

LAPORAN KERJA PRAKTEK
STARTING MOTOR INDUKSI TIGA FASA DENGAN METODE
AUTOTRANSFORMATOR YANG DIGUNAKAN SEBAGAI WOOD
CHIPPER DI AREA WOOD YARD PT. TOBA PULP LESTARI, Tbk



DISUSUN OLEH

RAMLI SIAGIAN

NIM: 208120012

PROGRAMSTUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
2025

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 5/5/25

Access From (repository.uma.ac.id)5/5/25

LEMBAR PENGESAHAN
LAPORAN AKHIR PELAKSANAAN KERJA PRAKTEK

**STARTING MOTOR INDUKSI TIGA FASA DENGAN METODE
AUTOTRANSFORMATOR YANG DIGUNAKAN SEBAGAI WOOD
CHIPPER DI AREA WOOD YARD PT. TOBA PULP LESTARI, Tbk**

Disusun Oleh :

Nama : Ramli Siagian

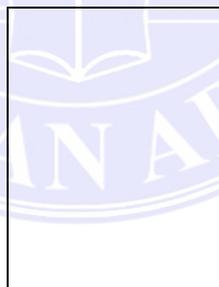
NPM : 208120012

Program Studi : Teknik Elektro

Dosen Pembimbing Kerja Praktek

Pembimbing Lapangan

(Moranain Mungkin, ST,M.Si)



(Ganda Lumbantoruan)

Ketua Program Studi Teknik Elektro

(Ir. Habib Satria, MT, IPM, ASEAN, Eng)

KATA PENGANTAR

segala puji dan syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Pengalaman Lapangan Industri dengan judul “*Starting Motor Induksi 3 Fasa Wood Chipper Dengan Metode Autotransformator di Area Wood Yard PT. Toba Pulp Lestari, Tbk*”. Adapun laporan ini merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan mata kuliah Pengalaman Lapangan Industri.

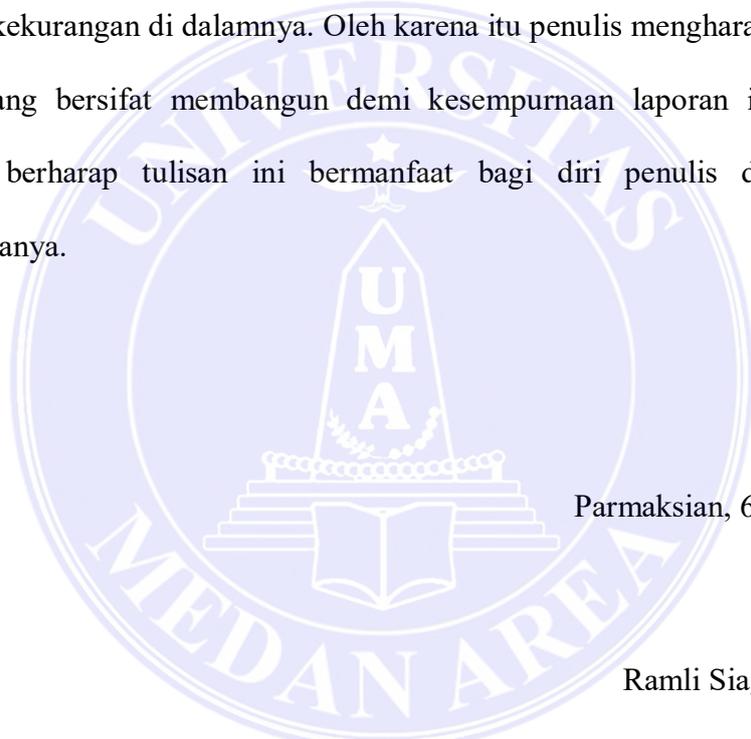
Dalam penyusunan laporan ini, penulis banyak memperoleh bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu dengan penuh ketulusan hati, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Rahmad Syah S.kom,M.kom selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Medan Area.
2. Bapak Ir Habib Satria MT, IPP. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Medan Area.
3. Bapak Morana Mungkin ST, M.Si selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan dorongan kepada peneliti selama menyelesaikan laporan.
4. Bapak Aron Tamba selaku electrical PT.Toba Pulp Lestari.
5. Bapak Ganda Lumbantoruan selaku pembimbing lapangan PT Toba Pulp Lestari
6. Pihak-pihak yang tidak bisa sebutkan satu persatu yangtelah memberikan banyak ilmu kepada penulis dan pembantu dalam proses penyusunan laporan kerja praktek ini.
7. Supervisor beserta karyawan PT. Toba Pulp Lestari, Tbk yang telah banyak memberi pengalaman baru terhadap penulis dan juga membantu penulis dalam membuat serta menyelesaikan laporan Pengalaman Lapangan Industri ini. Kedua Orang tua dan keluarga yang telah memberikan dukungan kepada

penulis baik secara moril dan material serta doanya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan ini.

Semoga bantuan yang telah diberikan kepada penulis dalam penulisan laporan Pengalaman Lapangan Industri ini mendapatkan imbalan yang setimpal dari Allah SWT, Amin.

Penulis menyadari laporan Pengalaman Lapangan Industri ini masih banyak kekurangan di dalamnya. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan laporan ini. Akhir kata penulis berharap tulisan ini bermanfaat bagi diri penulis dan bagi yang membacanya.



Parmaksian, 6 Maret 2024

Ramli Siagian

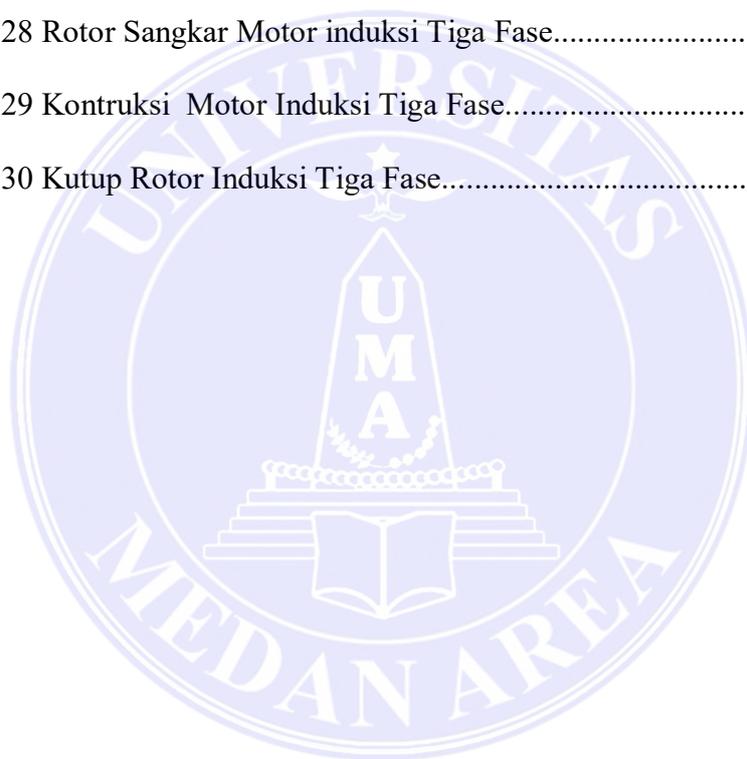
DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	iv
LAMPIRAN.....	vi
ABSTRAK.....	vii
BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang Pelaksanaan PLI FT UNP Padang	1
B. Deskripsi PT. Toba Pulp Lestari, Tbk	3
C. Perencanaan Kegiatan PLI di PT. Toba Pulp Lestari, Tbk.....	18
D. Pelaksanaan Kegiatan PLI di PT. Toba Pulp Lestari, Tbk	20
BAB II <i>STARTING MOTOR INDUKSI 3 FASA DENGAN METODE AUTOTRANSFORMATOR</i>	
A. spek-Aspek Teoritis	21
B. Pengasutan Motor Induksi Dengan Metode <i>Autotransformator</i> di area wood year PT. Toba Pulp Lestari, Tbk.....	37
C. Pembahasan/Ulasan.....	55
BAB III PENUTUP	
A. Kesimpulan	61
B. Saran	61
DAFTAR PUSTAKA.....	62
LAMPIRAN	63

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 <i>Starting</i> Motor Rotor Sangkar.....	22
Gambar 2 Rangkaian Daya <i>Direct On Line Starter</i>	24
Gambar 3 Rangkaian Kontrol <i>Direct On Line Starter</i>	25
Gambar 4 Panel Kontrol <i>Direct On Line Starter</i>	25
Gambar 5 Karakteristik Arus Fungsi Putaran Pada Pengasutan DOL.....	26
Gambar 6 Karakteristik Torsi Pada <i>Starting</i> DOL	27
Gambar 7 Diagram Daya Metode <i>StartingStar-Delta</i>	28
Gambar 8 Rangkaian Kontrol Metode <i>StartingStar-Delta</i>	28
Gambar 9 Panel Kontrol <i>Starting</i> Motor Dengan Metode <i>Start Delta</i>	29
Gambar 10 Karakteristik Arus <i>Starting</i> Bintang Segitiga	30
Gambar 11 Karakteristik Torsi <i>Starting</i> Bintang Segitiga	30
Gambar 12 Diagram <i>Starting</i> Dengan <i>Autotransformator</i>	31
Gambar 13 Karakteristik Arus Pada <i>Starting Autotransformator</i>	32
Gambar 14 Karakteristik Torsi Pada <i>Starting Autotransformator</i>	33
Gambar 15 <i>Starting</i> Dengan Penambahan Tahanan <i>Stator</i>	34
Gambar 16 Karakteristik Torsi <i>Starting</i> Dengan Penambahan Tahanan <i>Stator</i> .	35
Gambar 17 Motor Yang Menggunakan <i>Starting</i> Dengan <i>Autotransformator</i>	38
Gambar 18 Lemari Kontrol <i>Starting</i> Dengan <i>Autotransformator</i>	39
Gambar 19 Komponen <i>Starting</i> Dengan <i>Autotransformator</i>	41
Gambar 20 Belitan <i>Autotransformator</i>	42
Gambar 21 <i>Autotransformator</i>	42

Gambar 22 Simbol <i>Magnetic Contactor</i>	43
Gambar 23 Rangkaian Daya <i>Starting</i> Dengan <i>Autotransformator</i>	49
Gambar 24 Rangkaian Kontrol <i>Starting</i> Dengan <i>Autotransformator</i>	50
Gambar 25 Kontruksi Motor Induksi Satu Fase.....	60
Gambar 26 Rangkaian Ekivalen Motor Induksi Sederhana.....	61
Gambar 27 Rangkaian Pengganti Motor Induksi Satu Fase.....	62
Gambar 28 Rotor Sangkar Motor induksi Tiga Fase.....	67
Gambar 29 Kontruksi Motor Induksi Tiga Fase.....	68
Gambar 30 Kutup Rotor Induksi Tiga Fase.....	69



LAMPIRAN

1. Penerbitan Surat Permohonan PLI	73
2. Permohonan Pengalaman Lapangan Industri Mahasiswa FT UNP	74
3. Surat Balasan Permohonan PLI	75
4. Daftar Hadir Praktek Kerja Lapangan	76
5. Kegiatan Harian PLI di PT.Toba Pulp Lestari, Tbk.....	77
6. Lembar Penilaian Supervisor Industri	82
7. Catatan Konsultasi Laporan dengan Supervisor	83
8. Surat Keterangan Selesai Melaksanakan PLI	84
9. Lembar Penilain Dari Perusahaan	85
10. Sertifikat Dari Perusahaan	86
11. Catatan Konsultasi Laporan dengan Pembimbing.....	87
12. Dokumentasi Bersama Supervisor	88
13. .Dokumentasi meeting bersama kariawan	88

ABSTRAK

Judul : Pengasutan motor induksi tiga fasa dengan metode *Autotransformator* yang digunakan sebagai *Wood Chipper* di *Wood Year PT. Toba Pulp Lestari, Tbk*

Penulis : Ramli Siagian

Pembimbing : Moranain Mungkin ST, M.SI.

Motor induksi tiga fasa merupakan motor arus bolak-balik yang paling banyak digunakan di perindustrian karena memiliki beberapa keuntungan antara lain, motor ini sederhana, murah dan mudah pemeliharaannya. Selain itu motor induksi mempunyai efisiensi yang baik dan putaran konstan untuk setiap perubahan beban.

Starting motor induksi tiga fasa tidak memiliki permasalahan yang cukup besar seperti pada motor sinkron. Pada dasarnya motor induksi daya kecil dapat *distart* langsung hanya dengan menghubungkan dengan sumber tegangan. Namun untuk motor induksi yang besar hal ini tidak dapat dilakukan, hal ini terjadi karena arus *starting* yang relatif besar yaitu 5 sampai 7 kali arus nominalnya.

Salah satu cara untuk mengarangi arus start yang besar pada motor induksi adalah dengan menggunakan *Autotransformator* pada saat start. Dengan demikian arus start dapat dikurangi menjadi 1,7 sampai 4 kali arus nominal.

Kata kunci : **Motor induksi, Starting, Autotransformator**

BAB I

PENDAHULUAN

1. Sejarah Berdirinya PT. Toba Pulp Lestari, Tbk

PT. Toba Pulp Lestari, Tbk (Perusahaan) didirikan dalam rangka Undang-Undang Penanaman Modal Dalam Negeri No. 6 tahun 1968. Undang-Undang No. 12 tahun 1970 berdasarkan akta No. 329 tanggal 26 April 1983 dari Misahardi Wilamarta, SH, notaris di Jakarta. Akta pendirian tersebut telah mendapat persetujuan dari Menteri Kehakiman Republik Indonesia dalam surat keputusannya No. C2-5130.HT01-01 TH.83 tanggal 26 Juli 1983, serta diumumkan dalam Berita Negara Republik Indonesia No. 97 tanggal 4 Desember 1984, Tambahan No 1176.

Status Perusahaan selanjutnya berubah menjadi Penanaman Modal Asing dan telah mendapat persetujuan dengan Surat Pemberitahuan Tentang Keputusan Presiden RI No. 07/V/1990 tanggal 11 Mei 1990 dari Ketua Badan Koordinasi Penanaman Modal.

Sehubungan dengan perubahan status tersebut di atas, Anggaran Dasar Perusahaan telah diubah dengan akta No. 113 tanggal 12 Mei 1990 dari Rachmat Santoso, SH., notaris di Jakarta. Di samping itu, nilai nominal saham Perusahaan juga diubah dari Rp 500 ribu per lembar menjadi Rp 1 ribu per lembar. Perubahan tersebut telah mendapat persetujuan dari Menteri Kehakiman Republik Indonesia dalam surat keputusannya No. C2-2652.HT. 01.04.TH.90 tanggal 20 Mei 1990.

Perubahan Anggaran Dasar Perusahaan mengenai perubahan nama perusahaan menjadi PT. Toba Pulp Lestari, Tbk dan penurunan modal dasar dari Rp 2.000.000.000 menjadi Rp 1.688.307.072 dicatat dalam akta No. 61 tanggal 20 Februari 2001 dari Linda Herawati, SH., notaris di Jakarta dan telah memperoleh persetujuan dari Menteri Kehakiman Republik Indonesia dalam surat keputusannya No. C-06519.HT.01.04.TH.2001 tanggal 23 Agustus 2001. Dan perubahan anggaran dasar perusahaan berdasarkan akta No. 61 tanggal 18 Juli 2003 dari Linda Herawati, SH, notaris di Jakarta, mengenai peningkatan modal ditempatkan dan disetor. Perubahan tersebut kemudian telah diterima dan dicatat oleh Kementerian Kehakiman dan Hak Asasi Manusia Republik Indonesia dalam Laporan Penerimaan Akta Perubahan Anggaran Dasar Perusahaan No. C-21113.HT.01.04.TH.2003 tanggal 5 September 2003.

