

SKRIPSI

ANALISIS GANGGUAN PADA MOTOR FFB (FRESH FRUITS BUNCH) BERKAPASITAS 18,5 KW DENGAN RANGKAIAN STAR DELTA (STUDI KASUS : PMKS SUPRA MATRA ABADI (SMA) AEK NABARA SELATAN)

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana S1 Teknik Elektro (ST) Pada Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh:

IRSYAD AL BIRRA
NPM : 2107220036



UMSU
Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2026**

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Irsyad Al Birra

NPM : 2107220036

Program Studi : Teknik Elektro

Judul Skripsi : Analisis Gangguan Pada Motor FFB (Fresh Fruits Bunch)
Berkapasitas 18,5 Kw Dengan Rangkaian Star Delta (Studi
Kasus : PMKS Supra Matra Abadi (SMA) Aek Nabara
Selatan)

Bidang Ilmu : Sistem Kontrol

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik SI pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, April 2026

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing I

Dr. Muhammad Fitra Zaimbak, S.T., M.Sc.

Dosen Penguji I

Dr. Rohana, S.T., M.T.

Dosen Penguji II

Noorly Evalina, S.T., M.T



Diketahui oleh
Dosen Pembimbing II

Dr. Elva Selma Masution, S.T., M.Pd

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertandatangan dibawah ini :

Nama Lengkap : Irsyad Al Birra

N.P.M : 2107220036

Fakultas : Teknik

Program Studi : Teknik Elektro

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan skripsi saya ini yang berjudul :

"Analisis Gangguan Pada Motor FFB (*Fresh Fruits Bunch*) Berkapasitas 18,5 Kw
Dengan Rangkaian Star Delta (Studi Kasus : PMKS Supra Matra Abadi
(SMA) Aek Nabara Selatan)"

Bukan merupakan plagiarisme, pencuri hasil karya milik orang lain, hasil untuk kepentingan saya karena berhubungan material maupun non material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Skripsi saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas Akademik di Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan Maret 2026
Saya yang menyatakan



ABSTRAK

Motor induksi tiga fasa banyak digunakan pada industri karena memiliki konstruksi sederhana, efisiensi tinggi, serta perawatan yang relatif mudah. Namun, salah satu permasalahan utama pada motor induksi adalah tingginya arus starting yang dapat menyebabkan gangguan operasional, terutama pada motor dengan beban besar seperti motor penggerak conveyor Fresh Fruit Bunch (FFB). Untuk mengurangi arus awal tersebut, digunakan metode starting star-delta, meskipun metode ini memiliki keterbatasan pada torsi awal motor. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis gangguan yang terjadi pada motor induksi tiga fasa penggerak conveyor FFB berkapasitas 18,5 kW dengan rangkaian star-delta, khususnya gangguan yang muncul saat starting dan saat motor beroperasi normal. Metode penelitian yang digunakan meliputi observasi lapangan, pengukuran parameter listrik motor pada kondisi starting dan running, serta analisis beban dan sistem proteksi motor. Data hasil pengukuran dibandingkan dengan nilai nominal motor dan kajian teoritis untuk mengetahui penyebab gangguan yang terjadi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada kondisi beban normal sebesar 500–666 kg, motor bekerja stabil dengan arus rata-rata sekitar 34 A. Namun, ketika beban meningkat hingga 698 kg, arus motor naik hingga 58 A sehingga sistem proteksi bekerja dan menyebabkan motor mengalami trip. Gangguan ini disebabkan oleh kelebihan beban mekanis pada conveyor, bukan oleh penurunan tegangan suplai. Kesimpulan dari penelitian ini adalah bahwa gangguan utama pada motor conveyor FFB disebabkan oleh beban berlebih yang menyebabkan kenaikan arus melebihi batas aman. Metode starting star-delta mampu menurunkan arus awal, tetapi kurang optimal untuk beban berat. Oleh karena itu, diperlukan pengendalian beban yang lebih baik serta evaluasi sistem starting dan proteksi agar motor dapat beroperasi secara andal dan berkelanjutan.

Kata Kunci: Motor Induksi Tiga Fasa, Star-Delta, Arus Starting, Conveyor FFB, Gangguan Motor

ABSTRACT

Three-phase induction motors are widely used in the industry because they have a simple construction, high efficiency, and relatively easy maintenance. However, one of the main problems with induction motors is the high starting current which can cause operational disruptions, especially in motors with large loads such as Fresh Fruit Bunch (FFB) conveyor drive motors. To reduce the initial current, the starting star-delta method is used, although this method has limitations in the initial torque of the motor. This study aims to analyze the disturbances that occur in the three-phase induction motor driving the FFB conveyor with a capacity of 18.5 kW with a star-delta circuit, especially the disturbances that arise during starting and when the motor is operating normally. The research methods used include field observation, measurement of motor electrical parameters in starting and running conditions, as well as load analysis and motor protection systems. The measurement data was compared with the nominal value of the motor and theoretical studies to find out the cause of the disturbance that occurred. The results showed that at normal load conditions of 500–666 kg, the motor worked stably with an average current of about 34 A. However, when the load increased to 698 kg, the motor current rose to 58 A so that the protection system worked and caused the motor to trip. This interference is caused by mechanical overload on the conveyor, not by a decrease in supply tension. The conclusion of this study is that the main fault in the FFB conveyor motor is caused by an overload that causes the current to rise beyond the safe limit. The starting star-delta method is able to lower the initial current, but it is less than optimal for heavy loads. Therefore, better load control and evaluation of the starting and protection systems are needed so that the motor can operate reliably and sustainably.

Keywords: Three-Phase Induction Motor, Star-Delta, Starting Current, FFB Conveyor, Motor Interference

KATA PENGANTAR



Dengan nama Allah SWT yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang, Puji syukur kita ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, karunia dan hidayah-Nya kepada kita semua sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “ANALISIS GANGGUAN PADA MOTOR FFB (FRESH FRUITS BUNCH) BERKAPASITAS 18,5 KW DENGAN RANGKAIAN STAR DELTA”. Sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Dalam kesempatan yang berbahagia ini, dengan segenap hati. Kami mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada berbagai pihak yang telah banyak memberikan motivasi kepada kami didalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini, terutama kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Agussani, M.A.P, selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
2. Bapak Dr. Ade Faisal, M.sc, P.hd., selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Dr. Khairul Umurani, S.T., M.T., selaku Wakil Dekan I Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Affandi S.T., M.T., selaku Wakil Dekan III Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Ibu Elvy Sahnur Nasution S.T., M.Pd., selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Bapak Benny Oktoraldi, S.T, M.T., selaku Sekretaris Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
7. Bapak Dr. Muhammad Fitra Zambak, S.T., M.Sc., selaku dosen pembimbing yang senantiasa membimbing saya dalam penulisan laporan Tugas Akhir.
8. Dosen penguji yang juga senantiasa memberikan masukan yang terbaik dalam penulisan ini sehingga menjadikan skripsi ini lebih baik lagi.
9. Bapak/Ibu Staff Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
10. Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada kedua orang tua tercinta, Bapak Rusianto dan Ibu Dewi, atas doa, kasih sayang, serta dukungan moral, materi serta motivasi yang tiada henti selama proses penyusunan skripsi ini.
11. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada adik saya Alfariz Sufi salah satu alasan penulis untuk lebih keras lagi berjuang terimakasih telah senantiasa memberikan semangat dan dukungan kepada penulis. Kepada Rauda Munawarah, terimakasih sudah menjadi bagian dari perjalanan penulis. Berkontribusi banyak dalam penulisan skripsi ini, baik tenaga, waktu, maupun motivasi kepada penulis. Telah mendukung, dan memberikan semangat untuk pantang menyerah kepada penulis.

12. Terimakasih untuk teman-teman seperjuangan Teknik Elektro Satu Angkatan.

Laporan Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa yang akan datang. Akhirnya kami mengharapkan semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi diri pribadi dan para pembaca terkhusus bagi dunia kontruksi Teknik Elektro serta kepada Allah SWT , kami serahkan segalanya demi tercapainya keberhasilan yang sepenuhnya.

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Medan, Januari 2026

Irsyad Al Birra
2107220036

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	viii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Identifikasi Masalah	2
1.3. Rumusan Masalah	3
1.4. Tujuan Penelitian	3
1.5. Ruang Lingkup Penelitian	4
1.6. Manfaat Penelitian	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Tinjauan Pustaka Relevan	5
2.2. Motor Induksi	7
2.2.1 Konstruksi Motor Listrik 3 Fasa	8
2.2.2 Jenis Motor Induksi	10
2.2.3 Jenis Motor 3 Fasa dari Segi Rotor	11
2.2.4 Prinsip Kerja Motor Induksi Tiga Fasa	14
2.3. Rangkaian Star-Delta	17
2.3.1 Prinsip Kerja Rangkaian Star-Delta	17
2.3.2 Tahapan Starting Rangkaian Star-Delta	18
2.3.3 Kelebihan dan Kekurangan Rangkaian Star-Delta	19
2.4. Gangguan Pada Motor Induksi	19
2.4.1 Gangguan Mekanis	20
2.4.2 Gangguan Listrik	21
2.4.3 Gangguan Starting	24
2.4.4 Proteksi Arus Lebih Pada Motor Listrik Tiga Fasa	25
2.5. Proteksi Motor Induksi	25
2.5.1 Overload Relay	26
2.5.2 Circuit Braker	27
2.5.3 Thermal Protection	28
2.5.4 Limit Switch	29
BAB 3 METODE PENELITIAN	31
3.1 Tempat Penelitian	31
3.2 Waktu Penelitian	32
3.3 Data Penelitian	32
3.3.1 Spesifikasi Motor 18,5 kW FFB	33
3.3.2 Data Teknis Motor	33
3.3.3 Sistem Starting Star-Delta yang Digunakan	34
3.4 Konfigurasi conveyor FFB dan posisi motor penggerak	36
3.5 Metode Pengumpulan Data	38
3.6 Data Penelitian	39
3.7 Diagram Alir Penelitian	40

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	43
4.1 Deskripsi Motor dan Sistem Star–Delta	43
4.2 Perhitungan Full Load Current (FLC) dan Proteksi	43
4.3 Identifikasi Gangguan.....	45
4.4 Analisis Data dan Pembahasan.....	46
4.4.1 Analisis Gangguan Akibat Motor Gagal Starting.....	46
4.4.2 Analisis Gangguan Motor Saat Sedang Beroperasi.....	49
4.5 Pembahasan	52
BAB 5 PENUTUP	55
5.1 Kesimpulan.....	55
5.2 Saran	55

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Konstruksi Motor 3 Fasa	8
Gambar 2.2 Kontruksi Motor Listrik Tiga Fasa	9
Gambar 2.3 Komponen Stator Motor Listrik Tiga Fasa	9
Gambar 2.4 Motor Sinkron	10
Gambar 2.5 Motor Asinkron (Induksi)	10
Gambar 2.6 Motor 1 Fasa	11
Gambar 2.7 Motor 3 Fasa	11
Gambar 2.8 Bagian – Bagian Rotor Sangkar	12
Gambar 2.9 Ukuran Rotor Sangkar.....	12
Gambar 2.10 Rotor Belitan	13
Gambar 2.11 Motor Induksi Tiga Fasa Rotor Belitan	13
Gambar 2.12 Skematik Diagram Motor Induksi Belitan	14
Gambar 2.13 Penampang Rotor Dan Stator yang Memperlihatkan Medan Magnet Dalam Celah Udara.....	15
Gambar 2.14 Hubungan bintang motor induksi 3 phasa.....	18
Gambar 2.15 Hubungan delta motor induksi 3 phasa.....	18
Gambar 2.16 Kontribusi Arus Hubung Singkat.....	21
Gambar 2.17 Gelombang Hubung Singkat Simetris dan Asimetris	23
Gambar 2.18 Total Arus Hubung Singkat dengan Kontribusi Setiap Peralatan	24
Gambar 2.19 Macam-macam Circuit Breaker	28
Gambar 2.20 Simbol Thermal Overload Relay	29
Gambar 2.21 Prinsip kerja rele thermal overload	29
Gambar 2.22 Simbol dan Bentuk Limit Switch.....	30
Gambar 2.23 Konstruksi dan Silbol Limit Switch.....	30
Gambar 3.1 Rangkaian Wiring Motor FFB	35
Gambar 3.2 Conveyor dan Posisi Motor.....	36
Gambar 3.3 Conveyor dan Motor FFB 2D	37
Gambar 3.4 Limit Switch Pada Conveyor	37
Gambar 3.5 Diagram Alir Penelitia	40
Gambar 4.1 Grafik Beban kelapa sawit dan arus motor	48
Gambar 4.2 Grafik hubungan beban kelapa sawit dan arus motor saat beroperasi	51

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Jenis Gangguan Hubung Singkat	20
Tabel 3.1 Waktu Penelitian	32
Tabel 3.2 Spesifikasi Motor 18,5 kW FFB	33
Tabel 3.3 Data Teknis Motor FFB 18,5 kW	34
Tabel 4.1 Spesifikasi Motor Conveyor FFB	44
Tabel 4.2 Identifikasi Gangguan Pada Motor Conveyor FFB	45
Tabel 4.3 Data Starting Motor	47
Tabel 4.4 Data Motor Saat Beroperasi	50
Tabel 4.5 Perbandingan Metode Starter Motor	54

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Motor induksi adalah motor yang paling banyak digunakan saat ini, karena memiliki konstruksi yang sederhana, relatif murah, lebih ringan dan memiliki efisiensi yang tinggi serta mudah dalam pemeliharaannya dibandingkan dengan motor DC. Namun dalam hal pengaturan kecepatan dan torsi motor induksi bukanlah suatu permasalahan yang mudah untuk dilakukan, dengan berkembangnya teknologi sistem kontrol salah satu cara yang dilakukan adalah dengan menggunakan Inverter satu fasa dan frekuensi 50 Hz untuk digunakan mengatur kecepatan motor induksi tiga fasa. Pengaturan frekuensi tegangan motor induksi dapat dilakukan dengan menggunakan inverter. Inverter mengkonversikan sumber tegangan AC 3 fasa maupun sumber tegangan AC 1 fasa yang memiliki frekwensi 50 Hz konstan menjadi sumber tegangan AC 3 fasa yang frekuensinya dapat diatur antara 0 – 50 Hz [1].

