanis pemutus rangkaian listrik (untuk bimetal seri tertentu) notasinya adalah 95 dan 96.

Tabel 2.1 Kontak *Thermal Over Load Relay*

Terminal	Kontak
95-96	NC
97-98	NO

Gambar 2.12 Simbol *Thermal Overload Relay*

Gambar 2.13 Bagian-Bagian *Thermal Overload Relay*Gambar 2.14 Cara Kerja *Thermal Overload Relay*

Beban dalam teknik listrik misalnya beban mekanik dari motor-motor listrik atau berupa tahanan – tahanan ataupun merupakan lampu-lampu akan tetapi lebih mudah berfikir bahwa setiap penambahan beban berarti adalah penambahan arus. Kemudian setiap penambahan arus ini akan mengakibatkan timbulnya panas yang lebih besar.



Kita akan mengingat rumus :

$$\text{Energi} = I^2 R.t \dots\dots\dots (2.9)$$

Dimana :

I : Arus listrik (ampere)

R : Hambatan rangkaian (ohm)

t : Waktu (detik)

Panas itu berfungsi kuadrat dari arus, jadi bila arus itu naik menjadi 2 kali maka panasnya akan naik 4 kali. Untuk melindungi rangkaian itu dari panas yang berlebihan maka dipasanglah pengaman beban lebih.

Pengaman beban lebih itu ada yang kerjanya cepat dan ada yang lambat, sebab motor waktu start mengambil arus yang besar, dapat mencapai 6 kali arus nominalnya hingga bila diambil pengaman yang bekerjanya lambat tidak akan memutuskan pengamannya, tetapi sebaliknya bila mempergunakan pengaman beban lebih yang bekerjanya cepat maka pengamannya akan putus setiap motor start Untuk mengamankan motor kita mengenal dua macam pengaman beban lebih, Kedua macam pengaman beban lebih ini adalah¹⁴

1. Berdasarkan mencairnya timah
2. Pengaman beban lebih yang menggunakan bimetal strip

Thermal Overload Relay (TOR) mempunyai tingkat pengaman yang lebih efektif dan ekonomis, yaitu :

- a. Pelindung beban lebih/ Overload
- b. Melindungi dari ketidak seimbangan fasa/ phase failure imbalance.
- c. Melindungi dari kerugian/ kehilangan tegangan fasa/ phase Loss.
- d. Mampu bekerja pada suhu -25°C hingga $+55^{\circ}\text{C}$ atau $(-13^{\circ}\text{F}$ hingga $+ 131^{\circ}\text{F}$

2.6.5 Peralatan Pengontrolan

Peralatan Pengontrolan pada sistem proteksi merupakan peralatan yang berfungsi untuk mengatur kerja dari sistem sehingga pada saat pengoperasian beban

¹⁴ <http://dunia-listrik.blogspot.com/2008/11/dasar-dasar-sistem-proteksi.html>

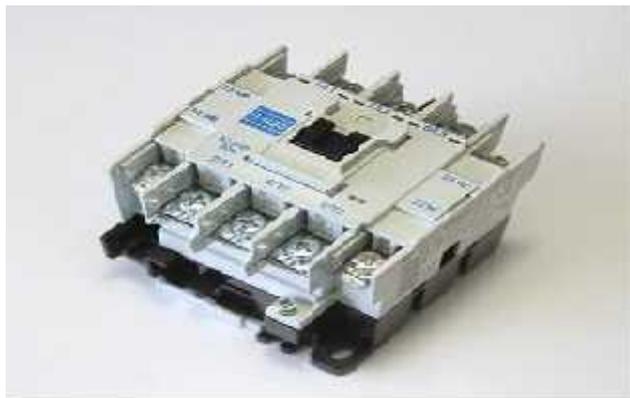


dalam kondisi normal ataupun gangguan dapat terkendali dengan baik, adapun peralatan proteksi yang digunakan yaitu :

1. Kontaktor

Kontraktor adalah jenis saklar yang bekerja secara magnetik yaitu kontak bekerja apabila kumparan diberi energi. *The National Manufacture Assosiation* (NEMA) mendefinisikan kontraktor megnetis sebagai alat alat digerakan secara magnetis untuk menyambung dan membuka rangkaian daya listrik. Tidak seperti relay, kontraktor dirancang untuk menyambungkan dan membuka rangkaian daya listrik tanpa merusak, Beban-beban tersebut meliputi lampu, pemanas, transformator, kapasitas, dan motor listrik.¹¹

