

STUDI PERENCANAAN PROTEKSI MOTOR LISTRIK 3 FASA

Oleh:
Budi Prijo Sembodo
Sagita Rochman

Program Studi Teknik Industri Fakultas Teknik Industri
Universitas PGRI Adi Buana Surabaya

ABSTRAK

Dalam penggunaan motor listrik sebagai penggerak mesin-mesin produksi pada suatu industri diperlukan suatu sistem pengamanan proteksi yang harus dipasang pada motor tersebut untuk mengurangi kerugian-kerugian yang ditimbulkan akibat gangguan yang mungkin terjadi. Hal ini diperlukan terutama pada motor-motor listrik yang penting/ vital dan mempunyai kapasitas besar sehingga motor yang digunakan benar-benar mempunyai kehandalan dalam pelayanannya, dimana untuk menunjang proses produksi maka dalam pengoperasian motor listrik ini harus mempunyai keandalan yang tinggi untuk menjaga kestabilan dan kontinuitasnya, karena masalah kestabilan dan kontinuitas sangat berpengaruh terhadap suatu proses produksi.

Tujuan penelitian ini adalah membuat alat untuk mengamankan peralatan listrik yang mana peralatan tersebut dilihat dan' harga sangat mahal seperti motor listrik inverter. Alat ini dipasang pada motor tersebut dan kontrolnya dihubungkan secara seri dengan kontrol rangkaian lain seperti contactor dan thermal overload relay.

Metode penelitian yang digunakan adalah metode Engineering Research yang dilaksanakan melalui empat tahap yaitu Define (perumusan masalah), Design (perancangan sistem), Develop (pengembangan atau implementasi rancangan dan uji coba) dan Disseminate (distribusi dalam lingkup terbatas). Melalui perhitungan secara teoritis dan uji coba, rangkaian pengamanan/ proteksi motor listrik 3 fasa, 350 volt, 50 Hz hasilnya lebih akurat.

Keywords : Proteksi, Motor 3 fasa

A. PENDAHULUAN

Sejalan dengan kemajuan teknologi yang sangat pesat terutama di bidang industri, dimana untuk menunjang proses produksinya sebagian besar banyak digunakan motor listrik sebagai alat penggerak mesin-mesin produksinya, maka dalam pengopersian motor listrik harus mempunyai keandalan yang tinggi untuk menjaga kestabilan dan kontinyuitas, karena masalah kestabilan dan kontinuitas sangat berpengaruh terhadap proses

produksi. Jika terjadi gangguan yang menyebabkan salah satu motor terutama yang bersifat penting berhenti bekerja, dapat dipastikan proses produksi akan terganggu dan mengakibatkan suatu kerugian yang besar baik dibidang peralatan maupun dibidang produksi.

Secara umum gangguan yang mungkin terjadi pada motor listrik 3 fasa antara lain: Arus start yang besar (*over current*), Kelebihan beban (*over load*), Arus hubung singkat (*short circuit*), Ketidak-seimbangan

antar fasa (*unbalance*), Jatuh tegangan (*under voltage*).

Untuk mengurangi kerugian yang ditimbulkan akibat gangguan-gangguan tersebut, maka diperlukan suatu analisis sistem produksi yang harus dipasang pada motor. Untuk memilih alat pengaman yang digunakan harus direncanakan dengan perhitungan yang tepat, karena kegagalan dari alat pengaman dapat mengakibatkan kefatalan.

Sistem produksi ini diperlukan terutama pada motor-motor listrik yang penting atau vital yang mempunyai kapasitas besar, dimana harga pembelian dan biaya perbaikan jika terjadi kerusakan sangat mahal. Sehingga terjadi kerusakan pada motor tersebut membutuhkan waktu perbaikan yang lama dan biaya yang besar, sedangkan proses produksi terus dilakukan.

Dengan latar belakang tersebut, maka penulis masih melihat adanya kekurangan, yaitu bagaimana membuat alat proteksi motor listrik 3 fasa sebagai penggerak mesin, agar motor listrik yang digunakan benar-benar mempunyai keandalan yang tinggi dalam pelayanannya.

Tujuan & Manfaat

Merancang rangkaian pengaman yang digunakan untuk motor 3 fasa dalam mengatasi gangguan akibat turun tegangan (*drop voltage*) atau hilangnya tegangan sumber.

B. TINJAUAN PUSTAKA

Prinsip Kerja Motor Arus Bolak-balik
Mekanisme kerja untuk seluruh jenis motor secara umum sama :

1. Arus listrik dalam medan magnet akan memberikan gaya
2. Jika kawat yang membawa arus dibengkokkan menjadi sebuah

lingkaran/loop, maka kedua sisi loop, yaitu pada sudut kanan medan magnet, akan mendapatkan gaya pada arah yang berlawanan.

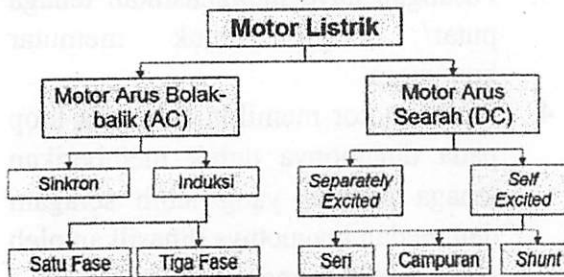
3. Pasangan gaya menghasilkan tenaga putar/ torque untuk memutar kumparan.
4. Motor-motor memiliki beberapa loop pada dinamonya untuk memberikan tenaga putaran yang lebih seragam dan medan magnetnya dihasilkan oleh susunan elektromagnetik yang disebut kumparan medan.