Berdasarkan keputusan rapat umum pemegang saham luar biasa pada tanggal 27 Juni 2008 dengan akta nomor 45 tanggal 14 Juli 2008 pada notaris Linda Herawati SH., seluruh anggaran dasar telah mengalami perubahan guna menyesuaikan dengan undang-undang nomor 40 Tahun 2007 tentang Perseroan Terbatas Peraturan Nomor IX.J.1 Lampiran Keputusan Bapepam LK dan Lembaga Keuangan Nomor Kep-178/BL/2008 tanggal 14 Mei 2008. Perubahan tersebut kemudian telah memperoleh persetujuan dari Menteri Hukum dan Hak Asasi Manusia Republik Indonesia dalam surat keputusannya No. AHU-50872.AH.01.02.Tahun 2009 tanggal 21 Oktober 2009.

Perusahaan berdomisili di Medan, Sumatera Utara, dengan pabrik berlokasi di Desa Sosor Ladang, Pangombusan, Kecamatan Parmaksian, Kabupaten Toba Samosir, Sumatera Utara. Kantor terdaftar Perusahaan beralamat di Uniplaza, East Tower, Lantai 7, Jl. Letjen. Haryono MT No. A-1, Medan.

Kegiatan Utama Perusahaan adalah dan menjalankan industri bubur kayu (*pulp*), menjalankan, dan mengadakan pembangunan hutan tanaman industri dan industri lainnya untuk mendukung bahan baku dari industri tersebut, serta mendirikan dan memproduksi semua macam barang yang terbuat dari bahan-bahan tersebut, serta memasarkan hasil-hasil industri tersebut. Perusahaan mulai memproduksi secara komersial pada tanggal 1 April 1989. Saat ini Perusahaan hanya memproduksi bubur kayu (*pulp*) dan hasil produksi Perusahaan dipasarkan di dalam dan di luar negeri.

2. Visi dan Misi Perusahaan

Visi :

Menjadi salah satu pabrik *Pulp Eucalyptus* yang dikelola dengan terbaik, menjadi *supplier* yang disukai oleh pelanggan dan pemilik perusahaan yang disukai para karyawan.

Misi :

- a. Menghasilkan pertumbuhan yang berkesinambungan.
- b. Produser dengan biaya yang efektif.
- c. Memaksimalkan keuntungan untuk pemangku kepentingan dan

memberikan kontribusi kepada pengembangan sosial ekonomi masyarakat sekitar dan regional.

- d. Menciptakan nilai melalui teknologi modern, pengetahuan industri dan sumber daya manusia

3. Struktur Organisasi Perusahaan

Organisasi merupakan sekumpulan manusia yang memiliki peran, jabatan, atau, fungsi masing-masing dan bersepakat melaksanakan aktivitas untuk mencapai tujuan yang direncanakan. Dengan kata lain organisasi pada dasarnya adalah alat untuk mencapai tujuan yang telah direncanakan sebaik-baiknya, maka struktur maupun ukuran suatu organisasi harus bersesuaian dengan tujuan yang telah direncanakan sehingga terciptanya suatu organisasi yang dapat digerakkan sesuai dengan kesatuan.

Struktur organisasi PT. Toba Pulp Lestari, Tbk adalah berbentuk kerucut, di mana garis kepemimpinan mengalir langsung dari atasan ke pimpinan di bawahnya berakhir ke pekerjanya. Kekuasaan dan wewenang tertinggi PT. Toba Pulp Lestari, Tbk terletak pada dewan komisaris. Dewan komisaris mempunyai wewenang ke pimpinan direksi yang merupakan badan eksekutif dalam menjalankan tugas sehari-harinya, direksi yang terdiri dari direktur satu dan dibantu oleh direktur dua.

Perusahaan ini terdiri dari 12 *departement* yaitu:

- a. *Departement HRD (HRD, Housing, Personalia, Transport, LP&C)*
- b. *Departement COE*

- c. *Departement 4L (Media, CSR, Government, Community)*
- d. *Departement Technical (Environment, Laboratory, dan QEMS)*
- e. *Departement Energy (Power and Liquor Site)*
- f. *Departement Fiberline*
- g. *Departement Chemical/Rek/L. Kiln/eff and Coal Gas*
- h. *Departement Engineering and Maintenance*
- i. *Departement Wood Supply*
- j. *Departement Controller dan IT (IT, Weightbridge)*
- k. *Departement Sales Administrasi*
- l. *Departement Commercial (Pulp Werehouse, Mill Store, Procurement Contact Management)*

4. Jumlah Tenaga Kerja dan Jam Kerja

a. Tenaga Kerja

Dalam menjalankan produksi PT. Toba Pulp Lestari, Tbk memiliki pembagian tugas yakni:

1) Tenaga Kerja Tetap

Tenaga kerja tetap dibagi dalam dua departemen yakni *Mill Section* (Area Pabrik) sekitar 587 orang dan untuk *Forest Section* (Area Hutan) sekitar 384 orang (berdasarkan data Juli 2020).

2) Tenaga kerja Kontraktor

Tenaga kerja kontraktor yang ada di PT. Toba Pulp Lestari, Tbk adalah tenaga kerja yang dikontrak perusahaan dalam jangka waktu tertentu sesuai dengan kebutuhan masing-masing bagian yang

ada di perusahaan. Jumlah tenaga kerja kontraktor di bulan Juli 2020 berdasarkan *section* masing-masing adalah sebagai berikut, *Mill Section* sebanyak 255 orang, *Forestry Section* sebanyak 416 orang, dan *Nursery Section* sebanyak 225 orang.

3) Tenaga Kerja asing

Selain tenaga kerja tetap dan tenaga kerja kontraktor PT. Toba Pulp Lestari, Tbk mempunyai tenaga kerja asing yang didatangkan dari luar negeri. Di mana tenaga kerja asing ini adalah tenaga kerja ahli pada bidang-bidang tertentu. Berdasarkan data Juli 2020 tenaga kerja asing berasal dari berbagai negara seperti India, Kanada, Inggris, Afrika Selatan, Malaysia.

b. Jam Kerja

PT. Toba Pulp Lestari, Tbk menerapkan jam kerja yaitu, pada jam kerja ini baik karyawan tetap maupun karyawan tidak tetap diberlakukan di kantor, di mana jam kerja ini dimulai pukul 08.00-17.00 WIB pada hari Senin sampai Jumat dengan waktu istirahat dimulai pukul 12.00-13.22 WIB. Khusus untuk hari Sabtu, 2 Minggu sekali karyawan dapat giliran libur yang disebut dengan “*DayOff*” sedangkan jam kerja untuk hari Sabtu di mulai pukul 08.00-12.00 WIB atau disebut setengah hari.

5. Kegiatan Produksi PT. Toba Pulp Lestari, Tbk

a. *Wood Praparation* (Unit Persiapan Kayu)

Secara umum unit persiapan kayu meliputi penimbunan kayu, pemotongan kayu serta pencincangan kayu sehingga berbentuk kecil (*chipping*). Bahan utama pembuatan *pulp* ini adalah kayu. Kayu yang digunakan ada tiga jenis, yaitu: kayu *eucalyptus*, dan kayu alam. Namun pada umumnya yang dipakai adalah kayu *eucalyptus* dan yang telah berumur 4 sampai 8 tahun dan diameter sekitar 10 sampai 40 cm dengan panjang maksimum 7,0 m.

Kayu yang telah ditebang diangkut dengan mempergunakan *logging* truk masuk ke lokasi pabrik. Dan sampai di penimbunan kayu (*wood yard*). Dari *wood yard* diangkut lagi ke *debarking* drum.

Proses yang terjadi pada *debarking* drum adalah pengupasan kulit kayu, dimensi dari area ini adalah 33,0 m dan diameternya 5,60 m dengan kemiringan $0,57^{\circ}$. pengupasan kulit kayu oleh log filter adalah dengan menggulingkan kayu dalam *debarking* drum dan putarannya dapat diatur sesuai dengan kebutuhan. *Debarking* drum dilengkapi dengan *slot-slot* (celah) sebagai pembuangan kulit kayu.

Setelah kayu keluar dari *debarking* drum, kayu akan dibawa ke *washing station* untuk dicuci dengan cara menyemprotkan air yang bertekanan tinggi, kemudian kayu dikirim ke mesin *chipper* (pencincangan), kayu yang masuk ke mesin *chipper* harus benar-benar bersih agar hasil *pulp* yang diperoleh baik. Ukuran dari mulut

chipper adalah 900 mm, artinya kayu yang dapat dicincang oleh mesin adalah berdiameter 900 mm, namun biar aman diameter kayu yang akan dicincang harus lebih kecil dari 900 mm.

Ukuran dari *chip* yang dihasilkan tebalnya $\pm 4,0$ mm dengan panjang $\pm 24,0$ mm. ukuran ini sudah menjadi suatu ketentuan agar *chip* mudah dimasak di dalam *digester*. Ukuran *chip* yang tidak sesuai (*over size*) dikirim kembali ke mesin *chipper* untuk dicincang kembali sampai menghasilkan *chip* yang diinginkan. Kapasitas *wood yard* atau tempat penyimpanan *chip* sekitar 250 ton, *chip* yang dihasilkan dikirim ke *hard wood pile* atau *soft wood pile*. Yang masing-masing *pile* memiliki *stocker* sendiri. *Stocker* mempunyai dua *chip feed* sistem yang membawa *chip* ke *digester* melalui *feed belt* sistem. Hal ini sangat penting guna memilih *chip hard wood* dan *chip soft wood*, karena tempat pemasakan kedua jenis adalah berbeda.

b. Proses Pemasakan di *Digester Plant*

Digester adalah suatu alat pemasak *chip* yang akan dijadikan *pulp*. *Chip* dimasak di dalam *digester* dengan menggunakan uap panas dan reaksi kimia. Bahan kimia yang digunakan adalah *caustic* dan sodium *sulfida* (*white Liquor*). Panas ini diperoleh dari hasil pemanasan pada *liquor heater* secara tidak langsung dan dari penambahan *steam* (uap) secara langsung dari bagian bawah *digester*.

Adapun hasil produksi yang dikehendaki adalah *kraft pulp*. Untuk pembuatan *kraft pulp*, *liquin* dan *hemicelulosa* harus dihilangkan

untuk mendapatkan pulp yang baik. Untuk menghilangkannya dilakukan dengan cara mengalirkan *steam* secara langsung ke dalam *digester* yang sudah berisi *chip*, kemudian *white liquor* dimasukkan dengan perbandingan yang telah ditetapkan.

Tahap pemanasan di atas disebut dengan *prehydrolysis*, pemasakan *soft wood* membutuhkan waktu yang lebih singkat dibandingkan dengan *hardwood*. Kemudian tekanan diturunkan pada *digester* sampai 2 bar, setelah itu ditambahkan *white liquor*, dan untuk pemasakan selanjutnya dengan menggunakan *steam* lebih kurang 3 (tiga) jam. Proses ini menggunakan Natrium *Sulfida* dan Natrium Hidroksida sebagai bahan pemasak.

Cairan pemasak yang diperlukan adalah:

- 1) *Black Liquor*, yaitu cairan pekat pemasak yang diperoleh dari hasil pencucian pulp yang mengandung Natrium *Sulfida* ditambah dengan *Liquor* dengan kualitas rendah.
- 2) *White Liquor*, merupakan cairan pemasak yang mengandung Natrium Hidroksida dan *Sulfida* dengan keasaman (PH) antara 13,5 sampai 14.
- 3) Air yang berasal dari *chip* itu sendiri dengan kebasahan 50 – 50,5 %

Proses pemasakan berlangsung dalam dua tahap, yaitu:

- 1) Berlangsung pada tekanan kerja rendah yaitu 4 bar dan *temperature* 125⁰C.
- 2) Terjadi kenaikan tekanan menjadi 7,50 bar dan *temperature* 175⁰C.

Cairan pemasak dipanasi, dalam hal ini menggunakan *Heat Exchanger* dengan panas uap yang diperoleh dari *heater* yang berasal dari sisa turbin. Beberapa faktor penting yang perlu diperhatikan dalam pemasakan *chip* dalam *digester*, adalah:

- 1) Perbandingan cairan pemasak dengan *chip*
- 2) Lama pemasakan
- 3) Temperatur pemasakan
- 4) Efektivitas perpindahan panas

Bubur *pulp* tersebut kemudian dibawa ke dalam tangki penghambusan (*Blow Tank*). *Blow tank* ini berfungsi untuk menghambuskan bubur pulp menuju proses pencucian (*Washing*). Tipe *blow tank* yang dipergunakan adalah sama dengan jenis *digester plant* dengan volume 600 m^3 , diameter 8250 mm^3 , dan tinggi 21000 mm

c. *Washing* (Unit Pencucian)

Bubur dari *blow tank* selanjutnya mengalami proses pencucian pada unit *washing*. Perbandingan antara cairan dan zat padatnya dari bubur pulp sekitar 3 – 4% akan masuk ke *pressure knottier* dengan tujuan menyaring bubur kayu yang tidak masak dan mata kayu. Bubur pulp yang masuk ke *knottier* dicuci dalam empat unit *washer* yaitu *vacum washer*.

Temperature saat terjadi pencucian adalah 120°C , karena sistemnya adalah *vacum* maka pada saat terjadi pencucian, bubur pulp yang dicuci tidak akan melekat pada dinding *washer* yang terus

menerus berputar. Air pencucian tersebut didatangkan dari *filtrat* tank dan bubur pulp pada akhir *washer* dicuci dengan air panas yang masih baru.

d. *Screening* (Unit Penyaringan)

Pada stasiun ini terdapat unit penyaringan sebanyak 6 (enam) unit yang terdiri dari 3 (tiga) unit *primary screen*, 2 (dua) unit *secondary screen* dan 1 (satu) unit *vibrating screen*.

e. *Bleaching* (Proses Pemutihan)

Pada unit pemutihan (*bleaching*) terdapat tiga jenis bahan pemutihan, yaitu:

- 1) Cl O₂ (Clorin Dioksida)
- 2) Eo (Caustic Extractive / Oksigen)
- 3) *Hypo*

Bubur pulp dengan konsentrasi 3,50 % dipompakan ke ClO₂ melalui bagian sumbunya. Setelah Cl O₂ *tower* mencapai puncak yang dibutuhkan dalam waktu sekitar 45 menit dan selama selang waktu tersebut bahan kimia diperkirakan sudah bereaksi dengan *sack*. Cl O₂ merupakan proses lanjutan pemasakan untuk menghilangkan *liuin* yang terkandung dalam *stock* selanjutnya. Tujuan pemutihan ini adalah untuk memisahkan *liquin* yang ditambahkan dengan oksigen.

f. *Pulp Machine* (Proses *Pulping*)

Proses pengolahan bubur pulp menjadi pulp berbentuk lembaran (*sheet*) dilakukan pada *pulp machine*. Adapun proses mesin pulp adalah:

1) Penyaringan bubur pulp putih

Bubur pulp dengan konsentrasi 0,6 % masuk ke *radiklon* pertama (*pressure screen*) untuk memisahkan *abbara accept* dan *reject*. *Accept* masuk ke dalam *Double Thickner* dan *Reject* masuk ke dalam *Rediklon* kedua yaitu *vibrating screen*. Pengolahan pada tahap kedua ini akan mengirim *accept* dilakukan pada tahap kedua dan *reject* dikirim ke *rediklon* keempat. Selanjutnya dari *rediklon* keempat *rejectnya* dikirim ke *rediklon* kelima dan *acceptnya* dikirim ketahap ketiga dan selanjutnya ketahap keempat dan *rejectnya* dialirkan ke saluran pembuangan.