Rangkaian daya untuk motor induksi 3 fasa, 380V, 50Hz, 3HP dengan metoda bintang segitiga merupakan rangkaian yang digunakan untuk menyalurkan daya pada motor listrik. Permasalahannya adalah untuk mengendalikan motor induksi diperlukannya rangkaian daya, dimana starting awal motor memberikan dampak arus yang besar. Tujuan penelitian ini adalah untuk dapat melakukan starting pada motor 3 fasa dengan metoda bintang(Y) – segitiga (Δ), Sebagai evaluasi dibuatnya suatu rangkaian daya metoda bintang segitiga, dimana hubung bintang digunakan untuk mengurangi arus starting yang besar, serta hubung segitiga digunakan untuk menstabilkan arus motor menjadi arus nominal sesuai nameplate motor. Hasil akhir menunjukkan bahwa untuk membuat panel distribusi terlebih dahulu yang dilakukan yaitu membuat perencanaan yang meliputi, perhitungan beban yang terpasang, pemilihan MCB sesuai dengan beban, pemilihan luas penampang sesuai dengan beban dan jenis kabel. Dimana dinyatakan dari sumber jala-jala 3 fasa, 380V yang dialirkan ke dalam rangkain daya untuk kendali motor 3 fasa, 380V, 3 HP, 50Hz metoda bintangsegitiga, diketahui bahwa beban yang terpasang 3 HP, arus pada hubung bintangnya 7,36 A, arus segitiga ataupun arus pada beban

4,26A , MCB yang dipakai memiliki kapasitas 17,04A, serta luas penampangnya 4,8 mm² dengan jenis kabel NYM [2].

Permasalahan yang ada pada motor induksi ialah pada saat start motor, arus starting motor dapat mencapai lima kali sampai tujuh kali dari arus nominalnya. Fenomena melonjaknya arus awal ketika start motor induksi bisa mengakibatkan terjadinya drop tegangan pada pasokan tegangan. penyebab adanya arus starting tinggi pada motor karena motor listrik membutuhkan torsi awal yang besar agar dapat melawan inersianya dan inersia bebannya dari keadaan diam. Tujuan dari penelitian ini diantaranya untuk mengetahui nilai arus starting pada motor induksi 3 fasa ketika menggunakan metode DOL (*Direct On Line*) rangkaian *star delta*, *variable frequency drive*, mengetahui rangkaian yang lebih aman untuk digunakan pada motor induksi agar dampak arus starting nya tidak buruk [3].

Salah satu cara untuk mengurangi arus mula pada saat starting motor induksi 3 fase adalah dengan cara mengurangi tegangan suplay yaitu, memakai saklar Bintang-Segitiga (*star-delta starter*). Dalam hal ini tegangan yang diberikan hanya 58% dari nominal dan mengakibatkan momen puntir starting turun menjadi 83% dari nominal, maka percepatannya menjadi kecil dan putaran normal dicapai lebih lama. Sehingga momen starting yang hanya 33% dari seharusnya. Secara teoritis arus starting menjadi turun, yaitu : 2 kali arus nominal. Tetapi perlu dikemukakan di sini bahwa arus starting teoretis di atas hanya dapat terlaksana bila dipergunakan star-delta starter tipe "*closed-transition*", yaitu pada saat perpindahan dari bintang (*star*) ke segitiga (*delta*) tidak terjadi pemutusan hubungan antara tegangan sumber dengan motor, tapi diselang dengan tahanan. Pada starter tipe "*open-transition*" akan terjadi pemutusan hubungan antara tegangan sumber dengan motor pada saat perpindahan dari bintang ke segitiga. Jadi dapat dikatakan bahwa, starter bintang-segitiga tipe "*open-transition*" tidak akan mengurangi arus starting langsung. Maka dapat dikatakan bahwa starter bintang-segitiga tipe "*opentransition*" tidak direkomendasikan untuk starting motor induksi 3 fase.[4]

Berkaitan dengan hal tersebut maka penelitian ini akan membahas “Analisis Gangguan Pada Motor FFB (Fresh Fruits Bunch) Berkapasitas 18,5 KW Dengan Rangkaian Star Delta”.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan rumusan masalah yang diajukan, berikut adalah identifikasi masalah yang jelas dan terfokus pada penelitian ini adalah :

1. Penyebab motor FFB 18,5 kW trip atau mengalami gangguan

Motor FFB berkapasitas 18,5 kW dengan sistem starter star-delta sering mengalami trip atau gangguan yang disebabkan oleh berbagai faktor teknis maupun operasional. Salah satu penyebab utamanya adalah pengaturan proteksi yang tidak sesuai, seperti setting overload relay atau MCB yang terlalu sensitif atau tidak tepat dengan karakteristik arus motor. Selain itu, lonjakan arus awal (inrush current) saat proses starting dan peralihan dari mode star ke delta dapat menyebabkan arus melebihi batas nominal sehingga proteksi bekerja dan motor berhenti secara otomatis. Gangguan juga bisa muncul akibat kegagalan pada rangkaian kontrol star-delta, seperti timer yang tidak sinkron atau kontaktor yang tidak berfungsi dengan baik. Tegangan suplai yang tidak seimbang antar fase (voltage unbalance), kualitas daya listrik yang buruk, hingga faktor mekanis seperti beban berlebih, poros macet, atau pendinginan yang tidak efektif turut berkontribusi terhadap timbulnya gangguan. Kesalahan dalam instalasi, ukuran kabel yang tidak sesuai, serta kurangnya perawatan rutin juga menjadi penyebab umum motor mengalami trip atau kerusakan.

2. Pengaruh gangguan terhadap performa motor FFB dan proses produksi

Gangguan yang terjadi pada motor FFB berkapasitas 18,5 kW sangat berpengaruh terhadap performa motor dan kelancaran proses produksi di pabrik kelapa sawit. Ketika motor sering mengalami trip, kinerja motor menjadi tidak stabil dan tidak mampu bekerja pada beban penuh, sehingga menyebabkan efisiensi kerja menurun. Seringnya motor berhenti secara mendadak mengakibatkan proses produksi terganggu karena alat penggerak utama tidak dapat beroperasi dengan optimal. Kondisi ini menimbulkan downtime yang berdampak pada menurunnya kapasitas produksi dan keterlambatan proses pengolahan tandan buah segar (FFB). Selain itu, gangguan berulang dapat mempercepat kerusakan komponen

motor akibat panas berlebih dan beban kejut yang timbul saat restart. Dalam jangka panjang, hal ini meningkatkan biaya operasional, konsumsi energi, dan perawatan, bahkan dapat menimbulkan kerugian ekonomi akibat berkurangnya hasil produksi harian.

3. Permasalahan yang perlu diatasi untuk strategi penanganan pada motor star-delta untuk mengurangi risiko gangguan pada motor FFB 18,5 kW dengan rangkaian star-delta, diperlukan identifikasi terhadap sejumlah permasalahan mendasar yang harus diatasi. Salah satu permasalahan utama adalah kurangnya data operasional dan histori gangguan yang detail, seperti catatan arus, tegangan, serta waktu transisi star ke delta, sehingga analisis akar masalah sulit dilakukan secara akurat. Selain itu, pengaturan sistem proteksi seperti overload relay, kontaktor, dan timer sering kali belum disesuaikan dengan kondisi aktual beban motor. Minimnya kegiatan perawatan preventif maupun prediktif, seperti pemeriksaan thermal, pengukuran isolasi, serta pengecekan kondisi bearing, juga membuat potensi gangguan tidak terdeteksi lebih awal. Di sisi lain, keterbatasan pemahaman operator terhadap prosedur start dan stop motor yang benar serta tidak adanya sistem monitoring arus dan suhu secara real-time memperbesar peluang terjadinya gangguan. Oleh karena itu, strategi penanganan yang efektif perlu mencakup evaluasi sistem proteksi, perawatan rutin, peningkatan kemampuan teknisi, serta kemungkinan penerapan teknologi starting yang lebih modern seperti soft starter atau inverter untuk mengurangi lonjakan arus dan menjaga keandalan operasi motor.

1.3 Rumusan Masalah

Dari latar belakang diatas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

- 1) Apa yang membuat motor FFB kapasitas 18,5 kW trip atau mengalami gangguan?
- 2) Apa pengaruh gangguan tersebut terhadap performa motor FFB kapasitas 18,5 kW dan proses produksi?

- 3) Bagaimana strategi penanganan yang tepat untuk mengurangi risiko gangguan pada motor FFB 18,5 kW yang memakai konfigurasi star-delta saat starting?

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian yang ingin dicapai adalah:

1. Menganalisis gangguan yang mengakibatkan motor FFB berkapasitas 18,5 kW trip.
2. Menganalisis pengaruh gangguan tersebut terhadap performa motor FFB berkapasitas 18,5 kW dan proses produksi.
3. Meminimalisir gangguan yang terjadi pada motor FFB kapasitas 18,5 kW dengan menggunakan rangkaian star delta.

1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Mengingat luasnya permasalahan, dalam laporan ini penulis merasa perlu membatasi masalah yang akan di bahas. Mengingat kemampuan, pengalaman serta keterbatasan waktu dan tempat.

Maka ada hal-hal tertentu yang akan dibahas pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Analisis penyebab gangguan akibat gagal starting dan gangguan motor saat sedang beroperasi pada motor FFB berkapasitas 18,5 kW dengan menggunakan rangkaian star delta.
2. Menganalisis pengaruh gangguan akibat gagal starting dan gangguan motor saat sedang beroperasi tersebut terhadap performa motor FFB berkapasitas 18,5 kW pada proses produksi.

1.6 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang di peroleh ialah :

1. Dapat dimanfaatkan sebagai referensi analisis untuk penelitian selanjutnya.
2. Sebagai rekomendasi pada perusahaan yang menggunakan FFB.
3. Menambah referensi pada bidang elektro, khususnya pada bidang motor induksi 3 fasa

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka Relavan

Motor induksi merupakan salah satu jenis motor listrik yang banyak digunakan di industri. Salah satu kerusakan terbesar yang terjadi pada motor induksi adalah kerusakan bearing yang mencapai 41%. Kerusakan bearing merupakan salah satu jenis kerusakan terbesar yang sering dijumpai pada motor induksi. Pada penelitian ini penulis membahas tentang karakteristik arus stator dan torsi akibat kerusakan bantalan motor induksi pada inner ring dan rolling element yang berpengaruh pada RPM yang dihasilkan. Untuk mendeteksi kerusakan bantalan motor induksi menggunakan analisis FFT (Fast Fourier Transform). Sehingga dengan metode ini dapat dihasilkan analisis identifikasi dan klasifikasi kerusakan bearing yang lebih akurat. Dari hasil analisis diketahui bahwa bantalan normal dan cacat menunjukkan karakteristik spektrum yang berbeda. [5]

Kompresor adalah salah satu mesin konversi energi yang memiliki fungsi untuk memampatkan atau mengkompresikan fluida kerja, dalam hal ini fluida compressible. Untuk menjaga keandalan komponen dilakukan perawatan diantaranya perawatan berkala dan perawatan ketika terjadi kerusakan, pada penelitian ini didapatkan data pada perawatan mingguan ke-71 didapatkan kompresor tidak mampu mensuplai udara secara maksimal. daya output didapatkan daya output sebesar 61,475 kW, sedangkan pada pengolahan data didapatkan daya output terbesar didapatkan sebesar 85,6 kW daya output besar berdasarkan input arus yang tinggi karena beban berlebih pada motor. Besarnya daya output yang melebihi dari daya output maksimal mengakibatkan patah pada batang piston. Dan didapatkan filter yang sudah kotor pada kompresor sehingga menyebabkan udara tidak dapat terkompresi secara maksimal. [6]

Brushless Direct Current merupakan salah satu mesin listrik yang banyak digunakan di industri. Pada saat diberi pembebanan menyebabkan kecepatan motor akan berubah sehingga fungsi alih motor juga mengalami perubahan. Mekanisme kerusakan pada motor BLDC yang paling umum dapat dikategorikan

menurut komponen utama mesin seperti gangguan pada belitan stator, rotor dan bearing. Gangguan pada bagian belitan stator hal ini disebabkan adanya hubung singkat belitan stator. Atas dasar itulah, penelitian ini membahas analisa gangguan pada bagian belitan stator yang dilakukan dalam beberapa variasi kondisi pembebanan dengan menggunakan software Matlab R2013a. Beban yang digunakan adalah tanpa beban, 10 N.m dan 20 N.m. Pengolahan data menggunakan metode Fast Fourier Transform (FFT) untuk menganalisis arus stator dari domain waktu ke dalam domain frekuensi. Data analisa berupa karakteristik nilai-nilai arus terhadap frekuensi. Deteksi gangguan belitan stator pada motor BLDC dilakukan dengan mengamati amplitudo pada frekuensi terjadinya gangguan belitan stator yang muncul disekitar frekuensi fundametal. Resolusi frekuensi digunakan untuk mengatur tingkat akurasi pengamatan amplitudo pada spectrum frekuensi. Persentase tingkat keberhasilan deteksi hubung singkat belitan stator untuk pembebanan dan tanpa beban berada pada nilai rata-rata 94 %. Dampak positif adanya sistem analisa gangguan belitan stator dapat mengantisipasi kerusakan fatal pada motor BLDC. [7]

Permasalahan yang dialami perusahaan adalah sering terjadinya breakdown pada motor listrik 3 fasa tipe YX3-160M1-2. Penelitian ini menggunakan metode Failure Mode and Effects (FMEA) dalam meminimalkan kerusakan yang terjadi. Hasil penelitian pada PT. Charoen Pokhpand Indonesia terdapat 3 komponen mesin yang memiliki nilai kritis RPN. Resiko kerusakan mesin yaitu Belitan stator/kumparan, Terminal box dan Bering. Cara mengatasi atau menanggulangi Belitan stator/Kumparan agar tidak menyebabkan putaran motor menjadi lemah maka perlu adanya perawatan secara berencana (planning maintenance schedule) serta menempatkan motor listrik pada tempat yang teduh, Terminal box yang diakibatkan adanya salah koneksi sehingga dapat menyebabkan motor mati maka dapat ditanggulangi dengan cara rutin melakukan pengecekan dan melakukan pembersihan di bagian terminal box, serta memastikan arus yang masuk dengan stabil, Sedangkan untuk penanggulangan pada komponen Bearing yang diakibatkan adanya kelonggaran dan mudah pecah sehingga dapat menyebabkan putaran pada motor menjadi lebih berat dan berisik maka dapat ditanggulangi dengan cara rutin melakukan pemberian grease yang

terjadwal. [8]

Kerusakan batang rotor merupakan salah satu jenis kerusakan pada motor induksi yang dapat menyebabkan masalah serius. Kerusakan tersebut dapat mencapai 5% - 10% dari seluruh kasus gangguan motor induksi. Oleh karena itu, perlu adanya diagnosis awal yang mendeteksi adanya gangguan pada rotor motor induksi, agar dapat dilakukan perbaikan lebih cepat dan tanggap sebelum terjadi gangguan yang lebih besar. Tugas Akhir ini membahas terkait teknik deteksi kerusakan batang rotor pada motor induksi dengan menggunakan analisis arus mula. Sistem yang digunakan berbasis decomposition wavelet transform terlebih dahulu kemudian dilanjutkan dengan analisis berbasis hilbert transform sebagai perangkat pengolahan sinyal sehingga mampu mendeteksi motor dalam keadaan sehat atau mengalami kerusakan. Pengujian sistem dilakukan dalam beberapa kondisi, yaitu kondisi tanpa beban dan berbeban. Selain itu, kondisi yang diberikan adalah kecacatan mulai dari 1BRB hingga 3BRB. Hasil pengujian membuktikan bahwa decomposition wavelet transform dan Hilbert transform mampu mendeteksi perbedaan kondisi pada motor induksi normal ataupun rusak pada batang rotor. [9]