Dalam memahami sebuah motor, penting untuk mengerti apa yang dimaksud dengan beban motor. Beban mengacu kepada keluaran tenaga putar/ *torque* sesuai dengan kecepatan yang diperlukan. Beban umumnya dapat dikategorikan kedalam tiga kelompok (*BEE India, 2004*):

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

Jenis Motor Listrik

Ada dua jenis motor listrik, yaitu : motor DC dan motor AC. Motor tersebut dikategorikan berdasarkan pasokan input, konstruksi, dan mekanisme operasi.



Gambar 1. Klasifikasi motor listrik

1. Motor DC

Motor arah searah, sebagaimana namanya, menggunakan arah langsung yang tidak langsung/ *direct-unidirectional*. Motor DC digunakan pada penggunaan khusus dimana diperlukan penyalan *torque* yang tinggi atau percepatan yang tetap untuk kisaran kecepatan yang luas.

a. *Kutub medan*. Secara sederhana digambarkan bahwa interaksi dua kutub magnet akan menyebabkan perputaran pada motor DC. Motor DC memiliki kutub medan yang stasioner dan dinamo yang menggerakkan *bearing* pada ruang diantara kutub medan. Motor DC sederhana memiliki dua kutub medan: kutub utara dan kutub selatan. Garis magnetik energi membesar melintasi bukaan diantara kutub-kutub dari utara ke selatan. Untuk motor yang lebih besar atau lebih kompleks terdapat satu atau lebih elektromagnet. Elektromagnet menerima listrik dari sumber daya dari luar sebagai penyedia struktur medan.

b. *Dinamo*. Bila arus masuk menuju dinamo, maka arus ini akan menjadi elektromagnet. Dinamo yang berbentuk

silinder, dihubungkan ke as penggerak untuk menggerakkan beban. Untuk kasus motor DC yang kecil, dinamo berputar dalam medan magnet yang dibentuk oleh kutub-kutub, sampai kutub utara dan selatan magnet berganti lokasi. Jika hal ini terjadi, arusnya berbalik untuk merubah kutub-kutub utara dan selatan dinamo.

c. *Commutator*. Komponen ini terutama ditemukan dalam motor DC. Kegunaannya adalah untuk membalikan arah arus listrik dalam dinamo. *Commutator* juga membantu dalam transmisi arus antara dinamo dan sumber daya.



Gambar 2. Motor DC

Keuntungan utama motor DC adalah sebagai pengendali kecepatan, yang tidak mempengaruhi kualitas pasokan daya. Motor ini dapat dikendalikan dengan mengatur:

Tegangan dinamo : meningkatkan tegangan dinamo akan meningkatkan kecepatan.

Arus medan : menurunkan arus medan akan meningkatkan kecepatan.

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

Hubungan antara kecepatan, flux medan dan tegangan dinamo ditunjukkan dalam persamaan berikut:

Gaya elektromagnetik: $E = K\Phi N$

Torque: $T = K\Phi I_a$

Dimana:

E = gaya elektromagnetik yang dikembangkan pada terminal dinamo (volt)

Φ = flux medan yang berbanding lurus dengan arus medan

N = kecepatan dalam RPM (putaran per menit)

T = torque elektromagnetik

I_a = arus dinamo

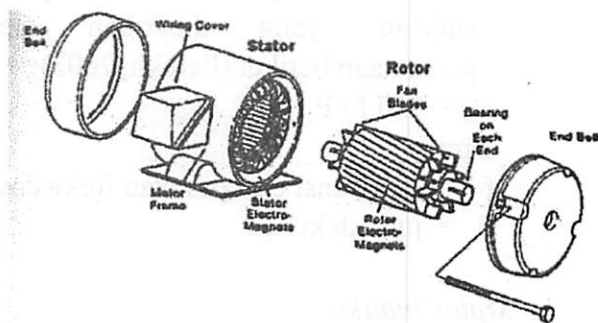
K = konstanta persamaan

2. Motor AC/Arus Bolak-Balik

Motor AC/arus bolak-balik menggunakan arus listrik yang membalikkan arahnya secara teratur pada rentang waktu tertentu. Motor listrik AC memiliki dua buah bagian dasar listrik: "stator" dan "rotor".

Stator merupakan komponen listrik statis. Rotor merupakan komponen listrik berputar untuk memutar as motor. Keuntungan utama motor DC terhadap motor AC adalah bahwa kecepatan motor AC lebih sulit dikendalikan. Untuk mengatasi kerugian ini, motor AC dapat

dilengkapi dengan penggerak frekwensi variabel untuk meningkatkan kendali kecepatan sekaligus, menurunkan dayanya. Motor induksi merupakan motor yang paling populer di industri karena kehandalannya dan lebih mudah perawatannya. Motor induksi AC cukup murah (harganya setengah atau kurang dari harga, sebuah motor DC) dan juga memberikan rasio daya terhadap berat yang cukup tinggi (sekitar dua kali motor DC).



Gambar 3. Motor Induksi

Jenis-Jenis Motor AC/Arus Bolak-Balik

a. Motor sinkron

Motor Sinkron adalah motor AC yang bekerja pada kecepatan tetap pada sistem frekwensi tertentu. Motor ini memerlukan arus searah (DC) untuk pembangkitan daya dan memiliki torque awal yang rendah, dan oleh karena itu motor sinkron cocok untuk penggunaan awal dengan beban rendah, seperti kompresor udara, perubahan frekwensi dan generator motor. Motor sinkron mampu untuk memperbaiki factor daya sistem, sehingga sering digunakan pada sistem yang menggunakan banyak listrik. Komponen utama motor sinkron adalah:

- *Rotor*. Perbedaan utama antara motor sinkron dengan motor induksi adalah bahwa rotor mesin sinkron berjalan pada kecepatan yang sama dengan

perputaran medan magnet. Hal ini memungkinkan sebab medan magnet rotor tidak lagi terinduksi. Rotor memiliki magnet permanen atau arah DC-excited, yang dipaksa untuk mengunci pada posisi tertentu bila dihadapkan dengan medan magnet lainnya.