Adapun peralatan elektromekanis jenis kontraktor magnet dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



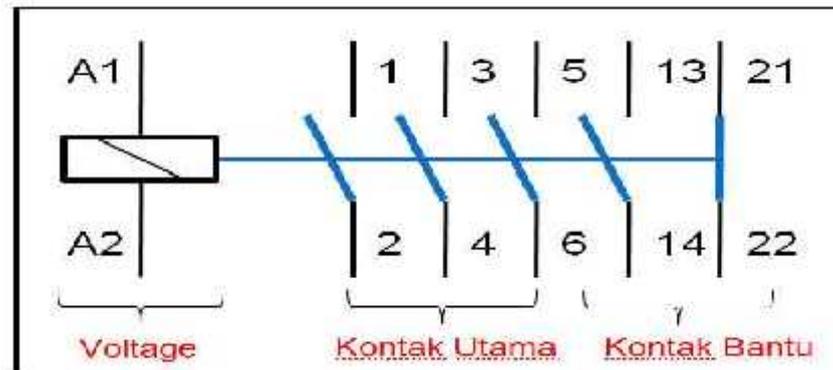
Gambar 2.15 kontaktor magnet¹¹

Sebuah kontraktor terdiri dari koil, beberapa kontak *Normally Open* (NO) dan beberapa *Normally Close* (NC). Pada saat satu kontraktor normal, NO akan membuka dan pada saat kontraktor bekerja, NO akan menutup. Sedangkan kontak kontak NC sebaliknya yaitu ketika dalam keadaan normal kontak NC akan menutup dan dalam keadaan bekerja kontak NC membuka. Koil adalah lilitan yang apabila diberi tegangan akan terjadi megnetisan dan menarik kontak-kontaknya sehingga terjadi perubahan atau bekerja.¹² Kontraktor yang dioperasikan secara elektromagnetis adalah salah satu mekanisme yang paling bermanfaat yang pernah

¹¹ Sumanto. 1993. *Motor Listrik Arus Bolak-Balik*. Andi Offset: Yogyakarta

¹² Sunarno. 2005. *Mekanikal Elektrikal*. Andy: Yogyakarta

dirancang untuk penutupan dan pembukaan rangkaian listrik maka gambar prinsip kerja kontraktor magnet dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 2.16 Konstruksi Prinsip Kerja Kontraktor Magnet¹⁴

Kontak utama yang digunakan untuk mengalirkan arus utama, yaitu arus yang diperlukan untuk beban, misalnya motor listrik. Kontak utama 1,3 dan 5 biasanya dihubungkan dengan sumber listrik R, S dan T sedangkan 2, 4 dan 6 dihubungkan dengan beban motor listrik 3 fasa U, V dan W atau beban lainnya. Sedangkan kontak bantu digunakan untuk mengalirkan arus bantu yaitu arus yang diperlukan untuk bagian control, kumparan magnet, alat bantu rangkaian, lampu-lampu indikator dan lain-lain.

2. Penghantar

Untuk mensuplai beban pada suatu instalasi listrik agar dapat berfungsi sebagaimana mestinya, maka diperlukan penghantar atau kabel. Dengan demikian penghantar merupakan suatu komponen yang mutlak yang ada pada suatu instalasi listrik.

Ada tiga bagian yang pokok dari suatu penghantar pada kabe yaitu :

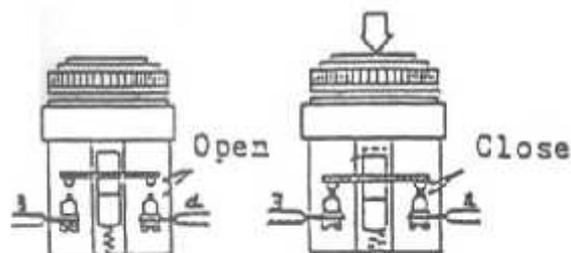
1. Penghantar merupakan media untuk menghantarkan arus listrik.
2. Isolasi, merupakan bahan dielektik untuk mengisolasi antara penghantar yang satu dengan yang lainnya maupun terhadap lingkungannya.
3. Pelindungan luar, yang memberikan perlindungan dari kerusakan mekanis, pengaruh beban kimia, api dan dipengaruhi keadaan luar lainnya.