Kerusakan pada motor induksi 3 fasa pada mesin kompresor di PT X umumnya disebabkan oleh gangguan thermal dan arus lebih yang bermula dari masalah internal motor induksi. Seperti kumparan motor yang sudah mulai rusak, gearbox atau bearing yang sendat, dan kipas pendingin yang tidak berfungsi. Proyek Akhir ini bertujuan untuk mengatasi permasalahan tersebut dengan merancang Sistem Proteksi Gangguan Thermal dan Arus Lebih Motor Induksi 3 Fasa pada Mesin Kompresor Menggunakan Metode Logika Fuzzy. Proyek Akhir ini juga bertujuan untuk aplikasi fitur mobile app untuk monitoring nilai temperatur dan arus pada motor induksi serta dapat memutus daya motor induksi 3 fasa secara online. Prinsip kerja sistem proteksi ini yaitu ketika kendali logika fuzzy menetapkan motor induksi dalam kondisi peringatan maka sistem secara otomatis mengirimkan peringatan berupa notifikasi kepada pengguna. Begitu juga ketika temperatur dan arus terdeteksi melampaui nilai nominal maka motor trip. Dari hasil pembacaan temperatur oleh sensor DS18B20 dan termometer digital, terdapat rata-rata error sebesar 0,64%. Hasil pembacaan arus oleh sensor ACS712

dan amperemeter, terdapat rata-rata error sebesar $< 1\%$. Pengujian dilakukan terhadap motor induksi 3 fasa berdaya 0,3 HP. Dengan hasil pengujian ketika didapatkan pembacaan arus motor sebesar 0,51; 0,53; dan 0,52 A kontrol logika fuzzy menentukan motor dalam kondisi peringatan. Sementara kontrol logika fuzzy menentukan motor dalam kondisi gangguan ketika didapatkan pembacaan arus motor sebesar 0,68; 0,69; dan 0,67 A. [10]

Gangguan isolasi pada lilitan stator akan mengakibatkan tambahan hubung singkat pada lilitan, tambahan kenaikan temperatur, dan semakin memperpendek umur isolasi lilitan. Analisa kerusakan pada stator motor induksi sangat dibutuhkan untuk mencegah kerusakan yang lebih besar yang dialami oleh motor induksi fasa tiga. Penelitian ini akan dibahas mengenai analisa gangguan stator motor induksi fasa tiga dengan mendeteksi perubahan arus, memonitor perubahan temperatur dan menganalisa spektrum gelombang Fast Fourier Transform (FFT) dari signal arus yang diakibatkan dari gangguan hubung singkat lilitan stator. Gangguan stator yang dianalisa adalah gangguan hubung singkat satu fasa (short turn fault) dengan variasi gangguan 20%, 25% dan 30%, dengan menggunakan motor induksi fasa 3 jenis sangkar tupai serta metode deteksi motor current signature analysis (MCSA) dengan menganalisa spektrum gelombang FFT (fast fourier Transform) dari signal arus motor induksi menggunakan software labView dan hardware NI USB 6009, serta menganalisa perubahan temperatur motor induksi dengan memperhatikan perbedaan nilai temperatur antara lilitan normal dan lilitan yang mengalami gangguan saat kondisi motor tanpa beban dan dengan beban 25% dan beban 50%. Sensor IC LM35 sebagai sensor temperatur yang diletakan pada lilitan stator normal dan lilitan stator yang mengalami gangguan stator pada motor induksi fasa 3. Gangguan stator motor induksi fasa 3 mengakibatkan meningkatnya nilai arus saat terjadi gangguan pada salah satu fasanya, dan peningkatan nilai arus tersebut berbanding lurus dengan persentase jumlah gangguan yang terjadi. Kenaikan nilai temperatur pada lilitan yang mengalami gangguan lebih cepat meningkat saat terjadi gangguan stator dan terjadi perbedaan nilai temperature antara lilitan normal dan lilitan yang mengalami gangguan. Gangguan stator juga mempengaruhi nilai slip motor induksi fasa 3 dimana nilai slip Semakin meningkat saat terjadi gangguan begitupula nilai torsi

motor semakin meningkat saat stator mengalami gangguan kenaikan nilai slip dan torsi terlihat signifikan saat motor diberikan beban. Perbedaan spektrum gelombang FFT arus sangat terlihat antara kondisi motor normal dan mengalami gangguan, noise frekuensi pada signal yang dihasilkan pada sepkrum gelombang FFt semakin bertambah dan nilai noise pada masing – masing pengujian memiliki peningkatan nilai seiring dengan bertambahnya persentase kerusakan stator motor induksi fasa 3. [11]

2.2 Motor Induksi

Motor Induksi berfungsi untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik yang berupa tenaga putar. Motor Induksi terdiri dari dua bagian yang sangat penting yaitu stator atau bagian yang diam dan rotor atau bagian berputar. Pada motor AC, kumparan rotor tidak menerima energi listrik secara langsung, tetapi secara induksi seperti yang terjadi pada energi kumparan transformator. Oleh karena itu motor AC dikenal dengan motor induksi. Dilihat dari kesederhanaannya, konstruksinya yang kuat dan kokoh serta mempunyai karakteristik kerja yang baik, motor induksi tiga fasa yang cocok dan paling banyak digunakan dalam bidang industri ([12]).

Penggunaan motor induksi yang banyak dipakai di kalangan industri mempunyai keuntungan sebagai berikut :

- a. Bentuknya yang sederhana dan memiliki konstruksi yang kuat dan hampir tidak pernah mengalami kerusakan yang berarti.
- b. Harga relatif murah dan dapat diandalkan.
- c. Efisiensi tinggi pada keadaan berputar normal, tidak memerlukan sikat sehingga rugi – rugi daya yang diakibatkannya dari gesekan dapat dikurangi.
- d. Perawatan waktu mulai beroperasi tidak memerlukan starting tambahan khusus dan tidak harus sinkron.

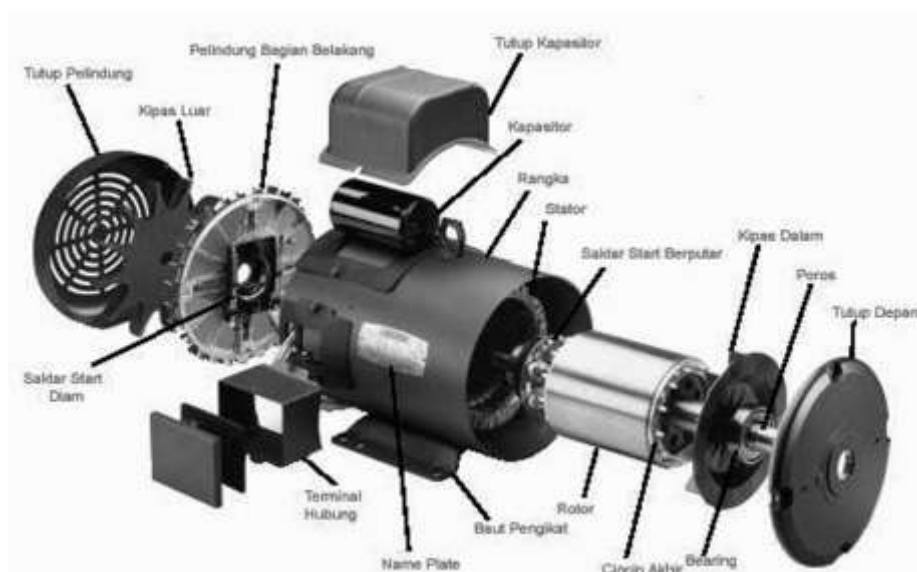
Namun disamping hal tersebut diatas, terdapat pula faktor – faktor kerugian yang tidak menguntungkan dari motor induksi yaitu sebagai berikut :

- a. Pengaturan kecepatan dari motor induksi sangat mempengaruhi efesiensinya.
- b. Kecepatan motor induksi akan menurun seiring dengan bertambahnya beban, tidak seperti motor DC atau motor shunt.

- c. Kopel awal mutunya rendah dibandingkan dengan motor DC shunt.

2.2.1 Konstruksi Motor Listrik 3 Fasa

Motor induksi merupakan motor listrik arus bolak balik yang paling banyak digunakan, penamaannya berasal dari kenyataan bahwa motor ini bekerja berdasarkan induksi medan magnet stator ke rotornya, dimana arus rotor motor ini bukan diperoleh dari sumber tertentu, tetapi merupakan arus yang terinduksi sebagai akibat adanya perbedaan relatif antara putaran rotor dengan medan putar (rotating magnetic field) yang dihasilkan oleh arus stator ([13]).



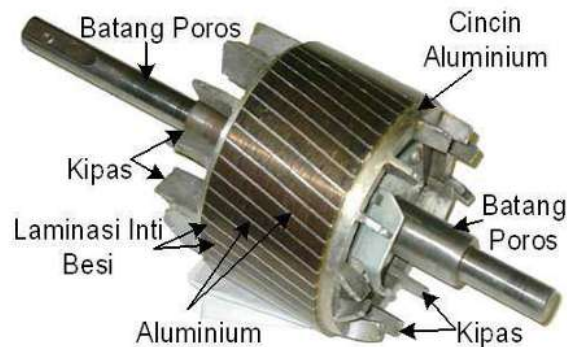
Gambar 2.1 Konstruksi Motor 3 Fasa
Sumber : Lukman Al Hakim, 2014

Menurut [14]), konstruksi motor induksi 1 fase tidak berbeda jauh dengan konstruksi motor induksi 3 fasa, yang pada dasarnya terdiri dari 2 bagian utama yaitu :

a. Rotor

Rotor merupakan bagian yang bergerak/berputar. Rotor dari motor induksi berjenis sangkar banyak digunakan, karena rotor ini paling sederhana dan kuat. Rotor terdiri dari inti yang berbentuk silinder yang sejajar dengan lot dan diisi dengan tembaga atau aluminium yang berbentuk batangan. Satu batang diletakkan di setiap slot, apabila digunakan slot setengah tertutup maka batangan tersebut dimasukkan dari ujung. Batangan rotor dilapisi dengan kuningann atau dilapisi secara listrik atau dilas dan kedua ujung cincin dibaut

dengan kuat. Konstruksi yang demikian disebut dengan konstruksi sangkar tupai seperti gambar di bawah ini.

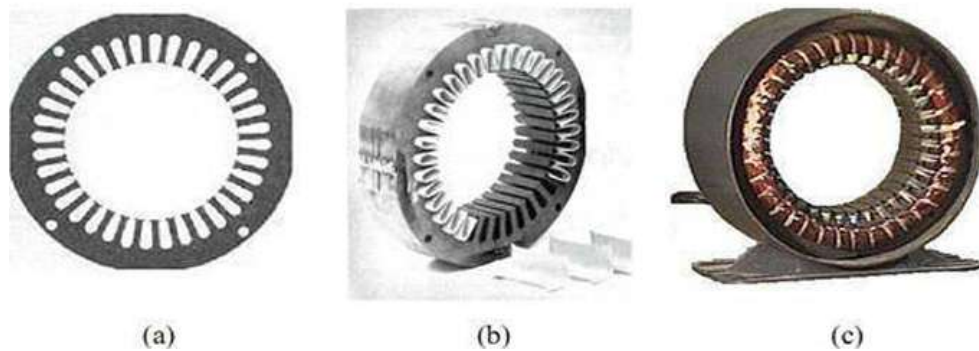


Gambar 2.2 Kontruksi Motor Listrik Tiga Fasa

Sumber : Lukman Al Hakim, 2014

b. Stator

Komponen stator adalah bagian terluar dari motor yang merupakan bagian yang diam dan mengalirkan arus fasa. Stator terdiri atas tumpukan laminasi inti yang memiliki alur yang menjadi tempat kumparan dililitkan yang berbentuk salidris. Alur pada tumpukan laminasi inti di isolasi dengan kertas (gambar b). Tiap elemen laminasi inti dibentuk dari lembaran besi (gambar a). Tiap lembaran besi tersebut memiliki beberapa alur dan beberapa lubang pengikat untuk menyatukan inti. Tiap kumparan tersebar dalam alur yang disebut belitan fasa dimana untuk motor tiga fasa, belitan tersebut terpisah secara listrik sebesar 120°. Kawat kumparan yang digunakan terbuat dari tembaga yang dilapis dengan isolasi tipis. Kemudian tumpukan inti dan belitan stator diletakkan dalam cangkang silindris (gambar c). berikut ini contoh lempengan laminasi inti. Lempengan inti yang telah disatukan, belitan stator yang telah diletakkan pada cangkang luar untuk motor listrik tiga fasa.



Gambar 2.3 Gambar Komponen Stator Motor Listrik Tiga Fasa
 Sumber : Unimus, 2018 [1]

Keterangan : a) Lempengan inti. b) Tumpuan inti dengan kertas isolasi pada beberapa alurnya. c) Tumpuan inti dan kumparan dalam cangkang stator.

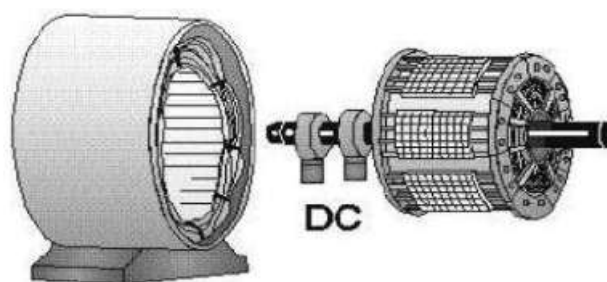
2.2.2 Jenis Motor Induksi

Motor listrik AC memiliki beberapa jenis, yang jenis ini membedakan berdasarkan beberapa faktor utama yang antara lain berdasarkan prinsip kerja, berdasarkan macam arus dan berdasarkan kecepatan ([12]).