- *Stator*. Stator menghasilkan medan magnet berputar yang sebanding dengan frekwensi yang dipasok. Motor ini berputar pada kecepatan sinkron, yang diberikan oleh persamaan berikut (Parekh, 2003):

$$N_s = 120 f / P$$

Dimana:

f = frekwensi dari pasokan frekwensi

P = jumlah kutub

b. *Motor induksi*.

Motor induksi merupakan motor yang paling umum digunakan pada berbagai peralatan industri. Popularitasnya karena rancangannya yang sederhana, murah dan mudah didapat, dan dapat langsung disambungkan ke sumber daya AC.

Komponen motor induksi memiliki dua komponen listrik utama :

- a. *Rotor*. Motor induksi menggunakan dua jenis rotor :

- a.1. Rotor kandang tupai terdiri dari batang penghantar tebal yang dilekatkan dalam petak-petak slots paralel. Batang-batang tersebut diberi hubungan pendek pada kedua ujungnya dengan alat cincin hubungan pendek.

- a.2. Lingkaran rotor yang memiliki gulungan tiga fase, lapisan ganda dan terdistribusi. Dibuat melingkar sebanyak kutub stator. Tiga fase digulungi kawat pada bagian dalamnya dan ujung yang lainnya

dihubungkan ke cincin kecil yang dipasang pada batang as dengan sikat yang menempel padanya.

- b. *Stator*. Stator dibuat dari sejumlah stampings dengan slots untuk membawa gulungan tiga fase. Gulungan ini dilingkarkan untuk sejumlah kutub yang tertentu. Gulungan diberi spasi geometri sebesar 120 derajat.
 - c. *Motor induksi satu fase*. Motor ini hanya memiliki satu gulungan stator, beroperasi dengan pasokan daya satu fase, memiliki sebuah rotor kandang 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, dan untuk penggunaan hingga 3 sampai 4 Hp.
 - d. *Motor induksi tiga fase*. Medan magnet yang berputar dihasilkan oleh pasokan tiga fase yang seimbang. Motor tersebut memiliki kemampuan daya yang tinggi, dapat memiliki kandang tupai atau gulungan rotor (walaupun 90% memiliki rotor kandang tupai); dan penyalaan sendiri. Diperkirakan bahwa sekitar 70% motor di industri menggunakan jenis ini, sebagai contoh, pompa, kompresor, belt conveyor, jaringan listrik, dan grinder. Tersedia dalam ukuran 1/3 hingga ratusan Hp.
- Motor induksi bekerja sebagai berikut, Listrik dipasok ke stator yang akan menghasilkan medan magnet. Medan magnet ini bergerak dengan kecepatan sinkron disekitar rotor. Arus rotor menghasilkan medan magnet kedua, yang berusaha untuk melawan medan magnet stator, yang menyebabkan rotor berputar.

Walaupun begitu, didalam prakteknya motor tidak pernah bekerja pada kecepatan sinkron namun pada "kecepatan dasar" yang lebih rendah. Terjadinya perbedaan antara dua kecepatan tersebut disebabkan adanya "slip/geseran" yang meningkat dengan meningkatnya beban. Slip hanya terjadi pada motor induksi. Untuk menghindari slip dapat dipasang sebuah cincin geser/ slip ring, dan motor tersebut dinamakan "motor cincin geser/slip ring motor".

Persamaan berikut dapat digunakan untuk menghitung persentase slip/geseran(Parekh, 2003):

$$\% \text{ Slip} = (N_s - N_b) / N_s \times 100$$

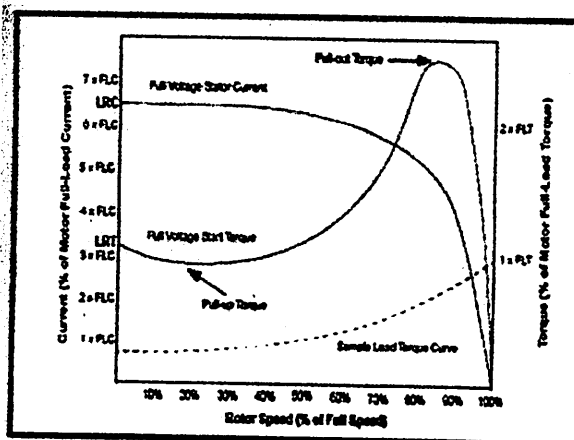
Dimana:

N_s kecepatan sinkron dalam RPM

N_b kecepatan dasar dalam RPM

Hubungan antara beban, kecepatan dan torsi:

- *Mulai* menyala ternyata terdapat arus nyala awal yang tinggi dan torsi yang rendah ("pull-up torque").
- *Mencapai* 80% kecepatan penuh, torsi berada pada tingkat tertinggi ("pull-out torque") dan arus mulai turun.
- Pada *kecepatan* penuh, atau kecepatan sinkron, arus torsi dan stator turun ke nol.