Dalam *double thickner*, *accept* dari *radiklon* kedua dengan konsistensi dinaikkan hingga 4 – 8 % dengan cara mengurangi kadar air yang dimiliki. *Filtrat* selanjutnya dialirkan ke dalam air tangki putih dan hasilnya dikirim ke *HeadBox*. Hasil *head box* ini adalah keluarannya bubur pulp dengan konsentrasi 1%, pengeluarannya diatur dengan menggunakan katup yang mengatur ketebalan pulp yang diinginkan, selanjutnya masuk ke *dryer* dengan menggunakan alat pengatur lembaran yang dikenal dengan istilah distribusi *sleezer*.

2) Pengeringan Awal

Pengeringan ini meliputi pengurangan kadar air yang dimiliki bubur pulp dari 80 % menjadi 50 %, unit ini terdiri dari satu buah katup pembentuk, tiga unit *fool box* yang permukaannya berpori, dan air terbuang dari pori tersebut.

3) Bagian Penekanan (Press)

Penekanan dilakukan dengan tiga tahap, penekanan pertama dilakukan dengan maksud memisahkan bubur pulp dari *wise conveyor*. Derajat keasaman yang dimiliki pulp merupakan hal yang penting karena mempengaruhi proses pengeringan.

4) Pengeringan akhir

Pengeringan akhir bertujuan memastikan bahwa pulp sheet telah benar-benar kering. Pengeringan dilakukan dengan menggunakan *Flak Dryer* yang di dalamnya terdapat tahap kerja temperatur pengeringan $135^{\circ}\text{C} - 138^{\circ}\text{C}$.

5) Pemotongan dan Pengemasan

Pada tahap ini lembaran pulp dipotong dengan ukuran panjang 80 cm, lebar 60 cm dan berat rata-rata per lembar 750 – 800 gr. Selanjutnya lembaran pulp dikemas namun sebelumnya ditekan dengan *balling press pulp* dimasukkan ke unit *blade binder* untuk diikat menjadi 8 *bale*, di mana 1 *bale* = 200 kg.

6) Penyimpanan dan Pemasaran

Pulp yang dikemas disimpan pada gudang (*ware house*) dan kemudian siap untuk dipasarkan.

6. Sarana Penunjang Produksi PT. Toba Pulp Lestari, Tbk

Untuk kelancaran dan efisiensi produksi maka PT. Toba Pulp Lestari, Tbk memiliki perlengkapan-perlengkapan untuk menghasilkan kebutuhan-kebutuhan bahan baku pembantu. Adapun sarana-sarana perlengkapan tersebut adalah sebagai berikut:

- a. Unit pengolahan air yang terdiri dari pengambilan air sungai, pengolahan air sungai dan pengolahan air umpan *boiler*. Air sungai diambil dari pinggir sungai Asahan yang berjarak 400 meter dari pabrik dengan menggunakan empat buah pompa berdaya 355 KW. Pengolahan air sungai ini akan digunakan untuk kebutuhan-kebutuhan pabrik dan perumahan karyawan, sedangkan pengolahan air umpan *boiler* berguna untuk menghasilkan air khusus untuk umpan *boiler* dengan kualitas tertentu.
- b. Unit Power *Boiler* yaitu peralatan yang mengubah cairan menjadi uap (*Steam*), yang kemudian *steam* ini digunakan untuk memutar *turbin* generator.
- c. Turbin dan Generator yang menghasilkan energi listrik yang digunakan untuk kebutuhan peralatan pabrik dan penerangan perumahan.
- d. Unit pengolahan limbah yaitu unit yang menanggulangi limbah yang dihasilkan oleh pabrik. Pengolahan limbah ini terdiri dari tiga macam

yaitu pengolahan yang bersifat asam, alkali dan limbah air panas yang tidak terkontaminasi.

- e. Evaporator yaitu peralatan yang berfungsi untuk memekat suatu cairan yaitu larutan *Spinbath Machine*.
- f. CS_2 Plant dan H_2SO_4 Plant yaitu penghasil bahan kimia CS_2 dan H_2SO_4 yang digunakan pada pembuatan larutan *Viscose* dan larutan *Spinbath*.
- g. *Distributed Control System* (DSC) adalah suatu sistem yang mendistribusikan berbagai fungsi yang digunakan untuk mengendalikan berbagai variabel proses dan unit operasi proses menjadi suatu pengendalian yang terpusat pada suatu *control room* dan berbagai fungsi pengendalian, *monitoring* dan *optimasi*.
- h. Laboratorium yang sangat diperlukan dalam pengujian dan pengontrolan mutu produksi yang dihasilkan.
- i. Untuk kesejahteraan karyawan disediakan Perumahan, Sarana Beribadah, Klinik Kesehatan, Sekolah Dasar, Sekolah Lanjutan dan Sarana Olah Raga serta sarana hiburan lainnya.

A. Perencanaan Kegiatan PLI di PT. Toba Pulp Lestari, Tbk

Pengalaman Lapangan Industri (PLI) dilaksanakan pada perusahaan/industri yang bergerak di bidang jasa atau *non* jasa yang disesuaikan dengan jurusan masing-masing mahasiswa. Pemilihan tempat direkomendasikan dari mahasiswa kemudian disetujui oleh koordinator PLI jurusan dan ditetapkan oleh koordinator Unit Hubungan Industri (UHI). Penulis melaksanakan PLI di PT. Toba Pulp Lestari, Tbk yang alamat di Desa

Sosor Ladang, Pangombusan, Kecamatan Parmaksian, Kabupaten Toba Samsir, Sumatera Utara.

Dalam melaksanakan Pengalaman Lapangan Industri ini, metode pengumpulan data yang penulis gunakan adalah:

- a. Observasi lapangan yang bertujuan untuk mendapatkan data dan informasi bagaimana *Starting Motor Wood Chipper* Dengan Sistem *Autotransformator*.
- b. Diskusi dengan praktisi ahli yang berpengalaman dalam *Starting Motor Wood Chipper* Dengan Sistem *Autotransformator*.
- c. Studi literatur ataupun membaca buku petunjuk yang berhubungan dengan *Starting Motor Wood Chipper* Dengan Sistem *Autotransformator*.

BAB II

PENGASUTAN MOTOR INDUKSI 3 FASA DENGAN METODE *AUTOTRANSFORMATOR*

A. Aspek-Aspek Teoritis

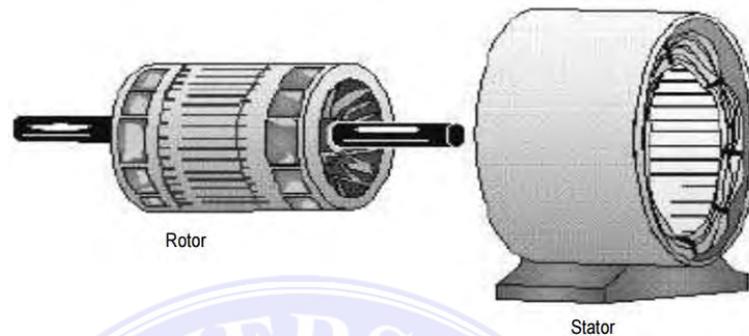
1. Motor Induksi 3 Fasa

Motor induksi adalah motor listrik arus bolak-balik yang putaran rotornya tidak sama dengan putaran medan stator, dengan kata lain putaran rotor dengan putaran medan pada stator terdapat selisih putaran yang disebut dengan slip.

Motor induksi merupakan motor yang memiliki konstruksi yang baik, harganya lebih murah dan mudah dalam pengaturan kecepatannya, stabil ketika berbeban dan mempunyai efisiensi tinggi. Mesin induksi adalah mesin AC yang paling banyak digunakan dalam industri dengan skala besar maupun kecil, dan dalam rumah tangga. Alasannya adalah bahwa karakteristiknya hampir sesuai dengan kebutuhan dunia industri, pada umumnya dalam kaitannya dengan harga, kesempurnaan, pemeliharaan, dan kestabilan kecepatan. Mesin induksi (*asinkron*) ini pada umumnya hanya memiliki satu suplai tenaga yang mengeksitasi belitan stator. Belitan rotornya tidak terhubung langsung dengan sumber tenaga listrik, melainkan belitan ini dieksitasi oleh induksi dari perubahan medan magnetik yang disebabkan oleh arus pada belitan stator.

Hampir semua motor AC yang digunakan adalah motor induksi, terutama motor induksi tiga fasa yang paling banyak dipakai di

perindustrian. Motor induksi tiga fasa sangat banyak dipakai sebagai penggerak di perindustrian karena banyak memiliki keuntungan.



Gambar 1 Konstruksi Motor Induksi

<https://blogs.itb.ac.id/>

2. Prinsip Kerja Motor Induksi 3 Fasa

Pada saat terminal tiga fasa stator motor induksi diberi suplai tegangan tiga fasa seimbang, maka akan mengalir arus pada konduktor di tiap belitan fasa stator dan akan menghasilkan *fluksi* bolak-balik . Amplitudo *fluksi* per fasa yang dihasilkan berubah secara *sinusoidal* dan menghasilkan fluks resultan (medan putar) dengan *magnitud* yang nilainya konstan yang berputar dengan kecepatan sinkron. Medan putar akan terinduksi melalui celah udara menghasilkan GGL induksi (GGL lawan) pada belitan fasa stator. Medan putar tersebut juga akan memotong konduktor-konduktor belitan rotor yang diam. Hal ini terjadi karena adanya perbedaan relatif antara kecepatan *fluksi* yang berputar dengan konduktor rotor yang diam, yang disebut juga dengan slip (*s*). Karena belitan rotor merupakan rangkaian tertutup, baik melalui cincin ujung (*end ring*) ataupun tahanan luar, maka arus akan mengalir pada konduktor-konduktor rotor. Karena konduktor-konduktor rotor yang mengalirkan arus

ditempatkan di dalam daerah medan magnet yang dihasilkan stator, maka pada aturan tangan fleming untuk motor listrik adalah salah satu dari sepasang mnemonik visual, yang lain adalah aturan tangan kanan fleming (untuk generator). Medan stator berputar searah dengan jarum jam. Rotor dilihat dari stator seolah-olah akan bergerak berlawanan arah jarum jam. Hukum Fleming- tangan kanan akan menunjukkan bahwa $\vec{v} \times \vec{B}$ imbas pada rotor ke arah keluar kertas (arah pembaca). Sebagai sederhana untuk mengetahui arah gerak dalam motor listrik, atau arah arus listrik dalam generator listrik. Ketika arus mengalir melalui kabel penghantar dan medan magnet eksternal diterapkan melintasi aliran itu, kabel penghantar melintasi aliran itu, kabel penghantar mengalami gaya tegak lurus baik ke medan itu dan ke arah aliran arus (yaitu mereka saling tegak lurus). tangan kiri akan terbentuk gaya mekanik (gaya *lorentz*) pada konduktor-konduktor rotor. Hal ini sesuai dengan hukum gaya *lorentz* yaitu bila suatu konduktor yang dialiri arus berada dalam suatu kawasan medan magnet, maka konduktor tersebut akan mendapat gaya elektromagnetik.

Prinsip kerja motor induksi tiga fasa dapat diurutkan sebagai berikut:

- a. Apabila sumber tegangan 3 fase dipasang pada kumparan stator, akan timbul medan putar dengan kecepatan $n_s = 120 f/P$
- b. Medan stator tersebut akan memotong batang konduktor pada motor
- c. Akibatnya pada batang konduktor dari rotor akan timbul GGL induksi

- d. Karena batang konduktor merupakan rangkaian yang tertutup maka GGL akan menghasilkan arus (I)
- e. Adanya arus (I) di dalam medan magnet akan menimbulkan gaya (F) pada rotor
- f. Bila kopel mula yang dihasilkan oleh gaya (F) pada rotor cukup besar untuk memikul kopel pada beban, rotor akan berputar searah dengan medan putar stator
- g. GGL induksi timbul karena terpotongnya batang konduktor (rotor) oleh medan stator. GGL induksi timbul, karena adanya perbedaan relatif antara kecepatan medan putar stator (n_s) dengan kecepatan medan putar rotor (n_r).

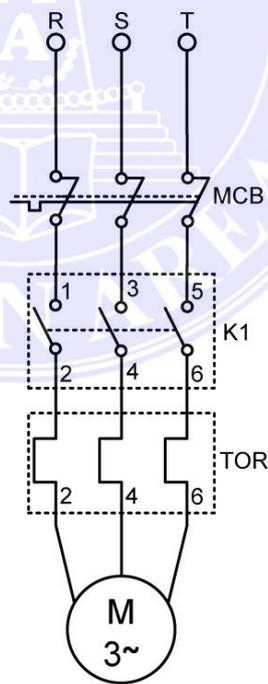
3. Metode Start Motor Induksi

- a. Start dengan metode *Direct On Line*

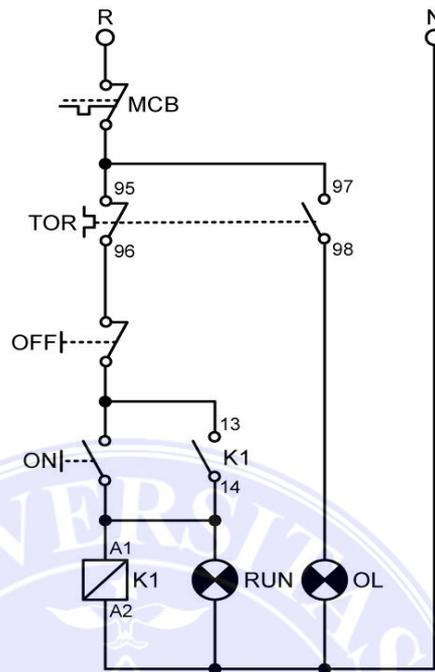
Direct On Line (DOL) merupakan *starting* langsung. Penggunaan metode ini sering dilakukan untuk motor-motor AC yang mempunyai kapasitas daya yang kecil. Pengertian penyambungan langsung di sini, motor yang akan dijalankan langsung dengan *switch on* ke sumber tegangan jala-jala sesuai dengan besar tegangan nominal motor. Artinya tidak perlu mengatur atau menurunkan tegangan pada saat *starting*. DOL merupakan metode pengaturan yang paling dasar sekali dalam dunia kendali mengendalikan motor. Ada dua rangkaian listrik yang membentuk dari rangkaian DOL ini. Rangkaian daya yaitu rangkaian yang merupakan jalur tegangan utama motor bisa 220V,

380V, 660V, bahkan 6,6 KV, dan sebagainya. Aliran arus ke motor ditentukan oleh kondisi anak kontak dari kontaktor utama.

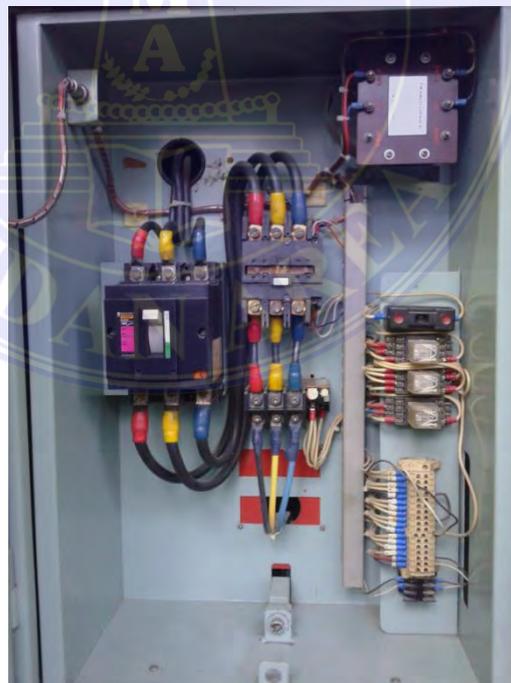
Rangkaian daya yaitu rangkaian yang digunakan untuk memutus atau menyambung aliran arus ke motor melalui anak kontak kontaktor utama. Kontaktor utama harus *energize* atau mendapatkan tegangan suplai agar anak kontaknya berubah kondisi. Hal ini dicapai dengan menekan tombol START atau tertutupnya anak kontak NO dari relay kontrol jarak jauh di rangkaian kontrol. Tegangan yang di pakai biasanya 110VAC. di PT. Toba Pulp Lestari, Tbk. Dan digunakan ke pompa untuk mentransfer cairan di PT. Toba Pulp Lestari, Tbk. Rangkaian *starting* DOL ini dapat dilihat pada gambar dibawah.



