

***STUDI PANEL KONTROL
UNTUK MOTOR INDUKSI 3Ø, 330 HP, 380 VOLT,
DIKOPEL PADA POMPA PENDISTRIBUSIAN AIR MINUM
Aplikasi Instalasi Pengolahan Air Minum PDAM TIRTANADI
Instalasi DELI TUA***

***Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan Ujian Sarjana
Program Studi Strata 1***

WINDI

NIM : 04 812 0031



**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2008**

***STUDY PANEL KONTROL
UNTUK MOTOR INDUKSI 3 PASHE 330 HP 380 VOLT,
DIKOPEL PADA POMPA PENDISTRIBUSIAN AIR MINUM
Aplikasi Instalasi Pengolahan Air Minum PDAM TIRTANADI
instalasi DELI TUA***

Diajukan untuk memenuhi persyaratan ujian sarjana

WINDI

NIM : 04 812 0031

Diketahui Oleh :

Ketua Jurusan

(Ir. Yance Syarif)

Diketahui Oleh :

Pembimbing I

(Ir. Zulkifli Bahri)

Disetujui Oleh :

Pembimbing II

(Ir. Yance Syarif)

Peruguruan Tinggi.

RINGKASAN

Semakin pesatnya perkembangan teknologi dewasa ini, menuntut kita untuk tidak bisa lepas dari kemajuan teknologi itu sendiri, dan satu hal yang tidak bisa kita hindari yaitu ketertinggalan kita sebagai konsumen yang selalu menggunakan peralatan – peralatan yang semuanya bersifat serba otomatis. Terkhusus untuk peralatan listrik.

Peralatan listrik ini juga bukan hanya digunakan untuk keperluan rumah tangga, tetapi juga sangat dibutuhkan untuk industri menengah dan industri besar. Untuk itu penulis skripsi mencoba untuk mengetahui sejauh manakah peran dan kegunaan peralatan – peralatan listrik tersebut. Khususnya yang digunakan untuk industri – industri besar, serta instansi – instansi milik pemerintah.

Dalam kesempatan ini penulis mencoba untuk mengetahui tentang beberapa penggunaan peralatan – peralatan listrik yang dipergunakan disuatu instansi pemerintah yaitu pada Perusahaan Umum PDAM TIRTANADI. Dalam pengoperasiannya perusahaan ini banyak sekali menggunakan peralatan – peralatan listrik seperti motor – motor listrik dan juga panel sebagai kontrolnya, mengapa ? karena perusahaan ini bergerak dibidang Pengolahan Air Minum. Dalam hal ini motor dijadikan sebagai penggerak mula pompa. dimana pompa ini berfungsi untuk mendistribusikan air minum ke konsumen.

ABSTRAC

Fast progressively technological growth has these days, claiming us in order not to can get out of technological progress of it self, and one matter which we cannot avoid that is our left behind as consumer which always use equipments - all equipments have the character of completely automatically. Special for the equipments of electrics.

Equipments of this Electrics also not merely used by for domestic, but also very required for the industry of big industrial and middle. For that final duty writer try to know as far as which and role usefulness of equipments - equipments of the electrics. Specially used for the industry of - big industrial, and also institution - institution property of government.

In this opportunity of writer try to know about some use of equipments - equipments of utilized electrics a[n governmental institution that is at Public Company PDAM TIRTANADI. In its operation of this company a lot of using equipments - equipments [of] electrics like motor electrical

Motor as well as panel as its control, why ? because this company make a move area Processing of Drinking Water. In this case motor made as pump beginning activator. where this pump function to distribute drinking water to consumer.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT. Karena atas izinnyalah penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini, dimana tugas akhir ini adalah salah satu syarat yang harus dipenuhi oleh setiap Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro untuk menyelesaikan study Sarjana S1 di Universitas Medan Area.

Dalam penyelesaian tugas akhir ini penulis ingin mengucapkan terima kasih banyak terutama kepada :

1. Bapak Prof. H. A Ya'qub Matondang, MA. Selaku Rektor Universitas Medan Area.
2. Bapak Drs. Dadan Ramdan, M.Eng. MSc. Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Medan Area
3. Bapak Ir. Yance Syarif. Selaku Pembimbing II dan Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Medan Area.
4. Bapak Ir. Zulkifli Bahri. Selaku Pembimbing I Jurusan Teknik Elektro Universitas Medan Area.
5. Kepada seluruh Pegawai dan Staf Pengajar Fakultas Teknik Jurusan Teknik Elektro Universitas Medan Area.
6. Bapak Drs. Mulkanuddin Ritonga, MM. Selaku Kadiv SDM PDAM TIRTANADI Medan .

Dalam Penulisan Tugas Akhir ini Penulis menyadari bahwa masih banyak sekali kekurangan dan kesalahan. Oleh sebab itu penulis mengharapkan adanya kritik dan saran yang baik demi kesempurnaan Tugas Akhir ini.

Akhirnya penulis mengharapkan semoga penulisan Tugas Akhir ini berguna Bagi kita semuanya, terutama bagi seluruh Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro di semua

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
RINGKASAN	ii
ABSTRAC.....	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1. Latar Belakang	1
I.2. Perumusan Masalah	3
I.3. Tujuan dan Manfaat	3
I.4. Batasan Masalah.....	4
I.5. Sistematika Penulisan	4
BAB II MOTOR INDUKSI 3 Ø.....	5
II.1. Prinsip Kerja Motor Induksi.....	5
II.2. Pembangkitan Medan Putar	7
II.3. Torque Motor Induksi	8
II.4. Kopel Dan Kecepatan Motor Induksi.....	10
II.5. Karakteristik Beban dan Perputaran Kopel	11
II.6. Hubungan Frekuensi Rotor Dengan Kondisi Start.....	12

II.7. Daya dan Faktor Daya Motor Induksi	14
II.8. Menstart Motor Induksi	15
II.8.1. Start Langsung Pada Saluran.....	16
II.8.2. Start Lilitan – Bagian dan Wye dan Delta	18
II.8.3. Start dengan menggunakan AutoTransformator.....	20
 BAB III PERALATAN PANEL KONTROL	
UNTUK MOTOR INDUKSI 3Ø 330 hp.....	22
III.1. Saklar	22
III.1.1. Umum.....	22
III.1.2. Saklar Putar (Cam Switch).....	23
III.1.3. Saklar Tekan (Push Button).....	23
III.2. Relay.....	27
III.2.1. Umum.....	27
III.2.2 Relay Beban Lebih (<i>Thermal Over Load Relay</i>).....	28
III.2.3 TDR (<i>Time Delay Relay</i>)	30
III.3. Kontaktor Magnet.....	31
III.3.1. Umum	31
III.3.2. Kontaktor Magnet Arus Bolak – Balik.....	33
III.3.3. Pengontrolan Motor dengan Kontaktor Magnetic.....	34
III.4. Peralatan Pengaman.....	35
III.4.1. Umum.....	35
III.4.2. Miniatur Circuit Breaker (MCB).....	35

III.4.3. Moulded Case Circuit Breaker (MCCB).....	36
III.4.4. Under Voltage Relay (UVR).....	37
III.5. Lampu Indikator.....	38
III.5.1. Umum	38
III.6. Bus Bar Penghantar	39
III.6.1. Umum	39
III.7. AutoTransformator.....	41
III.7.1. Umum	41
III.7.2. Perubahan Tap Tanpa Beban.....	42
III.7.3. Cara Kerja dan Penggunaan AutoTransformator Sebagai Start Motor.....	46
III.7.4. Isolasi Motor	47
III.8. Perhitungan Arus Motor Induksi 3 Phase Pada Jala – Jala	49
III.8.1. Arus Nominal Dan Arus Pengasutan Motor.....	49
III.8.2. Arus Pada Hubungan Wye – Delta	50
III.8.3. Arus Asut Motor Dengan menggunakan Trafo.....	51
III.8.4. Arus Pengasutan Dengan Menggunakan AutoTransformator.....	52
BAB IV APLIKASI PANEL KONTROL TERHADAP MOTOR INDUKSI 3 PHASE 330 HP DIKOPEL PADA POMPA.....	56
IV.9.1. Pompa Sentrifugal	56
IV.9.1.1 Prinsip Kerja Pompa Sentrifugal.....	56
IV.9.2 Karakteristik Pompa dan karakteristik saluran.....	59
IV.9.2.1 Karakteristik Pompa	59

IV.9.2.2 Karakteristik Saluran.....	60
IV.9.3. Motor Penggerak	61
IV.9.4. Spesifikasi Pompa	61
IV.9.5. Hubungan Antara Besar Daya Motor dengan Kapasitas Air yang diDistribusikan	62
IV.9.5.1 Head Pompa	62
IV.9.6. Menghitung Kinerja Pompa	64
IV.9.7. Dasar pemilihan Peralatan Rangkaian Daya Pada Panel Kontrol	65
IV.9.8. Sistem Pengontrol	69
IV.9.8.1. Rangkaian Kontrol Arus	70
IV.9.8.2. Rangkaian Pengawatan Panel Kontrol	74
IV.9.8.3. Rangkaian Daya	76
IV.10. Penggunaan (Aplikasi)	79
IV.10.1 Finished Water Pump.....	79
IV.10.2 Teknik Pengoperasian Pompa FWP	80
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	82
V.1. Kesimpulan	82
V.2. Saran	83
DAFTAR PUSTAKA	

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Ukuran dari suatu konduktor yang disesuaikan dengan besar arus yang digunakan sesuai dengan PUIL 2000.

Tabel 3.2. Kenaikan temperatur motor untuk tiap kelas isolasinya.

Tabel 3.3. Kombinasi untuk bahan tiap kelas isolasi

Tabel 4.1. Spesifikasi dari Pompa Sentrifugal

Tabel 4.2. Data name plate motor induksi 3 phase 330 Hp

Tabel 4.3. Kapasitas tegangan kerja dari suatu MCCB

Tabel 4.4. Tegangan kerja dari suatu kontaktor dengan type yang berbeda – beda

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Karakteristik slip terhadap model kerja ini diperlihatkan pada kurva diatas.

Gambar 2.2. Pembangkitan medan putar pada motor induksi

Gambar 2.3. karakteristik hubungan antara torka sebagai fungsi dari slip motor

Gambar 2.4. Karakteristik Kopel dari Beban

Gambar 2.5. Diagram Blok tingkatan daya dalam motor induksi

Gambar 2.6 *one line diagram* start motor induksi pada saluran

Gambar 2.7. Start motor induksi dengan hubungan wye - delta

Gambar 2.8. Penstart motor induksi dengan menggunakan Autotransformator.

Gambar 3.1. Beberapa bentuk symbol peralatan saklar putar

Gambar 3.2. kontruksi dari push button ON

Gambar 3.3. kontruksi dari push button OFF.

Gambar 3.4. Kontruksi dari push button ON / OFF.

Gambar 3.5. Symbol dan kontruksi thermal over load relay

Gambar 3.6. Terminal dari Time Delay Relay

Gambar 3.7. Menentukan terminal NO dan NC pada contactor dengan menggunakan

Ohm meter

Gambar 3.8. Simbol dari MCCB yang dihubung langsung dengan Busbar

Gambar 3.9. Rangkaian Start motor dengan AutoTransformator

Gambar 3.10. Rangkaian pengendali dengan menggunakan Autotransformator

Gambar 3.11. Perubahan tap pada autotransformator.

Gambar 4.1. Kontruksi dari Pompa Sentrifugal

Gambar 4.2. Kontruksi dari Kipas (impeller) pada Rumah Pompa

Gambar 4.3. Lintasan Aliran Cairan pada Rumah Pompa

Gambar 4.4. Karakteristik pompa

Gambar .4.5. Kolom vertikal berisi fluida

Gambar .4.6. Menunjukkan besaran Head Statis dalam sebuah sistem pemompaan dimana Pompa terletak di posisi lebih tinggi dari Tangki tempat penghisapan.

Gambar 4.7. Rangkaian kontrol arus motor induksi 3 phase

Gambar 4.8. Rangkaian Pengawatan peralatan panel kontrol motor induksi 3 phase

Gambar 4.9. Rangkaian daya pengawatan motor induksi 3 phase

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL

DAFTAR GAMBAR

BAB I PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

I.2. Perumusan Masalah

I.3. Tujuan dan Manfaat

I.4. Batasan Masalah

I.5. Sistematika Penulisan

BAB II MOTOR INDUKSI 3 Ø

II.1. Prinsip Kerja Motor Induksi

II.2. Pembangkitan Medan Putar

II.3. Torque Motor Induksi

II.4. Kopel Dan Kecepatan Motor Induksi

II.5. Karakteristik Beban dan Perputaran Kopel

II.6. Hubungan Frekuensi Rotor Dengan Kondisi Start

II.7. Daya dan Faktor Daya Motor Induksi

II.8. Menstart Motor Induksi

II.8.1. Start Langsung Pada Saluran

II.8.2. Start Lilitan – Bagian dan Wye dan Delta

II.8.3. Start dengan menggunakan AutoTransformer

BAB III PERALATAN PANEL KONTROL UNTUK MOTOR INDUKSI 3Ø 330 hp

III.1. Saklar

III.1.1. Umum

III.1.2. Saklar Putar (Cam Switch)

III.1.3. Saklar Tekan (Push Button)

III.2. Relay

III.2.1. Umum

III.2.2 Relay Beban Lebih (*Thermal Over Load Relay*)

III.2.3 TDR (*Time Delay Relay*)

III.3. Kontaktor Magnet

III.3.1. Umum

III.3.3. Kontaktor Magnet Arus Bolak – Balik

III.3.4. Pengontrolan Motor dengan Kontaktor Magnetic

III.4. Peralatan Pengaman

III.4.1. Umum

III.4.2. Miniatur Circuit Breaker (MCB)

III.4.3. Moulded Case Circuit Breaker (MCCB)

III.4.4. Under Voltage Relay (UVR)

III.5. Lampu Indikator

III.5.1. Umum

III.6. Bus Bar Penghantar

III.6.1. Umum

III.7. AutoTransformator

III.7.1. Umum

III.7.3. Perubahan Tap Tanpa Beban

III.7.4. Cara Kerja dan Penggunaan AutoTransformator Sebagai Start Motor

III.7.4. Isolasi Motor

III.7.4.1. Umum

BAB IV PERHITUNGAN ARUS PADA MOTOR INDUKSI DAN JALA – JALA.

IV.8.1. Arus Nominal Dan Arus Pengasutan Motor

IV.8.2. Arus Pada Hubungan Wye – Delta

IV.8.3. Arus Asut Motor Dengan menggunakan Trafo.

IV.8.4. Arus Pengasutan Dengan Menggunakan AutoTransformator.

BAB V APLIKASI PANEL KONTROL TERHADAP MOTOR INDUKSI 3 PHASE 330 HP DIKOPEL PADA POMPA

V.9.1. Prinsip Kerja Pompa Sentrifugal

V.9.1.1 Karakteristik Pompa

V.9.1.2 Karakteristik Saluran.