Gambar 4. Grafik Torsi vs kecepatan motor induksi

Pengkajian Motor Listrik

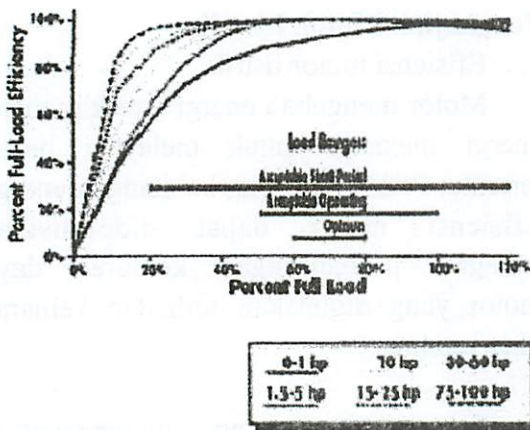
1. Efisiensi motor listrik

Motor mengubah energi listrik menjadi energi mekanik untuk melayani beban tertentu. Pada proses ini, kehilangan energi. Efisiensi motor dapat didefinisikan sebagai "perbandingan keluaran daya motor yang digunakan terhadap keluaran daya totalnya."

Faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi adalah:

- a. *Usia*. Motor barn lebih efisien.
- b. *Kapasitas*. Sebagaimana pada hampir kebanyakan peralatan, efisiensi motor meningkat dengan laju kapasitasnya.
- c. *Kecepatan*. Motor dengan kecepatan yang lebih tinggi biasanya lebih efisien.
- d. *Jenis*. Sebagai contoh, motor kandang tupai biasanya lebih efisien daripada motor cincingeser
- e. *Suhu*. Motor yang didinginkan oleh fan dan tertutup total (TEFL) lebih efisien daripada motor *screen protected drip-proof (SPDP)*

Terdapat hubungan yang jelas antara efisiensi motor dan beban. Pabrik motor membuat rancangan motor untuk beroperasi pada beban 50-100% dan akan paling efisien pada beban 75%. Tetapi, jika beban turun dibawah 50% efisiensi turun dengan cepat. Mengoperasikan motor dibawah laju beban 50% memiliki dampak pada faktor dayanya. Efisiensi motor yang tinggi dan faktor daya yang mendekati 1 sangat diinginkan untuk operasi yang efisien dan untuk menjaga biaya rendah untuk seluruh pabrik, tidak hanya untuk motor.



Gambar 5.
Efisiensi motor beban sebagian

Untuk alasan ini maka dalam mengkaji kinerja motor akan bermanfaat bila menentukan beban dan efisiensinya. Pada hampir kebanyakan negara, merupakan persyaratan bagi pihak pembuat untuk menuliskan efisiensi beban penuh pada pelat label motor. Namun demikian, bila motor beroperasi untuk waktu yang cukup lama, kadang-kadang tidak mungkin untuk mengetahui efisiensi tersebut sebab pelat label motor kadangkala sudah hilang atau sudah dicat.

Untuk mengukur efisiensi motor, maka motor harus dilepaskan sambungannya dari beban dan dibiarkan untuk melalui serangkaian uji. Hasil dari uji tersebut kemudian dibandingkan dengan grafik kinerja standar yang diberikan oleh pembuatnya. Jika tidak memungkinkan untuk memutuskan sambungan motor dari beban, perkiraan nilai efisiensi didapat dari tabel khusus untuk nilai efisiensi motor.

Nilai efisiensi disediakan untuk :

- Motor dengan efisiensi standar 90, 1200, 1800 dan 3600 rpm
- Motor yang berukuran antara 10 hingga 300 HP
- Dua jenis motor : motor anti menetes terbuka/ *open drip-proof* (ODP) dan

motor yang didinginkan oleh fan dan tertutup total/ *enclosed fan-cooled motor* (TEFL)

- Tingkat beban 25%, 50%, 75% dan 100%.

Lembar fakta juga menjelaskan tiga kategori metode yang lebih canggih untuk mengkaji efisiensi motor: peralatan khusus, metode perangkat lunak, dan metode analisis. Dengan kata lain, survei terhadap motor dapat dilakukan untuk menentukan beban, yang juga memberi indikasi kinerja motor. Hal ini diterangkan dalam bagian berikut.

2. Beban Motor

Dengan meningkatnya beban, faktor daya dan efisiensi motor bertambah sampai nilai optimumnya pada sekitar beban penuh.

Persamaan berikut digunakan untuk menentukan beban:

$$\text{Beban} = \frac{P_i \times \eta}{HP \times 0,7457}$$

Dimana,

η = Efisiensi operasi motor dalam %

HP = Nameplate untuk Hp

Beban = Daya yang keluar sebagai % laju daya

P_i = Daya tiga fase dalam kW

Survei beban motor dilakukan untuk mengukur beban operasi berbagai motor di seluruh pabrik. Hasilnya digunakan untuk mengidentifikasi motor yang terlalu kecil. (mengakibatkan motor terbakar) atau terlalu besar (mengakibatkan ketidak efisiensi). US DOE merekomendasikan untuk melakukan survei beban motor yang beroperasi lebih dari 1000 jam per tahun.

Terdapat tiga metode untuk menentukan beban motor bagi motor yang beroperasi secara individu :

- a. *Pengukuran daya masuk.* Metode ini menghitung beban sebagai perbandingan antara daya masuk (diukur dengan alat analisis daya) dan nilai daya pada pembebanan 100%. 2.
- b. *Pengukuran jalur arus.* Beban ditentukan dengan membandingkan amper terukur (diukur dengan alat analisis daya) dengan laju amper. Metode ini digunakan bila factor daya tidak diketahui dan hanya nilai amper yang tersedia. Juga direkomendasikan untuk menggunakan metode ini bila persen pembebanan kurang dari 50%
- c. *Metode Slip.* Beban ditentukan dengan membandingkan slip yang terukur bila motor beroperasi dengan slip untuk motor dengan beban penuh. Ketelitian metode ini terbatas namun dapat dilakukan dengan hanya penggunaan *tachometer* (tidak diperlukan alat analisis daya).