Gambar 2 Rangkaian Daya *Direct On Line Starter*
<https://electricdot.wordpress.com/>



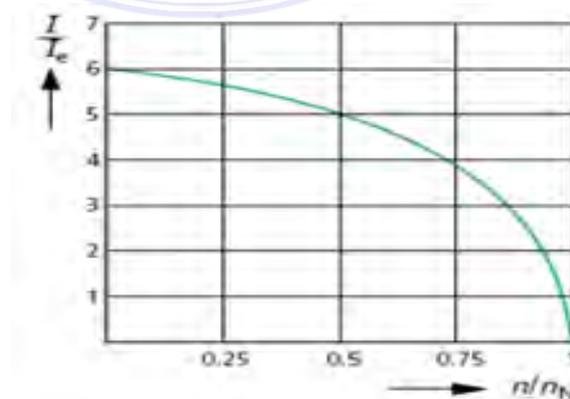
Gambar 3 Rangkaian Kontrol *Direct On Line Starter*
<https://electricdot.wordpress.com/>



Gambar 4 Panel Kontrol *Starting Motor* Dengan Metode *Direct On Line*
 (Doc.Pt.Toba Pulp Lestari)

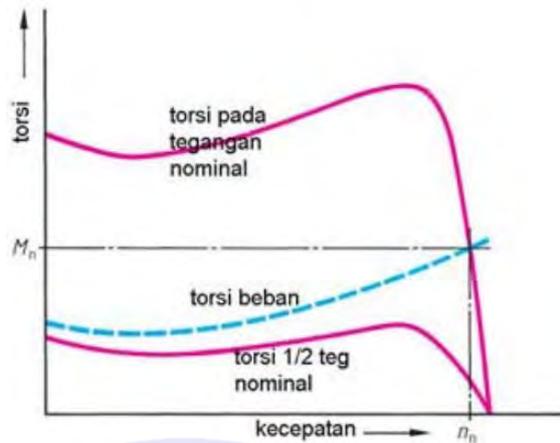
Starter ini terdiri dari *Breaker* sebagai proteksi hubung singkat, *Magnetic Contactor*, *Thermal Overload Relay (TOR)* dan komponen kontrol seperti *push button*, MCB dan lampu indikator. Start dan Stop dilakukan dengan *push button* yang mengontrol tegangan pada *coil* *contactor*. Sementara itu kontak bantu TOR (95-96) terangkai secara seri dengan *coilcontactor* sehingga jika TOR trip, maka kontak bantu (95-96) TOR akan melepas tegangan ke *coil* *contactor*. Komponen penyusun *starter* ini harus mempunyai *capacity* yang cukup besar. Perlu diperhitungkan juga arus saat start motor, demikian juga ukuran *range over loadnya*.

Pada pengasutan mula *Direct On Line*, motor induksi akan menarik arus yang besarnya 5 sampai 6 kali arus nominalnya. Secara berangsur-angsur ketika kecepatan motor mendekati nominalnya maka arus akan berada pada kondisi nominalnya. Gambar dibawah ini menunjukkan karakteristik arus fungsi putaran dan karakteristik torsi pada *starting* motor dengan DOL.



Gambar 5 Karakteristik Arus Fungsi Putaran Pada *Starting* DOL

<http://www.bloganton.web.id/>



Gambar 6 Karakteristik Torsi Pada *Starting* DOL
<http://www.bloganton.web.id/>

b. *Starting* dengan metode *Star-Delta*

Sistem *starting* bintang segitiga adalah metode *starting* dengan pengurangan tegangan. Sebuah motor induksi dengan hubungan *Star-Delta* memiliki enam buah terminal sehingga dapat *diswitch*, baik untuk hubungan bintang atau segitiga. Motor dihubungkan bintang (kontraktor K1 dan K3 *ON*) pada waktu pertama kali di-*start*, dan ketika motor telah mendekati kecepatan normal, hubungan diubah menjadi hubungan segitiga (kontraktor K3 *OFF* dan kontraktor C2 *ON*).

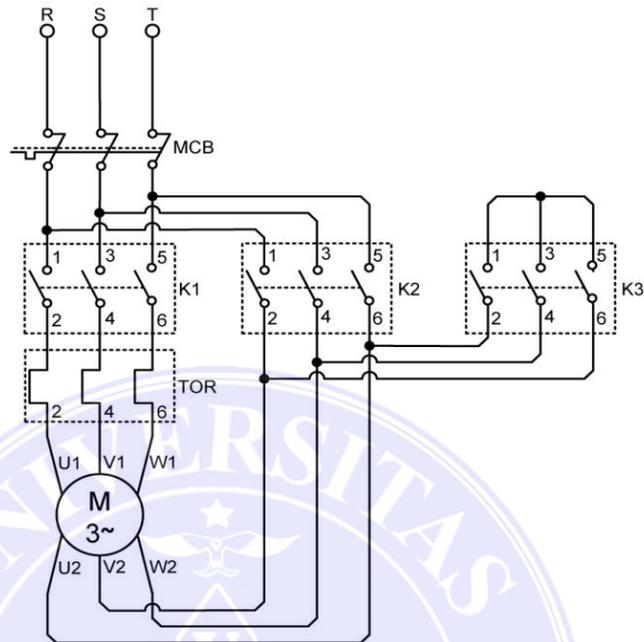
Rangkaian *star-delta* di bawah tersusun atas 3 buah *contactor* yaitu *Main Contactor* (K1), *Star Contactor* (K3), dan *Delta Contactor* (K2), *Timer* untuk pengalihan dari *Star* ke *Delta* serta sebuah *overload relay*.

Fungsi dari rangkaian *Star-delta* sendiri adalah untuk mengurangi arus yaitu saat pertama kali motor di hidupkan *star delta* adalah sebuah sistem pengasut motor yang paling banyak dipergunakan

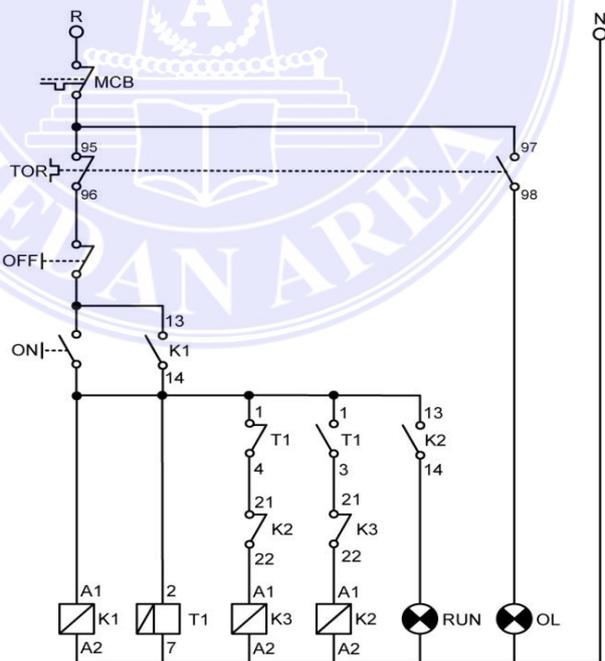
untuk pengasutan motor listik. Dengan menggunakan star delta starter, lonjakan arus listrik yang terlalu tinggi bisa di hindarkan. Cara kerjanya adalah saat pengasutan awal motor tidak dikenakan tegangan penuh hanya 0.58 dengan cara dihubung star. Dapat dilihat pada gambar dibawah, setelah motor berputar dan arus sudah mulai turun dengan menggunakan timer arus dipindahkan menjadi delta sehingga tegangan dan arus yang mengalir ke motor penuh.

Tabel 1. Penjelasan mengenai rangkaian star delta

RANGKAIAN BINTANG	RANGKAIAN DELTA
$U_L = \text{Tegangan Phasa}$ $U_L = \text{Tegangan di terminal motor}$ $U_{ph} = \text{Tegangan di kumparan}$ $I_{LY} = \text{Arus Motor}$ $I_{ph} = \text{Arus pada kumparan}$	$U_L = \text{Tegangan Phasa}$ $U_L = \text{Tegangan di terminal motor}$ $U_{ph} = \text{Tegangan di kumparan}$ $I_{L\Delta} = \text{Arus Motor}$ $I_{ph} = \text{Arus pada kumparan}$
$U_{ph} = \frac{U_L}{\sqrt{3}}$	$U_{ph} = U_L$
$I_{ph} = I_{LY}$	$I_{ph} = \frac{1}{\sqrt{3}} I_{L\Delta}$
$\frac{I_{LY}}{I_{L\Delta}} = \frac{1}{3}$	



Gambar 7 Diagram Daya *Starting* Metode *Star-Delta*
<https://akhdanazizan.com/>

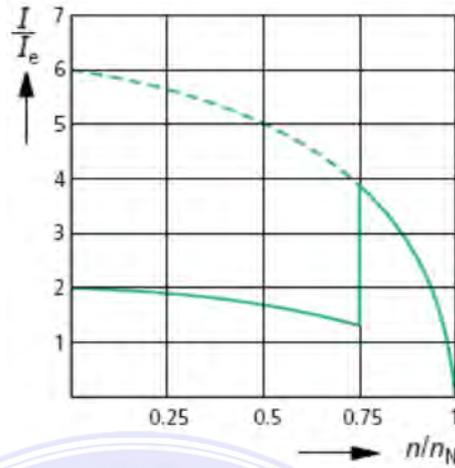


Gambar 8 Rangkaian Kontrol *Starting* Metode *Star-Delta*
<https://akhdanazizan.com/>



Gambar 9 Panel Kontrol *Starting* Motor Dengan Metode *Start Delta*
(Doc.Pt.Toba Pulp Lestari)

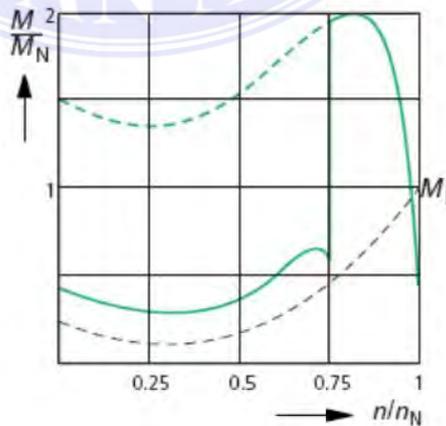
Karakteristik arus fungsi putaran $I = f(n)$ pengasutan bintang-segitiga gambar 9. ketika motor terhubung bintang, arus *starting* dua kali arus nominalnya sampai 75% dari putaran nominal. Ketika motor terhubung segitiga arus motor meningkat empat kali arus nominalnya. Secara berangsur-angsur arus motor menuju nominal saat putaran motor nominal.



Gambar 10 Karakteristik Arus *Starting* Bintang-Segitiga

<https://blogteknisi.com/>

Karakteristik torsi fungsi putaran $T = f(n)$ pengasutan bintang-segitiga gambar 10 memperlihatkan ketika motor terhubung bintang, torsi *starting* sebesar setengah dari torsi nominalnya sampai 75% dari putaran nominal. Ketika motor terhubung segitiga torsi motor meningkat menjadi dua kali lipat torsi nominalnya. Secara berangsur-angsur torsi motor mendekati nominal saat putaran motor nominal.

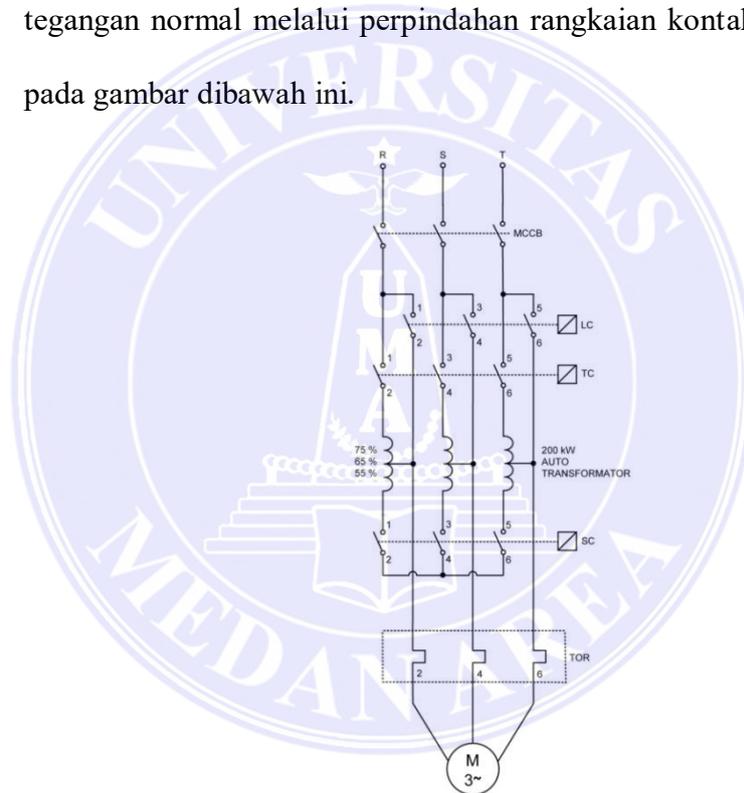


Gambar 11 Karakteristik Torsi *Starting* Bintang-Segitiga

<https://blogteknisi.com/>

c. *Starting Motor dengan Autotransformator*

Pada metode *starting* ini, tegangan awal yang diberikan pada motor mengalami pengurangan melalui sebuah *autotransformator* dan setelah beberapa detik kecepatan nominal motor tercapai, tegangan yang menuju terminal stator motor dikembalikan keposisi nilai tegangan normal melalui perpindahan rangkaian kontak seperti terlihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 12 Diagram *Starting* Dengan *Autotransformator*

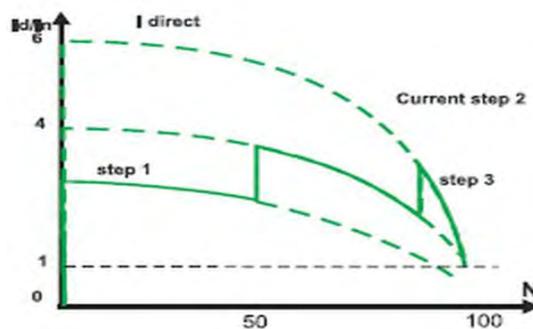
<https://duniaberbagiilmuuntuksemua.blogspot.com/>

Proses yang terjadi pada motor dengan metode *starting autotransformator* ini terdiri dari tiga tahap, Tahap Pertama, ketika awal start terminal motor diberikan tegangan *suplay* yang nilainya telah dikurangi karena aliran daya yang menuju motor tersebut melewati sebuah *autotransformator* yang terhubung secara bintang. Besarnya

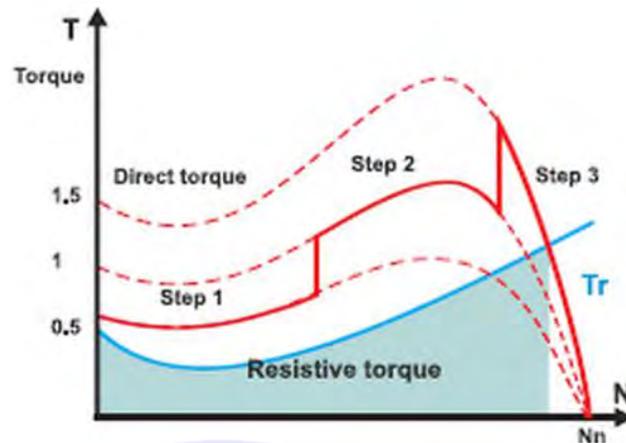
pengurangan tegangan yang diberikan ke motor tergantung dari posisi *tapping* pada gulungan *autotransformator* tersebut.