V.9.2. Motor Penggerak

V.9.3. Spesifikasi Pompa

V.9.4. Dasar pemilihan Peralatan Rangkaian Daya Pada Panel Kontrol

V.9.5. Sistem Pengontrol

V.9.5.1. Rangkaian Kontrol Arus

V.9.5.2. Rangkaian Pengawatan Panel Kontrol

V.9.5.3. Rangkaian Daya

V.9.6. Penggunaan (Aplikasi)

V.9.6.1 Finished Water Pump

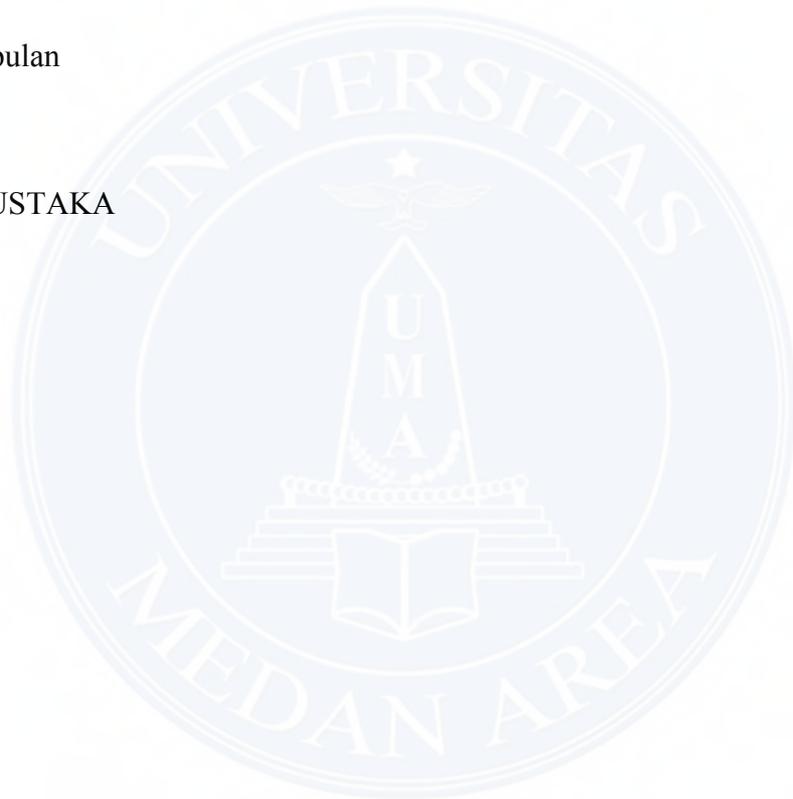
V.9.6.2 Teknik Pengoperasian Pompa FWP

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

VI.1. Kesimpulan

VI.2. Saran

DAFTAR PUSTAKA



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Dewasa ini dalam masa pembangunan banyak sekali industri-industri berkembang dan tumbuh dengan pesat. Hal ini dapat dilihat dari jenis pabrik atau industri yang telah berkembang atau sedang dibangun. Dengan adanya industri-industri ini, dipastikan sangat banyak sekali peralatan – peralatan listrik seperti motor-motor listrik, yang digunakan untuk penggerak mula peralatan pada industri tersebut, jenis motor listrik yang banyak digunakan pada suatu industri adalah motor induksi tiga fasa.

Dalam pengoperasian kerja motor induksi tentunya dibutuhkan beberapa peralatan – peralatan pengontrol seperti, kontaktor, relay, timer, peralatan pengaman, dan jenis peralatan lainnya. Peralatan kontrol itu sendiri berfungsi sebagai pengatur dari kerja motor itu sendiri. Dalam pengertian lain untuk mengoperasikan motor sesuai dengan keinginan kita, dapat dilakukan dengan cara pengaturan pada peralatan kontrol itu sendiri.

Dalam tugas akhir ini penulis akan mencoba membahas tentang ” **Studi Panel Kontrol untuk Motor induksi 3Ø, 330hp, 380Volt Dikopel Pada Pompa Pendistribusian Air Minum** ”. Adapun landasan teori dari kerja masing – masing peralatan kontrol itu sendiri seperti MCB yang berfungsi untuk pengaman arus gangguan dari jala – jala kemudian arus yang melalui MCB akan dialirkan menuju saklar, fungsi saklar itu sendiri yaitu sebagai pemutus dan penghubung atau (ON / OFF) dari pengoperasian kerja motor. kemudian akan dioperasikan oleh kontaktor.

Kontaktor ini juga mempunyai cara kerja yang hampir sama seperti saklar, karena kontaktor ini terdiri dari dua keadaan yaitu *Normally Close* dan *Normally Open*. Dalam pengoperasian kontaktor ini dapat juga dioperasikan oleh timer atau *Time Delay Relay*, yang selanjutnya akan mengoperasikan motor.

Agar beroperasi sebagaimana yang diharapkan, maka sangat diperlukan perlindungan pada motor yaitu proteksi. Fungsi dari proteksi ini adalah untuk memisahkan seketika bagian-bagian dari sistem tenaga listrik jika bagian tersebut mengalami gangguan atau jika peralatan mulai tidak normal yang dapat menimbulkan kerusakan pada sistem tenaga listrik.

Untuk menghindari hal – hal yang tidak diinginkan seperti kerusakan akibat hubung singkat atau arus lebih maka pada panel kontrol itu diperlukan peralatan – peralatan proteksi. Seperti proteksi motor dengan menggunakan arus, dipakai alat proteksi rele beban lebih (*over load relay*) yang dipasang diluar motor.

Seperti diketahui bahwa rele beban lebih hanya melindungi motor terhadap beban lebih saja, tetapi tidak dapat melindungi motor terhadap gangguan hubung singkat, maka motor harus dilepas dari jala – jala. Dalam hal ini bisa dikerjakan oleh sekering atau pemutus rangkaian (*circuit breaker*).

Selain peralatan kontrol dan proteksi yang menjadi peranan penting dalam hal pengoperasian motor. start motor , berikut juga kemampuan kerja motor juga perlu menjadi pembahasan dalam penulisan skripsi ini.

Untuk itu penulis mencoba menguraikannya melalui metode batasan masalah. Sampai sejauh manakah permasalahan ini akan dibahas.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, dapat diuraikan batasan permasalahannya yaitu :

1. Bagaimana Cara Kerja Dari Peralatan – Peralatan Panel yang digunakan untuk Pengoperasian Motor Induksi 3 Ø.
2. Bagaimana Cara Kerja Dari Rangkaian Panel Pengontrol Motor.
3. Bagaimanakah hubungan antara Besar Daya Motor dengan Debit air yang dihasilkan Pompa setiap detiknya.

1.3. Tujuan dan Manfaat

1. Mengetahui Berbagai Jenis peralatan – peralatan dan fungsinya yang digunakan pada Panel Kontrol untuk Pengoperasian Motor Induksi 3 Ø.
2. Mengetahui kemampuan kerja dari Motor Induksi 3 Ø
3. Mengetahui Besar Daya Air Pompa dengan menyesuaikan pada Kapasitas Daya Motor.

1.4 Batasan Masalah

Untuk mempermudah pembahasan, maka batasan masalah dalam melakukan laporan tugas akhir ini penulis membatasi pada ” **Sistem Penstart Motor dan Hubungan antara Daya Motor dengan Kapasitas Pompa** ”, yang di aplikasikan pada Perusahaan PDAM TIRTANADI instalasi DELI TUA.

1.5 Sistematika Penulisan

Tugas akhir ini terdiri dari lima pokok bahasan, yang perinciannya masing-masing adalah sebagai berikut :

- Bab I Pendahuluan Meliputi Latar Belakang Pentingnya Motor induksi Tiga phasa Dalam Suatu Pabrik Atau Industri, Perumusan Masalah, Tujuan Dan Manfaat, Dan Sistematika Penulisan.
- Bab II Tinjauan Pustaka Meliputi Teori Tentang Motor induksi Tiga Fasa
- Bab III Metode Analisa Yang Membahas Tentang Peralatan – Peralatan Yang Digunakan Sebagai Kontrol Untuk Motor Induksi 3 Ø. Serta Perhitungan Arus Dan Tegangan Yang Digunakan Pada Motor.
- Bab IV Aplikasi Penstart Motor, dan Besarnya Daya Motor yang dihubungkan Pada Pompa.
- Bab V Kesimpulan Dan Saran Berisikan Tentang Kesimpulan Dan Saran.

BAB II

MOTOR INDUKSI 3 Ø

2.1. Prinsip Kerja Motor Induksi

Pada motor induksi, supply listrik bolak-balik (AC) membangkitkan fluksi medan putar stator (B_s). Fluksi medan putar stator ini memotong konduktor rotor, sehingga membangkitkan ggl pada konduktor rotor. Karena konduktor rotor adalah rangkaian terhubung singkat, maka akan mengalir arus rotor. Karena adanya arus pada konduktor rotor, maka akan timbul medan rotor (B_r). Kemudian rotor berputar karena terjadi interaksi tarik-menarik antara medan putar stator dan medan rotor.

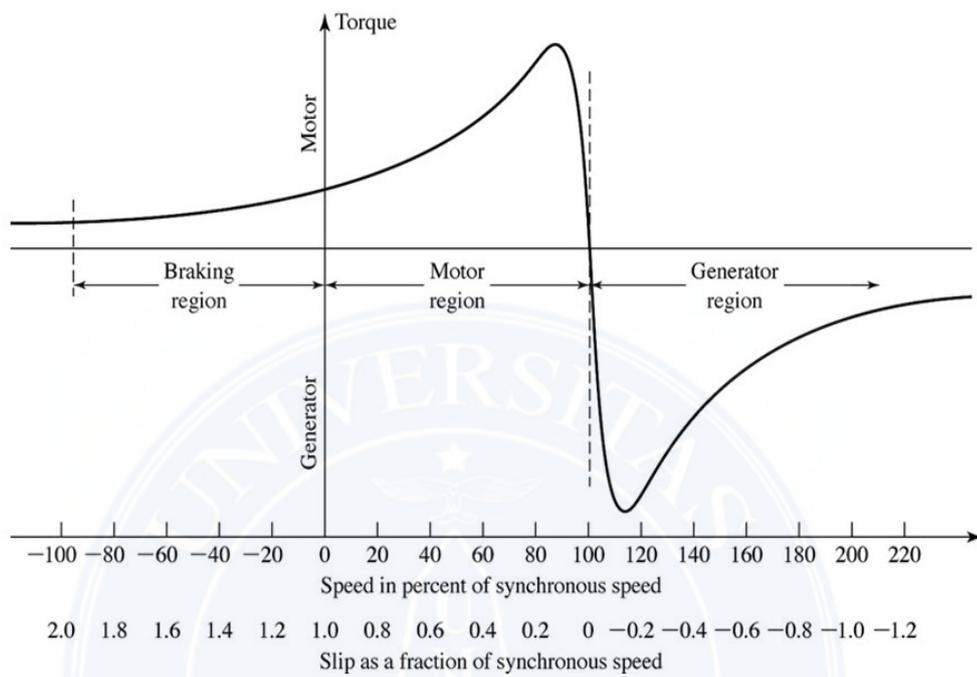
Induksi yang membangkitkan torca-start terjadi karena medan putar stator memotong konduktor rotor yang diam. Perbedaan kecepatan medan stator (n_s) dan rotor (n_r) ini harus dijaga karena jika $n_s = n_r$, motor akan berhenti berputar. Perbedaan kecepatan ini disebut slip dimana

$$\text{Slip} = (n_s - n_r) / n_s \dots\dots\dots(2. 1)$$

Dimana : n_s = medan stator

n_r = medan rotor

Perhat
ikan
gamba
r
karakt
eristik
slip
dibaw
ah ini
:



Gambar 2.1. Karakteristik slip terhadap model kerja ini diperlihatkan pada kurva

diatas.

Pada motor slip bernilai positif, karena n_s lebih besar dari n_r , Pada generator induksi, slip bernilai negative. Awalnya Stator dihubungkan dengan jala-jala listrik untuk membangkitkan medan putar stator dan induksi pada rotor, sehingga rotor berputar. Kemudian prime-mover yang terkoneksi dengan rotor dan diputar searah dengan putaran rotor, memberi tambahan torka sehingga rotor berputar melebihi kecepatan sinkron, sehingga slip bernilai negatif. Dan akhirnya energi listrik dikembalikan kepada jala-jala listrik.

2.2. Pembangkitan Medan Putar

Pembangkitan medan putar

Pada Motor sinkron 3 fasa, mengalir arus seimbang pada tiap fasa dengan beda sudut fasa 120°

$$i_a = I_m \sin \omega t$$

$$i_b = I_m \sin (\omega t - 120^\circ)$$

$$i_c = I_m \sin (\omega t - 240^\circ)$$

Tiap arus fasa membangkitkan ggm F yang merupakan fungsi sudut ruang θ

seperti $i_a \rightarrow F_a \cdot \cos \theta$. Dengan $F_a = F_m \cdot \sin \omega t$(2. 2

)

Maka ggm F tiap fasa yang dibangkitkan

$$F_a = F_m \sin \omega t \cdot \cos \theta$$

$$F_b = F_m \sin (\omega t - 120^\circ) \cdot \cos (\theta - 120^\circ)$$

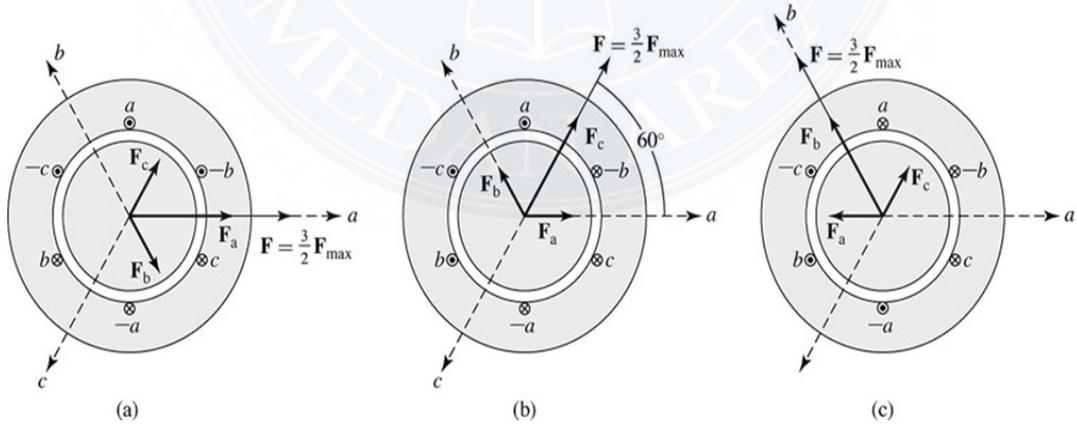
$$F_c = F_m \sin(\omega t - 240^\circ) \cdot \cos(\theta - 240^\circ)$$

Resultan ketiga ggm, $F_r = F_a + F_b + F_c$

Dan jika kemudian disederhanakan dengan persamaan trigonometri akan diperoleh

$$F(\theta, t) = \frac{3}{2} F_m \cdot \cos(\theta - \omega t) \dots \dots \dots (2. 3)$$

Yang berarti resultan-mmf adalah medan putar sebagai fungsi dari ruang dan waktu. seperti terlihat dalam gambar berikut :