Peluang Efisiensi Energi

Faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja motor listrik.

1. Mengganti motor standar dengan motor yang energinya efisien

Motor yang berefisiensi tinggi dirancang khusus untuk meningkatkan efisiensi energi dibanding dengan motor standar. Perbaikan desain difokuskan pada penurunan kehilangan mendasar dari motor termasuk penggunaan baja silikon dengan tingkat kehilangan yang rendah, inti yang lebih panjang (untuk meningkatkan bahan aktif), kawat yang lebih tebal (untuk menurunkan tahanan), laminasi yang lebih tipis, celah udara antara stator dan rotor yang lebih tipis, batang baja pada rotor sebagai pengganti aluminium, *bearing* yang lebih bagus dan fan yang lebih kecil, dll. Motor dengan

energi yang efisien mencakup kisaran kecepatan dan beban penuh yang hugs. Efisiensinya 3% hingga 7% lebih tinggi dibanding dengan motor standar.

Menurunkan pembebanan yang kurang (dan menghindari motor yang ukurannya berlebih/ terlalu besar)

Ukuran motor harus dipilih berdasarkan pada evaluasi beban dengan hati-hati. Namun bila mengganti motor yang ukurannya berlebih dengan motor yang lebih kecil, juga penting untuk memper-timbangkan potensi pencapaian efisiensi. Motor yang besar memiliki efisiensi yang lebih tinggi daripada motor yang lebih kecil.

Oleh karena itu, penggantian motor yang beroperasi pada kapasitas 60 – 70% atau lebih tinggi biasanya tidak direkomendasikan. Dengan kata lain tidak ada aturan yang ketat yang memerintahkan pemilihan motor dan potensi penghematan perlu dievaluasi dengan dasar kasus per kasus. Contoh, jika motor yang lebih kecil merupakan motor yang efisien energinya sedangkan motor yang ada tidak, maka efisiensi dapat meningkat.

Untuk motor yang beroperasi konstan pada beban dibawah 40% dari nilai kapasitasnya, pengukuran yang murah dan efektif dapat dioperasikan dalam mode bintang. Perubahan dari operasi standar delta ke operasi bintang meliputi penyusunan kembali pemasangan kawat masukan daya tiga fase pada kotak terminal.

Mengoperasikan dalam mode bintang akan menurunkan tegangan. Motor diturunkan ukuran listriknya dengan operasi mode bintang, namun karakteristik kinerjanya sebagai fungsi beban tidak berubah. Jadi, motor dalam mode bintang memiliki efisiensi dan faktor daya yang

lebih tinggi bila beroperasi pada beban penuh daripada, beroperasi pada, beban sebagian dalam mode delta. Bagaimanapun, operasi motor pada mode bintang memungkinkan hanya untuk penggunaan dimana permintaan *torque* ke kecepatannya lebih rendah pada beban yang berkurang. Disamping itu, perubahan ke mode bintang harus dihindarkan jika motor disambungkan ke fasilitas produksi dengan keluaran yang berhubungan dengan kecepatan motor (karena kecepatan motor berkurang pada mode bintang). Untuk penggunaan untuk kebutuhan *torque* awal yang tinggi dan *torque* yang berjalan rendah, tersedia *starter* Delta-Bintang yang dapat membantu mengatasi *torque* awal yang tinggi.

Memperbaiki Kualitas Daya

Kinerja motor dipengaruhi oleh kualitas daya yang masuk, yang ditentukan oleh tegangan dan frekuensi aktual dibandingkan dengan nilai dasar. Fluktuasi dalam tegangan dan frekuensi yang lebih besar daripada nilai yang diterima memiliki dampak yang merugikan pada kinerja motor.

Ketidakeimbangan tegangan bahkan dapat lebih merugikan terhadap kinerja motor dan terjadi apabila tegangan tiga fase dari motor tiga fase tidak sama. Hal ini biasanya disebabkan oleh perbedaan pasokan tegangan untuk setiap fase pada tiga fase. Dapat juga diakibatkan dari penggunaan kabel dengan ukuran yang berbeda pada sistim distribusinya.

Tegangan masing-masing fase pada sistim tiga fase besarnya harus sama, simetris, dan dipisahkan oleh sudut 120°. Keseimbangan fase harus 1% untuk menghindari penurunan daya motor dan gagalnya garansi pabrik pembuatnya. Beberapa faktor dapat mempengaruhi kesetimbangan tegangan: beban fase

tunggal pada setiap satu fase, ukuran kabel yang berbeda, atau kegagalan pada sirkuit. Ketidakeimbangan sistim meningkatkan kehilangan pada sistim distribusi dan menurunkan efisiensi motor.