Tahap Kedua, setelah motor berputar beberapa saat, kontaktor yang membentuk hubungan bintang pada *autransformator* dilepas, sehingga *autotransformator* akan membentuk rangkaian induktansi yang seri dengan motor, dalam hal ini sebenarnya gulungan *autotransformator* tersebut membentuk rangkaian induktor seri dengan gulungan pada stator. Biasanya perpindahan tahap pertama ke tahap kedua ini akan bekerja setelah beberapa detik motor berputar.

Tahap Ketiga, Setelah sepersekian detik tahap kedua, rangkaian akan berpindah ketahap ketiga. Pada tahap ini motor mendapat *suplay* tegangan secara *full* sesuai dengan tegangan jala-jala. Ketika kontaktor yang mengirimkan *suplay* tegangan secara *full* ke terminal motor, maka secara tak langsung *autotransformator* ter-*bypass* sehingga keberadaan *autotransformator* tidak mempengaruhi nilai tegangan *suplay* yang menuju motor tersebut. Dan apabila motor telah beroperasi normal, *autotransformator* bisa dimatikan.



Gambar 13 Karakteristik Arus Pada *Starting Autotransformator*
<https://direktorilistrik.blogspot.com/>

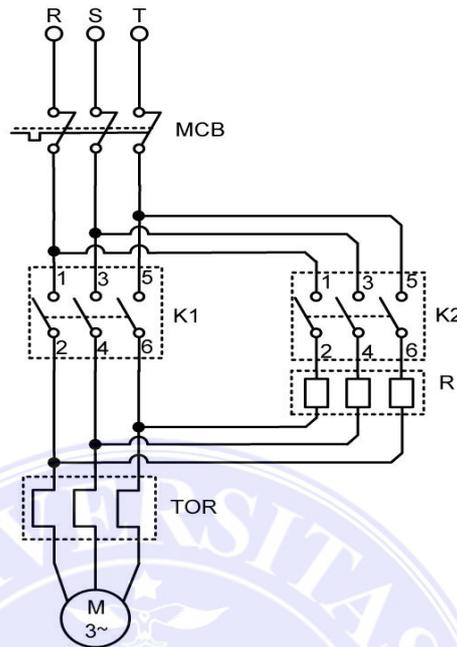


Gambar 14 Karakteristik Torsi Pada *Starting Autotransformator*
<https://direktorilistrik.blogspot.com/>

d. *Starting* Motor dengan Penambahan Tahanan Stator

Dengan metode ini, motor distart dengan menurunkan tegangan karena penambahan tahanan secara seri terhadap belitan stator. Ketika kecepatan stabil tahanan dilepas dan motor dihubungkan langsung dengan jala-jala. Pertama kali K2 akan *ON*, maka tegangan jala-jala yang menuju ke terminal motor akan melewati tahanan. Fungsi tahanan untuk penurunan tegangan ke stator. Jika tegangan ke stator berkurang 50%, maka arus *starting* ditekan menjadi 50% dari arus nominalnya yang akan menyebabkan torsi menjadi 25% dari torsi nominalnya.

Setelah proses *starting* selesai, kontraktor K2 akan *OFF* dan kontraktor K1 akan *ON* sehingga stator mendapat tegangan nominal dan motor akan menarik arus nominal dan hasilnya adalah torsi nominal.



Gambar 15 *Starting Dengan Penambahan Tahanan Stator*
<https://direktorilistrik.blogspot.com/>

Dengan memperbesar nilai tahanan stator, arus start motor dapat dikurangi, namun perlu diperhatikan bahwa dengan memperbesar nilai tahanan, maka drop tegangan semakin besar sehingga tegangan yang menuju ke terminal motor semakin rendah. hal ini dapat menyebabkan penurunan yang cukup besar pada torsi awal motor. Sehingga pengaturan nilai tahanan sangat penting untuk mencegah besarnya penurunan torsi awal pada motor.



Gambar 16 Karakteristik Torsi *Starting* Dengan Penambahan Tahanan *Stator*

<https://direktorilistrik.blogspot.com/>

4. Sistem Pengasutan

Masalah-masalah yang muncul pada sistem pengasutan secara umum adalah arus awal yang terlalu besar dan momen awal yang sering terlalu kecil. Motor-motor pada sistem industri modern menjadi bertambah banyak. Beberapa pertimbangan mengenai banyaknya antara lain adalah sebanding dengan bertambah besarnya kapasitas dari sistem tenaga industri yang bersangkutan, dimana pada saat pengasutannya kebanyakan motor induksi arus awalnya mencapai 5 sampai 7 kali besarnya arus nominal. Pengasutan motor induksi yang besar dapat menyebabkan penurunan tegangan yang dapat mengganggu peralatan lain bahkan motor itu sendiri. Beberapa hal yang harus dipertimbangkan pada pengasutan motor:

a. Kedip Tegangan (*Flicker*)

Kemungkinan yang sangat umum untuk diketahui dan dipelajari akibat pengasutan motor adalah kedip tegangan yang dialami oleh suatu

sistem tenaga dalam industri sebagai akibat dari pengasutan motor induksi.

b. Sumber Pembangkit yang Terbatas

Sistem tenaga yang lebih kecil biasanya dilayani oleh sumber-sumber dengan kapasitas terbatas, yang pada umumnya tergantung pada masalah penurunan tegangan sebagai akibat dari pengasutan motor, terutama pengasutan motor besar. Sistem yang kecil juga sering mempunyai keterbatasan dalam pembangkitan, dimana nantinya akan menemui kesulitan apabila ada penambahan penurunan tegangan yang terjadi pada *impedansitransient* dari generator lokal pada saat selang pengasutan motor.

Beberapa metode mengurangi kedip tegangan seminimal mungkin pada pengasutan motor adalah didasarkan pada kenyataan bahwa saat pengasutan motor, sebuah motor akan menarik arus *inrush* berbanding langsung dengan tegangan terminal, oleh karena itu tegangan yang lebih rendah menyebabkan motor membutuhkan arus yang lebih kecil dan dengan demikian mengurangi gejala kedip tegangan.

Pengasutan dengan *autotransformator* adalah satu-satunya cara yang paling efektif untuk mencapai penurunan tegangan selama pengasutan dengan standar 50% sampai 80% dari harga tegangan nominal. Suatu studi pengasutan tegangan yang tepat dan arus *inrush* yang lebih rendah sehingga dapat diterima oleh tegangan sistem

pembangkit listrik selama pengasutan motor. Cara lain pengasutan dengan penurunan meliputi resistor atau reaktor pengasutan, pengasutan dengan *part winding* dan pengasutan *star-delta*. Semua cara pengasutan di atas dapat diamati dengan studi pengasutan motor dan cara untuk pemakaian khusus dapat dipilih.

Cara lain untuk mengurangi arus *inrush* tinggi yang timbul pada saat pengasutan motor besar dan tetap dapat mempertahankan sistem adalah menggunakan cara dengan kapasitor. Komponen induktif yang tinggi dari arus pengasutan reaktif normal akan dikompensir oleh kapasitor tambahan pada bus motor (hanya pada saat pengasutan motor). Pengasutan motor dapat dilengkapi informasi untuk memilih ukuran optimal pada kapasitor pengasutan dan menentukan lamanya waktu untuk kapasitor itu mendapat energi, ini dapat juga diterapkan apakah kapasitor dan motor dapat dihubungkan dalam waktu yang bersamaan, atau karena kerugian tegangan yang melampaui batas yang diakibatkan oleh arus *transient* pengisian kapasitor yang menambah arus *inrush* motor, kapasitor harus dihubungkan sesaat lebih dulu dari motor.

B. Pengasutan Motor Induksi Dengan Metode *Autotransformator* di Area Wood Year PT. Toba Pulp Lestari, Tbk

Secara umum motor induksi dapat *distarting* baik dengan menghubungkan motor secara langsung ke sumber tegangan maupun dengan menggunakan tegangan yang telah dikurangi ke motor selama

periode start. Demikian halnya di PT. Toba Pulp Lestari, Tbk ada beberapa metode *starting* yang digunakan, salah satunya adalah *starting* dengan sistem *Autotransformator*.

Adapun motor induksi yang dipakai adalah motor induksi tiga fasa rotor sangkar, dimana motor ini digunakan sebagai *Wood Chipper* di Area *Wood Year*. Data motor induksi yang digunakan adalah sebagai berikut:

Tabel 2. *Name Plate* Motor *Wood Chipper*

Motor No.	251-M-005
Service/Status	Chipper 2
Kinds Of Motor	AC
Type/Mount	B5/FE
Maker	Rerliance Electric
Power Input	1250kW/250 HP
Volt	6600 Volt
Full Load	128 A
Speed	2980 rpm
Phase/Freq	3/50 Hz
Frame	449 TY
MCC No.	251-MCC-03
Cell No.	A1
Bearing	65BC03J30

1. Penggunaan Pengasutan Motor Induksi Dengan Metode *Autotransformator* di PT. Toba Pulp Lestari, Tbk

Mesin pengolahan kayu yang memiliki kontruksi dan fungsi untuk pengolah kayu keras atau kayu lunak menjadi ukuran atau bentuk tertentu, kayau yang dapat di olah dengan mesin ini adalah kayu yang telah di tentukan oleh perusahaan. Pada mesin chipper ini bekerja dengan

rangkaian *autotransformator*. Yang mana mesin chipper ini sebagai pencincang kayu sampai berbentuk *chips*.



Gambar 17 Motor Yang Menggunakan *Starting* Dengan *Autotransformator*
(Doc.Pt.Toba Pulp Lestari)



Gambar 18 Lemari Kontrol *Starting* Dengan *Autotransformator*
(Doc.Pt.Toba Pulp lestari)

Pada PT. Toba Pulp Lestari, Tbk *starting* motor dengan metode *autotransformator* terdapat pada area *Wood Year*. Motor ini bekerja untuk menggerakkan *air compressor* yang berfungsi untuk menghancurkan atau menggiling berbagai macam kayu menjadi bentuk lebih kecil.

Starting motor dengan *autotransformator* dirancang khusus untuk keperluan tertentu. Pada saat start, motor langsung memiliki beban yang tinggi sehingga membutuhkan torsi yang besar. Jika torsi awalnya besar maka arus yang dibutuhkan untuk start motor tersebut juga besar.

Jadi proses pemanfaatan penghancur atau penggiling berbagai macam kayu menjadi bentuk chips, motor akan memutar sudu-sudu *chipper* dimana motor ini tidak boleh berhenti dan harus beroperasi secara kontinu.

2. Pemilihan Komponen Kontrol *Starting* Motor Dengan Sistem *Autotransformator*

Penentuan besar nominal dari komponen kontrol adalah sangat penting. Penentuan ini ditunjukkan untuk mendapatkan operasi rangkaian kontrol yang normal. Penentuan besaran tersebut ditentukan dalam beberapa hal antara lain sebagai berikut:

a. Arus Nominal

Arus nominal dibutuhkan untuk menentukan besar nominal dari komponen kontrol. Penentuan arus yang diperbolehkan melewati kontak yang akan dipergunakan untuk menyalurkan daya harus lebih

besar daripada arus pemutus serta kemampuan nominal penghantar yang digunakan untuk menyalurkan daya tersebut harus lebih besar.

b. Tegangan Nominal

Tegangan nominal kontak adalah tegangan nominal yang diharapkan tidak menimbulkan bunga api yang terlalu besar saat kontak-kontak terbuka dan tertutup. Tegangan nominal operasi adalah besar tegangan nominal yang dibutuhkan untuk mengoperasikan rangkaian dalam keadaan normal pada komponen kontrol.

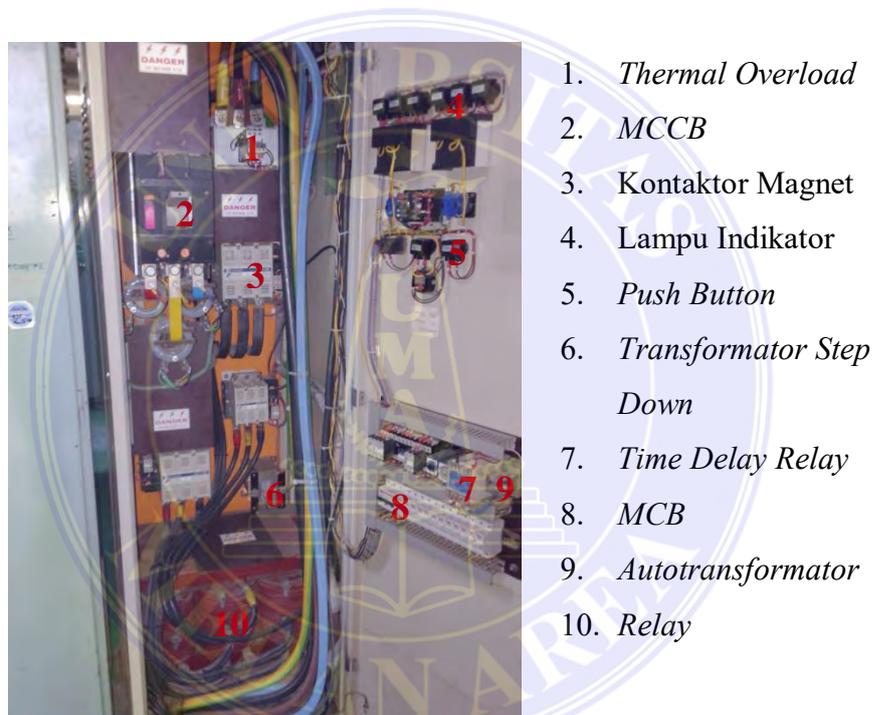
Tegangan nominal komponen kontrol harus sesuai dengan kebutuhan yang terendah pada *name plate* motor dan sesuai dengan tegangan yang tersedia agar operasi dari komponen tercapai sebaik mungkin.

c. Frekuensi Operasi

Frekuensi mempengaruhi operasi dari kontrol maupun komponen kontrol yang digunakan. *Relaymagnetic* yang digunakan pada rangkaian kontrol akan menimbulkan getaran-getaran pada komponen kontrol tersebut ketika frekuensinya lebih rendah dari frekuensi jala-jala. Getaran-getaran ini mempengaruhi mekanis dari peralatan tersebut sehingga frekuensi yang tertera pada *name plate* motor harus disesuaikan dengan frekuensi jala-jala.

3. Komponen Pengasutan Motor Induksi Dengan Metode *Autotransformator* Di PT. Toba Pulp Lestari, Tbk.

Pusat pengontrolan operasi motor listrik yaitu Motor Control Center (MCC), artinya suatu MCC mampu menontrol operasi beberapa motor dalam waktu bersamaan. Controller dari motor di letakkan secara terpisah .



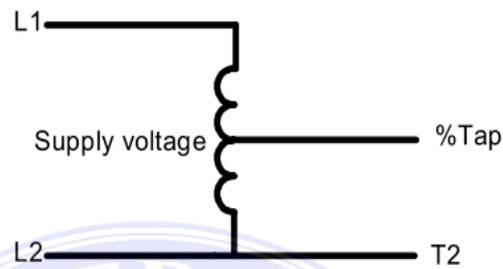
1. *Thermal Overload*
2. *MCCB*
3. *Kontaktor Magnet*
4. *Lampu Indikator*
5. *Push Button*
6. *Transformator Step Down*
7. *Time Delay Relay*
8. *MCB*
9. *Autotransformator*
10. *Relay*

Gambar 19 Komponen *Starting* Dengan *Autotransformator*
(Doc.Pt.Toba Pulp Lestari)

a. *Autotransformator*

Autotransformator adalah salah satu jenis dari transformator yang memiliki satu belitan dan dapat diatur tegangan *output*nya. Pada transformator yang memiliki satu belitan didapat belitan primer dan sekunder tidak dilakukan isolasi elektrik seperti pada transformator biasa dengan dua belitan. Namun, secara teori dan operasi memiliki

kesamaan. Seperti pada gambar 9, sebuah transformator yang terdiri dari belitan tunggal dimana L1 dan L2 membentuk belitan primer dan bagian %tap dan T2 membentuk belitan sekunder.