1. Berdasarkan Prinsip Kerja :

a. Motor Sinkron

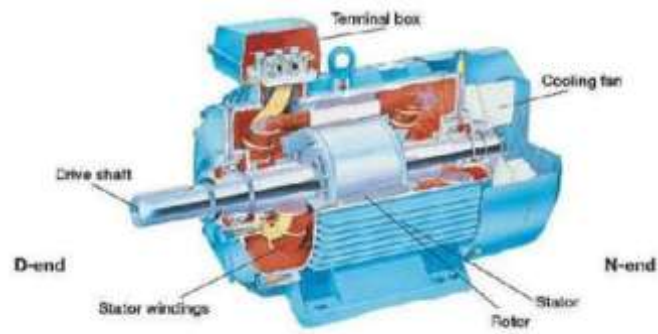
- a.) Biasa (tanpa slip ring)
- b.) Super (dengan slip ring)



Gambar 2.4 Motor Sinkron
 Sumber : Integrated Publishing, 2003 [15]

b. Motor Sinkron

- a.) Motor Induksi (squirrel cage rotor & winding motor)



Gambar 2.5 Motor Asinkron (Induksi)
 Sumber : *Integrated Publishing, 2003* [15]

2. Berdasarkan Prinsip Kerja :

a) Satu Fasa

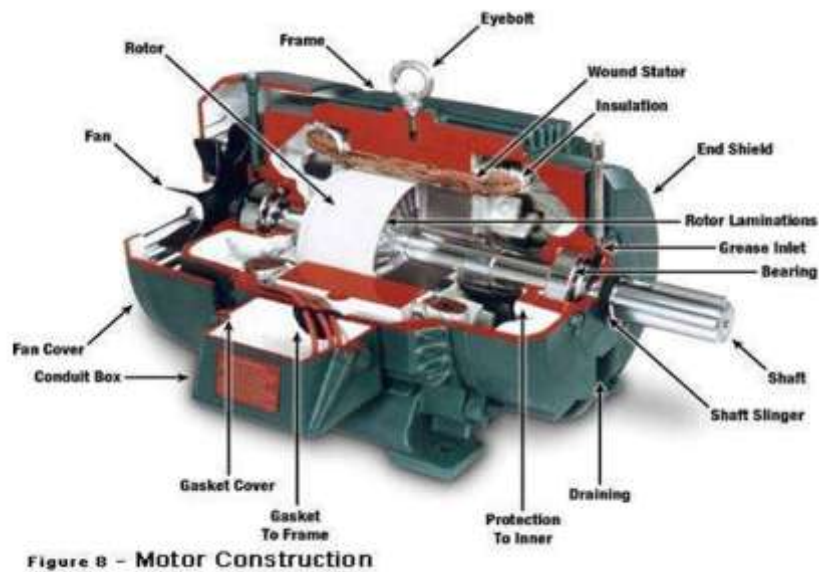
Motor ini hanya menggunakan satu gulungan stator, beroperasi dengan pasokan daya satu fasa, memiliki satu buah rotor kandang tupai, dan memerlukan satu buah alat yang menghidupkan motornya. Sejaht ini motor ini merupakan jenis motor yang paling umum digunakan dalam peralatan rumah tangga., seperti kipas angin, mesin cuci dan pengering pakaian dan untuk penggunaan hingga 3 sampai 4 HP.



Gambar 2.6 Motor 1 Fasa
 Sumber : *Santika Aji, 2018*

b) Tiga Fasa

Medan magnet yang berputar dihasilkan oleh pasokan tiga fasa yang seimbang. Motor tersebut memiliki kemampuan daya yang tinggi, dapat memiliki kandang tupai atau gulungan rotor (walaupun 90% memiliki kandang tupai) dan penyalaan diri. Diperkirakan bahwa 70 % motor di industry menggunakan jenis ini sebagai contoh, pompa, kompresor, belt conveyor, jaringan listrik, dan grinder.



Gambar 2.7 Motor 3 Fasa

Sumber : Sumanto, 1991 [16]

3. Berdasarkan Prinsip Kerja :
 - a. Kecepatan Konstan
 - b. Kecepatan Diatur
 - c. Kecepatan Diubah

2.2.3 Jenis Motor 3 Fasa dari Segi Rotor

Ada dua jenis motor induksi tiga fasa berdasarkan rotornya yaitu[17]:

- a. Motor induksi tiga fasa rotor sangkar tupai

Penampang motor sangkar tupai memiliki konstruksi yang sederhana. Inti stator pada motor sangkar tupai tiga fasa terbuat dari lapisan-lapisan pelat baja beralur yang didukung dalam rangka stator yang terbuat dari besi tuang atau pelat baja yang dipabrikasi. Lilitan-lilitan kumparan stator diletakkan dalam alur stator yang terpisah 120 derajat listrik. Lilitan fasa ini dapat tersambung dalam hubungan delta (Δ) ataupun bintang (Y) ([18]). Rotor jenis sangkar ditunjukkan pada Gambar 2.8 dibawah ini.



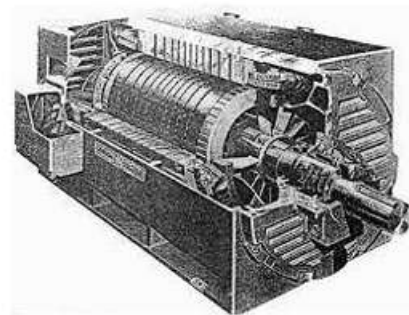
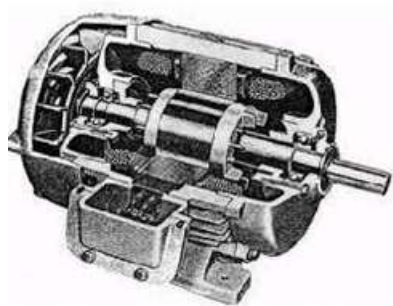
Gambar 2.8 Bagian – Bagian Rotor Sangkar

Sumber : Unimus, 2018

Batang rotor dan cincin ujung motor sangkar tupai yang lebih kecil adalah coran tembaga atau aluminium dalam satu lempeng pada inti rotor. Dalam motor yang lebih besar, batang rotor tidak dicor melainkan dibenamkan kedalam alur rotor dan kemudian dilas dengan kuat kecincin ujung. Batang rotor motor sangkar tupai tidak selalu ditempatkan paralel terhadap poros motor tetapi kerap kali dimiringkan hal ini akan menghasilkan torsi yang lebih seragam dan juga mengurangi derau dengung magnetik sewaktu motor sedang berputar. Pada ujung cincin penutup diletakkan sirip yang berfungsi sebagai pendingin. Motor induksi dengan rotor sangkar ditunjukkan pada Gambar dibawah ini :

(a) rotor sangkar ukuran kecil.

(b) rotor sangkar ukuran besar



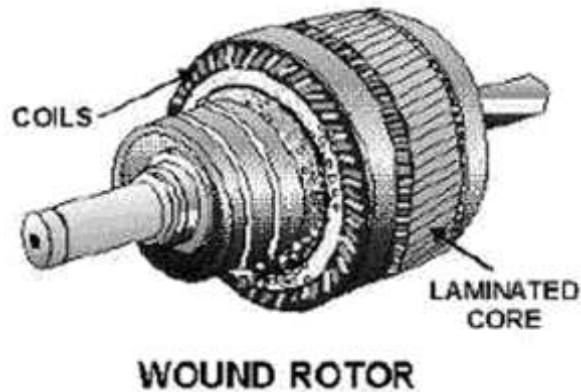
Gambar 2.9 Ukuran Rotor Sangkar

Sumber : Tempat Harapan, 2019

b. Motor Induksi Tiga Fasa Rotor Belitan

Motor rotor belitan (motor cincin slip) berbeda dengan motor sangkar tupai dalam hal konstruksi rotornya. Seperti namanya, rotor dililit dengan lilitan terisolasi serupa dengan lilitan stator. Belitan tiga fasa pada rotor belitan biasanya terhubung Y, dan masing-masing ujung dari tiga kawat belitan fasa rotor tersebut

dihubungkan pada slip ring yang terdapat pada poros rotor. Belitan-belitan rotor ini kemudian dihubungkan melalui sikat (brush) yang menempel pada slip ring, dengan menggunakan sebuah perpanjangan kawat untuk tahanan luar. Secara skematik dapat dilihat pada gambar 2.10 dari gambar ini dapat dilihat bahwa cincin slip dan sikat semata-mata merupakan penghubung tahanan kendali variabel luar kedalam rangkaian rotor



WOUND ROTOR

Gambar 2.10 Rotor Belitan

Sumber : Umar Wirahadi, 2012 [19]

Pada gambar 2.10 Rotor belitan (wound rotor) adalah jenis rotor pada mesin listrik di mana inti rotornya tersusun dari banyak lempeng baja tipis yang disusun bertumpuk (laminated core) untuk mengurangi rugi-rugi arus eddy dan histeresis sehingga pemanasan berkurang dan efisiensi meningkat. Di sepanjang permukaan inti ini terdapat alur-alur (slot) yang diisi dengan kumparan kawat tembaga (coils) yang dibelitkan dan kemudian dihubungkan membentuk rangkaian, umumnya tiga fasa. Ujung-ujung kumparan rotor biasanya dihubungkan ke slip ring sehingga dapat disambungkan ke tahanan luar atau rangkaian kontrol, yang memungkinkan pengaturan torsi awal, arus start, dan kadang faktor daya. Karena dapat diatur karakteristiknya, rotor belitan banyak digunakan pada motor induksi rotor belitan maupun beberapa mesin sinkron yang memerlukan torsi awal besar dan kontrol yang lebih fleksibel, meskipun konstruksinya lebih kompleks dan biayanya lebih tinggi dibanding rotor sangkar.

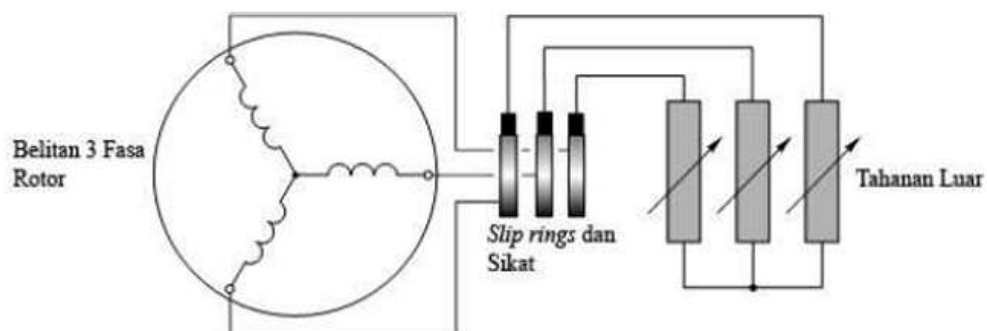


Gambar 2.11 Motor Induksi Tiga Fasa Rotor Belitan

Sumber : Umar Wirahadi, 2012 [19]

Gambar (a) menunjukkan detail ujung rotor belitan pada motor induksi rotor belitan, di mana tampak cincin-cincin slip ring yang dipasang pada poros rotor sebagai terminal bagi kumparan rotor. Slip ring ini terhubung ke sikat karbon sehingga arus rotor dapat dihubungkan ke tahanan luar atau rangkaian kontrol untuk mengatur torsi awal dan arus start.

Gambar (b) memperlihatkan penampang motor induksi rotor belitan secara keseluruhan; tampak rotor berlaminasi dengan belitan di dalam stator, serta rangka motor, bantalan, dan terminal box. Susunan ini menggambarkan bagaimana rotor belitan berada di dalam stator dan dihubungkan secara mekanis maupun elektrik untuk membentuk satu kesatuan motor.



Gambar 2.12 Skematik Diagram Motor Induksi Belitan

Sumber : Umar Wirahadi, 2012 [19]

Dari Gambar 2.11 dan 2.12 dapat dilihat bahwa semata-mata keberadaan slip ring dan sikat hanyalah sebagai penghubung belitan rotor ke tahanan luar. Keberadaan tahanan luar disini berfungsi pada saat pengasutan yang berguna untuk membatasi arus mula yang besar. Tahanan luar ini kemudian secara perlahan dikurangi sampai resistansinya nol sebagaimana kecepatan motor bertambah mencapai kecepatan nominalnya. Ketika motor telah mencapai kecepatan nominalnya, maka tiga buah sikat akan terhubung singkat tanpa tahanan luar sehingga rotor belitan akan bekerja seperti halnya rotor sangkar tupai ([19])

2.2.4 Prinsip Kerja Motor Induksi Tiga Fasa

Menurut [16]), motor induksi adalah peralatan pengubah energi listrik ke bentuk energi mekanik. Pengubahan energi ini bergantung pada keberadaan fenomena alami magnet, medan listrik, gaya mekanis dan gerak. Jika pada belitan stator diberi tegangan tiga fasa, maka pada belitan stator akan mengalir arus tiga fasa, arus ini menghasilkan medan magnet yang berputar dengan kecepatan sinkron (n_s). Medan magnet ini akan memotong belitan rotor, sehingga pada belitan rotor akan diinduksikan tegangan seperti halnya tegangan yang diinduksikan dalam lilitan sekunder transformator oleh fluksi yang dihasilkan arus pada belitan primer. Rangkaian rotor merupakan rangkaian tertutup, baik melalui cincin ujung atau tahanan luar. Tegangan induksi pada rotor akan menghasilkan arus yang mengalir pada belitan rotor. Arus yang mengalir pada belitan rotor berada dalam medan magnet yang dihasilkan stator, sehingga pada belitan rotor akan dihasilkan gaya (F). gaya ini akan menghasilkan torsi (τ) dan jika torsi yang dihasilkan lebih besar dari torsi beban, maka rotor akan berputar dengan kecepatan n_r yang searah dengan medan putar stator. Gambar dibawah ini menggambarkan penampang stator dan rotor motor induksi, dengan medan magnet diumpamakan berputar searah jarum jam.



Gambar 2.13 Penampang rotor dan stator yang memperlihatkan Medan magnet dalam celah udara
Sumber : Rahmat Saputra, 2014 [20]

Untuk arah fluksi dan gerak yang ditunjukkan gambar diatas, penggunaan aturan tangan kanan fleming bahwa arah arus induksi dalam konduktor rotor menuju pembaca. Pada kondisi seperti itu, dengan konduktor yang mengalirkan arus berada dalam medan magnet seperti yang ditunjukkan, gaya pada konduktor mengarah keatas karena medan magnet di bawah konduktor lebih akurat dari pada medan diatasnya. Agar sederhana, hanya satu konduktor rotor yang diperlihatkan. Tetapi konduktor-konduktor rotor yang berdekatan lainnya dalam medan stator juga mengalirkan arus dalam arah seperti pada konduktor yang ditunjukkan, dan juga mempunyai suatu gaya kearah atas yang dikerahkan pada mereka. Pada setengah siklus berikutnya, arah medan stator akan dibalik, tetapi arus rotor juga akan dibalik, sehingga gaya pada rotor tetap keatas. Demikian pula konduktor rotor dibawah kutub kutub medan stator lain akan mempunyai gaya yang semuanya cenderung memutar rotor searah jarum jam. Jika kopel yang dihasilkan cukup besar untuk mengatasi kopel beban yang menahan, motor akan melakukan percepatan searah jarum jam atau dalam arah yang sama dengan perputaran medan magnet stator.