Ketidakeimbangan tegangan dapat diminimalisir dengan:

- Menyeimbangkan setiap beban fase tunggal diantara seluruh tiga fase
- Memisahkan setiap beban fase tunggal yang mengganggu keseimbangan beban dan umpankan dari jalur/trafo terpisah

Penggulungan ulang

Penggulungan ulang untuk motor yang terbakar sudah umum dilakukan oleh industri. Jumlah motor yang sudah digulung ulang di beberapa industri lebih dari 50% dari jumlah total motor. Pegulungan ulang motor yang dilakukan dengan hati-hati kadangkala dapat menghasilkan motor dengan efisiensi yang sama dengan sebelumnya. Pegulungan ulang dapat mempengaruhi sejumlah faktor yang berkontribusi terhadap memburuknya efisiensi motor: desain *slot* dan gulungan, bahan gulungan, kiner a pengisolasi, dan suhu operasi. Sebagai contoh, bila panas diterapkan pada pita gulungan lama maka pengisolasi diantara laminasinya dapat rusak, sehingga meningkatkan kehilangan arus eddy. Perubahan dalam celah udara dapat mempengaruhi faktor daya dan keluaran *torque*.

Walau begitu, jika dilakukan dengan benar, efisiensi motor dapat terjaga setelah dilakukan pegulungan ulang, dan dalam beberapa kasus, efisiensi bahkan dapat ditingkatkan dengan cara mengubah desain pegulungan. Dengan menggunakan kawat yang memiliki penampang lintang yang lebih besar, ukuran slot yang diperbolehkan, akan mengurangi kehilangan stator sehingga

akan meningkatkan efisiensi. Walau demikian, direkomendasikan untuk menjaga desain motor orisinil selama pegulungan ulang, kecuali jika ada alasan yang berhubungan dengan beban spesifik untuk mendesain ulang.

Dampak dari pegulungan ulang pada efisiensi motor dan faktor daya dapat dikaji dengan mudah jika kehilangan motor tanpa beban diketahui pada sebelum dan sesudah pegulungan ulang. Informasi kehilangan tanpa beban dan kecepatan tanpa beban dapat ditemukan pada dokumentasi motor yang diperoleh pada saat pembelian. Indikator keberhasilan pegulungan ulang adalah perbandingan arus dan tahanan stator tanpa beban per fase motor yang digulung ulang dengan arus dan tahanan stator orisinil tanpa beban pada tegangan yang sama.

Pada saat menggulung ulang motor perlu mempertimbangkan hal-hal berikut:

- Gunakan perusahaan yang bersertifikasi ISO 9000 atau anggota dari Asosiasi Layanan Peralatan Listrik.
- Ukuran motor kurang dari 40 HP dan usianya lebih dari 15 tahun (terutama motor yang sebelumnya sudah digulung ulang) sering memiliki efisiensi yang lebih rendah daripada model yang tersedia saat ini yang efisien energinya. Biasanya yang terbaik adalah menggantinya. Hampir selalu, terbaik mengganti motor biasa dengan beban dibawah 15 HP.
- Jika biaya pegulungan ulang melebihi 50% hingga 65% dari harga motor baru yang efisien energinya, lebih baik membeli motor yang baru, karena meningkatnya kehandalan dan efisiensi akan dengan cepat menutupi pembayaran harga motor.

Jenis Rangkaian Pengaman

Secara umum pengaman pada tenaga listrik adalah tidak baku, melainkan sesuai dengan selera para teknisi yang menangani. Tetapi untuk gangguan tertentu ada yang harus diamankan dan harus dipasang relay pengaman. Relay-relay pengaman yang dapat dipasang pada motor listrik adalah

1. Thermal Over Load Relay

Thermal overload adalah relay yang bekerja ketika temperatur dari salah satu komponen naik melebihi harga yang ditentukan. Prosedur perhitungan :

- a. Mencatat data motor (untuk menggambar karakteristik motor): arus beban penuh, arus starting, waktu stall (time stalling).
- b. Memilih setting tap. Menentukan arus pick up dari thermal over load relay. Menentukan type dari thermal over load relay dengan melihat tabel servis faktor , dari tabel ini dapat ditentukan type dari thermal overload relay diatas masuk dalam range relay yang mana.

2. Locked Rotor Over Current Relay

Locked rotor over current relay ini akan bebeda apabila arus starting melebihi dari harga yang telah ditentukan (sesuai karakteristik motor). Prosedur perhitungan:

- a. Mengetahui karakteristik motor :
Arus beban penuh, Arus starting, Waktu starting
- b. Memilih setting tap : menentukan arus pick up dari locked rotor yang harganya lebih bestir dari pick up thermal over load relay yaitu $I_{pick\ up} = 180\% \times I_{full\ load}$. Menentukan harga t (detik) sedikit diatas I starting, setelah diketahui t. Menentukan setting tap locked

rotor relay (LR) yaitu: Tap = I locked rotor / I (dalam proses)

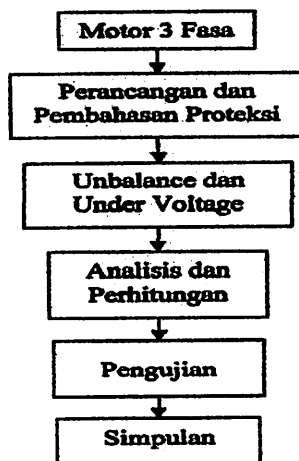
3. Proteksi Unbalance Dan Under voltage

Proteksi unbalance dan under voltage adalah rangkaian pengaman yang berker a apabila, ter adi turunnya tegangan dari batas yang telah ditentukan dari power supply dan hilangnya. / putusnya tegangan yang disebabkan rangkaian penghubung antara lain magnetic contactor dan kabel penghubung putus / rusak.

C. METODE PENELITIAN

Prosedur penelitian ini merancang dengan perhitungan-perhitungan secara teoritis dan melakukan uji coba/ eksperimen perangkat pengaman proteksi, khususnya proteksi Unbalance dan Under Voltage. Sehingga pembahasannya meliputi:

Rancangan Penelitian



Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini adalah

1. Metode Dokumentasi : untuk mendapatkan data-data karakteristik motor listrik 3 fasa dan data-data karakteristik pengaman proteksi unbalance dan proteksi under

voltage.