Gambar 20 Belitan *Autotransformator*
<https://www.academia.edu/>

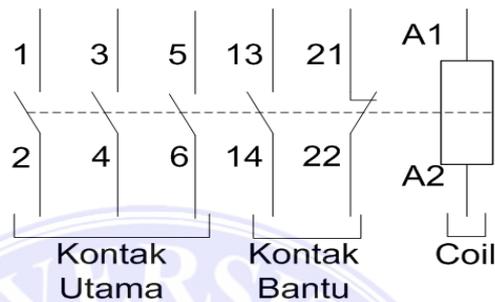


Gambar 21 Autotransformator
<https://www.academia.edu/>

b. *Magnetic Contactor*

Magnetic Contactor akan bekerja normal jika tegangan yang diberikan sudah mencapai 85% dari tegangan kerjanya. Jika tegangan turun, maka kontraktor akan bergetar. Ukuran kontaktor biasanya ditentukan dari kemampuan tegangannya dan juga kemampuan arusnya.

Biasanya pada sebuah kontraktor terdapat beberapa kontak *normal open* (NO) dan kontak *normal close* (NC). Kontak-kontak tersebut adalah kontak utama dan kontak bantu.



Gambar 22 Simbol *Magnetic Contactor*
(<https://mesin.pnj.ac.id/>)

Kontak utama dan kontak bantu kontaktor ini berbeda dalam penggunaannya. Kontak utama digunakan untuk rangkaian daya, sedangkan untuk kontak bantu NO maupun NC digunakan pada rangkaian kontrol. Penggunaan kontak bantu NO pada rangkaian kontrol beralasan karena kontak bantu ini tidak mampu dialiri arus listrik yang besar, sebagai mana halnya dengan kontak utama.

c. *Push Botton*

Push botton adalah sakelar yang berfungsi untuk menghubungkan atau memutuskan aliran listrik dengan sistem *unlock* (tidak terkunci). Sistem kerja *unlock* disini berarti sakelar akan bekerja sebagai penghubung atau pemutus aliran arus listrik saat tombol ditekan, dan saat tombol tidak ditekan (dilepas) maka sakelar akan kembali normal. Sebagai penghubung dan pemutus, *push botton* hanya memiliki dua kondisi, yaitu *Normal Open* (NO) yang berfungsi sebagai

tombol *start* dan *Normal Close* (NC) yang berfungsi sebagai tombol *stop*.

d. *Relay Thermal* Beban Lebih

Relay ini bekerja berdasarkan temperatur yang timbul oleh arus listrik yang mengalir melalui kawat yang menggulung bimetalnya. Dari sifat pelengkungan bimetal akibat panas yang ditimbulkan oleh arus listrik, maka bimetal ini akan menggerakkan pengungkit mekanis pemutus rangkaian listrik. Dengan terlepasnya kontak-kontak mekanis ini, maka rangkaian listrik akan terputus ke beban sehingga melindungi peralatan listrik dari kerusakan.

Relay thermal beban lebih terdiri dari bimetal yang mempunyai koefisien muai yang berbeda. Bila arus yang mengalir melebihi harga *settingnya*, maka temperatur akan naik dan bimetal akan mengalami perubahan bentuk (melengkung). Disini energi panas diubah menjadi energi mekanik yang dimanfaatkan untuk membuka kontak-kontaknya. Perubahan kelengkungan bimetal tergantung kepada:

- 1) Ketebalan bimetal
- 2) Perbedaan koefisien muai panjang
- 3) Temperatur
- 4) Besarnya arus beban lebih

Pada *relaythermal* beban lebih terdapat tombol *reset*, yang fungsinya mengembalikan kedudukan kontak-kontaknya pada posisi

semula. Perlengkapan lain adalah pengaturan batas trip bila terjadi beban lebih.

Pada rangkaian utama, *relay thermal* berfungsi untuk melindungi motor terhadap arus beban lebih, sedangkan pada rangkaian kontrol kontak bantu NC berfungsi sebagai pemutus sumber tegangan ke rangkaian kontrol pada saat terjadi arus beban lebih.

Pada saat start motor, *relay* ini tidak akan trip, karena *relay thermal* membutuhkan waktu untuk memanaskan bimetalnya untuk dapat memutus rangkaian. Jadi arus start motor yang mengalir hanya sesaat, tidak akan membuat *relay* trip. Tetapi jika arus mengalir melebihi harga arus nominal motor secara terus menerus, maka arus ini akan memanaskan bimetal pada *relay thermal* yang menyebabkan trip.

e. *Relay*

Relay merupakan suatu komponen listrik yang prinsip kerjanya didasarkan pada medan induksi medan elektromagnetis. Prinsip kerja *relay* sama seperti prinsip kerja kontaktor magnet. Perbedaan utama antara *relay* dengan kontaktor elektromagnetik terletak pada kontaknya. Jika kontraktor magnet dilengkapi dengan kontak utama dan kontak bantu, maka *relay* hanya dilengkapi dengan kontak bantu saja. Sehingga *relay* tidak bisa digunakan untuk rangkaian daya tetapi hanya untuk rangkaian kontrol.

f. Sekering

Sekering atau *fuse* sering juga disebut dengan pengaman lebur. Pemasangan sekering bertujuan untuk mencegah rusaknya peralatan listrik terutama yang disebabkan karena terjadinya hubung singkat. Suatu aliran arus listrik yang berlebihan akan meleburkan sekering dan akan terjadi pemutusan aliran arus ke rangkaian. Dengan demikian rangkaian dapat diselamatkan.

Elemen sekering bisa terbuat dari aluminium maupun tembaga yang dilapisi dengan timah atau nikel. Sekering tersedia di pasaran dengan *rating* 1 A s.d 500 A. Semakin kecil ukuran “*fuse* elemen” dalam sekering, maka semakin kecil pula *rating* arusnya.

Elemen sekering itu sendiri mempunyai resistansi yang rendah. Sekalipun demikian, pada saat sekering terbakar terdapat suatu rangkaian yang terbuka sehingga resistansinya tidak terhingga. Sekering harus dirancang sedemikian rupa sehingga tidak menimbulkan bunga api pada saat sekering terbakar. Jadi jelasnya bahwa sekering memiliki *rating* arus dan *rating* tegangan.

Yang dimaksud dengan *rating* arus (arus kerja nominal) sekering adalah suatu nilai yang sudah ditentukan oleh pabrik, yaitu besarnya arus yang dijamin oleh pabrik untuk tidak bisa menyebabkan kerusakan sekering yang bekerja secara terus menerus pada kondisi normal tanpa terjadi peleburan pada bagian elemen dan tanpa terjadinya keadaan yang memburuk karena arus tersebut pada sekering.

g. *Circuit Breaker*

Circuit Breaker (CB) adalah suatu alat pengaman pemutus rangkaian listrik pada saat terjadi kesalahan pada rangkaian, terutama pada saat arus lebih dan beban lebih. *Circuit breaker* bekerja untuk dua keperluan:

- 1) Sebagai sakelar pada keadaan operasi normal, yaitu untuk keperluan operasi dan pemeliharaan.
- 2) Sebagai sakelar dalam keadaan abnormal, yang terutama disebabkan oleh hubung singkat, maka disini CB akan memutus sumber ke rangkaian.

h. *Thermostat*

Yaitu suatu komponen kontrol yang berfungsi sebagai alat sensor suhu yang berfungsi untuk mengamankan *autotransformator* agar tidak terbakar. Pada prinsipnya jika suhu transformator tinggi akan membuat bimetal pada *thermostat* menjadi melengkung. Dengan adanya kejadian seperti itu maka *thermostat* akan terbuka, yang menjadikan komponen-komponen kontrol lainnya tidak beroperasi kecuali lampu indikator *Autotransformator Over Heat*.

i. *Time Delay Relay (Timer)*

Prinsip kerja dan kegunaan dari *time delay relay* mirip dengan *relay* kontrol, bedanya kontak-kontak *time delay relay* tidak langsung bekerja ketika kumparannya diberi tegangan melainkan tertunda kerjanya sesuai dengan *setingan* waktunya. Pada PT. Toba Pulp Lestari,

Tbktime delay relay diseting masing-masing selama 5 detik, 3 detik, dan 1 detik.

j. MCB

MCB (*Miniature Circuit Breaker*) disebut juga pengaman otomatis. MCB akan secara otomatis memutuskan rangkaian apabila arus yang melewatinya melebihi arus nominalnya yang ditentukan pada MCB tersebut. Arus nominal yang terdapat pada MCB 1A, 2A, 4A, 6A, 10A, 16A, 20A, 25A, 32A dan lain sebagainya. MCB secara otomatis dapat langsung dioperasikan kembali setelah mengalami pemutusan (*trip*) akibat adanya gangguan arus hubung singkat dan beban lebih, setelah gangguan hubung singkat tersebut di perbaiki.

k. *Magnetic*

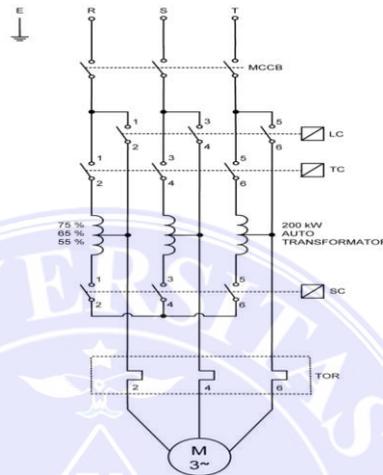
Prinsip kerja *Magnetic* adalah memanfaatkan arus hubung singkat yang cukup besar untuk menarik sakelar mekanik dengan prinsip induksi elektromagnetik. Semakin besar arus hubung singkat, maka semakin besar gaya yang menggerakkan sakelar tersebut sehingga lebih sepat memutuskan rangkai listrik dan gagang operasi akan kembali ke posisi *trip*.

4. Sistem Kontrol dan Monitor *Wood Chipper* di PT. Toba Pulp Lestari,

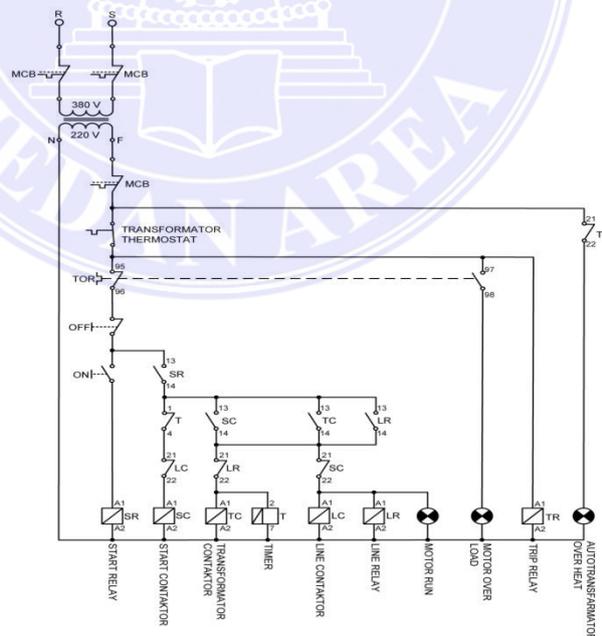
Tbk

a. Sistem Kontrol

Gambar 12 menunjukkan rangkaian kontrol dan rangkaian daya *starting* motor dengan metode *autotransformator* pada PT. Toba Pulp Lestari, Tbk



Gambar 23 Rangkaian Daya *Starting* Dengan *Autotransformator*
<https://ivanemmoy.wordpress.com/>



Gambar 24 Rangkaian Kontrol *Starting* Dengan *Autotransformator*
<https://ivanemmoy.wordpress.com/>

Di dalam kontrol motor induksi pada area *Wood Year* yaitu pada *Wood Chipper*, pengoperasiannya dilakukan secara otomatis dari ruang DCS (*Distribution Control Sistem*) oleh operator.

Untuk awalnya, sebuah sumber arus yang dibutuhkan untuk start motor harus di *ON*-kan terlebih dahulu dari ruang MCC (*Motor Control Center*) yaitu MCB dan MCCB. Arus mengalir dari MCB yang akan menuju transformator *step-down*, di mana transformator ini berfungsi untuk menurunkan tegangan 380 Volt menjadi 220 Volt hal ini bertujuan untuk memberi *input* arus rangkaian kontrol motor dan kemudian dari ruang DCS ditekan tombol *push button ON* yang akan mengoperasikan *start relay*. Pada saat *start relay* ini beroperasi maka kontak bantu NO (*Normal Open*)*relay* akan menutup. Dengan menutupnya kontak NO *start relay* ini maka SC (*Start Contactor*) dan TC (*Transformer Contactor*) akan menutup juga sehingga arus akan mengalir melewati *taping-taping autotransformator* yang kemudian arus tersebut akan melewati *thermal overload relay* dan menuju motor. Dengan demikian motor akan mulai start dan kejadian ini juga diikuti dengan beroperasinya *timer*, di mana *timer* ini akan menghitung lama waktu arus start motor (I_s) untuk kembali menuju arus nominal motor (I_{nm}). Waktu yang di *setting* adalah selama 7 detik, di mana jika sudah melewati waktu selama 7 detik arus start motor (I_s) tidak juga kembali ke arus nominal motor (I_{nm}), maka *thermal Overload Relay* akan

beroperasi hal ini disebabkan karena bimetal yang ada di dalam *thermal overload* akan memuai dan hal ini dinamakan dengan trip.

Jika dalam waktu yang sudah *disetting* yaitu 7 detik arus start motor sudah kembali menjadi arus nominal motor maka NO *interpausing relay* akan membuka dan kejadian ini diikuti dengan menutupnya TC, hal ini menyebabkan SC dan TC menjadi open *circuit* tetapi arus ke motor tidak terputus karena LC (*Line Contactor*) langsung beroperasi. Setelah LC menutup maka motor yang beroperasi langsung terhubung dengan arus jala-jala.

Pada *starting* dengan metode *autotransformator* ini, jika *autotransformator over heat* thermostat akan bekerja sebagai *sensing* (sensor). Pada thermostat ini bagian komponennya adalah bimetal dimana jika *autotransformator* panas maka bimetal ini akan memuai dan menyebabkan arus yang mengalir ke komponen kontrol terputus dan lampu indikator *autotransformator over heat* akan menyala.

Jadi penggunaan *autotransformator* ini adalah untuk mengurangi arus start yang tinggi karena motor saat start langsung berbeban tinggi, sehingga untuk start awal membutuhkan torsi yang besar dan juga memerlukan arus yang besar untuk mengimbangi beban tersebut.

Pada PT. Toba Pulp Lestari, Tbk penggunaan sistem start dengan menggunakan *autotransformator* terdapat pada area *Wood Year* yaitu motor *wood chipper* yang merupakan proses penghancuran atau

menggiling kayu menjadi bentuk chips (serut).sebelum distart sehingga pada saat start akan membutuhkan torsi yang besar untuk mengimbangi beban tersebut. Jika dibiarkan maka arus start yang besar tersebutlah akan mengganggu jaringan yang lain yang satu sumber dengan motor tersebut dan juga akan mengakibatkan lilitan motor cepat rusak.

Untuk mengatasi hal tersebut di atas, maka dirancang suatu sistem *starting* yang cocok dengan kebutuhan motor tersebut yaitu *starting* dengan metode *Autotransformator*.

b. Sistem Monitor

Distributed Control System (DSC) adalah suatu sistem yang mendistribusikan berbagai fungsi yang digunakan untuk mengendalikan berbagai variabel proses dan unit operasi proses menjadi suatu pengendalian yang terpusat pada suatu *control room* dan berbagai fungsi pengendalian, *monitoring* dan *optimasi*.