Pemakaian motor listrik sebagai tenaga penggerak di industri dalam pengoperasian dapat dibagi kedalam tiga tahap pengendalian/pengontrolan :

- a. Pengontrolan pada saat motor akan dijalankan.
- b. Pengontrolan pada saat motor sudah berjalan (pengaturan kecepatan, pembalikan arah putaran dan lain-lain)
- c. Pengontrolan pada saat motor akan dihentikan (pengereman).
- d. Pengasutan motor adalah termasuk kedalam pengontrolan motor pada saat dijalankan yang tujuannya adalah untuk mengurangi arus mula jalan (arus starting)

Pada umumnya yang sangat perlu untuk diketahui dan dipelajari dari pengasutan motor adalah denyut tegangan yang terjadi pada sistem tegangan listrik, dalam industry sebagai akibat langsung dari pengasutan motor induksi yang berkapasitas besar. Akibat momen percepatan yang diperoleh menjadi menurun cukup besar yang akan mempengaruhi dan memperpanjang selang waktu pengasutan, yang mana kadang-kadang akan merugikan penampilan pengasutan motor secara keseluruhan. Selama melakukan pengasutan motor, tingkat tegangan pada terminal motor harus dijaga kira-kira sebesar 80% dari tegangan nominalnya. Beberapa cara untuk mengurangi denyut tegangan yang terjadi pada saat pengasutan motor adalah tergantung pada besarnya penarikan arus inrush dari sistem yang berbanding lurus dengan tegangan pada terminal motor lebih rendah dengan sendirinya akan membutuhkan arus yang lebih kecil, sehingga dapat mengurangi denyut tegangan.

Suatu dari studi tentang pengasutan motor adalah untuk menentukan tingkat tegangan yang tepat dan arus inrush yang kecil, sehingga dapat dilayani oleh tegangan sistem yang tersedia selama melakukan pengasutan motor. Untuk menghindari denyut tegangan yang terjadi dapat dilakukan dengan berbagai cara yaitu dengan menentukan sistem pengasutan yang tepat. Untuk suatu beban tertentu/ khusus membutuhkan ketelitian perhitungan momen khusus dalam pengaturan kecepatannya. Pengaturan momen tersebut harus dilakukan dengan teliti sehingga tidak melebihi batas momen tertentu dari peralatan beban. Pengasutan motor sangat erat hubungannya dengan akibat yang akan terjadi terhadap motor itu sendiri dan pengaruhnya terhadap sistem tenaga dan peralatan-peralatan lain yang sedang bekerja, terutama pengasutan pada motor-motor besar secara langsung ke jala-jala yang akan menarik arus inrush yang cukup besar, oleh

karena itu perlu dipertimbangkan secara seksama metode pengasutan yang sesuai dengan tipe motor, kapasitas motor, kapasitas sumber tenaga listrik yang tersedia dan jenis beban yang dipikulnya. Pada waktu melakukan pengasutan motor rotor seolah-olah ditahan atau terjadi hubung singkat pada kumparan rotor. Pada saat rotor ditahan secara asumsi arus pengasutan hampir mendekati 6 atau 7 kali arus beban penuh pada tegangan penuh terminal motor sehingga dapat mempengaruhi tegangan sistem.

Untuk memperjelas prinsip kerja motor induksi tiga fasa, maka dapat dijabarkan dalam langkah-langkah sebagai berikut ([21]) :

- a. Apabila sumber tegangan 3 fasa dipasang pada kumparan stator, timbullah kecepatan medan putar (N_s), $N_s = \frac{120f}{P}$
- b. Medan putar stator tersebut akan memotong batang konduktor pada rotor.
- c. Akibatnya pada kumparan rotor timbul induksi (ggl) sebesar:
 $E_2 = 4,44.F_2.N_2$
- d. Karena kumparan rotor merupakan rangkaian yang tertutup, ggl (E) akan menghasilkan arus (I)
- e. Adanya arus didalam medan magnet menimbulkan gaya pada motor.
- f. Bila kopel mula dihasilkan oleh gaya (F) pada rotor cukup besar untuk memikul kopel beban, rotor akan berputar searah dengan medan putar stator.
- g. Tegangan induksi timbul karena terpotongnya batang konduktor (rotor) oleh medan putar stator. Artinya agar tegangan terinduksi diperlukan adanya perbedaan relatif antara kecepatan medan putar stator (n_s) dengan kecepatan berputar rotor (n_r).

$$S = \frac{n_s - n_r}{n_s} \times 100\%$$

- h. Perbedaan kecepatan antara n_r dan n_s disebut slip (s) dinyatakan dengan:
- i. Bila $n_r = n_s$, tegangan tidak akan terinduksi dan arus tidak mengalir pada kumparan jangkar (rotor), dengan demikian tidak dihasilkan kopel. Kopel motor akan ditimbulkan apabila n_r lebih kecil dari n_s .

2.3 Rangkaian Star Delta

Rangkaian star delta adalah metode pengasutan motor induksi tiga fasa dengan menghubungkan kumparan motor terlebih dahulu dalam konfigurasi bintang (star), kemudian setelah motor mencapai kecepatan tertentu diubah menjadi konfigurasi segitiga (delta). Pada saat terhubung bintang, tegangan fasa pada kumparan motor menjadi lebih kecil sehingga arus start turun dan gangguan pada sistem tenaga berkurang, sedangkan setelah berpindah ke delta motor menerima tegangan penuh sehingga dapat menghasilkan torsi dan daya nominalnya. Dengan demikian, rangkaian star delta digunakan terutama pada motor tiga fasa berdaya menengah– besar untuk mengurangi lonjakan arus awal tanpa mengurangi kemampuan kerja motor pada kondisi operasi normal.

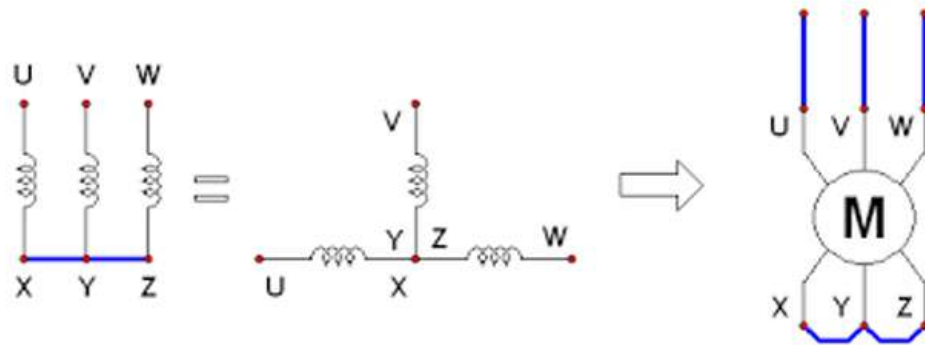
2.3.1 Prinsip Kerja Rangkaian Star-Delta

Sesuai dengan namanya yaitu bintang segitiga atau sering disebut star delta, pengasutan ini bekerja dengan rangkaian belitan bintang (Y), dan beberapa saat rangkaian bintang terlepas kemudian digantikan dengan rangkaian segitiga (Δ). Melalui metode bintang segitiga ini arus awal yang sampai 6 kali dapat dihindarkan dengan cara menurunkan arus starting sebesar 33,33%. Arus yang mengalir pun dapat ditekan menjadi $1/3$ dari arus pengasutan langsung.

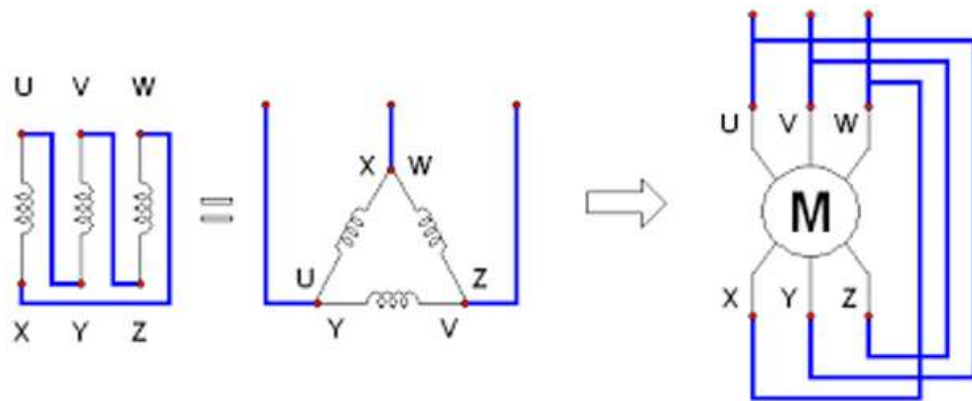
Prinsipnya adalah saat sebuah motor 3 fasa distart awal, motor tidak dikenakan nilai tegangan penuh dan hanya arus saja yang digunakan secara penuh. Tentunya motor induksi bertipikal seperti ini hanya motor induksi dengan daya diatas 5.5 HP (Horse Power), sedangkan 1 HP adalah bernilai 0.75 KW (kilowatt). Karena penggunaan arus mula yang lumayan besar ini, maka diperlukanlah hubungan bintang (Y) untuk meminimalisir arus. Setelah motor berputar dan arus sudah mulai turun, barulah dipindahkan menjadi hubungan segitiga (Δ) sehingga motor tersebut mendapatkan nilai tegangan secara penuh.

Motor yang digunakan dalam pengasutan ini adalah jenis motor induksi 3 fasa. Pada dasarnya, motor listrik tiga fasa memiliki tiga kumparan stator yang terpisah satu dengan lainnya. Masing-masing kumparan stator terdiri atas satu ujung masuk dan satu ujung keluar. Oleh karena itu, secara keseluruhan pada sebuah motor listrik tiga fasa terdapat enam ujung sisi kumparan stator. Berikut

merupakan hubungan belitan motor bintang (Y) dan segitiga (Δ).



Gambar 2.14 Hubungan bintang motor induksi 3 phasa



Gambar 2.15 Hubungan delta motor induksi 3 phasa

Pengendali adalah segala usaha yang dilakukan untuk membimbing suatu proses dalam mencapai suatu tujuan. Jadi yang tergolong atau yang dimaksud dengan pengendalian motor adalah meliputi pengaturan dan pengendalian motor dari saat start sampai motor itu berhenti, agar operasi atau kerja dari motor tersebut sesuai dengan ketentuan atau kebutuhan.

2.3.2 Tahapan Starting Rangkaian Star-Delta

Tahapan mengoperasikan motor pada dasarnya dibagi menjadi 3 tahap, yaitu :

a. Mulai jalan (starting)

Untuk motor yang dayanya kurang dari 4 KW, pengoperasian motor dapat disambung secara langsung (direct on line). Sedangkan untuk daya yang besar pengasutannya dengan pengendali awal motor (motor starter) yang bertujuan untuk meredam arus awal yang besarnya 5 sampai 7 kali

arus nominal.

b. Berputar (running)

Beberapa saat setelah motor mulai jalan, arus yang mengalir secara bertahap segera menurun ke posisi arus nominal. Selanjutnya motor dapat dikendalikan sesuai kebutuhan, misalnya dengan pengaturan kecepatan, pembalikan arah perputaran, dan sebagainya.

c. Berhenti (stopping)

Tahap ini merupakan tahap akhir dari pengoperasian motor dengan cara memutuskan aliran arus listrik dari sumber tenaga listrik, yang prosesnya bisa dikendalikan sedemikian rupa (misalnya dengan pengaman / break), sehingga motor dapat berhenti sesuai kebutuhan. Kendali elektromagnetik termasuk dalam jenis kendali motor semi otomatis. Pada kendali semi otomatis, kerja operator sedikit ringan (tidak mengeluarkan tenaga besar), cukup dengan jari menekan tombol tekan start awal menggerakkan motor dan menekan tombol stop saat menghentikan putaran motor. Untuk menghubungkan atau memutuskan aliran arus listrik menggunakan konduktor magnet, yang bisa dilengkapi rele pengaman arus lebih (Thermal Overload Relay) sebagai pengaman motor.

2.3.3 Kelebihan dan Kekurangan Rangkaian Star-Delta

Rangkaian star-delta memiliki beberapa kelebihan yang menjadikannya salah satu metode starting motor listrik yang paling banyak digunakan di industri. Salah satu keunggulannya adalah kemampuannya untuk menurunkan arus start secara signifikan dibandingkan dengan sistem direct on line (DOL). Pada saat motor dihubungkan dalam konfigurasi star, tegangan fasa yang diterima hanya sebesar $1/\sqrt{3}$ dari tegangan line, sehingga arus start berkurang hingga sekitar sepertiganya. Hal ini membantu mengurangi lonjakan arus yang dapat menyebabkan gangguan pada sistem distribusi listrik atau menurunkan tegangan pada beban lain. Selain itu, metode ini juga dapat memperpanjang umur motor karena tekanan mekanis dan beban torsi awal yang lebih rendah saat starting. Dari sisi biaya, rangkaian star-delta tergolong ekonomis karena komponennya

sederhana dan mudah didapat, serta tidak memerlukan peralatan elektronik canggih seperti pada sistem soft starter atau inverter.

Meskipun memiliki banyak kelebihan, rangkaian star-delta juga memiliki beberapa kekurangan yang perlu diperhatikan dalam aplikasinya. Salah satu kelemahan utamanya adalah adanya lonjakan arus dan torsi sesaat ketika motor beralih dari mode star ke mode delta. Peralihan ini dapat menimbulkan hentakan mekanis (mechanical shock) pada poros motor maupun peralatan yang digerakkan, terutama bila waktu transisi tidak diatur dengan tepat. Selain itu, sistem ini tidak cocok digunakan untuk beban berat atau beban yang memerlukan torsi awal tinggi, karena saat posisi star, torsi yang dihasilkan hanya sepertiga dari torsi nominal. Kekurangan lainnya terletak pada kompleksitas pengkabelan dan kontrol yang membutuhkan tiga kontaktor dan satu timer, sehingga apabila salah satu komponen mengalami kerusakan, proses starting bisa gagal. Dalam jangka panjang, gangguan kecil seperti ketidaktepatan waktu transisi atau kontaktor yang aus dapat menyebabkan motor trip berulang dan menurunkan keandalan sistem.