Gambar 2.2. Pembangkitan medan putar pada motor induksi

2.3. Torka Motor Induksi

Pembangkitan Torca

$$\text{Persamaan torca } T = P / \omega = 3 E_2 \cdot I_2 \cdot \cos \phi \dots\dots\dots (2.4)$$

Dari rangkaian ekivalen diperoleh

$$I_2 = \frac{V_L}{\sqrt{\left(\frac{R_2}{s}\right)^2 + (X_2)^2}} \quad \text{dan} \quad \cos \phi = \frac{\frac{R_2}{s}}{\sqrt{\left(\frac{R_2}{s}\right)^2 + (X_2)^2}}$$

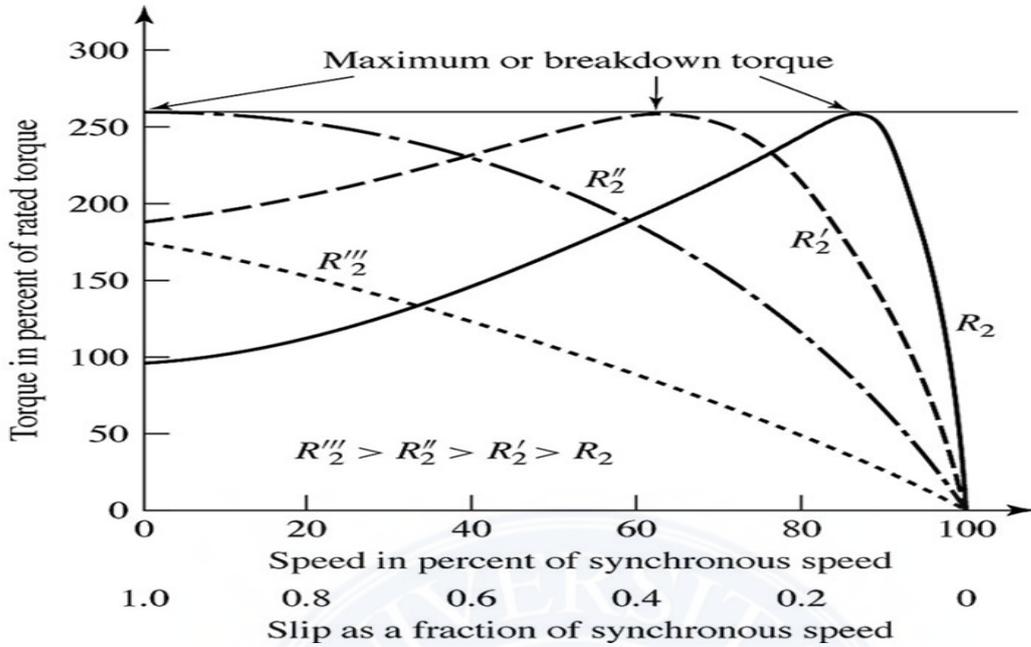
Maka

$$T = \frac{3}{\omega} V_1^2 \frac{s R_2}{R_2^2 + s^2 X_2^2}$$

Atau dapat juga digunakan persamaan dibawah ini :

$$T = \frac{\sqrt{3} \times V_L \times I_L \times \cos \theta \times n \times 9.55 \text{ (Nm)}}{n} \dots\dots\dots (2.5)$$

Terlihat bahwa Torca adalah fungsi dari slip seperti terlihat dalam diagram berikut :



Gambar 2.3. karakteristik hubungan antara torka sebagai fungsi dari slip motor

Dari persamaan terlihat Torka maksimum dapat diperoleh saat slip = $\pm R_2/X_2$

$$T_{\text{maksimum}} = \pm \frac{3 V_1^2}{2\omega X_2} \dots\dots\dots (2. 6)$$

Dari kurva terlihat :

- Pada saat start, torka maksimum diperoleh dengan cara membuat $R_2 = X_2$
- Besar R_2 mempengaruhi besar slip ketika terjadi torka maksimum.

2.4. Kopel Dan Kepesatan Motor Induksi

Kopel dihasilkan dalam motor induksi oleh interaksi antara fluksi stator dan

rotor. Fluksi yang dihasilkan oleh arus stator dihasilkan oleh kepesatan sinkron. Agar arus rotor dapat diinduksi, yang memungkinkan dihasilkannya kopel, rotor harus berputar pada kepesatan yang lebih rendah dari pada kepesatan sinkron. Pada keadaan tanpa beban, rotor tertinggal fluksi stator hanya sedikit karena kopel yang dibutuhkan hanya yang diperlukan untuk mengatasi rugi – rugi rotor.

Jika beban mekanis ditambah, kepesatan rotor berkurang. Berkurangnya kepesatan rotor memungkinkan medan berkepesatan konstan menyapu konduktor rotor pada laju yang lebih cepat, sehingga menginduksikan arus rotor yang lebih besar. ini menghasilkan keluaran kopel yang lebih besar pada kepesatan lambat.

Dengan bertambahnya beban arus rotor bertambah dengan arah sedemikian rupa sehingga mengurangi fluksi stator, dan dengan demikian mengurangi ggl lawan dalam lilitan stator. Berkurangnya ggl – lawan memungkinkan bertambahnya aliran arus stator, sehingga dengan demikian menambah masukan daya ke motor. Akan terlihat bahwa aksi motor induksi dalam menyetel arus stator atau arus primernya dengan perubahan arus dalam rotor atau rangkaian skundernya.

Kopel motor induksi yang ada karena interaksi medan rotor dan stator bergantung pada kekuatan dari medan tersebut dan hubungan fase antara mereka, pada seluruh daerah kerja normal K , ϕ dan $\cos \theta$ pada dasarnya adalah konstan. Kenaikan kopel sebanding dengan arus rotor I_r .

Yang secara matematis dapat dituliskan :

$$T = K. \Phi. I_r. \cos \theta_r \dots\dots\dots (2. 7)$$

T = kopel

K = konstanta

Φ = fluksi stator yang berputar

I_r = arus rotor

$\cos \theta_r$ = faktor daya rotor

2.5. Karakteristik Beban dan Perputaran Kopel

Hubungan antara perputaran beban dan kopel yang diperlukan untuk menjalankan beban pada putaran yang berubah – ubah disebut karakteristik dari beban. Mesin beban banyak mempunyai karakteristik kopel yang beraneka ragam, tergantung pada karakteristik dinamik, struktur dan sebagainya yang menjadi dasar pemilihan motor, kopel asut dan kopel maksimum dari mesin beban itu sendiri harus diteliti dengan baik sehingga motor yang dipilih sesuai dengan karakteristik mesin beban.

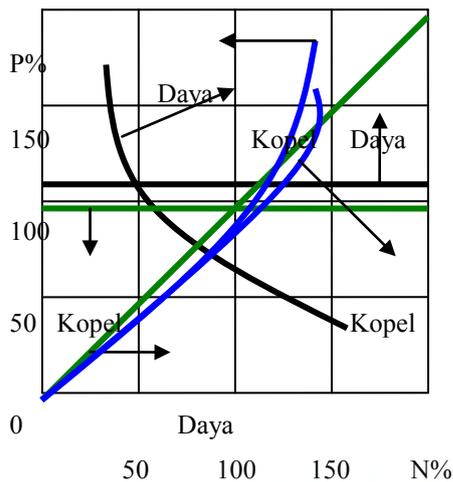
Besar kopel asut dan kopel maksimum dari motor biasanya dinyatakan dalam persen, bila keluaran nominal dalam (Kw), dan perputaran nominal dalam (rpm) yang diperlihatkan pada *name plate* maka kopel beban dalam (Kg .m) dapat dihitung dengan persamaan :

$$\text{Kopel Beban Penuh} = \frac{\text{Keluaran Nominal (KW)}}{\text{Perputaran Kopel Beban Penuh (rpm)}} \times 974 \text{ Kg.m} \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana :

974 Kg.m = besar daya kopel untuk setiap faktor kali 1 KW ditunjukkan pada *name plate* motor.

Perhatikan karakteristik dari beban dibawah ini :



Gambar 2.4. Karakteristik Kopel dari Beban

Keterangan Gambar

- Kurva Menunjukkan Beban Daya Konstan
- Kurva Menunjukkan Beban Kopel Konstan
- Kurva Menunjukkan Beban Kopel sebanding dengan kecepatan kwadrat

2.6. Hubungan Frekuensi Rotor Dengan Kondisi Start

Jika motor induksi 60 Hz dua kutub (kecepatan sinkron = 3600 rpm) bekerja pada slip 5 %, slip dalam putaran setiap menitnya adalah 3600×0.05 atau 180 rpm, ini berarti bahwa sepasang kutub stator melewati konduktor rotor tertentu 180 kali setiap menit, jika sepasang kutub bergerak melewati konduktor, satu siklus ggl diinduksikan dalam konduktor.

Jadi konduktor rotor yang dikemukakan tersebut akan menginduksikan

didalamnya dengan frekuensi 3 Hz. Jika slip dinaikan menjadi 10 % atau 360 rpm frekuensi ggl rotor naik menjadi 6 Hz, jika slip dinaikan menjadi 100% maka frekuensi akan menjadi 60 Hz.

Maka jelaslah bahwa frekuensi rotor bergantung pada slip. Untuk setiap harga slip, frekuensi rotor f_r , sama dengan frekuensi stator f_s dikalikan dengan slip S , yang dinyatakan dalam desimal.

Frekuensi rotor sangat berarti karena jika ia berubah, reaktansi rotor ($X_r = 2\pi f_r L_r$) juga berubah, hal ini akan berarti mempengaruhi karakteristik start maupun karakteristik operasi motor.

Karena frekuensi rotor dan reaktansinya adalah tinggi pada kondisi start yaitu dengan slip 100 %. Jadi dalam rangkaian rotor yang sangat reaktif, arus rotor tertinggal ggl rotor dengan sudut yang besar. hal ini berarti bahwa aliran arus maksimum terjadi dalam konduktor rotor pada suatu waktu setelah kerapatan fluksi maksimum stator melewati konduktor itu, hal ini hasilnya arus start yang tinggi pada faktor daya rendah, yang menghasilkan kopel start yang rendah.

2.7. Daya dan Faktor Daya Motor Induksi

Daya suatu motor induksi 3 phase dapat ditentukan dengan persamaan :

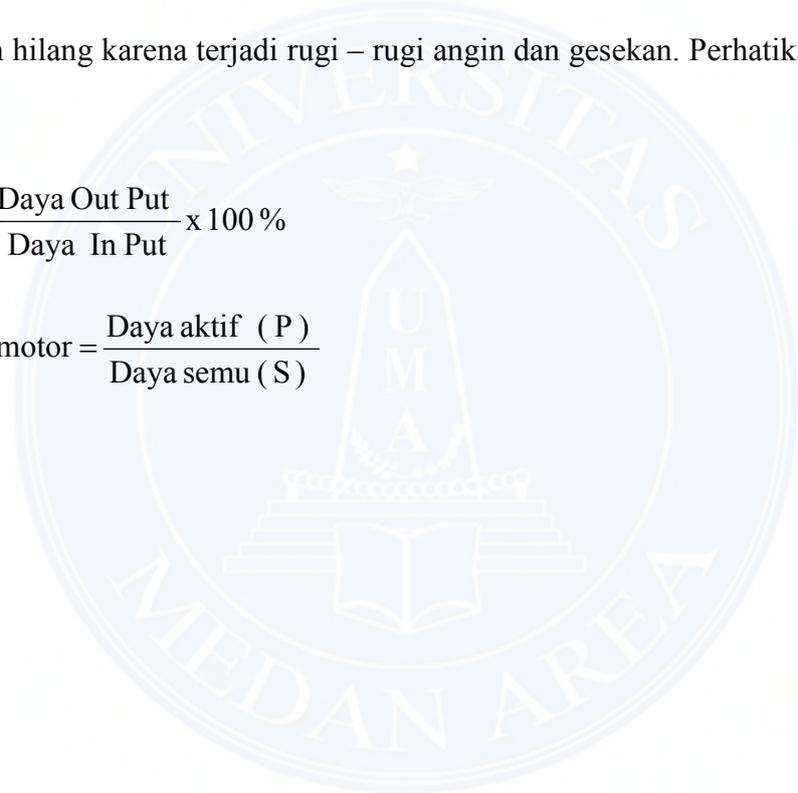
$$P_{in} = \sqrt{3} \times V_L \times I_L \times \cos \theta \text{ (Watt)} \dots\dots\dots (2. 9)$$

Daya yang dibutuhkan motor induksi ini tidak semuanya diubah menjadi daya mekanik pada poros motor karena terjadi rugi – rugi , jika $P_{in \text{ stator}} = P_{in \text{ rotor}} + \text{rugi} - \text{rugi tembaga atau rugi stator}$, maka $P_{out \text{ rotor}} = P_{in \text{ rotor}} - \text{Rugi} - \text{rugi Cu rotor}$.

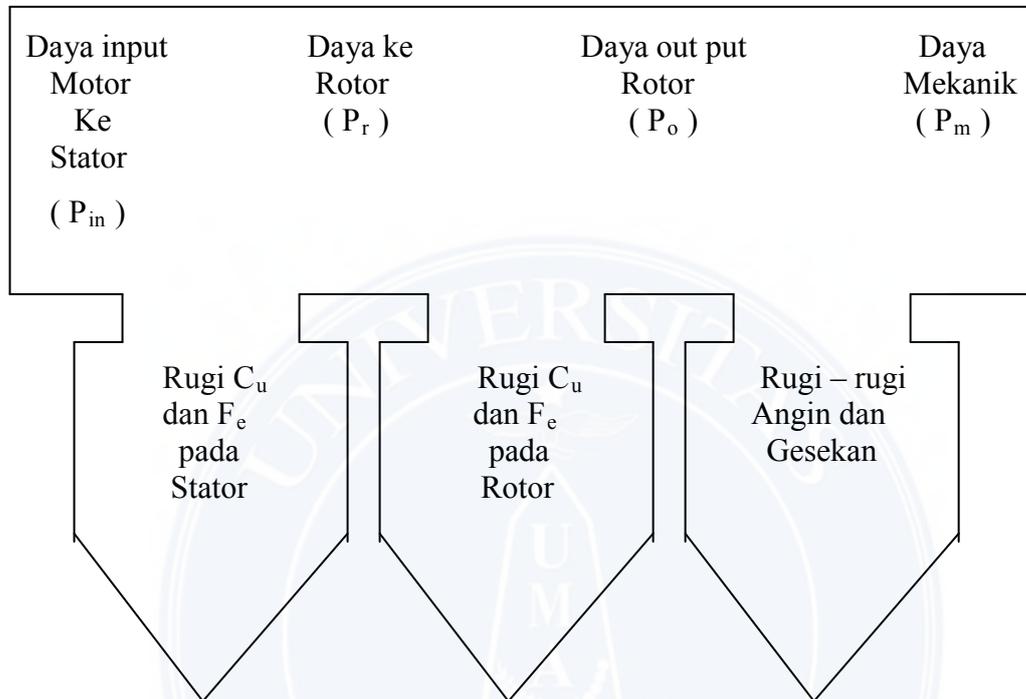
Daya out put rotor ini dikonversikan ke energi mekanik dimana sebagian daya tersebut akan hilang karena terjadi rugi – rugi angin dan gesekan. Perhatikan persamaan dibawah ini :

$$\eta_{\text{ motor}} = \frac{\text{Daya Out Put}}{\text{Daya In Put}} \times 100 \%$$

$$\text{Faktor daya motor} = \frac{\text{Daya aktif (P)}}{\text{Daya semu (S)}}$$



Untuk lebih jelasnya perhatikan diagram blok tingkatan daya dalam motor induksi dibawah ini :



Gambar 2.5. Diagram Blok tingkatan daya dalam motor induksi

2.8. Menstart Motor Induksi

Secara umum, motor induksi dapat distartkan baik dengan menghubungkan motor secara langsung ke rangkaian pencatu ataupun dengan menggunakan tegangan yang telah dikurangi kemotor selama periode start. Pengendali yang digunakan untuk menstart motor pada kedua metode tersebut dapat dioperasikan secara otomatis ataupun secara manual.