Pengguna akhir dari sebuah sistem kontrol DCS adalah operator. Oleh karena itu, kebutuhan operator terkait pemantauan dan pengontrolan harus tersedia dengan baik. Operator melakukan pemantauan dan pengontrolan menggunakan *interface* yang terhubung dengan *controller* menggunakan sebuah protokol komunikasi data. Pada proses pengoperasian *Air Compressor*, operator bertugas untuk mengoperasikan dan memantau (*monitoring*). *Monitoring* merupakan proses yang dilakukan dengan *memonitor* suatu alat atau suatu aktivitas

pada alat dengan memanfaatkan kecanggihan teknologi berupa komputer.

Komponen dari DCS terdiri dari 3 komponen dasar yaitu: *Operator Station*, *Control Module*, dan *I/O module*.

1) *Operator Station*

Operator station merupakan tempat dimana *user* melakukan pengawasan atau *monitoring* proses yang berjalan. *Operator station* digunakan sebagai *interface* dari sistem secara keseluruhan atau biasa juga dikenal dengan kumpulan dari beberapa HIS (*Human Interface Station*). Bentuk HIS berupa komputer biasa yang dapat mengambil data dari *control station*. *Operator station* dapat memunculkan *variable* proses, parameter *control*, dan alarm yang digunakan *user* untuk mengambil status operasi. *Operator station* juga dapat digunakan untuk menampilkan *trend* data, *messages*, dan data proses.

2) *Control Module*

Control modul merupakan bagian utama dari DCS. Control modul adalah pusat kontrol atau sebagai otak dari seluruh pengendalian proses. Control modul melakukan proses komputasi algoritma dan menjalankan ekspresi logika. Fungsi dari *control module* adalah mengambil *input variable* yang akan dikontrol. Nilai *variable* tersebut akan dikalkulasi. Hasil dari kalkulasi ini akan dibandingkan dengan set *point* yang sudah ditentukan. *Setpoint* ini

adalah nilai yang diharapkan sebuah proses. Jika hasil kalkulasi berbeda dengan set *point*, nilai tersebut harus dimanipulasi sehingga mencapai set *point* yang sudah ditentukan. Hasil manipulasi nilai akan dikirim ke *input output* modul dan untuk disampaikan ke *aktuator*.

3) I/O Module

I/O Module merupakan *interface* antara *control module* dengan *field instrument*. I/O module berfungsi menangani *input* dan *output* dari suatu nilai proses, mengubah sinyal dari digital ke analog dan sebaliknya.

C. Pembahasan/Ulasan

Teori tentang *Starting* motor dengan metode *Autotransformator* yang penulis dapat selama perkuliahan sangat membantu penulis dalam melaksanakan kegiatan PLI di PT. Toba Pulp Lestari, Tbk Pada prinsipnya *starting* dengan *autotrasformator* hampir sama dengan *Start Delta Starter* yaitu dengan mengurangi arus dan torsi saat start dan mengurangi tegangan mesin yang digerakkan. Metode pengasutan ini ialah dengan cara memasang *autotrasformator* yang ditempatkan pada rangkaian primer (stator). *Starting* ini digunakan untuk menjalankan motor induksi tiga fasa dengan menghubungkan pada tap tegangan sekunder *autotrasformator* terendah.

Setelah beberapa saat motor dipercepat tap *autotrasformator* diputuskan dari rangkaian dan motor terhubung langsung pada tegangan

penuh, berarti arus yang diambil motor pun pada saat start kecil, kopel motor lebih kecil dibandingkan bila motor dihubungkan langsung ke jala-jala.

Starting motor dengan *autotransformator* dirancang khusus untuk keperluan tertentu. Pada saat start, motor langsung memiliki beban yang tinggi sehingga membutuhkan torsi yang besar. Jika torsi awalnya besar maka arus yang dibutuhkan untuk start motor tersebut juga besar.

Pada PT. Toba Pulp Lestari, Tbk besar daya motor yang *distarting* dengan metode *autotransformator* adalah 200kW.

$$\begin{aligned} \text{Dimana, } I_{Nominal} &= \frac{P}{\sqrt{3} \times v \times \cos \theta} & (1) \\ &= \frac{200 \text{ kW}}{\sqrt{3} \times 380 \times 0,95} \\ &= \frac{200 \text{ kW}}{625,27} \\ &= 320 \text{ A} \end{aligned}$$

<https://direktorilistrik.blogspot.com/>

Apabila motor tersebut *distarting* menggunakan DOL arus start (I_{start}) bisa mencapai $7 \times I_{Nominal} = 7 \times 320 \text{ A} = 2240 \text{ A}$. Dengan arus yang sangat besar seperti ini bisa menggagu jaringan jala-jala apabila dihubungkan secara langsung (DOL).

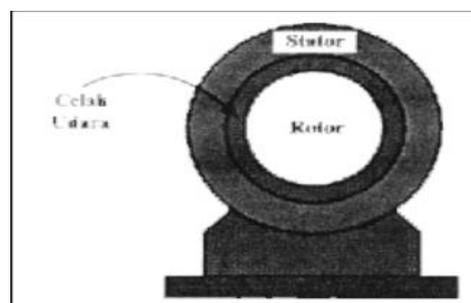
Pada PT. Toba Pulp Lestari, Tbk *starting* motor dengan metode *autotransformator* terdapat pada area *Wood Year*. Motor ini bekerja untuk menggerakkan *Wood Chipper* yang berfungsi untuk sebagai penghancur atau atau menggiling berbagai macam kayu menjadi bentuk lebih kecil (Chips)

atau pun lebih lembut dari pada mesin chipper kayu. Hasil dari mesin ini cocok membuat serbuk kayu, untuk bahan baku pulp

1. Perbandingan Motor listrik 1 & 3 Fase

Pada era industri saat ini, kebutuhan terhadap alat produksi yang tepat guna sangat diperlukan untuk dapat meningkatkan efisiensi waktu dan biaya. Sebagian besar alat industri menggunakan tenaga listrik sebagai energi penggerak utamanya, dan di berbagai perindustrian banyak menggunakan mesin – mesin dengan penggerak utamanya adalah motor ac phasa satu. Yang mana pada umumnya digunakan pada mesin produksi seperti mesin bubut, mesin bor, dan sebagainya. Faktor yang menyebabkan hal tersebut karena motor induksi memiliki beberapa kelebihan antara lain: harga lebih murah, mudah dalam perawatan, konstruksi sederhana, tetapi motor induksi juga memiliki kekurangan antara lain: motor induksi memiliki nilai slip (perbedaan kecepatan putar medan stator terhadap kecepatan medan rotor) yang sangat besar, dan motor induksi sulit dalam pengendalian kecepatan putarnya.

1.1 Motor Induksi Satu Fase



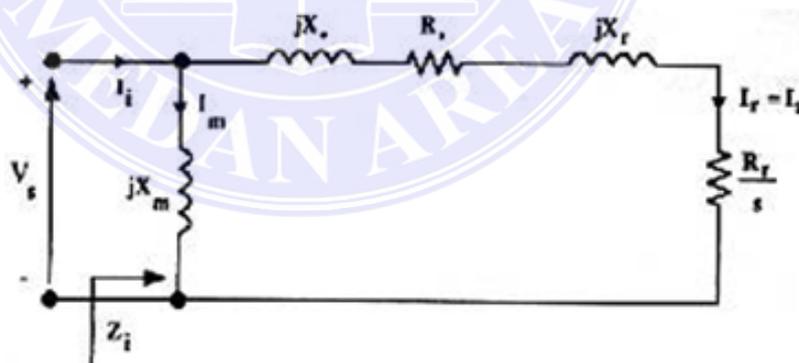
Gambar 25 Kontruksi Motor Induksi Satu Fase

<https://www.academia.edu/>

Konstruksi motor induksi satu fase terdiri atas dua komponen yaitu stator dan rotor. Stator adalah bagian dari motor yang tidak bergerak dan rotor adalah bagian yang bergerak yang bertumpu pada bantalan poros terhadap stator. Motor induksi terdiri atas kumparan – kumparan stator dan rotor yang berfungsi membangkitkan gaya gerak listrik akibat dari adanya arus listrik bolak – balik satu fase yang melewati kumparan – kumparan tersebut sehingga terjadi suatu interaksi induksi medan magnet antara stator dan rotor. Bentuk dan konstruksi motor tersebut digambarkan pada gambar 25.

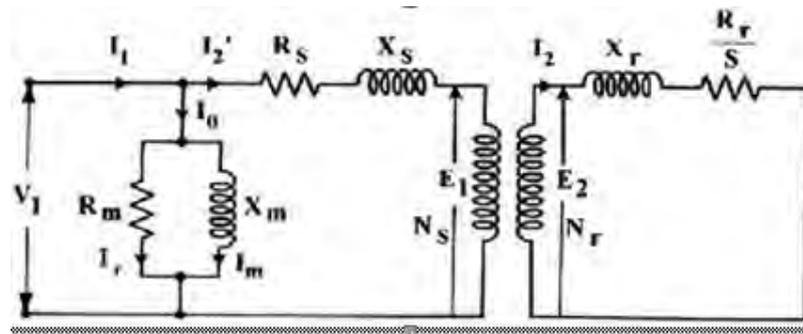
1.2 Rangkaian Ekuivalen Motor Induksi Satu Fase

Motor induksi satu fase terdiri kumparan stator dan kumparan rotor. Kumparan stator dan rotor masing – masing terdiri dari parameter resistansi “R”, reaktansi “jX” dan bilangan penguat “N” rangkaian ekuivalen dari motor induksi satu fase dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 26 Rangkaian Ekuivalen Motor Induksi Sederhana

<https://www.academia.edu/>



Gambar 27 Rangkaian Pengganti Motor Induksi Satu Fase
<https://www.academia.edu/>

Nilai arus bolak – balik satu fase dapat di rumuskan sebagai berikut:

$$I_1 = I_0 + I_2' \tag{2}$$

<https://www.academia.edu/>

Besarnya arus pemaknitan I_0 yang timbul akibat adanya induksi yang terjadi antara medan stator dan medan rotor adalah:

$$I_0 = I_r + I_m \tag{3}$$

<https://www.academia.edu/>

Ggl yang dihasilkan akibat interaksi induksi medan magnet antara stator dan rotor yang masing – masing sebesar E_1 dan E_2 adalah:

$$E_1 = I_2 (R_s + jX_s) \tag{4}$$

$$E_1 = I_2 \left(\frac{R_r}{s} + jX_r \right)$$

<https://www.academia.edu/>

Impedansi pada kumparan motor stator dan rotor masing- masing adalah:

$$jX_s = j\omega_s L_s \tag{5}$$

$$jX_r = j\omega_r L_r$$

<https://www.academia.edu/>

1.3 Prinsip Kerja Motor Listrik Satu Fase

Apabila kumparan – kumparan motor induksi satu fase dialiri arus bolak balik satu fase , maka pada celah udara akan dibangkitkan medan yang berputar dengan kecepatan putaran sebesar dengan menggunakan rumus:

$$n_1 = \frac{120.f}{p} \frac{\text{putaran}}{\text{menit}} \text{ [ppm]} \quad (6)$$

<https://www.academia.edu/>

Medan magnet berputar bergerak memotong lilitan rotor sehingga menginduksikan tegangan listrik pada kumparan – kumparan tersebut. Biasanya lilitan rotor berada dalam hubung singkat. Akibatnya lilitan rotor akan mengalir arus listrik yang besarnya tergantung pada besarnya tegangan induksi dan impedansi rotor. Arus listrik yang mengalir pada rotor akan mengakibatkan medan magnet rotor dengan kecepatan sama dengan kecepatan medan putar stator (n_s). Interaksi medan stator dan rotor akan membangkitkan torsi yang menggerakkan rotor berputar searah dengan arah medan putar stator. Interaksi medan stator dan rotor juga menyebabkan terjadinya gaya gerak listrik induksi yang disebabkan oleh kumparan - kumparan stator dan rotor. Rumus matematis gaya gerak listrik yang terjadi pada motor induksi satu fasa dengan rumus sebagai berikut:

$$\varepsilon = - N \frac{D\Phi}{dt} \quad (7)$$

<https://www.academia.edu/>

Dimana nilai $\Phi_{(t)}$ untuk fluks maksimum akibat dari penyerahan kecepatan fluks yang melewati lilitan dengan rumus:

$$\Phi_{(t)} = \Phi_{\max} \cdot \cos \omega t \quad (8)$$

<https://www.academia.edu/>

Adanya perbedaan medan putar stator dan medan putar rotor atau yang disebut slip pada motor induksi satu fase pada rumus sebagai berikut:

$$S = \frac{w_s - w_r}{w_s} \text{ atau } s = \frac{n_s - n_r}{n_s} \quad (9)$$

<https://www.academia.edu/>

1.4 Hubungan Torsi Dan Slip Pada Motor

Berubah – ubah kecepatan motor induksi (n_s) akan mengakibatkan harga slip dari 100% pada start sehingga 0% pada saat motor diam ($n_r - n_s$). Torsi yang dihasilkan selama motor induksi satu fase berputar tergantung pada perubahan slip dan perubahan dalam newton meter. Perubahan pembebanan dapat terjadi dengan naiknya nilai tegangan dan arus pada rotor. Hubungan torsi (T_d) terhadap parameter impedansi stator, impedansi rotor, arus rotor, tegangan sumber dan kecepatan sudut secara umum.

$$I_r = \frac{V_s}{[(R_r + R_s I_s) + (X_s + X_r)^2]^{1/2}} \quad (10)$$

$$I_r = \frac{R_r \cdot V_s}{S W_s [R_s + R_r I_s) + (X_s + X_r)^2]^{1/2}}$$

<https://www.academia.edu/>

2. Motor listrik 3 Fase.

Motor induksi 3 fase adalah alat penggerak yang paling banyak digunakan dalam dunia industri. Hal ini dikarenakan motor induksi mempunyai konstruksi yang sederhana, kokoh, harganya relatif murah, serta perawatannya yang mudah, sehingga motor induksi mulai menggeser penggunaan motor DC pada industri. Motor induksi memiliki beberapa parameter yang bersifat non-linier, terutama resistansi rotor, yang memiliki nilai bervariasi untuk kondisi operasi yang berbeda. Hal ini yang menyebabkan pengaturan pada motor induksi lebih rumit dibandingkan dengan motor DC.

Salah satu kelemahan dari motor induksi adalah tidak mampu mempertahankan kecepatan dengan konstan bila terjadi perubahan beban. Apabila terjadi perubahan beban maka kecepatan motor induksi akan menurun. Untuk mendapatkan kecepatan konstan serta memperbaiki kinerja motor induksi terhadap perubahan beban, maka di butuhkan suatu kontrol. Penggunaan motor 3 fase di beberapa industri membutuhkan performansi yang tinggi dari motor induksi untuk dapat mempertahankan kecepatannya walaupun terjadi perubahan beban. Salah satu contoh aplikasih motor induksi yaitu pada industri kertas. Pada industri kertas ini untuk menghasilkan produk dengan kualitas yang baik, dimana ketebalan kertas yang dihasilkan dapat merata membutuhkan ketelitian dan kecepatan yang konstan dari motor penggeraknya, sedangkan pada motor induksi yang digunakan dapat terjadi perubahan beban yang sangat besar.

Beberapa penelitian pengaturan kecepatan motor induksi yang telah dilakukan antara lain oleh Brain heber, longya Xu dan Yifan tag (1997) menggunakan kontroller logika fuzzy untuk memperbaiki performansi kontroller PID pada pengaturan kecepatan motor induksi. Demikian juga penelitian yang dilakukan oleh Mohammed dkk (2000) mengembangkan kontroller fuzzy yang digunakan untuk menala parameter PI. Kontroller fuzzy juga dikembangkan pada penelitian yang dilakukan Chekkouri MR dkk (2000) dan Lakhdar M & Katia K (2004) dengan melengkapi mekanisme adaptasi pada kontroller fuzzy pada pengaturan motor induksi.