2.4 Gangguan Pada Motor Induksi

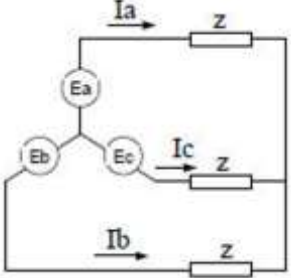
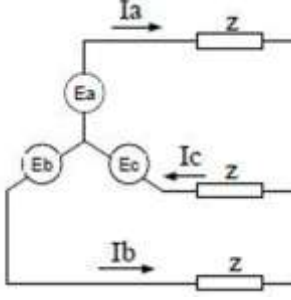
Gangguan pada motor induksi secara umum adalah segala kondisi tidak normal yang menyebabkan motor tidak bekerja sesuai spesifikasi, misalnya tidak bisa start, putaran lemah, timbul panas berlebih, getaran besar, atau arus dan tegangan tidak wajar[22]. Secara garis besar, gangguan ini dapat berasal dari sisi listrik maupun mekanik. Gangguan listrik meliputi ketidakseimbangan tegangan, hubung singkat atau putus pada belitan stator maupun rotor, kualitas daya yang buruk (misalnya harmonisa dan tegangan transien), serta kebocoran isolasi yang mengakibatkan arus bocor dan pemanasan kumparan. Gangguan mekanik mencakup masalah pada bearing, ketidaksejajaran poros (misalignment), ketidakseimbangan rotor, getaran berlebih, dan gangguan sistem pendinginan seperti saluran ventilasi tersumbat atau kipas rusak. Jika gangguan-gangguan ini tidak segera ditangani melalui pemeliharaan, pemeriksaan rutin, dan perbaikan yang tepat, umur motor induksi akan jauh lebih pendek dan risiko kerusakan parah hingga terbakar menjadi sangat besar.

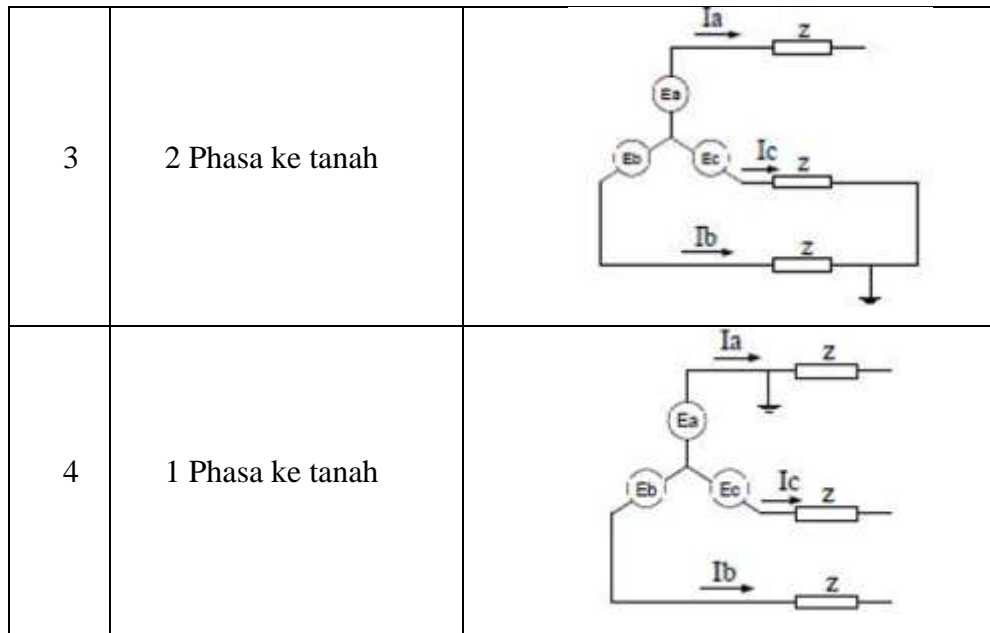
2.4.1 Gangguan Mekanis

Ada beberapa jenis gangguan hubung singkat dalam sistem tenaga listrik antara lain hubung singkat 3 fasa, 2 fasa, 2 fasa ke tanah dan satu fasa ke tanah. Dalam tugas akhir ini, analisa hubung singkat yang dilakukan adalah hubung singkat 3 fasa [23]. Walaupun jenis gangguan hubung singkat 3 fasa bukanlah merupakan jenis gangguan hubung singkat yang paling sering terjadi dalam sistem tenaga listrik, namun dalam analisisnya, arus hubung singkat 3 fasa adalah arus hubung singkat terbesar diantara jenis gangguan hubung singkat lainnya. Sehingga hal ini dapat dijadikan salah satu pertimbangan dalam pemilihan peralatan proteksi yang tepat, sehingga bila gangguan hubung singkat itu benar-benar terjadi di dalam sistem, maka peralatan proteksi dapat bekerja mengamankan bagian sistem yang terganggu sesuai yang diharapkan.

Tabel dibawah ini menunjukkan berbagai jenis gangguan hubung singkat dalam sistem tenaga listrik :

Tabel 2.1 Jenis Gangguan Hubung Singkat

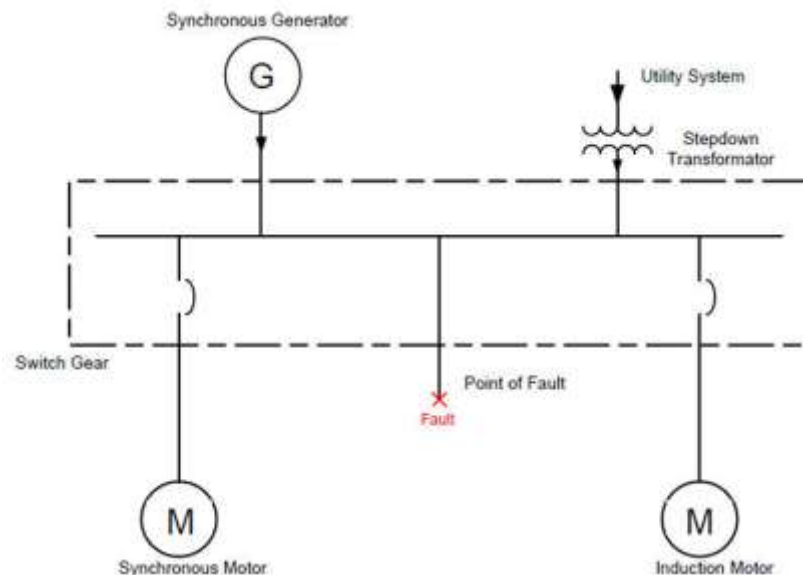
No	Jenis Gangguan Hubung Singkat	Gambar Rangkaian
1	3 Fasa	
2	2 Fasa	



Sumber: Budi Sidabutar, 2010 [24]

2.4.2 Gangguan Listrik

Besar arus hubung singkat bergantung pada besar sumber yang membangkitkan sistem, nilai reaktansi peralatan dan nilai reaktansi sistem keseluruhan sampai ke titik gangguan. Sumber arus hubung singkat dapat berasal dari sistem pembangkit (PLN), generator, motor sinkton dan motor induksi.



Gambar 2.16 Kontribusi Arus Hubung Singkat

Sumber : Budi Sidabutar, 2010 [24]

a. Sistem Pembangkit (PLN)

PLN memberikan suplai daya pada pelanggan khususnya industri melalui

trafo (step down) dari jaringan distribusi tegangan menengah ke tegangan yang dipakai oleh konsumen. Trafo sering kali dimengerti sebagai sumber hubung singkat, tentu saja hal ini sama sekali tidak benar. Trafo distribusi hanya mengubah (menaikkan/menurunkan) level tegangan dan besar arus. Arus hubung singkat yang melewati trafo bergantung pada besar tegangan sekundernya dan persen reaktansinya. Sistem pembangkit dalam hal ini PLN juga memberikan informasi tentang kontribusi daya hubung singkat yang memungkinkan (Psc Available) dari sistem pembangkit.

b. Generator

Generator adalah alat pembangkit energi listrik yang bekerja dengan mengubah energi mekanis menjadi energi listrik. Di dalam sistem listrik industri, selain mendapat suplai dari PLN sebagai sistem pembangkit utama, beberapa industri besar juga memiliki suplai daya sendiri dari generator yang dapat berfungsi : a) Sebagai unit cadangan (emergency) yang dijalankan pada saat keadaan darurat atau saat terjadi pemadaman pada sistem pembangkit utama (PLN). b) Sebagai unit pembangkit bantuan yang dapat membantu suplai daya listrik dari PLN pada saat beban puncak (peak load). Pada saat terjadi gangguan hubung singkat, generator memberi kontribusi terhadap besar arus hubung singkat yang terjadi seperti pada gambar . Generator digerakkan oleh penggerak mula (prime mover). Biasanya dalam industri adalah mesin diesel. Ketika hubung singkat terjadi, generator akan terus dikendalikan oleh prime mover dan tetap menghasilkan tegangan selama medan eksitasinya tetap dipertahankan putaran generator pada kecepatan normal. Tegangan yang dihasilkan ini menghasilkan arus yang besar yang mengalir ke titik gangguan. Arus yang mengalir ini hanya dibatasi oleh impedansi generator dan impedansi rangkaian dari generator sampai ke titik gangguan. Reaktansi generator berganti secara transient seiring dengan waktu setelah awal terjadinya gangguan. Adapun jenis nilai reaktansinya adalah sebagai berikut :

1. X''_d = Reaktansi Sub Transient

Adalah nilai reaktansi yang menentukan besar arus hubung singkat

sesaat setelah terjadinya gangguan. Nilai ini hanya berlangsung selama beberapa cycle setelah gangguan terjadi dan dalam sekitar 0,1 detik meningkat ke nilai berikutnya.

2. $X'd$ = Reaktansi Transient

Berlangsung sekitar 2 detik dan meningkat hingga mencapai nilai reaktansi akhir

3. X_d = Reaktansi Sinkron

Adalah nilai reaktansi yang menentukan arah besar arus mengalir setelah kondisi steady state tercapai. Ini tercapai setelah beberapa detik setelah hubung singkat terjadi.

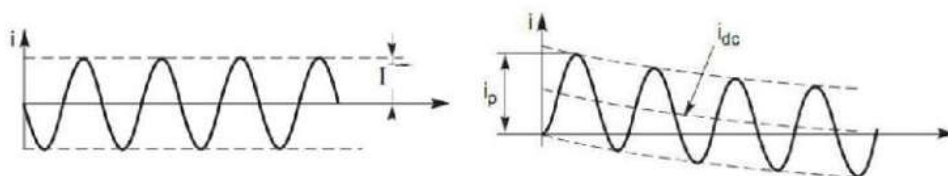
c. Motor Sinkron

Motor sinkron memiliki karakteristik yang hampir sama dengan generator sinkron. Ketika gangguan terjadi, tegangan sistem menurun hingga menjadi sangat kecil, motor sinkron berhenti mencatu daya dari sistem untuk berputar menggerakkan bebannya dan mulai melambat. Tetapi momen inersia dari beban cenderung mencegah motor melambat secara cepat. Inersia ini mengambil peran sebagai prime mover dan dengan eksitasi yang tetap disuplai, menjadikan motor berfungsi sebagai generator yang juga mensuplai arus hubung singkat untuk beberapa cycle setelah hubung singkat terjadi. Sama seperti generator, besarnya arus hubung singkat juga ditentukan oleh nilai reaktansi X''_d , X'_d , dan X_d motor sinkron. Besarnya arus hubung singkat yang dikontribusi oleh motor sinkron juga bergantung pada besar dayanya (HP), rating tegangan serta reaktansi sistem sampai ke titik gangguan.

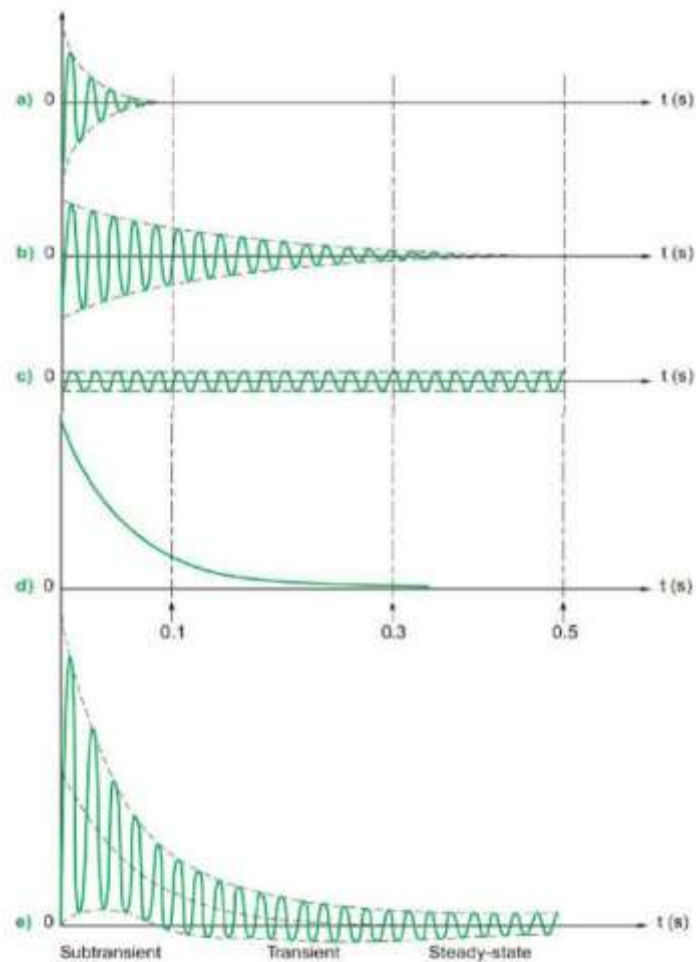
d. Motor Induksi

Motor induksi juga memberikan kontribusi arus hubung singkat akibat inersia beban dan rotor tetap berputar menggerakkan motor setelah terjadinya gangguan. Tetapi ada perbedaan kontribusi arus hubung singkat antara motor induksi dengan mesin sinkron. Medan fluksi motor induksi dihasilkan oleh induksi di stator dan bukan berasal dari medan fluks DC. Karena fluks ini tiba-tiba menghilang setelah terjadi gangguan, maka

kontribusi arus hubung singkat dari motor induksi juga drop secara cepat setelah beberapa cycle seperti yang diperlihatkan pada gambar. Sehingga tidak ada kontribusi arus gangguan steady state. Oleh karena itu, hanya nilai reaktansi sub transient (X''_d) motor induksi saja yang diperhitungkan. Namun untuk motor induksi dengan kapasitas besar ($> 50 \text{ HP} \Rightarrow 37,3 \text{ KW}$) memiliki nilai reaktansi transient yang harus diperhitungkan. Besarnya arus hubung singkat yang dikontribusi oleh motor induksi juga bergantung pada besar daya motor, rating tegangan serta impedansi menuju titik gangguan. Gambar 2.16 menunjukkan total arus hubung singkat yaitu jumlah (kombinasi) dari semua sumber yang memberikan kontribusi terhadap arus hubung singkat dari peralatan-peralatan yang telah dibahas yaitu sistem pembangkit (PLN), generator sinkron dan motor induksi. Besar arus hubung singkat yang terbesar adalah terjadi pada saat $11/2$ cycle pertama dan selanjutnya menurun setelah beberapa cycle berikutnya. Setelah 1 atau 2 cycle, kontribusi motor induksi segera menghilang. Selain komponen simetris yang memberikan kontribusi terhadap arus hubung singkat, besar arus hubung singkat jauh lebih bertambah besar dalam beberapa cycle pertama adalah disebabkan oleh arus komponen DC seperti yang dapat dilihat pada gambar. Komponen DC ini menyebabkan gelombang arus hubung singkat menjadi tidak simetris dan pengaruh ini hanya sesaat dan menghilang. Namun menyebabkan sebuah perbedaan sudut magnitude yang besar antara puncak gelombang pertama setelah gangguan dengan puncak gelombang cycle selanjutnya.