2. Metode Literatur : untuk mendapatkan data-data, nilai komponen-komponen yang akan dirangkai dengan melakukan perhitungan-perhitungan dari teori buku-buku pustaka yang membahas tentang proteksi.
3. Metode Eksperimen : digunakan untuk mendapatkan data-data hasil ujicoba pengaman proteksi unbalance dan proteksi under voltage.

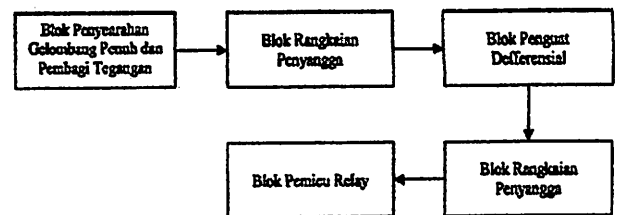
Metode Analisis Data

Metode analisis yang digunakan pada penelitian ini menggunakan analisis kualitatif, dengan melakukan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Mendefinisikan masalah.
2. Melakukan design perancangan melalui perhitungan-perhitungan dari buku sumber tentang praktek.
3. Melakukan analisis dan pengamatan implementasi hasil rancangan.
4. Melakukan uji coba hasil rancangan pembuatan proteksi unbalance dan proteksi under voltage pada motor listrik 3 fasa 380 volt.

D. PEMBAHASAN

Rangkaian proteksi ini dijelaskan pada blok diagram dalam gambar di bawah ini :



Gambar 6. Blok diagram rangkaian proteksi

1. Blok Penyearahan Gelombang Penuh Dan Pembagi Tegangan. Blok ini berfungsi menyearahkan gelombang penuh dan tegangan R,S,T dan sekaligus menurunkan tegangannya agar dapat

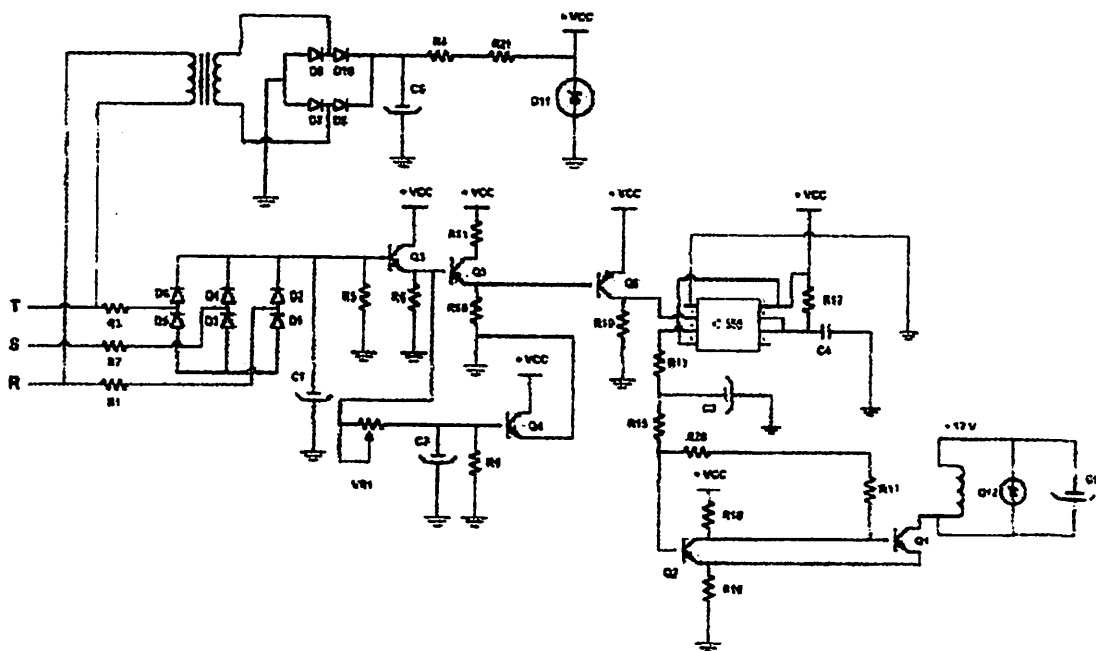
diproses ke rangkaian penguat differensial secara elektronika. Hal ini dikarenakan rangkaian elektronika adalah suatu unit pemroses untuk tegangan kecil dan arus lemah. Tegangan output yang dihasilkan digunakan sebagai acuan untuk mendeteksi penurunan tegangan pada salah satu tegangan inputnya (380 Volt).

2. Rangkaian Buffer/ Penyangga. Blok ini digunakan untuk mempertahankan tegangan inputnya untuk mencapai kestabilan atau tidak dipengaruhi oleh impedansi blok penguat differensial.
3. Blok Penguat Differensial. Berfungsi mendeteksi penurunan tegangan input dan deviasinya dikeluarkan dalam bentuk tegangan output yang telah dikuatkan.
4. Blok Rangkaian Penyangga. Blok ini digunakan untuk mempertahankan tegangan input dan penguat differensial supaya mencapai kestabilan atau tidak dipengaruhi oleh impedansi blok pemicu relay.
5. Pemicu Relay. Blok ini digunakan untuk memicu relay berdasarkan tegangan

yang diinputkan dan rangkaian penguat differensial. Agar tidak terjadi adi pemicuan yang tidak stabil akibat noise, maka digunakan rangkaian delay. Rangkaian delay ini akan menunda pemicuan jika terjadi penurunan tegangan untuk beberapa saat dan akhirnya akan mengaktifkan relay.