Motor induksi ini dapat dihubungkan langsung ke jala – jala tanpa merusak motor. Tetapi, karena adanya gangguan tegangan pada saluran jala – jala yang

diciptakan oleh arus start yang besar, motor – motor yang lebih besar daripada 7.5 – 10 hp kerap kali distart pada tegangan yang diturunkan.

Nilai daya kuda maksimum motor yang diizinkan untuk distart pada tegangan penuh bergantung pada rancangan motor, kapasitas pencatu.

Motor yang distart dengan tegangan penuh akan menghasilkan kopel start yang lebih besar dibandingkan jika motor distart pada tegangan yang dikurangi. Kenyataannya, dapat ditunjukkan bahwa kopel motor induksi berbanding lurus dengan kuadrat tegangan yang dikenakan. Maka jika selama saat start tegangan dikurangi hingga mencapai 80 % dari harga seharusnya, kopel start hanya akan mencapai harga 64 % dari yang diperoleh apabila start dengan tegangan penuh.

Tegangan yang dikurangi yang dikenakan pada motor selama periode start akan mengurangi arus start, dan pada saat yang sama menambah waktu percepatan karena start yang kurang. Jenis beban yang akan distart harus menjadi perhatian dalam menentukan cara start yang digunakan. Sebagai contoh, jika beban tertentu akan menjadi rusak oleh start yang tiba – tiba dan harus dipercepat secara perlahan, maka harus digunakan cara start dengan tegangan yang diturunkan.

Dalam hal ini penstart yang biasa digunakan akan dijelaskan sebagai berikut :

1. Start Langsung Pada Saluran
2. Start Lilitan – Bagian dan Wye dan Delta
3. Start dengan menggunakan Auto Transformator

2.8.1. Start Langsung Pada Saluran

Motor distart pada tegangan saluran penuh dengan menggunakan tegangan pada saluran. Penstart saluran penuh yang dioperasikan secara magnetic ditunjukkan dalam gambar diagram hubung penstart yang menggunakan kendali saklar tekan tiga kawat,

Gambar 2.6 *one line diagram* start motor induksi pada saluran

2.8.2. Start Lilitan – Bagian dan Wye dan Delta

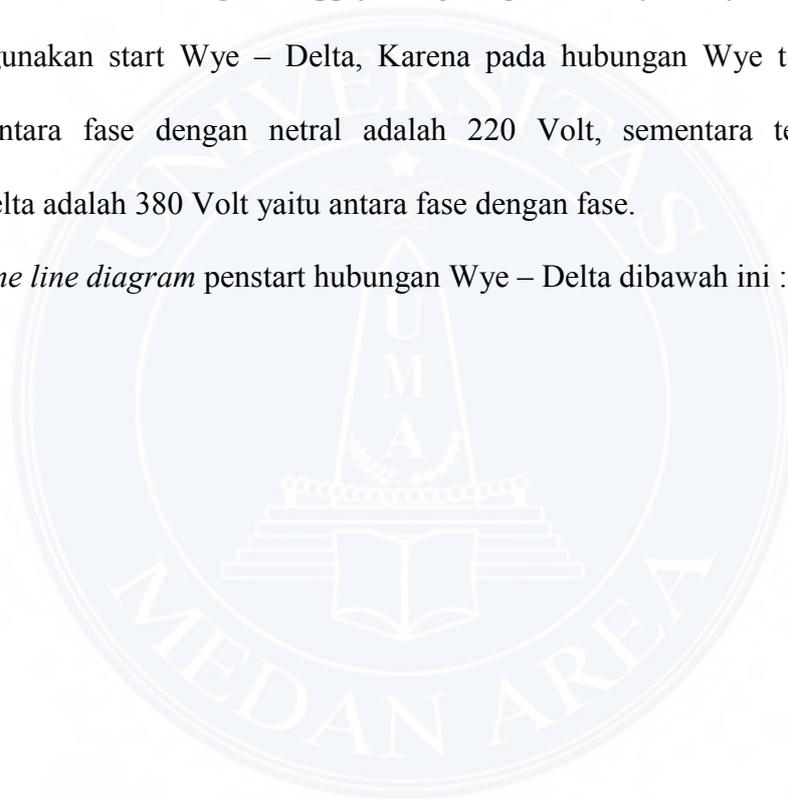
Start Lilitan – Bagian dan Wye dan Delta ini digunakan untuk mengurangi arus motor . adapun pemakaian start dengan lilitan – sebagian adalah motor harus mempunyai dua lilitan paralel terpisah dengan enam kawatnya yang dikeluarkan dari motor ke penstart. Penstart dirancang untuk menghubungkan salah satu dari lilitan motor tiga fase ke pencatu ketika diterima influs start, dan setelah selang waktu penundaan selama motor melakukan percepatan, penstart secara otomatis menghubungkan lilitan motor kedua ke pencatu , paralel dengan yang pertama walaupun dikenakan tegangan penuh pada setiap lilitan motor, arus start motor mula – mula lebih kecil dari pada arus start yang dihasilkan dari motor standart yang distart dengan tegangan penuh normal . akan tetapi dalam penggunaan cara ini haruslah karena kopel yang dihasilkan oleh setengah lilitan pertama motor mungkin tidak memadai untuk mempercepat bean dengan inersia tinggi.

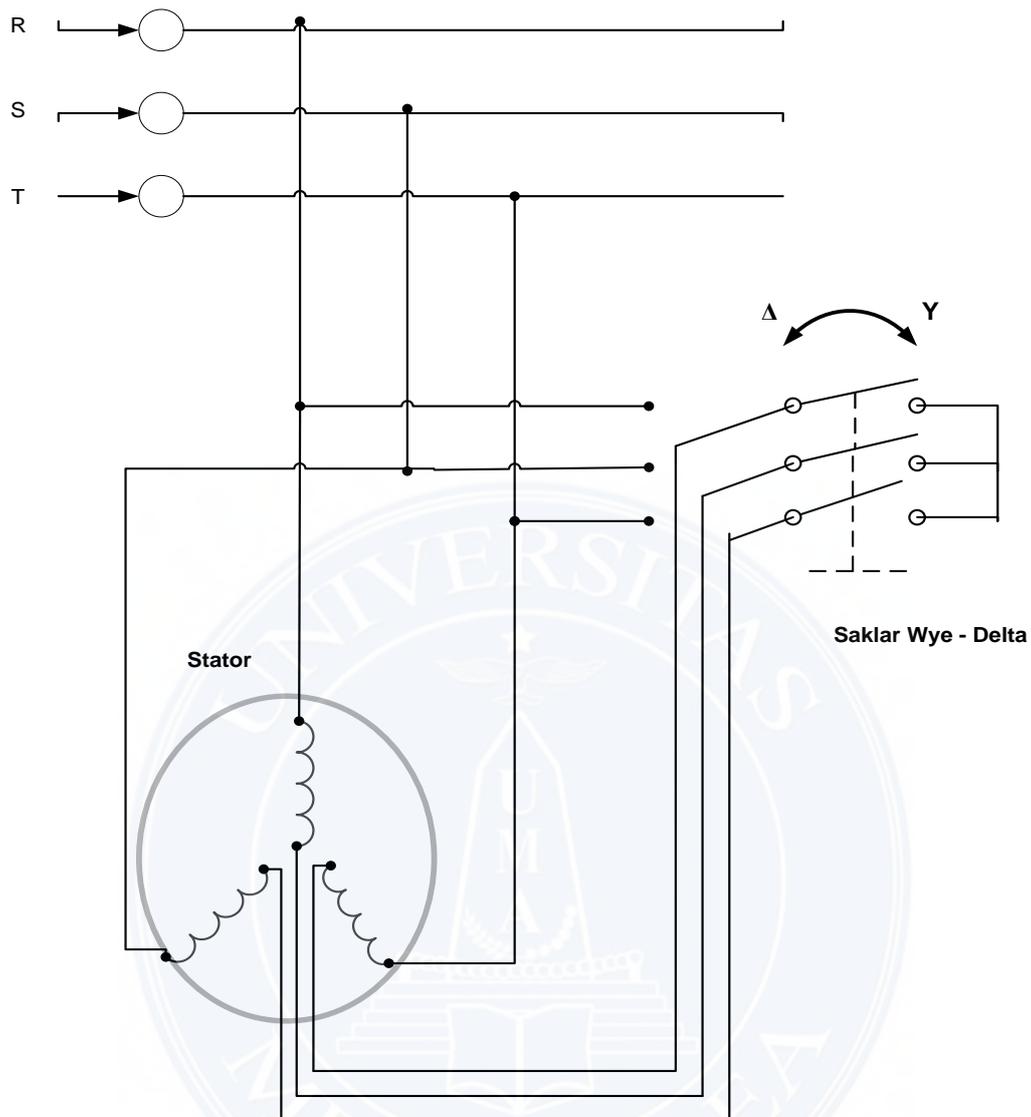
Penstart dengan Wye – Delta, mencakup mula – mula menghubungkan lilitan motor selama periode start dalam hubungan Wye dan demikian dalam hubungan Delta setelah motor melakukan percepatan. Jadi selama periode start tegangan catu fase hanya 57,7 persen dari tegangan saluran yang dikenakan pada lilitan motor dan diusahakan agar arus start dikurangi secara sebanding. Kedua ujung dari setiap fase dari lilitan motor harus dikeluarkan kepenstart sehingga pensaklaran dapat dilakukan. Penstart ini kerap kali digunakan untuk menstart motor yang menggerakkan beban yang mempunyai

waktu percepatan yang lama.

Tujuan dari start Wye – Delta itu tergantung pada tegangan pada motor, bila tegangan pada motor adalah 380 / 220 Volt berarti tegangan yang diberikan pada lilitan motor adalah 380 Volt, sedangkan supply dari jaringan biasanya hanya 220 Volt, untuk itu perlu digunakan start Wye – Delta, Karena pada hubungan Wye tegangan yang dihasilkan antara fase dengan netral adalah 220 Volt, sementara tegangan pada hubungan Delta adalah 380 Volt yaitu antara fase dengan fase.

Perhatikan *one line diagram* penstart hubungan Wye – Delta dibawah ini :





Gambar 2. 7. Start motor induksi dengan hubungan wye - delta

2.8.3 Start dengan menggunakan Auto Transformator

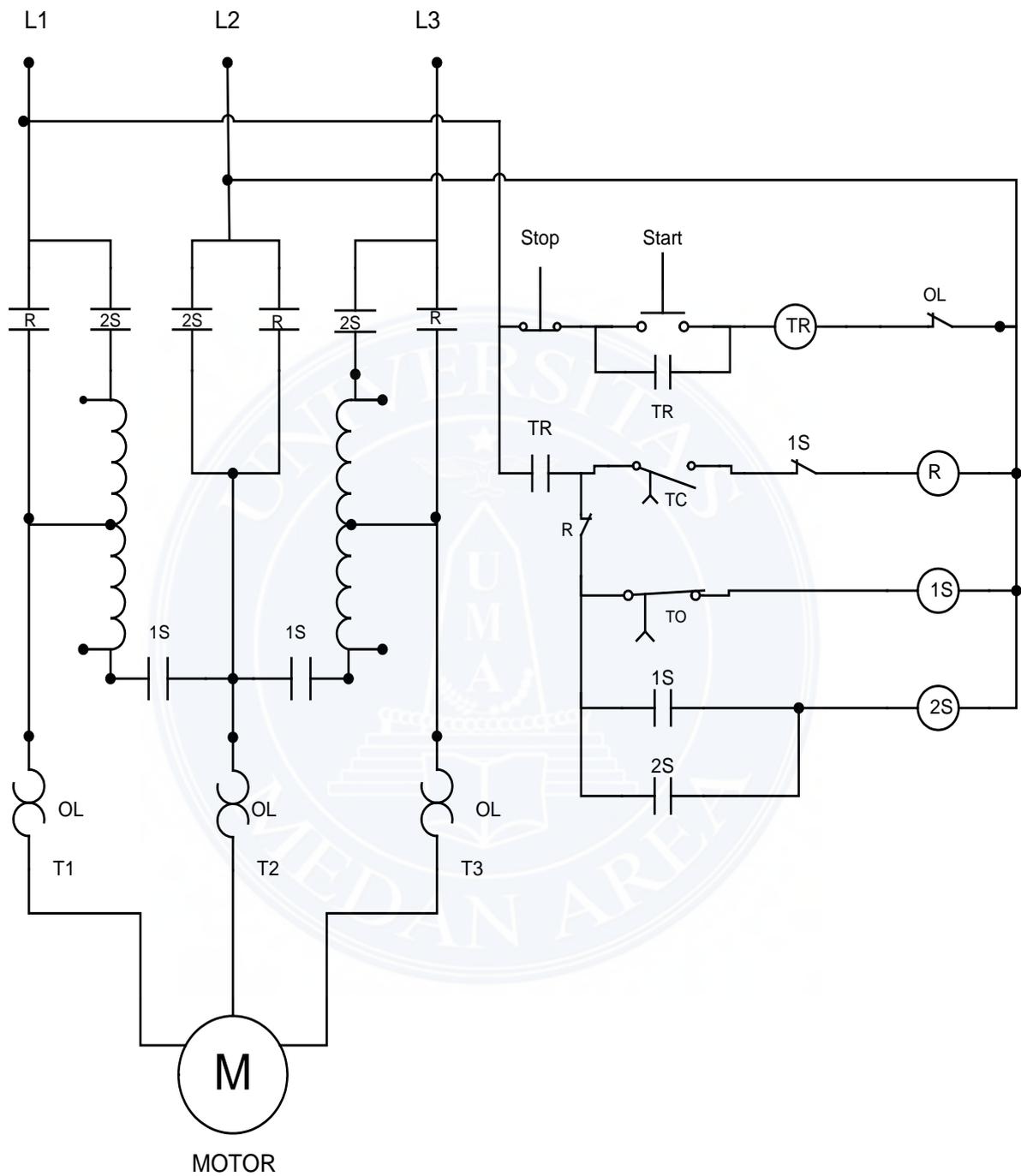
Penstart autotransformator digunakan untuk mengurangi tegangan yang dikenakan pada motor selama periode start dengan menggunakan autotransformator tiga fase . autotransformator dilengkapi dengan tap agar dapat dilakukan pemilihan 50, 60, atau 60 persen dari tegangan saluran sebagai tegangan start dengan pengurangan arus saluran pencatu yang bersesuaian.