Gambar 2.17 Gelombang Hubung Singkat Simetris dan Asimetris
Sumber : William D. Stevenson, 1982



Gambar 2.18 Total Arus Hubung Singkat (e) dengan Kontribusi Setiap Peralatan
 Sumber : Sumber : Budi Sidabutar, 2010 [24]

2.4.3 Gangguan Starting

Masalah pada saat starting motor induksi yang umum menjadi perhatian adalah pada motor-motor induksi tiga fasa yang memiliki kapasitas yang besar. Untuk menghasilkan torsi start yang cukup, motor induksi membutuhkan arus starting yang cukup besar yang mencapai 5 hingga 7 kali arus nominal motor. Arus start yang besar dan seketika ini disebut sebagai inrush current. Ada beberapa metode starting motor yang dapat dilakukan untuk mengatasi arus start yang besar, diantaranya adalah :

- a. Direct on Line (DOL)
- b. Wye – Delta
- c. Pengaturan Resistansi pada Stator
- d. Autotrafo
- e. Soft Starter

f. Frekuensi Converter

Walaupun arus start yang besar tersebut hanya berlangsung dalam waktu yang cukup singkat, namun hal tersebut juga menyebabkan jatuh tegangan (voltage drop sesaat yang disebut dengan voltage dip. Voltage dip adalah penurunan tegangan antara (10 – 90)% dari tegangan nominal yang terjadi dalam waktu yang relatif singkat (0,5 cycle – beberapa detik). Efek yang merupakan akibat voltage dip ini meliputi :

- a. Torsi yang bersifat orsi yang bersifat transient yang dapat menyebabkan stress (tekanan) yang berlebih pada sistem mekanisnya.
- b. Menghambat akselerasi putaran motor menuju kecepatan normal.
- c. Kegagalan kerja dari peralatan-peralatan lainnya seperti relay, contactor, dan menyebabkan flicker cahaya yang cukup mengganggu.

Untuk menjaga agar motor tetap beroperasi dan mencegah kegagalan kerja motor untuk mencapai kecepatan nominalnya, maka sebaiknya voltage dip tidak sampai dibawah 70% dari tegangan ominal. Ini dengan menganggap bahwa flicker cahaya bukanlah suatu hal yang mengganggu. Namun, jika faktor kualitas operasional dan pelayanan adalah hal yang utama, maka batasan voltage dip yang diizinkan adalah 10%.

2.4.4 Proteksi Arus Lebih Pada Motor Listrik Tiga Fasa

Sistem proteksi dilakukan pada peralatan-peralatan listrik yang terpasang pada suatu sistem tenaga misalnya generator, transformator jaringan, motor listrik dan lain lain, terhadap kondisi abnormal operasi sistem itu sendiri. Kondisi abnormal itu dapat berupa antara lain : hubung singkat, arus lebih, tegangan lebih, beban lebih, frekuensi sistem rendah, dan lain-lain. Adapun tujuan proteksi adalah sebagai berikut [25]:

- 1) Untuk menghindari ataupun untuk mengurangi kerusakan peralatan peralatan
- 2) akibat gangguan (kondisi abnormal operasi sistem). Semakin cepat reaksi perangkat proteksi yang digunakan maka akan semakin sedikitlah pengaruh gangguan kepada kemungkinan kerusakan alat.
- 3) Untuk cepat melokalisir luas daerah terganggu menjadi sekecil mungkin.
- 4) Untuk mengamankan manusia terhadap bahaya yang ditimbulkan oleh listrik.

Untuk menghindari kerusakan pada motor listrik

2.5 Proteksi Motor Induksi

Proteksi motor induksi secara umum adalah sistem pengamanan yang dirancang untuk mencegah motor mengalami kerusakan akibat kondisi operasi yang tidak normal, seperti arus lebih, tegangan tidak seimbang, panas berlebih, maupun hubung singkat. Sistem ini biasanya terdiri dari beberapa perangkat, misalnya sekering atau pemutus sirkuit untuk mengamankan dari hubung singkat, rele beban lebih (thermal overload relay) untuk mendeteksi arus dan temperatur yang melampaui batas, serta proteksi kehilangan atau ketidakseimbangan fasa agar motor tidak bekerja hanya dengan satu atau dua fasa yang bisa menyebabkan pemanasan ekstrem. Selain itu, sering ditambahkan proteksi tambahan seperti sensor suhu pada lilitan atau bearing, proteksi tegangan lebih/kurang, dan sistem interlock start–stop yang memastikan motor hanya dapat beroperasi bila semua kondisi aman terpenuhi. Dengan adanya proteksi yang tepat dan disetel sesuai data nameplate motor, umur pakai motor induksi dapat diperpanjang, keandalan operasi meningkat, dan risiko kebakaran atau kerusakan peralatan lain di sistem tenaga dapat diminimalkan.

2.5.1 Overload Relay

Rele proteksi adalah suatu alat yang mendeteksi kondisi tidak normal yang mungkin terjadi dalam sistem dengan cara mengukur besaran listrik yang berbeda pada keadaan normal dan pada keadaan gangguan[26]. Jadi, rele proteksi akan bekerja pada sistem yang mengalami gangguan untuk mencegah kerusakan peralatan pada sistem dengan cara melokalisasi daerah gangguan sekecil mungkin. Adapun syarat-syarat yang harus dipenuhi agar rele proteksi dapat bekerja dengan baik adalah sebagai berikut[27] :

a. Andal

Relay proteksi harus selalu ada dalam kondisi yang “dapat diandalkan”. Andal adalah bahwa sebuah rele proteksi harus selalu berada pada kondisi yang mampu melakukan proteksi pada alat. Disadari bahwa relay hanya bekerja pada saat-saat tertentu saja. Jangan sampai terjadi bahwa rele proteksi tidak dapat bekerja pada saat gangguan terjadi atau bahkan sudah bekerja walau tidak terdapat suatu gangguan sekalipun.

b. Selektif

Rele proteksi diharapkan mempunyai selektivitas yang tinggi. Selektivitas itu sendiri dapat diartikan secara harfiah, dapat dinyatakan sebagai kemampuan untuk memilih. Kemampuan memilih di sini adalah kemampuan untuk mengisolir daerah gangguan dan mengamankan sistem yang masih bekerja. juga diharapkan dapat membedakan keadaan gangguan secara teliti, apakah gangguan itu masih dalam keadaan normal atau sudah melampaui batas yang telah ditetapkan. Secara keseluruhan, rele proteksi diharapkan hanya mengisolir daerah gangguan dan pada saat yang tidak normal saja.

c. Waktu Kerja Rele Cepat

Waktu kerja yang dimaksud di sini adalah waktu yang diperlukan dari mulai gangguan terjadi, hingga bekerjanya circuit breaker untuk mengisolir daerah gangguan. Waktu operasi ini biasanya mempunyai satuan detik atau lebih kecil dari itu. Rele yang memiliki kecepatan tinggi adalah rele yang mampu beroperasi dalam waktu kurang dari 50 ms (3 cycle pada sistem 60 Hz). Sedang waktu operasi yang cepat diharapkan karena : Waktu yang cepat dapat menghindari kerusakan yang lebih fatal. Waktu yang cepat dapat mengamankan sistem dari pengaruh-pengaruh gangguan.

d. Sensitifitas

Sebuah relay proteksi yang baik diharapkan mempunyai kepekaan kerja yang tinggi. Rele tersebut diharapkan dapat bekerja sedini mungkin, pada saat arus gangguan yang paling kecil (minimum fault current) mengalir pada daerah yang hendak diamankan. Kepekaan ini ditentukan oleh faktor kepekaan (kap) dengan besarnya faktor kepekaan ini adalah tidak boleh kurang dari 1.5 sampai 2.0.

e. Sederhana

Rele proteksi harus disusun sesederhana mungkin dan tetap mampu bekerja sesuai dengan tujuannya. Penambahan unit atau komponen yang mungkin meningkatkan proses namun tidak terlalu penting dalam sistem harus dipertimbangkan dengan seksama karena setiap penambahan akan meningkatkan sumber masalah dan tambahan pemeliharaan. Sangat penting

untuk menghasilkan suatu sistem proteksi yang memiliki perlindungan maximum dengan harga yang minimum. Sistem proteksi akan terlihat mahal bila dilihat sebagai sesuatu yang berdiri sendiri, namun bila pertimbangannya adalah besar biaya dari sistem peralatan yang dilindungi, dan biaya yang harus dikeluarkan atau hilang akibat gangguan, maka sistem proteksi akan lebih murah.

Rele proteksi merupakan suatu perangkat kerja proteksi yang mempunyai fungsi dan peranan penting, yaitu :

- a. Memberikan sinyal alarm atau melepas PMT / CB dengan tujuan mengisolir gangguan pada kondisi abnormal seperti adanya beban lebih, tegangan rendah, kenaikan suhu, beban yang tidak seimbang, frekuensi rendah, hubung singkat, dan kondisi abnormal lainnya.
- b. Melepas atau mentrip peralatan yang tidak berfungsi normal untuk mencegah timbulnya kerusakan.
- c. Melepas atau mentrip peralatan yang mengalami gangguan dengan tujuan menjaga stabilitas sistem, kontinuitas pelayanan dan unjuk kerja sistem.
- d. Melokalisir penyebaran terjadinya gangguan pada peralatan yang lain di sekitarnya.

2.5.2 Circuit Braker

Berdasarkan IEV (International Electrotechnical Vocabulary) 441-14-20 disebutkan bahwa Circuit Breaker (CB) atau Pemutus Tenaga (PMT) merupakan peralatan saklar / switching mekanis, yang mampu menutup, mengalirkan dan memutus arus beban dalam kondisi normal serta mampu menutup, mengalirkan (dalam periode waktu tertentu) dan memutus arus beban dalam spesifik kondisi abnormal / gangguan seperti kondisi short circuit / hubung singkat[28].

Circuit Breaker (CB) merupakan suatu alat listrik yang berfungsi untuk melindungi sistem tenaga listrik apabila terjadi kesalahan atau gangguan pada sistem tersebut, terjadinya kesalahan pada sistem akan menimbulkan berbagai efek seperti efek termis, efek magnetis dan dinamis stability. Fungsi utamanya adalah sebagai alat pembuka atau penutup suatu rangkaian listrik dalam kondisi berbeban, serta mampu membuka atau menutup saat terjadi arus gangguan (

hubung singkat) pada jaringan atau peralatann lain.

Syarat-syarat yang harus dipenuhi oleh suatu Circuit Breaker (CB) agar dapat melakukan hal-hal diatas, adalah sebagai berikut [29]:

- a. Mampu menyalurkan arus maksimum sistem secara terus menerus.
- b. Mampu memutuskan dan menutup jaringan dalam keadaan berbeban maupun terhubung singkat tanpa menimbulkan kerusakan pada pemutus tenaga itu sendiri
- c. Dapat memutuskan arus hubung singkat dengan kecepatan tinggi agar arus
- d. hubung singkat tidak sampai merusak peralatan sistem, membuat sistem kehilangan kestabilan, dan merusak pemutus tenaga itu sendiri

Setiap Circuit Breaker dirancang sesuai dengan tugas yang akan dipikulnya, ada beberapa hal yang perlu dipertimbangkan dalam rancangan suatu CB, yaitu :

1. Tegangan efektif tertinggi dan Frekuensi daya jaringan dimana pemutus daya itu
2. akan dipasang. Nilainya tergantung pada jenis pentanahan titik netral sistem.
3. Arus maksimum continue yang akan dialirkan melalui pemutus daya. Nilai arus ini tergantung pada arus maksimum sumber daya atau arus nominal beban dimana pemutus daya tersebut terpasang.
4. Arus hubung singkat maksimum yang akan diputuskan pemutus daya tersebut. Lamanya maksimum arus hubung singkat yang boleh berlangsung. hal ini berhubungan dengan waktu pembukaan kontak yang dibutuhkan.
5. Jarak bebas antara bagian yang bertegangan tinggi dengan objek lain disekitarnya.
6. Jarak rambat arus bocor pada isolatornya. Kekuatan dielektrik media isolator sela kontak. 8. Iklim dan ketinggian lokasi penempatan pemutus daya



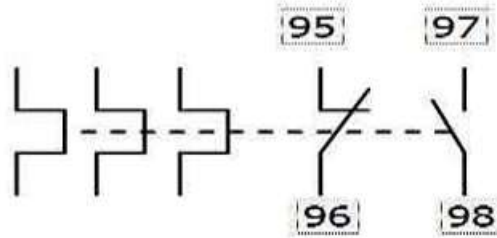
Gambar-2.19. Macam-macam Circuit Breaker

2.5.3 Thermal Protection

Thermal Overload Relay adalah proteksi beban lebih (arus lebih) dimaksudkan untuk melindungi motor dan perlengkapan kendali motor, terhadap pemanasan berlebihan sebagai akibat beban lebih ([30]. Rele ini digunakan baik sebagai peralatan pengaman utama maupun sebagai cadangan, dan digunakan disetiap zona proteksi sistem tenaga. Rele ini berfungsi mendeteksi adanya beban lebih yang mengalir pada jaringan yang diamankan. Rele akan bekerja apabila ada temperatur yang dirasakan rele proteksi melebihi nilai setting, Temperatur lebih bisa terjadi karena adanya beban lebih. Rele ini dihubungkan dengan kontaktor pada kontak utama 2, 4, 6 sebelum ke beban (motor listrik). Gunanya untuk mengamankan motor listrik atau memberi perlindungan kepada motor listrik dari kerusakan akibat beban lebih.