Cara Kerja Rangkaian

Pada saat tombol on diaktifkan rangkaian tersebut (proteksi) berkerja bersamaan dengan bekerjanya motor listrik dan apabila terjadi gangguan yaitu unbalance dan under voltage maka alat (proteksi) tersebut merespon dan akan melakukan aksi yaitu menggerakkan kontak-kontak (NC,NO) relay yang mana, kontak NO yang dihubungkan secara seri dengan kontrol kontaktor dan thermal overload relay yang akan berkerja untuk memutuskan rangkaian tersebut dan motor menjadi berhenti karena tidak mendapatkan supply tegangan.

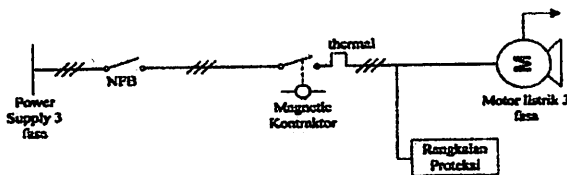


Gambar 7. Rangkaian proteksi

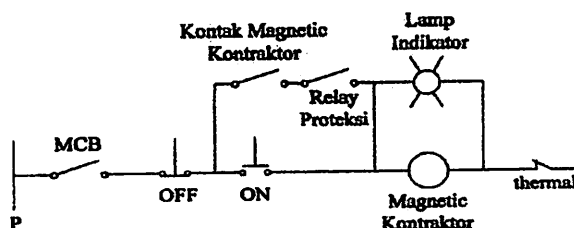
Pengujian

Langkah-langkah pengujian alat adalah sebagai berikut

1. Pengujian output regulator untuk melihat apakah regulator sudah menghasilkan tegangan yang diinginkan atau tidak.
2. Pengujian input rangkaian untuk melihat apakah rangkaian tersebut bisa bekerja apabila salah satu fasa input tegangan tidak bekerja.
3. Pengujian input dan output rangkaian IC 555 untuk melihat apakah rangkaian tersebut bisa bekerja dengan baik atau tidak sebagai pengendali waktu yang telah disetting beberapa detik untuk pengendali relay yang nantinya kontak-kontak (NO,NC) relay dihubungkan secara seri dengan kontrol rangkaian yang lain seperti kontrol rangkaian kontaktor dan thermal.
4. Pengujian output dari rangkaian untuk melihat apakah rangkaian tersebut sudah bisa mendeteksi setiap ada gangguan unbalance dan under voltage.



Gambar 8. Diagram rangkaian perangkat listrik



Gambar 9. Diagram kontrol rangkaian

Hasil

1. Pengujian pertama melepas salah satu

kabel input R,S,T rangkaian penyearah gelombang penuh dan didapat rangkaian bisa bekerja sesuai dengan yang diharapkan yaitu menon-aktifkan rangkaian kontrol kontaktor.

2. Pengujian kedua yaitu salah satu kabel input R,S,T dipasang penghambat tegangan yaitu dengan menggunakan travo (penurun tegangan) dengan tujuan agar tegangan yang dialirkan kerangkaian penyearah gelombang penuh tidak imbang dan didapat rangkaian bisa bekerja sesuai dengan yang diharapkan yaitu menon-aktifkan rangkaian kontrol kontaktor.
3. Setelah diadakan pengujian, ternyata alat tersebut bisa diterapkan sesuai dengan apa yang diharapkan.

D. KESIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Dari hasil pembahasan dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Perencanaan pembuatan rangkaian pengaman/ proteksi motor listrik 3 fasa, 380 volt, 50 Hz dapat dibuat melalui perhitungan secara teoritis.
2. Dengan model perencanaan pembuatan melalui kajian teoritis dan uji coba, rangkaian pengaman/ proteksi motor listrik 3 fasa, 350 volt, 50 Hz hasilnya lebih akurat.

Saran

1. Apabila akan merencanakan dan membuat rangkaian pengaman/ proteksi pada motor listrik baik 3 fasa ataupun 1 fasa dengan tegangan input yang dikehendaki seyogyanya dilakukan perhitungan-perhitungan secara teliti untuk menentukan nilai komponen yang akan dirancang.
2. Penelitian ini dapat dipakai contoh

untuk model-model perencanaan pembuatan rangkaian pengaman/proteksi.

DAFTAR PUSTAKA

- Boman, D. (1955). *Industrial System Handbook Power Factor Improvement*. Company Inc. New York.
- Johnson, A.A. (1964). *Electrical Transmissions and Distribution Reference Book Application of Capacitor to Power System*. Westinghouse Electric Corporation. East Publishers.
- Langhton, M.A. & Say Mg. (1985). *Electrical Engineer's Reference Book Supply Control of Reactive Power*, Butterworth & Co. Ltd. London.
- Siemens. (1984) *Electrical Installation Hand Book, Volume I and II* Siemens.
- Theraja, B.L. and Theraja, A.K. (1998). *A Text Book of Electrical Technology*. Nirja Construction & Development Co. (P) Ltd. New Delhi.
- Worth, C.A. (1984). *Power Capacitor Hand Book*. Butter Worth & Co, Ttd. London.
- Van Der Wal, Ing.G. and Knol Ing. E.H. (1985) *Ringkasan Elektro*, Teknik. Erlangga. Jakarta.
- Almanda Deni. (Mei 1995). *Peranan Energi Dalam menunjang Pembangunan Berkelanjutan*. Publikasi Ilmiah, BPPT. Jakarta, Mei 19.