Karena kopel start motor bervariasi menurut kuadrat tegangan yang dikenakan,

maka kopel yang dihasilkan bila menggunakan tap – tap ini berturut – turut menjadi 25, 45, 65, persen dari harga tegangan penuhnya. Oleh sebab itu tab dapat dipilih agar sesuai dengan kopel start yang diperlukan oleh motor yang diberikan dan beban yang dikemukakan.



Perhatikan gambar start dengan auto transformator dibawah ini :



Gambar 2.8. Penstart motor induksi dengan menggunakan Autotransformator.

BAB III PERALATAN PANEL KONTROL UNTUK MOTOR INDUKSI 3Ø 330 HP SERTA PERHITUNGAN ARUS PADA MOTOR INDUKSI DAN JALA – JALA.

3.1. Saklar

3.1.1. Umum

Saklar adalah sebuah perangkat yang digunakan untuk memutuskan jaringan listrik, atau untuk menghubungkannya. Jadi saklar pada dasarnya adalah alat penyambung atau pemutus aliran listrik. Selain untuk jaringan listrik arus kuat, saklar berbentuk kecil juga dipakai untuk alat komponen elektronika arus lemah.

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.

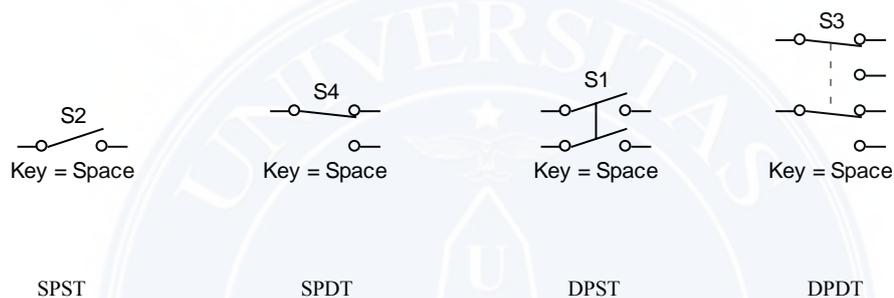
Dalam permasalahan ini hanya akan dibahas mengenai dua jenis saklar saja yaitu :

1. Saklar Putar (Cam Switch)
2. Saklar Tekan (Push Button)

3.1.2. Saklar Putar (Cam Switch)

Saklar ini adalah type saklar yang sangat sederhana, dalam pengoperasiannya banyak digunakan pada pengontrolan motor – motor daya kecil, dan motor – motor yang dapat dihubungkan secara langsung dengan jala – jala melalui saklar, system pengontrolan dengan saklar ini hanya dilengkapi dengan fuse sebagai proteksi.

Adapun symbol dari saklar ini adalah :



Gambar. 3.1. Beberapa bentuk symbol peralatan saklar putar

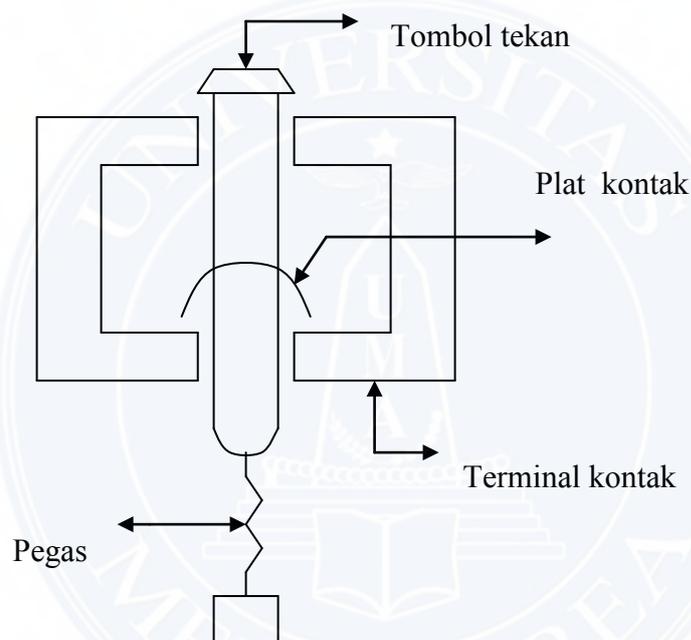
3.1.3. Saklar Tekan (Push Button)

Saklar ini bekerja dikarenakan tekanan yang bertujuan untuk mengoperasikan baik secara otomatis maupun secara manual. Saklar ini juga dapat distel menurut kebutuhan yang diinginkan. Dalam penggunaannya saklar tekan ini distel sekitar 120 Psi. saklar ini terdiri dari beberapa keadaan yaitu :

- Push Button ON
- Push Button OFF
- Push Button ON / OFF

a. Push Button ON

Adalah suatu saklar dengan kontaknya pada keadaan normal akan membuka ON sedangkan pada saat operasinya saklar ini akan menutup. Selama tombolnya tetap ditekan akan tetap terhubung dan jika dilepas maka tombolnya akan terbuka.

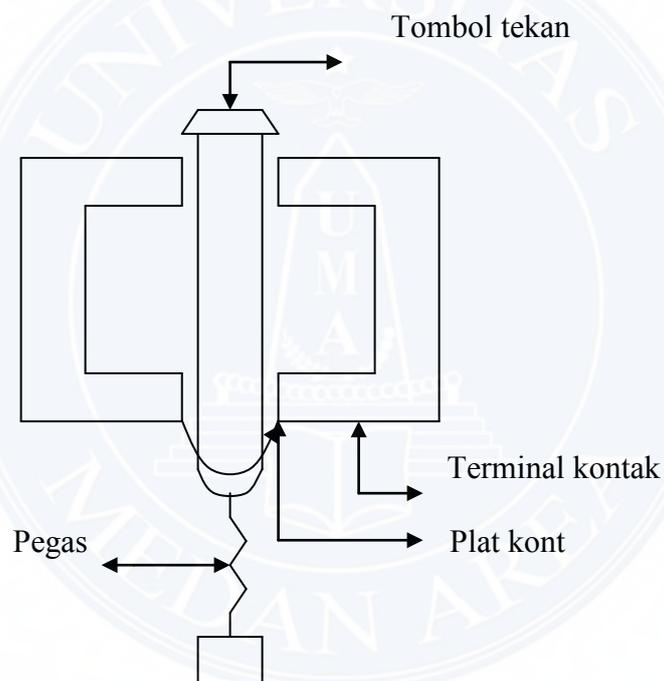


Gambar.3.2. kontruksi dari push button ON

b. Push Button OFF

Push button OFF adalah saklar yang bila dalam keadaan normal akan menutup dan pada keadaan bekerja akan terbuka ON, dan jika tombolnya dilepas maka saklar ini dalam keadaan OFF. Saklar ini biasanya digunakan untuk memutus aliran arus pada rangkaian control atau pemutus pada beban – beban.

Adapun konstruksi dari saklar push button OFF ini adalah :

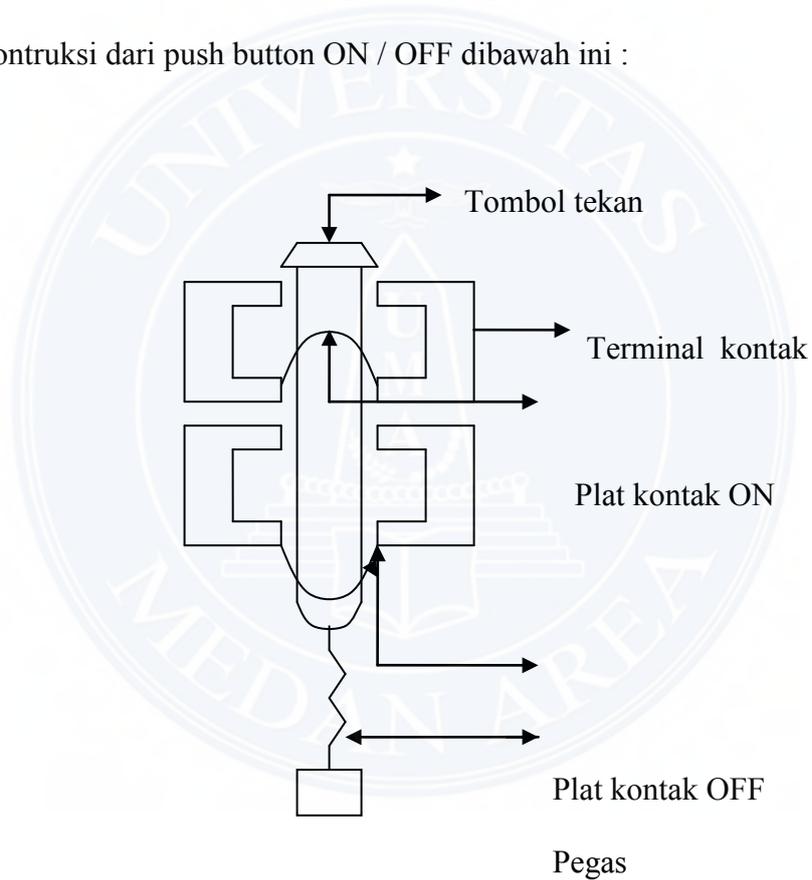


Gambar .3.3. konstruksi dari push button OFF.

c. Push Button ON / OFF

Push button ini adalah merupakan kombinasi tersusun paralel antara push button ON dan OFF yang dilengkapi dengan satu tombol tekan, maka pada saat pengoperasiannya tombol ON akan menjadi tertutup dan tombol OFF akan terbuka.

Perhatikan kontruksi dari push button ON / OFF dibawah ini :



Gambar .3.4. Kontruksi dari push button ON / OFF.

3.2. Relay

3.2.1. Umum

Relay merupakan rangkaian yang bersifat elektronis sederhana dan tersusun oleh beberapa komponen seperti :

- saklar
- medan elektromagnet (kawat koil)
- poros besi

Cara kerja komponen ini dimulai pada saat mengalirnya arus listrik melalui koil, lalu membuat medan magnet sekitarnya merubah posisi saklar sehingga menghasilkan arus listrik yang lebih besar. Disinilah keutamaan komponen sederhana ini yaitu dengan bentuknya yang minimal bisa menghasilkan arus yang lebih besar

Komponen sederhana ini dalam perkembangannya digunakan sebagai komponen dasar berbagai perangkat elektronika, lampu kendaraan bermotor, jaringan elektronik, televisi, radio, hingga peralatan system tenaga yang banyak dipakai pada industri dsb

Relay ini juga mempunyai beberapa keuntungan yaitu ;

- Dapat mengontrol sendiri arus serta tegangan listrik yang diinginkan
- Dapat memaksimalkan besarnya tegangan listrik hingga mencapai batas maksimalnya

- Dapat menggunakan baik saklar maupun koil lebih dari satu, disesuaikan dengan kebutuhan

Dalam Hal ini akan dibahas tentang beberapa penggunaan relay pada sistem tenaga listrik seperti :

- Relay Beban Lebih (*Thermal Over Load Relay*)
- TDR (*Time Delay Relay*)

3.2.2 Relay Beban Lebih (*Thermal Over Load Relay*)

Proteksi beban lebih bagi motor digunakan untuk melindungi motor dan peralatan kendali dari pemanasan yang berlebihan akibat motor kelebihan beban. *Thermal over load relay* (relay yang bekerja akibat kelebihan panas) biasanya digunakan untuk proteksi kelebihan beban pada motor. Ada dua type relay panas ini keduanya bekerja karena panas yang dibangkitkan dalam elemen pemanas yang dilalui oleh arus motor . pada type yang satu panas membengkokkan lempeng bimetal dan dalam type yang lain panas melumerkan lapisan solder . keduanya bekerja membuka rangkaian kendali motor. Lempeng bimetal terbuat dari logam yang berbeda yang permukaannya dilas menjadi satu . salah satu logam jika dipanaskan akan memuai sangat cepat, sedangkan yang lainnya tidak terlalu dipengaruhi oleh panas . jika diberi panas , lempeng akan melengkung Karena perbedaan pemuaian dari kedua logam. Jika arus motor mencapai harga yang ditentukan, panas yang dibangkitkan membengkokkan lempeng cukup jauh sehingga dapat membuka rangkaian kendali motor. Jika lempeng cukup dingin relay diset kembali dan motor dijalankan kembali.

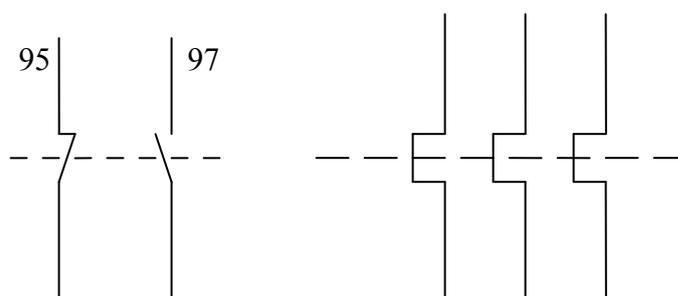
Dalam type lapisan solder dari sebuah relay beban – lebih, panas yang dibangkitkan pada arus beban – lebih tertentu akan melumerkan lapisan, yang akan melepaskan susunan kunci – pegas dan membuka rangkaian kendali motor. Jika solder cukup dingin untuk menahan kunci – pegas relay diset kembali.

Dalam masing – masing type relay panas , waktu yang dibutuhkan untuk bekerja ditentukan oleh besarnya arus yang mengalir dalam pemanas. Jadi relay bekerja lambat pada kelebihan beban yang kecil tetapi akan cepat sekali memutuskan hubungan motor untuk kelebihan beban yang membahayakan.

Relay yang waktu kerjanya berbanding terbalik dengan besarnya arus yang mengalir disebut relay waktu terbalik (*invers time relay*) . elemen pemanas relay beban lebih dan kontak dihubungkan berturut – turut dalam rangkaian utama motor dan rangkaian kendali.

Pada relay ini biasanya kontak – kontak NC dan NO yang masing – masing mempunyai tanda, dimana tanda untuk NC biasanya diberi tanda angka 1-2, 3-4, 5-6, atau huruf $L_1 - T_1$, $L_2 - T_2$, $L_3 - T_3$.

Perhatikan symbol dan kontruksi dari relay dibawah ini :



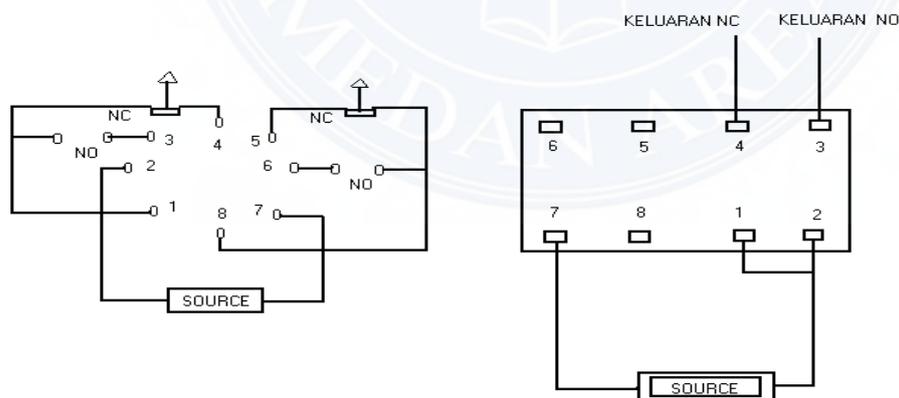
Gambar.3.5. symbol dan kontruksi thermal over load relay

3.2.3 TDR (*Time Delay Relay*)

Adalah merupakan sebuah relay waktu, yang pengaturan waktunya dapat diatur /di setting dalam jam, menit maupun detik, kontruksi TDR mempunyai 2 buah saklar NO dan saklar NC. Dengan cara kerja yang berbeda saklar NC bekerja apabila TDR dimasukkan sumber tegangan maka saklar NC akan menghubungkan kontak-kontaknya. Setelah beberapa detik kemudian atau sesuai dengan setingan waktu TDR , maka kontak NC yang terhubung tadi akan terlepas.