¹⁴ <http://dunia-listrik.blogspot.com/2008/11/dasar-dasar-sistem-proteksi.html> (diunduh jumat 17 mei 2019)

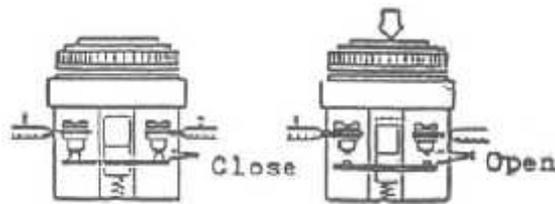
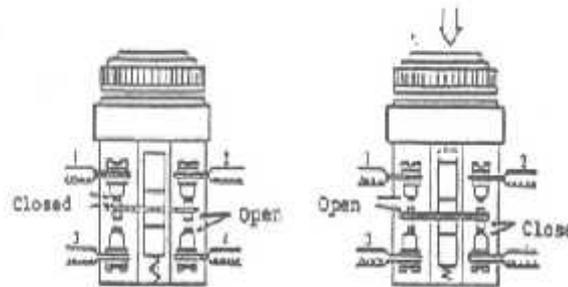
Gambar 2.17 kabel penghantar NYA 2,5 mm¹⁴

3. Tombol tekan (*push button*)

push button adalah saklar tekan yang berfungsi sebagai pemutus atau penyambung arus listrik dari sumber arus ke beban listrik. Suatu sistem saklar tekan *push button* terdiri dari saklar tekan start, stop, reset dan saklar tekan untuk *emergency*, *push button* adalah apabila dalam keadaan normal tidak ditekan maka kontak tidak berubah, apabila ditekan maka kontak NC akan berfungsi sebagai stop (memberhentikan) dan kontak NO akan berfungsi sebagai start (menjalankan) biasanya digunakan pada sistem pengontrolan motor-motor induksi untuk menjalankan mematkan motor pada industri-industri.

Gambar 2.18 Kontruksi sistem kerja PB NO¹⁴

¹⁴ <http://dunia-listrik.blogspot.com/2008/11/dasar-dasar-sistem-proteksi.html> (diunduh jumat 17 mei 2019)

Gambar 2.19 Kontruksi sistem kerja PB NC¹⁴Gambar 2.20 Kontruksi sistem kerja PB NO dan NC¹⁴

4. Lampu Indikator¹⁴

Lampu tanda atau indikator digunakan pada peralatan kontrol untuk menandai bekerja atau tidaknya suatu peralatan/rangkaian dan dapat juga sebagai kondisi/keadaan beban. Jika lampu tanda dipergunakan untuk menandai suatu peralatan sedangkan apabila lampu tanda dipergunakan untuk menandai tidak bekerjanya suatu peralatan, maka lampu tanda dipasang paralel dengan kontak NC pada rangkaian yang mengontrol peralatan tersebut.

Jika lampu tanda di pergunakan untuk menandai keadaan suatu peralatan beban, maka lampu tanda mempergunakan warna-warna yang berbeda-beda bergantung pada kondisi peralatan/beban yang ditandainya. Tabel 2.2 ditunjukkan warna-warna untuk menunjukkan fungsi warna-warna dari lampu tanda.

¹⁴ <http://dunia-listrik.blogspot.com/2008/11/dasar-dasar-sistem-proteksi.html> (diunduh jumat 17 mei 2019)

Tabel 2.2 Fungsi Warna Lampu Tanda

Kondisi Peralatan/Beban	Warna Lampu
a. Kondisi tidak normal, beban lebih, bahaya atau emergency	Merah
b. Hati-hati, perhatian	Kuning
c. Posisi siap/ mulai bekerja	Hijau
d. Beroperasi normal	Putih

Gambar 2.21 Lampu Indikator¹⁴

5. Cone Hydraulic

Cone Hydraulic berfungsi untuk menyesuaikan tekanan mesin press dengan tekanan 45-60 bar. Cone hydraulic dapat di atur tekanannya sesuai dengan kebutuhan, proses penekanan ini menghasilkan minyak (oil) sekaligus memisahkan ampas yang terdiri dari fiber beserta nut.



Gambar 2.22 Cone Hydraulic

¹⁴ <http://dunia-listrik.blogspot.com/2008/11/dasar-dasar-sistem-proteksi.html> (diunduh jumat 17 mei 2019)