Pada penelitan ini dirancang suatu pengaturan kecepatan motor induksi 3 fase dengan menggunakan pengontrol adaprif fuzzy. Dengan adanya pengaturan kecepatan ini diharapkan kecepatan motor induksi dapat konstan sesuai yang diinginkan, walaupun mendapat perubahan beban, sehingga menghasilkan performance motor induksi yang tinggi.

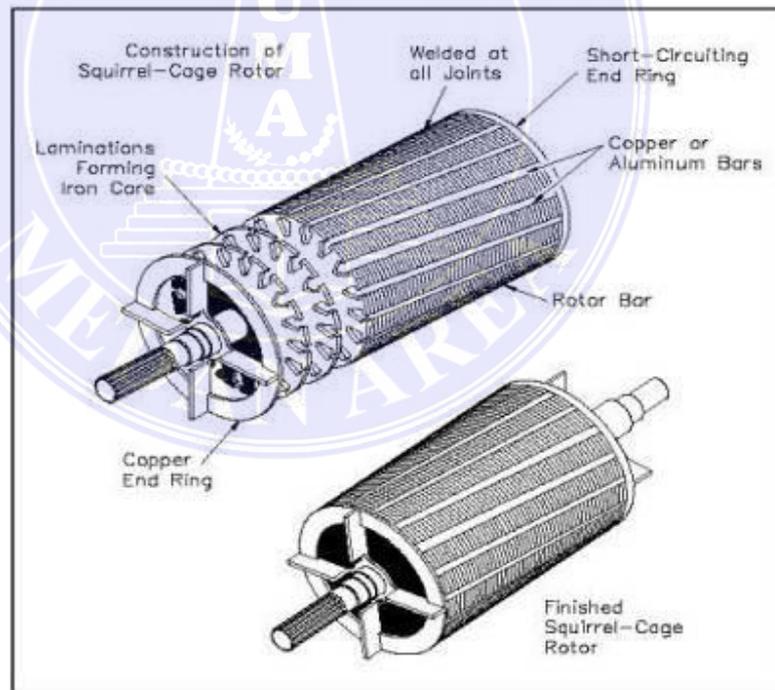
2.1 Prinsip Kerja Motor Listrik Tiga Fase

Motor induksi merupakan motor arus bolak – balik (ac) yang paling luas penggunaannya . penamaanya berasal dari kenyataan bahwa arus motor ini bukan diperoleh dari sumber tertentu, tetapi merupakan arus yang terinduksi sebagai akibat adanya perbedaan relative antara putaran rotor dengan medan putar (*rotating magnetic field*) yang dihasilkan oleh arus stator.

Belitan stator yang dihubungkan dengan suatu sumber tegangan tiga fase akan menghasilkan medan magnet yang berputar dengan kecepatan sinkron ($n_s = 120f/2p$). Medan putar pada stator tersebut akan memotong

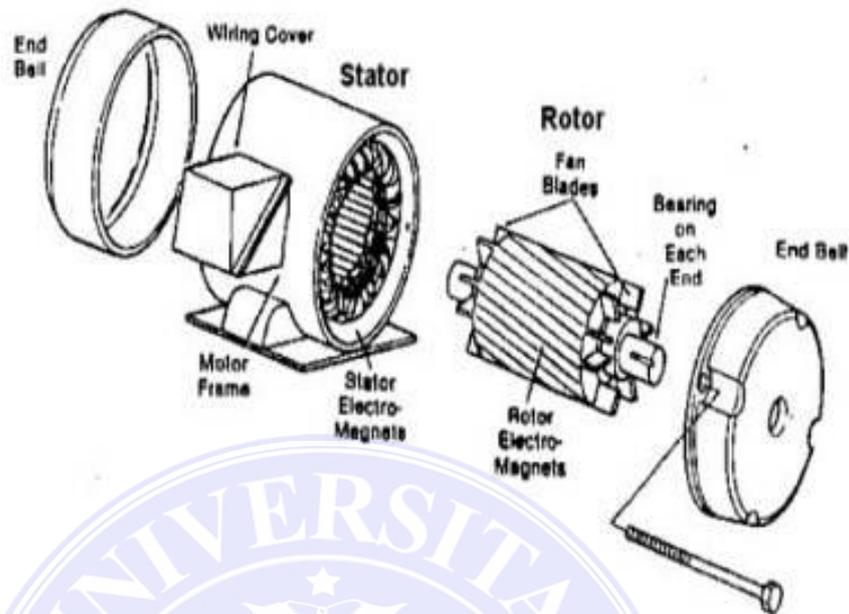
konduktor – konduktor pada rotor, sehingga terinduksi arus, dan sesuai dengan Hukum Lents, rotor pun akan ikut berputar mengikuti medan putar stator.

Perbedaan putaran relatif antara stator dan rotor disebut slip bertambahnya beban, akan memperbesar kopel motor, yang oleh karenanya akan memperbesar arus induksi pada stator, sehingga slip antara medan putar stator dan putaran rotor pun akan bertambah besar. Jadi bila beban motor bertambah, putaran rotor cenderung menurun. Dikenal dua tipe motor induksi yaitu motor induksi dengan rotor belitan dan rotor sangkar.



Gambar 28 Rotor Sangkar Motor Induksi Tiga Fase

<https://www.academia.edu/>



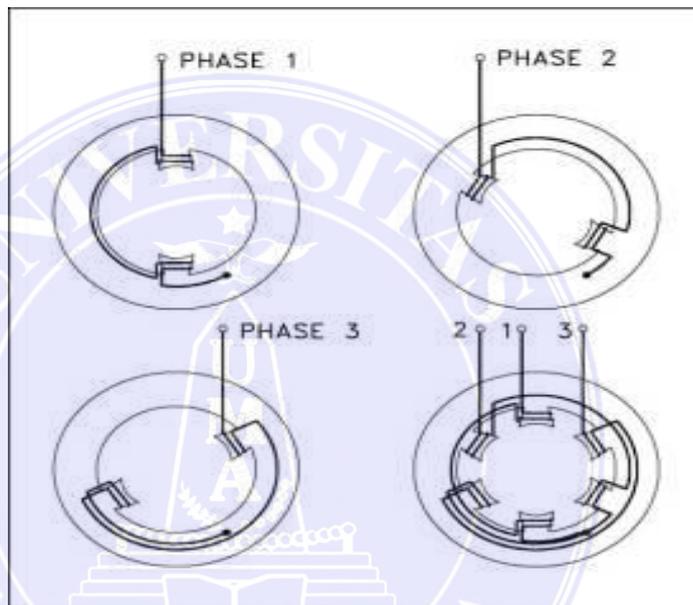
Gambar 29 Kontruksi Motor Induksi Tiga Fase

<https://www.academia.edu/>

Sebelum kita membahas bagaimana *rotating magnetic field* (medan putar) menyebabkan sebuah motor berputar, kita lihat bagaimana medan putar ini dihasilkan. Gambar di atas menunjukkan sebuah stator tiga fase dengan suplai arus bolak – balik tiga fase.

Belitan stator terhubung *wye* (Y). Dua belitan pada masing masing fase dililitan dalam arah yang sama. Sepanjang waktu, medan magnet yang dihasilkan oleh setiap fase akan terganggu pada arus yang mengalir melalui fase tersebut. Jika arus listrik yang melauai fase tersebut adalah nol (*zero*), maka medan magnet yang dihasilkan akan nol juga. Jika arus mengalir dengan harga maksimum, maka medan magnet berada pada harga maksimum pula. Karena arus yang mengalir pada system tiga fase mempunyai perbedaan 120° , maka medan magnet yang dihasilkan juga akan mempunyai perbedaan sudut sebesar 120° juga.

Ketiga medan magnet yang dihasilkan akan membentuk satu medan, yang akan beraksi terhadap rotor. Untuk motor induksi sebuah medan magnet diinduksikan kepada rotor sesuai dengan polaritas medan magnet pada stator. Karenanya, begitu medan magnet stator berputar, maka rotor juga berputar agar bersesuaian dengan medan magnet stator.



Gambar 30 Kutub Rotor Motor Induksi Tiga Fase

<https://www.academia.edu/>

Pada sepanjang waktu, medan magnet dari masing – masing fase bergabung untuk menghasilkan medan magnet yang posisinya bergeser hingga beberapa derajat. Pada akhir satu siklus arus bolak – balik, medan magnet tersebut telah bergeser hingga 360° , atau satu putaran. Dan karena rotor juga mempunyai medan magnet berlawanan arah yang diinduksikan kepadanya, rotor juga akan berputar hingga satu putaran. Penjelasan mengenai ini dapat dilihat pada gambar selanjutnya.

Putaran medan magnet dijelaskan pada gambar di atas dengan “menghentikan” medan tersebut pada enam posisi, tiga posisi di tandai dengan interval 60° pada gelombang sinus yang mewakili arus yang mengalir pada tiga fase A,B, dan C. Jika arus mengalir dalam suatu fase adalah positif, medan magnet akan menimbulkan kutub utara pada kutub stator yang ditandai dengan A; B; dan C;

N_s = kecepatan sinkron (rpm) = kecepatan rotor (rpm)

Kecepatan medan putar atau kecepatan sinkron dari suatu motor dapat di cari dengan rumus yang terdapat pada indeks (9).

Dari data/ tabel yang ada di atas dapat di analisa melalui soal di bawah ini. Sebuah motor induksi dua kutup, 60 Hz, mempunyai kecepatan pada beban penuh sebesar 2554 rpm. Berapakah persentase slip beban penuh?

Rumus terdapat pada indeks ke (6).

$$N_s = \frac{120 f}{p}$$

$$N_s = \frac{120 (60 \text{ HZ})}{2}$$

$$N_s = 3600 \text{ rpm}$$

Slip: (9)

$$\text{Slip} = \frac{N_s - N_r}{N_s} \times 100\%$$

$$\text{Slip} = \frac{3600 - 3554 \text{ rpm}}{3600 \text{ rpm}} \times 100\% = 1,3\%$$

BAB III

PENUTUP

A. Kesimpulan

Dari hasil analisis *starting* motor induksi dengan metode Autotransformator dapat diambil kesimpulan:

1. Pada PT. Toba Pulp Lestari, Tbk *starting* motor dengan metode *autotransformator* terdapat pada area *Wood Year*. Motor ini bekerja untuk menggerakkan *wood chipper* yang berfungsi untuk menghancurkan atau menggiling berbagai macam kayu menjadi bentuk lebih kecil (chips).
2. Pada proses mesin chipper kayu hasil dari mesin ini cocok untuk membuat serbuk kayu, untuk bahan baku bubur kertas.
3. Gangguan yang sering terjadi pada rangkaian adalah motor tidak bisa beroperasi karena rangkaian kontrol terganggu oleh kegagalan koneksi dan longgar.

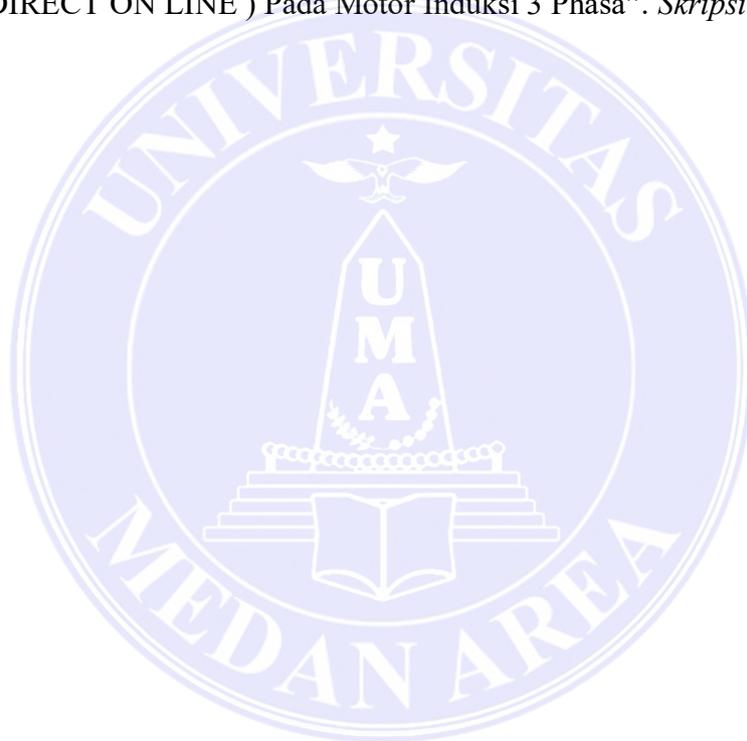
B. Saran

Perlu dilakukan studi lebih lanjut mengenai koordinasi *relay* proteksi, agar dapat lebih optimal, hal ini dikarenakan pada sistem *starting* hanya menggunakan *Thermal Overload Relay* (TOR) dan *thermostat* saja.

Perlunya diperhatikan kebersihan ruangan kerja juga lapangan agar terjalin kenyamanan saat bekerja.

DAFTAR PUSTAKA

- Siswoyo "*Teknik Listrik Industri*", Jilid Kedua, Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Jakarta, 2008.
- Unit Hubungan Industri Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang. 2014. *Buku Pedoman Lapangan Industri*.
- Zuhal "*Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*" Edisi Kelima Penerbit Gramedia, Jakarta, 1995.
- Arnold, Jupiter.2013."Analisis Perbandingan Torsi Start Dan Arus Start Dengan Menggunakan Metode Pengasutan Autotrafo,Star Delta Dan DOL (DIRECT ON LINE) Pada Motor Induksi 3 Phasa". *Skripsi* 2009





UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area



UNIVERSITAS MEDAN AREA

DAFTAR NILAI MAHASISWA DARI PERUSAHAAN

Yth. Bapak / Ibu Pimpinan Perusahaan

Kami mohon kepada Bapak / Ibu untuk mengisi formulir dibawah ini guna memudahkan kami dalam mengevaluasi keberhasilan mahasiswa pada mata kuliah Kerja Lapangan. Atas kesediaan dan kerja sama Bapak / Ibu, Kami ucapkan terima kasih.

PENILAIAN LAPANGAN

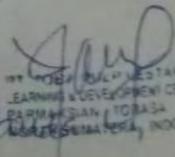
Disisi oleh perusahaan

NAMA : *Ramli Siagian* PERUSAHAAN : *PT. Tobas PMP (LHARI)*
 PROGRAM STUDI : *Teknik Elektro* NPM : *208122012*

NO	KOMPONEN YANG DINILAI	NILAI
1	Kerapian dan kebersihan pakalan, penampilan, dll	78
2	Disiplin kerja	80
3	Tingkat kehadiran	79
4	Tanggung jawab terhadap pekerjaan yang diberikan	75
5	Kemandirian dalam bekerja	75
6	Penguasaan teknik	75
7	Kerjasama dengan sesama pekerja/karyawan dan atasan	75
8	Dapat bekerja sebagaimana diharapkan	75
TOTAL NILAI		
RATA-RATA NILAI		

Apabila ada saran atau kritik terhadap hasil kerja mahasiswa kami, Bapak/Ibu dapat menuliskannya pada baris dibawah ini.

Medan,
 Tanggal: *Jan 2018*


L&D
LEARNING & DEVELOPMENT CENTRE
 PARAHANGSIAN TOBASA
 MEDAN, INDONESIA

Keterangan Nilai

A	85 - 100
B+	77.50 - 84.99
B	70.00 - 77.49
C+	62.50 - 69.99
C	55.00 - 62.49
D	45.00 - 54.99
E	0.01 - 44.99

LAMPIRAN



Dokumentasi Bersama karyawan TPL

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 5/5/25

Access From (repository.uma.ac.id)5/5/25



Dokumentasi Meeting Bersama Kariawan TPL