Kontak-kontak NO berkerja apabila setingan waktu TDR sudah habis maka kontak NO terhubung, sedangkan kontak-kontak NC yang terhubung tadi akan terlepas terhadap kontak-kontaknya.

Berikut bagian dari sebuah TDR :



Gambar .3.6. Terminal dari Time Delay Relay

Kontak NO = Pada saat sumber dimasukan ke TDR maka kontak NO tidak terhubung, kemudian setelah beroperasi sekian detik atau sesuai dengan setingan maka NO akan

terhubung.

Kontak NC = Pada saat sumber dimasukkan ke TDR maka kontak NC terhubung, kemudian setelah beroperasi sekian detik/sesuai dengan settingan maka NC akan terputus hubungan kontak- kontaknya.

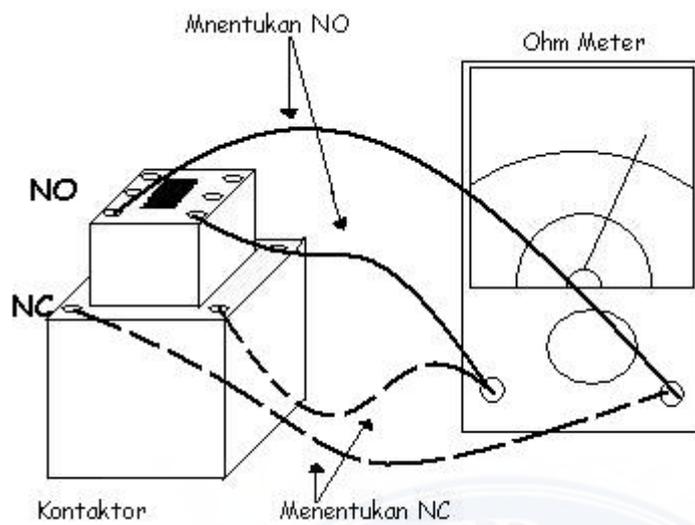
3.3. Kontaktor Magnet

3.3.1. Umum

Pada umumnya kontaktor magnet adalah sebuah alat yang berfungsi sebagai switch, dan hanya bekerja pada dua keadaan yaitu ON dan OFF . adapun prinsip kerja dari kontaktor ini jika dalam keadaan normal yaitu terminal NO akan terbuka dan terminal NC akan tertutup, pada saat tuas kontaktor tidak ditekan. Sebaliknya terminal NO tertutup dan terminal NC terbuka, pada saat tuas kontaktor ditekan atau diberi sumber.

Jika terminal kumparan magnet, diukur dengan menggunakan Ohm meter, maka akan menunjukkan nilai tahanan dari kontaktor tersebut, tanpa terpengaruh ditekannya tuas atau tidak.

Perhatikan gambar dibawah ini ;



Gambar.3.7. menentukan terminal NO dan NC pada contactor dengan menggunakan Ohm meter

1. Menentukan terminal NC

Atur saklar pada Ohm meter $\times 1 \Omega$, hubungkan tes lead merah ke terminal 13 dan test lead hitam ke 14 atau sebaliknya, bila jarum bergerak ke ukuran tahanan yang tinggi namun setelah tombol kontaktor ditekan jarum kembali ke posisi semula maka terminal tersebut merupakan terminal NC (Normally Closed). Terminal NC pada kontaktor ini di tunjukkan dengan kode nomor 13 dan 14, 15 dan 16, 17 dan 18.

2. Menentukan terminal NO

Atur saklar pada Ohm meter $\times 1 \Omega$, hubungkan tes lead merah ke terminal 1 dan test lead hitam ke 2 atau sebaliknya, bila jarum tak bergerak namun setelah tombol kontaktor ditekan jarum bergerak ke ukuran tahanan yang tinggi maka terminal tersebut merupakan terminal NO (Normally open). Terminal NO pada kontaktor ini di tunjukkan dengan kode nomor 1 dan 2, 3 dan 4, 5 dan 6.

3. Menentukan kumparan pada kontaktor

Atur saklar pada Ohm meter $\times 10 \Omega$, hubungkan tes lead merah ke terminal A_1 dan test lead hitam ke A_2 atau sebaliknya, kemudian ohm meter akan menunjukkan nilai tahanan dari kumparan tersebut, menandakan bahwa kumparan tersebut masih baik. Dengan nilai tahanan 28Ω .

3.3.2. Kontaktor Magnet Arus Bolak – Balik

Kontaktor magnetic atau yang biasa disebut dengan kontaktor magnet biasanya digunakan untuk pengendali motor seperti penstartan, penstopan dan pembalik arah putaran motor secara otomatis.

Pengendali ini biasanya digerakan dengan tombol tekan, pengoperasiannya juga dapat diatur dengan menggunakan peralatan otomatis seperti relay waktu dan peralatan otomatis lainnya. Pada dasarnya semua pengendali magnetic adalah kontaktor magnetic. Adapun komponen dalam pada kontaktor magnetic itu sendiri yaitu seperti kumparan kerja yang diletakkan pada inti besi sehingga jika arus mengalir melalui kumparan, maka akan timbul induksi pada inti besi. Hal ini akan menarik jangkar besi yang dapat digerakan yang membawa satu atau lebih kontaktot listrik. Jika jangkar digerakan mendekati inti kontak gerak digerakan melalui stasioner.

Kontak dihubungkan seri dengan alat yang dikendalikan, seperti rangkaian jangkar motor, sehingga terbentuklah rangkaian ketika kumparan diberi energi. Jika rangkaian kerja kumparan dibuka inti besi melepaskan magnet dan jangkar dilepas, dan akan kembali ke posisi membuka oleh pegas atau gravitasi. Karena kontak dari kontaktor dapat dirancang untuk menghasilkan arus yang besar, maka dengan demikian arus yang besar dapat dikendalikan oleh arus kumparan yang relative kecil yaitu yang digunakan sebagai pemberi energi pada kumparan kerja.

Selain itu kontaktor ini juga biasanya dilengkapi dengan kumparan pemadam bunga api yang bertujuan untuk memadamkan bunga api listrik yang terbentuk ketika arus besar diputuskan oleh kontak listrik. Pemadam bunga api magnetic adalah electromagnet yang dikonstruksikan sedemikian sehingga medannya dibentuk melewati bunga api.

Ketika kontak membuka, bunga api membentuk sudut yang tegak lurus terhadap arah medan. Jadi kontak akan berfungsi sebagai konduktor yang mengalirkan arus. Medan dan kontak disusun sedemikian sehingga bunga api ditarik menjauhi kontak, dan memadamkannya dalam waktu singkat. Agar kuat medan berbanding lurus dengan arus yang akan diputus, kumparan pemadam bunga api dihubungkan seri dengan rangkaian yang akan dibuka.

3.3.3. Pengontrolan Motor dengan Kontaktor Magnetik

Kontaktor bekerja atas prinsip electromagnetic, dimana sifat magnet akan menarik bagian inti gerak dari kontaktor, sehingga dapat mengoperasikan kontak – kontak dari kontaktor. Apabila arus listrik mengalir ke kumparan, maka akan timbul fluksi pada intinya, fluksi ini akan menghasilkan gaya electromagnetic, akibatnya kontaktor akan bekerja menutup dan membuka kontak – kontakannya.

Biasanya kontaktor mempunyai kontak – kontak yang cukup banyak dan dilengkapi dengan berapa kontak seperti :

- Kontak NC (Normally Close) dimana kontak akan bekerja (belitan magnet dialiri arus) kontak tersebut membuka dan sebaliknya apabila tidak dialiri arus kontak tersebut akan menutup.
- Kontak NO (Normally Open) yaitu kontak dimana saat belitan magnet dialiri arus listrik kontak tersebut akan menutup dan jika tidak dialiri arus maka kontak tersebut akan membuka.

3.4. Peralatan Pengaman

3.4.1. Umum

Peralatan pengaman biasanya sangat banyak digunakan pada rangkaian control motor, Karena peralatan pengaman ini mempunyai peran yang sangat penting untuk pengoperasian motor. Apabila pada motor ataupun pada jaringan terjadi gangguan seperti kekurangan tegangan, kapasitas beban yang melebihi kapasitas kerja motor, juga besar arus yang ditimbulkan, hal ini dapat mengakibatkan dampak yang negative seperti akan terjadi kerusakan pada peralatan kendali dan peralatan – peralatan control lainnya. Untuk itu peralatan pengaman dapat dikatakan sebagai alat vital dari suatu pengoperasian motor.

3.4.2 Miniatur Circuit Breaker (MCB)

Dalam penggunaannya MCB ini banyak bekerja sebagai pengaman terhadap

gangguan beban lebih dan *short circuit* , jika terjadi hal gangguan seperti ini maka MCB akan memutuskan rangkaian dari sumber. Pada MCB ini bagian perangkat yang digunakan sebagai proteksi beban lebih adalah dwilogam (bimetal), sedangkan untuk *short circuit* proteksi yang digunakan adalah electromagnet.

Dwilogam adalah dua buah plat logam tipis yang berbeda koefisien muainya, sehingga saat arus lebih akan memuaikan kedua logam tersebut, plat yang koefisien muainya lebih kecil akan membengkok dan terlepas, serta menggerakkan kontak – kontaknya. MCB ini dibuat dengan kutub tunggal untuk pengaman satu phase dan kutub banyak untuk pengaman tiga phase.

Berdasarkan penggunaan dan daerah kerjanya MCB dapat dikategorikan dalam lima jenis yaitu :

1. Jenis Z untuk pengaman semi konduktor dan trafo – trafo tegangan kecil
2. Jenis K untuk pengaman peralatan rumah tangga
3. Jenis G untuk pengaman motor
4. Jenis L untuk pengaman kabel dan jaringan
5. jenis H untuk pengaman penerangan bangunan.

3.4.3 Moulded Case Circuit Breaker (MCCB)

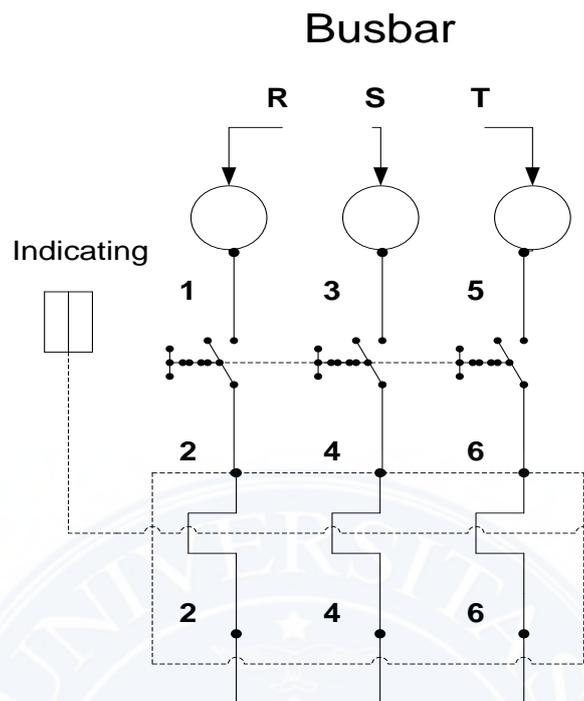
MCCB biasanya digunakan sebagai pemutus rangkaian daya motor yang dihubungkan langsung dengan jala – jala, dimana MCCB ini merupakan pengaman arus beban lebih dan pengaman arus hubung singkat.

Nama lain dari MCCB ini adalah NFT (No Fuse Breaker), MCCB ini memiliki handel yang berfungsi sebagai tombol operasi ON – OFF, handel akan berfungsi sebagai tombol ON pada posisi (1) dan OFF pada posisi (0). MCCB ini dilengkapi dengan kontak bantu yang berfungsi sebagai saklar control dan sebagai monitoring rangkaian.

Kontak bantu yang terdapat pada MCCB adalah :

- Kontak bantu standart NHi
- Kontak bantu NO Vhi.
- Kontak bantu handle – operated Ahi
- Kontak bantu Trip – indicating Rhi

Perhatikan gambar MCCB yang dihubungkan langsung dengan saluran dibawah ini :



Gambar.3.8. Simbol dari MCCB yang dihubungkan langsung dengan Busbar

3.4.4 Under Voltage Relay (UVR)

Dalam sistem pensuplai daya pada jala – jala biasanya sering sekali terjadi gangguan, misalkan penurunan tegangan kerja, juga pemutusan jaringan listrik, terjadi short pada jala – jala dan masih banyak lagi kemungkinan gangguan yang dapat terjadi. Dimana kesemuanya itu sangat mempengaruhi pengoperasian dari suatu system kerja. Misalkan untuk pengoperasian motor, bila terjadi penurunan catu tegangan pada jaringan (tegangan kerja turun) sampai dibawah harga tertentu atau berhenti sama sekali, maka salah satu peralatan dari rangkaian pengontrol seperti kontaktor akan beroperasi untuk melepaskan hubungan antara motor dengan saluran.

Jika dalam keadaan seketika tegangan pada jala – jala memberikan suplai lagi

maka kontaktor tidak akan langsung bekerja lagi sebelum tombol start ditekan, karena kontaktor yang dikendalikan oleh rangkaian kendali tiga – kawat mempertahankan pemutusan rangkaian sekalipun setelah pemutusan tegangan ada lagi. Dalam pengoperasiannya kendali ini menggunakan system yang dilengkapi dengan pemutus tegangan kurang (*Under Voltage Protection*). Dimana proteksi ini digunakan untuk menghindari start motor yang tidak diharapkan akibat kekurangan tegangan.

3.5. Lampu Indikator

3.5.1. Umum

Pada dasarnya lampu indicator ini beroperasi sesuai dengan operasi pada peralatan control, misalkan motor sedang beroperasi atau pada saat motor mengalami masalah. Disamping itu lampu ini juga sangat berguna sebagai tanda kepada operator bila terjadi hal – hal yang tidak diinginkan. biasanya lampu indicator yang digunakan meliputi tiga warna yaitu merah ,hijau dan kuning. Adapun fungsi dari ketiga warna tersebut adalah :

- Merah, lampu indicator berwarna merah berfungsi atau hidup apabila rangkaian control dalam keadaan OFF. Yaitu motor tidak sedang beroperasi.
- Hijau, indicator ini akan hidup bila rangkaian control sedang dalam keadaan bekerja. Yang berarti motor dalam keadaan hidup.
- Kuning, lampu indicator ini akan hidup bila pada rangkaian control, atau motor yang sedang beroperasi mengalami masalah, seperti kelebihan beban, terjadi short circuit dan sebagainya.

3.6. Bus Bar Penghantar

3.6.1. Umum

Bus bar penghantar adalah sebuah bahan yang umumnya terbuat dari jenis logam yaitu tembaga. Bus bar ini biasanya terdiri dari satu inti penghantar, dimana dalam penggunaannya diameter dari bus bar ini mencapai 40 x 5 mm. dalam penggunaannya busbar ini tidak dilengkapi dengan isolasi, hanya saja pada bagian luarnya dilapisi dengan serlak pernis, atau juga cat. dengan demikian ada tiga pokok kelengkapan dari suatu busbar yaitu :

1. konduktor penghantar berfungsi sebagai media penghantar listrik
2. Isolasi terbuat dari bahan isolator yang berfungsi untuk mengisolasi suatu inti yang lain dan juga terhadap lingkungannya.
3. pelindung luar berfungsi memberikan perlindungan dari kerusakan – kerusakan mekanis pengaruh bahan – bahan kimia api, atau terhadap pengaruh – pengaruh luar lainnya yang sifatnya dapat merusak kabel tersebut.

Busbar penghantar ini berfungsi untuk menghubungkan antara peralatan – peralatan control yang satu dengan yang lain, yang selanjutnya dihubungkan dengan peralatan atau beban – beban yang akan dioperasikan.

Berikut ini adalah tabel ukuran dari suatu konduktor yang disesuaikan dengan besar arus yang digunakan sesuai dengan PUIL 2000.

No	Busbar Kontaktor (mm ²)	Arus Maksimum (Amp)
1	16	110
2	25	145
3	35	180
4	105	425
5	120	440
6	125	460
7	230	660
8	240	685
9	265	720
10	300	790
11	305	795

Tabel 3.1. Ukuran dari suatu konduktor yang disesuaikan dengan besar arus yang digunakan sesuai dengan PUIL 2000.

3.7. AutoTransformator

3.7.1. Umum

AutoTransformator adalah transformator, dimana belitan skunder merupakan bagian dari belitan primer. Dengan demikian dapat juga dikatakan bahwa belitan primer dan skunder pada autotransformator dihubungkan secara listrik dan juga secara kopling magnetic / induktif. Prinsip kerja dari autotransformator yaitu fluksi magnet yang mengiduksikan ggl induksi pada kumparan primer (e_p) juga akan dialami oleh kumparan skunder (n_s) karena merupakan fluksi bersama, dengan demikian fluksi tersebut menimbulkan ggl induksi (e_s) pada kumparan skunder .

Selain itu perbandingan dari transformasi tegangan sama dengan perbandingan dari lilitan primer dan skunder jika kerugian dan arus penguat diabaikan.

Untuk beberapa transformasi yang banyak memerlukan banyak catu tegangan digunakan autotransformator yang lilitannya ditap pada beberapa titik . Hubungan dari beberapa tap bagian tap dikeluarkan menuju terminal dari peralatan control yang sesuai sehingga dapat dipilih beberapa tegangan yang dikehendaki.

Autotransformator digunakan bila diperlukan transformasi tegangan yang mendekati satu. Aplikasi autotransformator yang demikian adalah dalam “ *boosting* “ tegangan distribusi dengan beberapa persen untuk mengkompensasikan penurunan tegangan saluran. Aplikasi umum yang lain adalah penstartan motor ac, yang mana tegangan yang dikenakan pada motor dikurangi selama periode penstartan.

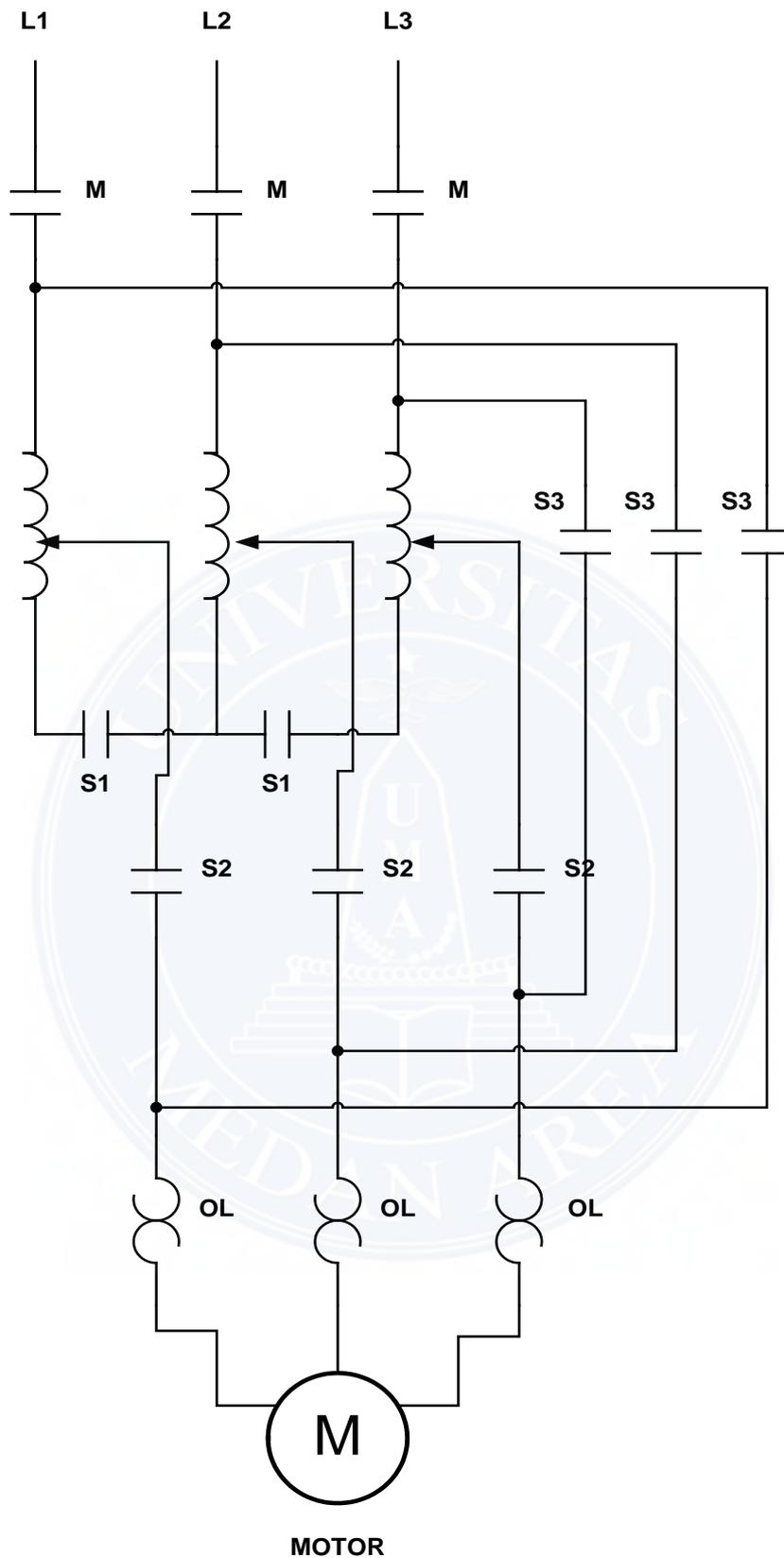
Dalam pemakaiannya autotransformator ini tidak aman, terutama dalam

pencatuan tegangan rendah dari sumber tegangan tinggi, yaitu jika lilitan terputus bersama primer dan skunder secara tak sengaja sehingga tegangan primer sepenuhnya akan muncul pada terminal skunder . untuk itu peraturan tentang keamanan harus selalu diikuti sewaktu mengoperasikan autotransformator.

3.7.2. Cara Kerja AutoTransformator Sebagai Start Motor Induksi

Start motor induksi dengan menggunakan AutoTransformator tujuannya adalah untuk mengurangi tegangan pada saat starting, selama periode starting motor terhubung dengan tegangan yang lebih kecil dari tegangan nominal motor pada autotrafo, ini berarti arus starting motorpun akan lebih kecil dibandingkan bila motor terhubung langsung dengan saluran pada jaringan, biasanya auto trafo mempunyai titik sadap atau perubahan tap untuk tegangan yang lebih kecil dimana pada tiap – tiap titik tersebut biasanya nilai tegangan terdiri dari dua titik tegangan yang masing – masing mempunyai nilai 60 %, 75 % dan 100% atau nilai yang berbeda tergantung pada penyesuaiannya dengan tegangan motor yang akan dipakai.

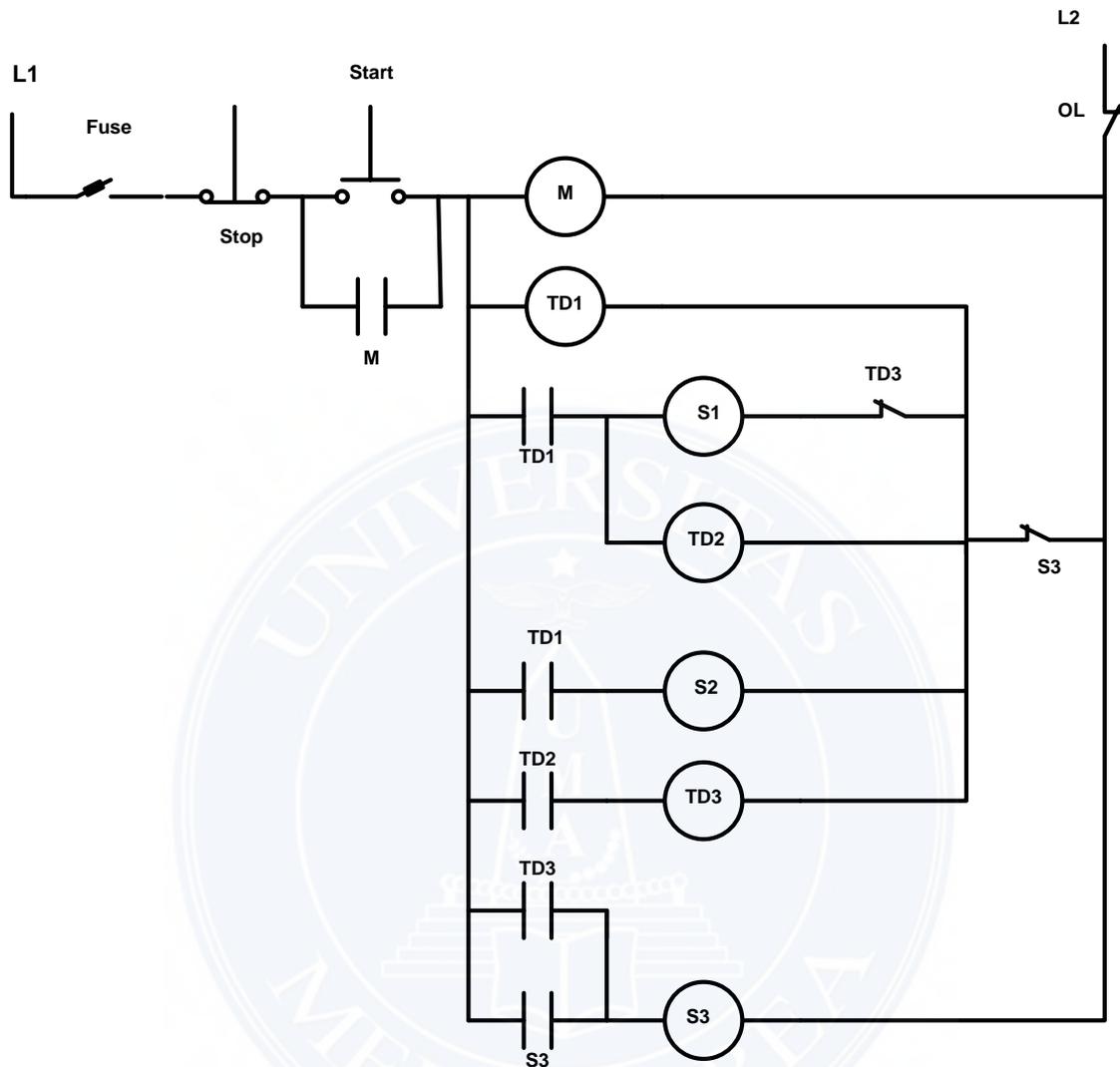
Perhatikan rangkaian sederhana start motor dengan autotransformator dibawah ini :



Gambar.3.9. Rangkaian Start motor dengan AutoTransformer.

Perhatikan diagram control untuk start motor dengan menggunakan autotransformator

dibawah ini :



Gambar.3.10. Rangkaian pengendali dengan menggunakan Autotransformator

Adapun cara kerja dari rangkaian pengendali tersebut yaitu :

Pada saat arus mengalir dari L_1 menuju ke L_2 dikarenakan tegangan pada L_2

lebih rendah dibandingkan pada tegangan pada L_1 , maka arus akan mengalir dan terhenti sampai pada tombol start, Ketika tombol start ditekan maka arus akan menginduksikan pada coil M, dan semua kontak M yang pada mulanya dalam keadaan NO akan menjadi NC, jika dilihat pada rangkaian daya maka kontak M pada saluran semuanya akan menutup.

Kemudian arus juga akan menginduksikan coil TD_1 , yang selanjutnya akan mengoperasikan seluruh kontak TD_1 NO menjadi NC, menutupnya kontak TD_1 berarti arus akan mengalir menginduksikan coil S_1 dan S_2 , berikut juga dengan coil TD_2 .

Maka pada rangkaian daya seluruh kontak S_1 dan S_2 akan menutup, menutupnya S_1 maka tegangan dari jaringan yang masuk melalui autotransformator sudah dapat dipergunakan hal ini diikuti dengan menutupnya kontak S_2 yang mengalir menuju motor, yang berarti arus dan tegangan pada auto transformator telah disesuaikan dengan tegangan dan arus pada motor. Kemudian pada rangkaian kontrol jika coil TD_2 terinduksi maka kontak TD_2 juga akan berubah, menutupnya kontak TD_2 berarti arus yang mengalir menginduksikan coil TD_3 .

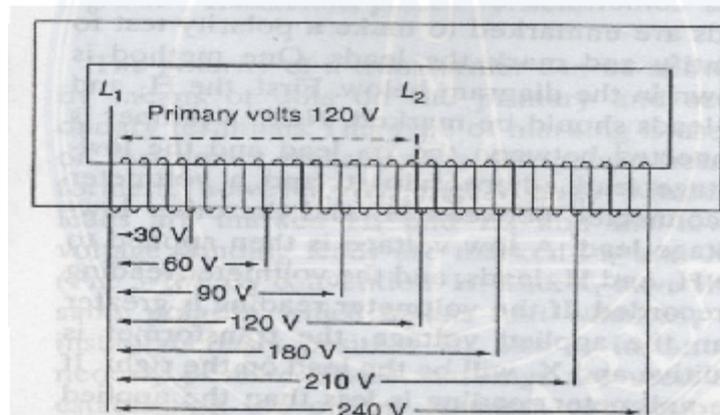
selanjutnya kontak TD_3 akan menutup dan menginduksikan coil S_3 , yang diikuti melepasnya sebagian kontak Nc dari TD_3 , terlepasnya kontak NC TD_3 maka akan memutus supply energi pada TD_1 dan TD_2 , maka secara bersamaa kontak S_1 dan kontak S_2 akan terlepas dan setelah motor bekerja melalui arus dan tegangan pada auto transformator, tidak lama setelah kontak S_3 menutup maka sumber tegangan akan diambil alih oleh tegangan jaringan yang telah disesuaikan arus motornya. Ini berarti motor telah bekerja secara normal.

3.7.3. Perubahan Tap Tanpa Beban

Untuk penyetelan yang sedikit dari perbandingan transformator, dan untuk mengkompensasi penurunan tegangan saluran, lilitan tegangan tinggi autotransformator kerap kali dilengkapi dengan alat pengubah tap. Lilitan ditap pada beberapa titik dan hubungan dari titik ini dibuat baik kesaklar pengubah tap ataupun keblok terminal pada transformator.

Dengan mengoperasikan saklar, dapat juga dilakukan perubahan pada sejumlah lilitan aktif dalam lilitan tegangan tinggi. Perubahan ini harus dilakukan dalam kondisi transformator tanpa beban, kecuali dalam transformator type tertentu dimana dibuatkan ketentuan khusus untuk perubahan tap dalam keadaan berbeban.

pada
dibawah



Perhatikan gambar
perubahan tap
autotransformator
ini :

Gambar.3.11. Perubahan tap pada autotransformator.

3.7.4. Isolasi Motor

Pada saat motor beroperasi akan mengakibatkan kenaikan temperatur pada

belitan motor, dengan demikian kenaikan temperatur adalah salah satu spesifikasi dari motor dan operasinya. berikut ini adalah tabel kenaikan temperatur motor untuk tiap kelas isolasinya.

Tabel 3.2. Kenaikan temperatur motor untuk tiap kelas isolasinya :

Kelas isolasi	Kenaikan Temperatur	Temperatur Maksimum	Temperatur Minimum
A	60 °C	105 °C	40 °C
E	75 °C	120 °C	40 °C
B	80 °C	130 °C	40 °C
F	95 °C	155 °C	40 °C
H	130 °C	180 °C	40 °C

Pada tabel diatas semakin baik kelas isolasinya akan semakin tinggi temperatur yang diizinkan untuk beroperasi, dari tabel tersebut kelas yang paling baik adalah kelas H yang mempunyai temperatur operasi yang tinggi.

Isolasi yang digunakan pada motor listrik tidak hanya terdiri dari satu jenis material saja, tetapi dapat juga menjadi gabungan dari beberapa jenis material. Adapun jenis material yang sering digunakan pada motor listrik adalah jenis katun, sutra, mika, fiber glass, asbestos, silicon dan lastomer. Beberapa jenis material itu dikombinasikan untuk mendapatkan kelas isolasi yang diinginkan. Sesuai dengan ketentuan temperatur yang telah disebutkan pada tabel diatas .

Untuk lebih jelasnya perhatikan tabel kombinasi untuk bahan tiap kelas isolasi dibawah ini :

Kelas isolasi	Jenis Bahan	Material Bahan	Keterangan
A	Kombinasi/Material	Katun, Sutra ,Kertas	Pemanas Minyak
E	Material	Katun, Sutra ,Kertas	15 ⁰ diatas kelas A
B	Kombinasi/Material	Mika , fiber , glass	-
F	Kombinasi/Material	Silikon , lastmosfer	Temperatur tinggi
H	Kombinasi/Material	Mika , fiber , glass	-

Tabel 3.3. Kombinasi untuk bahan tiap kelas isolasi

3.8. Perhitungan Arus Motor Induksi 3 Phase Pada Jala – Jala

Untuk kebanyakan motor listrik nilai arus asut adalah 4 s/d 6 kali dari arus nominal, tetapi untuk motor – motor yang berkapasitas besar hal ini tidak dapat diizinkan, karena dapat mengganggu jaringan dan motor itu sendiri. Pada analisa perhitungan arus motor ini, penulis menggunakan factor kali 4.

Sebelum motor dioperasikan agar diperlihatkan data – data motor pada *name plate* yang tertera pada motor itu sendiri.

3.8.1. Arus Nominal Dan Arus Pengasutan Motor

Untuk arus nominal dan arus pengasutan, motor listrik akan dioperasikan dengan system pengasutan langsung.

Data Motor :

Daya	: 330 Hp	Tegangan	: 220 V / 380 V
N (Putaran)	: 1488 rpm	frekuensi	: 50 Hz
η (Effisiensi)	: 82 %	Cos ϕ	: 0.82
I_{nominal}	: 460 Amper	% Effektif	: 96 %

Hubungan belitan stator adalah bintang, motor dihubungkan langsung dengan jaringan 3 ϕ , 380 Volt. Dari data motor dapat ditentukan Inominal dan Ipengasutan motor.

Daya motor 330 Hp x 746 W = 246180 W atau \pm 250 KW.

Pada system 3 ϕ besar Ptotal = jumlah dari ke 3 daya perphase.

$$\begin{aligned} P &= \sqrt{3} \times V_L \times I_L \times \text{Cos } \phi \\ &= \sqrt{3} \times 380 \times 460 \times 0.82 \\ &= \pm 250 \text{ KW.} \end{aligned}$$

Besar I_{nominal}

$$I_{\text{nominal}} = \frac{P}{\sqrt{3} \times V_L \times \text{Cos } \phi}$$

$$= \frac{250.000}{\sqrt{3} \times 380 \times 0.82}$$

$$= 462 \text{ Ampere}$$

Maka besar arus asut motor : $4 \times 462 \text{ Ampere} = 1848 \text{ Ampere}$

3.8.2. Arus Pada Hubungan Wye – Delta

Motor dihubungkan langsung dengan jaringan 3 ϕ , 380 Volt. Hubungan pada kumparan motor saat motor beroperasi secara normal adalah hubungan Delta.

Data Motor :

Daya	: 330 Hp	Tegangan	: 220 V / 380 V
N (Putaran)	: 1488 rpm	frekuensi	: 50 Hz
η (Effisiensi)	: 82 %	Cos ϕ	: 0.82
I_{nominal}	: 460 Ampere	% Effektif	: 96 %

Daya motor 330 Hp x 746 Watt = 246180 Watt atau $\pm 250 \text{ KW}$.

I_{nominal} pada saat running :

$$I_{\text{nominal}} = \frac{P}{\sqrt{3} \times VL \times \text{Cos } \phi}$$

$$= \frac{250.000}{\sqrt{3} \times 380 \times 0.82}$$

$$= 462 \text{ Ampere}$$

Jadi $I_{\text{start}} = 4 \times 462 \text{ Amper} = 1848 \text{ Ampere}$

Besar arus ini adalah besar arus yang mengalir pada kumparan motor pada hubungan Delta. Bila pada saat pengasutan hubungan kumparan motor dirubah menjadi

hubungan delta maka I yang mengalir pada line sama dengan arus phase kumparan motor hubungan bintang (Wye). Atau besar arus asut pada hubungan bintang adalah :

$$I_{st \dot{Y}} = \frac{I_L \times \Delta}{3} = \frac{462}{3} = 154 \text{ Ampere}$$

Maka besar arus asut hubungan bintang = 4 x 154 Ampere = 616 Ampere

Dapat diketahui bahwa arus asut pada hubungan delta dapat diperkecil dengan merubah hubungan kumparan motor menjadi hubungan delta.

3.8.3. Arus Asut Motor Dengan menggunakan Trafo.

Jika pada motor dihubungkan dengan jaringan 3 ϕ , 220 V / 380 V, Hubungan pada kumparan motor saat motor beroperasi secara normal adalah hubungan bintang.

Dari data motor dapat ditentukan $I_{nominal}$ dan $I_{pengasutan}$ motor.

Data Motor :

Daya	: 330 Hp	Tegangan	: 220 V / 380 V
N (Putaran)	: 1488 rpm	frekuensi	: 50 Hz
η (Effisiensi)	: 82 %	Cos ϕ	: 0.82
$I_{nominal}$: 460 Ampere	% Effektif	: 96 %

Daya motor 330 Hp x 746 W = 246180 W atau \pm 250 KW.

$I_{nominal}$ pada saat running :

$$I_{nominal} = \frac{P}{\sqrt{3} \times V_L \times \text{Cos } \phi}$$

$$= \frac{250.000}{\sqrt{3} \times 380 \times 0.82}$$

$$= 462 \text{ Ampere}$$

Jika motor distart langsung dengan jala – jala maka besar arus start yang diperlukan adalah :

$$I_{\text{start}} = 4 \times 462 \text{ Amper} = 1848 \text{ Amper}$$

Harga arus diatas adalah besar arus yang mengalir pada kumparan motor, maka besar impedansi motor adalah :

$$\begin{aligned} Z &= \frac{E}{I_{\text{nominal}}} \\ &= \frac{380}{462} \\ &= 0.822 \text{ ohm} \end{aligned}$$

3.8.4. Arus Pengasutan Dengan Menggunakan AutoTransformator.

Dimisalkan jika system control motor menggunakan pengasutan dengan autotransformator, dan pada motor dihubungkan dengan jaringan 3 ϕ , 220 V / 380 V bila besar supply tegangan dimisalkan 60 %, 75 % dan 100 % dari tegangan jala – jala, maka arus yang mengalir pada kumparan motor adalah :

Data Motor :

Daya	: 330 Hp	Tegangan	: 220 V / 380 V
N (Putaran)	: 1488 rpm	frekuensi	: 50 Hz
η (Effisiensi)	: 82 %	Cos ϕ	: 0.82
I_{nominal}	: 460 Amper	% Efektif	: 96 %

Daya motor 330 Hp x 746 W = 246180 W atau \pm 250 KW.

Dari data motor maka diperoleh besar I_{nominal} adalah :

$$\begin{aligned}
 I_{\text{nominal}} &= \frac{P}{\sqrt{3} \times V_L \times \cos \phi} \\
 &= \frac{250.000}{\sqrt{3} \times 380 \times 0.82} \\
 &= 462 \text{ Ampere}
 \end{aligned}$$

Untuk nilai tegangan 60 % dari tegangan jala – jala maka I_{nominal} motor adalah :

$$\begin{aligned}
 I_{\text{nominal}} &= \frac{60\% \cdot E}{Z} \\
 Z &= \frac{E}{I_{\text{nominal}}} \\
 &= \frac{380}{462} \\
 &= 0.822 \text{ ohm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{\text{nominal}} &= \frac{60\% \cdot E}{Z} \\
 &= \frac{60\% \cdot 380}{0.822} \\
 &= 277 \text{ Ampere}
 \end{aligned}$$

Jadi besar arus yang mengalir pada supply tegangan 60 % dari tegangan jala – jala adalah 277 Amper, dan besar arus start adalah :

$$I_{\text{start}} = 4 \times 277 \text{ Amper} = 1108 \text{ Amper.}$$

Untuk nilai tegangan 75 % dari tegangan jala – jala maka I_{nominal} motor adalah :

Jadi besar arus yang mengalir pada supply tegangan 75 % dari tegangan jala – jala

$$I_{\text{nominal}} = \frac{75\% \cdot E}{Z}$$

$$\begin{aligned}
 Z &= \frac{E}{I_{\text{nominal}}} \\
 &= \frac{380}{462} \\
 &= 0.822 \text{ ohm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{\text{nominal}} &= \frac{75\% \cdot E}{Z} \\
 &= \frac{75\% \cdot 380}{0.822} \\
 &= 346 \text{ Ampere}
 \end{aligned}$$

Jadi besar arus yang mengalir pada supply tegangan 75 % dari tegangan jala – jala adalah 346 Amper, dan besar arus start adalah :

$$I_{\text{start}} = 4 \times 346 \text{ Ampere} = 1384 \text{ Ampere.}$$

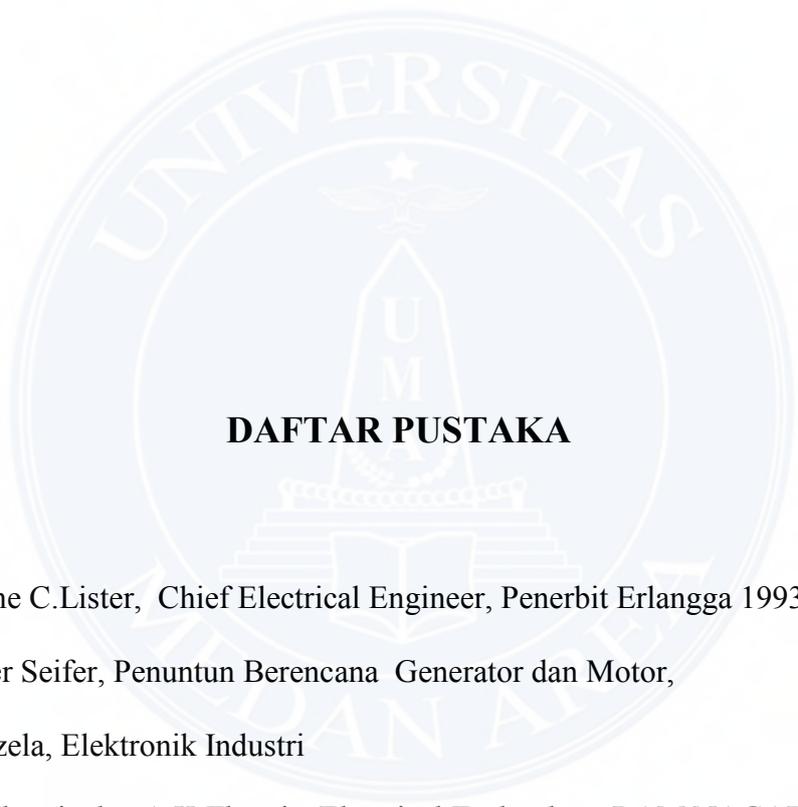
Untuk nilai tegangan 100 % dari tegangan jala – jala maka I_{nominal} motor adalah :

Jadi besar arus yang mengalir pada supply tegangan 100 % dari tegangan jala – jala

$$\begin{aligned}
 I_{\text{nominal}} &= \frac{100\% \cdot E}{Z} \\
 Z &= \frac{E}{I_{\text{nominal}}} \\
 &= \frac{380}{462} \\
 &= 0.822 \text{ ohm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{\text{nominal}} &= \frac{100\% \cdot E}{Z} \\
 &= \frac{100\% \cdot 380}{0.822} \\
 &= 462 \text{ Ampere}
 \end{aligned}$$

Jadi besar arus yang mengalir pada supply tegangan 100 % dari tegangan jala – jala adalah 462 Amper, dan besar arus start adalah :



DAFTAR PUSTAKA

1. Eugene C.Lister, Chief Electrical Engineer, Penerbit Erlangga 1993.
2. Walter Seifer, Penuntun Berencana Generator dan Motor,
3. Petruzela, Elektronik Industri
4. B.L Theraja dan A.K Theraja, Electrical Tecknology, RAM NAGAR,
NEW DELHI 1994.
5. Peraturan Umum Instalasi Listrik (PUIL), Penerbit Panitia Penyempurnaan
PUIL LIPI, Jakarta tahun 1987.