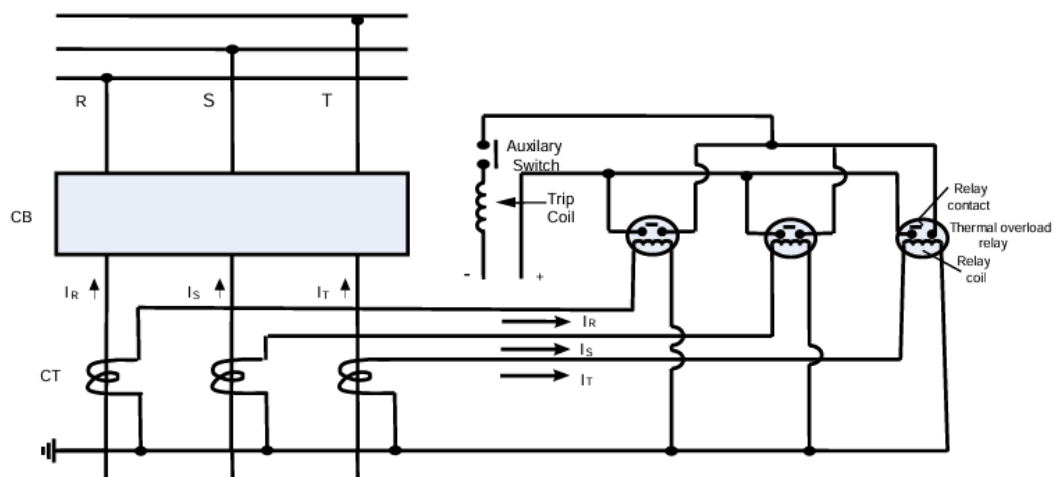
Beberapa penyebab terjadinya beban lebih Arus start yang tertalu besar atau motor listrik berhenti secara mendadak. Terjadinya hubung singkat dan Terbukanya salah satu fasa dari motor listrik 3 fasa. Thermal Overload Relay bekerja saat arus pada beban melebihi dari batas penggunaannya dan TOR mengamankan/memutuskan beban tersebut apabila mengakibatkan panas yang melebihi batas, jadi TOR ini terdapat sebuah setingan berapa maksimum ampere untuk melakukan trip jika ampere tersebut sudah terpenuhi. Didalam TOR tersebut ada sebuah Bimetal Element yang menjadi panas saat ampere beban sudah melebihi ampere settingan TOR. Disebut Thermal yaitu suhu, sama seperti kabel yang hanya mampu dilewati arus 5A tetapi bebanya 10A maka kabel tersebut akan panas. seperti halnya TOR ini prinsip kerjanya sama tetapi bedanya

ketika suhu tersebut terpenuhi maka akan menggerakkan sebuah coil untuk menutup atau membuka kontak yang ada di TOR tersebut.



Gambar 2.20 Simbol Thermal Overload Relay

Secara umum prinsip kerja dari rele thermal overload dapat dijelaskan menurut gambar berikut :



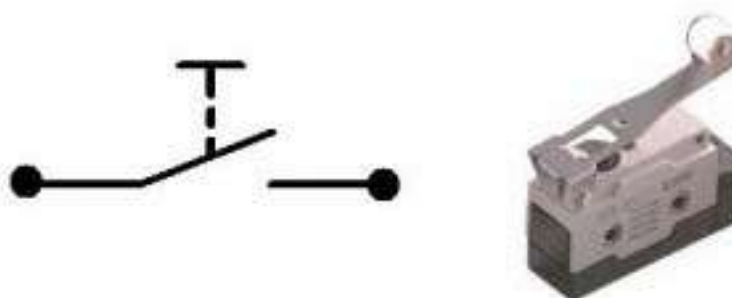
Gambar 2.21 Prinsip kerja rele thermal overload

Pada saat normal, arus sekunder (I_R, I_S, I_T) mengalir pada kumparan rele. Rele belum bekerja karena arus sekunder itu masih ada dibawah harga arus mula rele. Pada saat gangguan terjadi, misalnya pada phasa R maka arus sekunder I_R akan naik. Jika harga kenaikan ini melebihi batas (arus mula) dari rele maka rele pada phasa R akan bekerja untuk menggerakkan circuit breaker. Salah satu syarat dari kerja rele pengaman termasuk rele thermal overload lebih adalah cepat dan sensitive. Kecepatan berhubungan dengan waktu kerja rele. Semakin cepat rele bekerja semakin baik. Sensitivity berhubungan dengan ketelitian rele dalam

mengukur besaran yang diukur.

2.5.4 Limit Switch

Limit switch merupakan jenis saklar yang dilengkapi dengan katup yang berfungsi menggantikan tombol. Prinsip kerja Limit switch sama seperti saklar Push ON yaitu hanya akan menghubungkan pada saat katupnya ditekan pada batas penekanan tertentu yang telah ditentukan dan akan memutus saat katup tidak ditekan. Limit switch termasuk dalam kategori sensor mekanis yaitu sensor yang akan memberikan perubahan elektrik saat terjadi perubahan mekanik pada sensor tersebut. Penerapan dari limit switch adalah sebagai sensor posisi suatu benda (objek) yang bergerak.

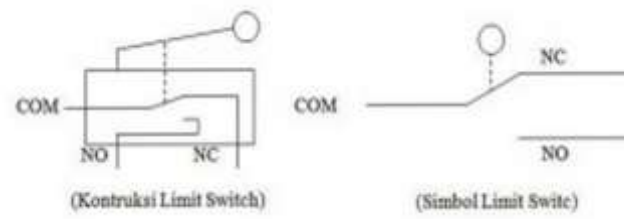


Gambar 2.22 Simbol dan Bentuk Limit Switch

Limit switch umumnya digunakan untuk :

- Memutuskan dan menghubungkan rangkaian menggunakan objek atau benda lain.
- Menghidupkan daya yang besar, dengan sarana yang kecil.
- Sebagai sensor posisi atau kondisi suatu objek.

Prinsip kerja limit switch diaktifkan dengan penekanan pada tombolnya pada batas/daerah yang telah ditentukan sebeumnya sehingga terjadi pemutusan atau penghubungan rangkaian tersebut. Limit switch memiliki 2 kontak yaitu NO (Normally Open) dan kontak NC (Normally Close) dimana salah satu kontak akan aktif jika tombolnya tertekan. Konstruksi dan symbol limit switch dapat dilihat seperti gambar berikut.



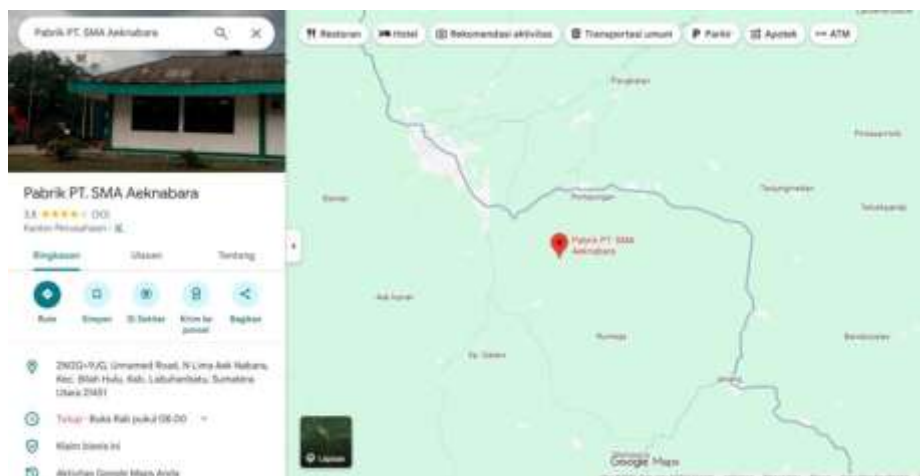
Gambar 2.23 Konstruksi dan Silbol Limit Switch

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di PMKS SUPRA MATRA ABADI (SMA) Aek Nabara Selatan Sumatera Utara.



3.2 Waktu Penelitian

Waktu pelaksanaan penelitian ini dilakukan dari bulan April 2025 sampai Agustus 2025. Dimulai dengan persetujuan proposal ini sampai selesai penelitian. Penelitian diawali dengan kajian awal (tinjauan pustaka), pengambilan data generator, perancangan program matlab, lalu analisa data, terakhir kesimpulan dan saran. Rincian dari penelitian ini seperti pada tabel berikut :

Tabel 3.1 Waktu Penelitian

No	Uraian	Bulan Ke-						
		1	2	3	4	5	6	7
1.	Kajian Literatur							
2.	Penyusunan Proposal Penelitian							
3.	Penulisan Bab 1 sampai Bab 3							
4.	Seminar Proposal Penelitian							
5.	Pengolahan Data							
6.	Seminar Hasil Penelitian							
7.	Sidang Akhir							

3.3 Data Penelitian

Adapun data yang diambil pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Spesifikasi Motor

Spesifikasi motor berisi data nameplate yang menjelaskan identitas dan rating utama motor, misalnya daya (kW atau HP), tegangan dan arus nominal, frekuensi, kecepatan nominal (rpm), jumlah kutub, cos phi, kelas isolasi, kelas duty, serta IP rating. Informasi ini digunakan untuk memastikan motor sesuai dengan kebutuhan beban dan sistem tenaga, serta menjadi dasar penentuan setting proteksi dan pemilihan metode starting.

2. Data Teknis Motor

Data teknis motor lebih rinci dari spesifikasi, mencakup parameter listrik dan mekanik yang diperlukan untuk perhitungan dan pemodelan, seperti impedansi atau tahanan–reaktansi stator dan rotor, slip nominal, torsi start dan torsi maksimum, arus start, efisiensi, kurva torsi–kecepatan, jenis konstruksi (squirrel cage atau wound rotor), serta data dimensi dan kelas material. Data ini biasanya diperoleh dari datasheet pabrik atau hasil pengujian, dan menjadi dasar analisis performa dan perhitungan rugi-rugi serta unjuk kerja motor dalam penelitian.

3. Sistem Starting Star-Delta yang digunakan

Sistem starting star- delta yang digunakan menjelaskan bagaimana motor dihubungkan ke jaringan saat start: pada awal pengasutan kumparan stator disusun dalam konfigurasi bintang (star) untuk menurunkan tegangan fasa sehingga arus start lebih kecil, kemudian setelah motor mencapai kecepatan tertentu kontaktor mengubah hubungan menjadi segitiga (delta) agar motor menerima tegangan penuh dan menghasilkan torsi serta daya nominal. Penjelasan sistem ini biasanya meliputi diagram rangkaian daya dan kontrol, jenis kontaktor dan relay yang dipakai, waktu perpindahan star- delta, serta pertimbangan teknis mengapa metode ini dipilih (misalnya untuk mengurangi drop tegangan jaringan dan membatasi arus start pada motor berdaya menengah–besar).

3.3.1 Spesifikasi Motor 18,5 kW FFB

Motor listrik merupakan komponen utama dalam sistem penggerak mesin pada pabrik kelapa sawit, khususnya pada unit pengolahan tandan buah segar (FFB). Motor berfungsi sebagai pengubah energi listrik menjadi energi mekanik yang digunakan untuk menggerakkan peralatan seperti conveyor, screw press, pompa, dan alat bantu produksi lainnya. Pada proses pengolahan FFB, motor listrik dituntut memiliki kinerja yang andal karena beroperasi secara terus-menerus dengan beban yang cukup berat. Oleh karena itu, pemilihan motor dengan kapasitas dan spesifikasi yang sesuai sangat penting agar dapat memberikan performa optimal sekaligus efisiensi energi yang baik. Motor dengan kapasitas 18,5 kW banyak digunakan di pabrik kelapa sawit karena memiliki daya yang cukup besar untuk mendukung sistem penggerak utama, serta kompatibel dengan sistem starting star-delta yang mampu mengurangi lonjakan arus saat motor dinyalakan. Adapun spesifikasi teknis motor FFB berkapasitas 18,5 kW dapat dilihat sebagai berikut :

Tabel 3.2 Spesifikasi Motor 18,5 Kw FFB

Parameter	Satuan	Nilai	Keterangan
Daya Motor (P)	kW	18,5	Rated Power
Tegangan (V)	Volt	400	Tegangan kerja
Faktor Daya (pf)	-	0,85	Cos ϕ

Efisiensi (η)	-	0,94	Efficiency
Full Load Current (FLC)	Ampere	≈ 34	Arus nominal motor
MCCB	Ampere	50–63	Proteksi utama
Thermal Overload Relay	Ampere	19–20	Setting proteksi
Kabel Utama	mm ²	16	Cu, panel ke starter
Kabel Motor	mm ²	4	Cu, 6 lead motor

1.3.2 Data Teknis Motor

Sebelum dilakukan analisis terhadap kinerja dan gangguan pada motor FFB berkapasitas 18,5 kW, perlu diketahui terlebih dahulu data teknis dari motor yang digunakan. Data teknis ini berfungsi sebagai acuan dalam memahami karakteristik kerja motor, mulai dari daya, arus, tegangan, hingga sistem proteksi dan pendinginannya. Informasi tersebut juga penting untuk menentukan apakah motor telah beroperasi sesuai dengan spesifikasi pabrikan atau terjadi penyimpangan yang dapat menyebabkan gangguan. Pada pabrik kelapa sawit, motor jenis induksi tiga fasa umumnya dipilih karena memiliki konstruksi yang kuat, efisiensi tinggi, serta mampu bekerja secara kontinu dengan tingkat keandalan yang baik. Motor kapasitas 18,5 kW ini digunakan sebagai penggerak utama dalam proses pengolahan tandan buah segar (FFB), seperti pada conveyor, screw press, atau unit penggerak pompa. Dengan memahami spesifikasi teknisnya, analisis penyebab gangguan maupun strategi penanganan dapat dilakukan secara lebih akurat dan terarah. Adapun data teknis motor FFB kapasitas 18,5 kW dapat dilihat pada tabel berikut.

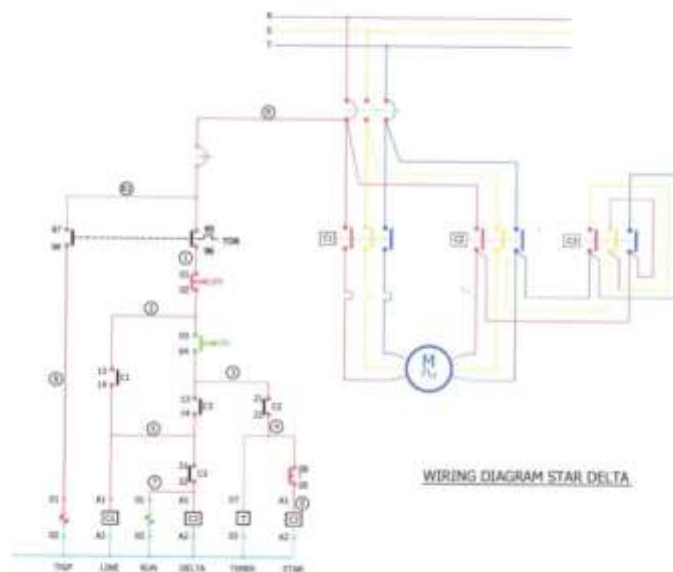
Tabel 3.3 Data Teknis Motor FFB 18,5 kW

No	Parameter Teknis	Spesifikasi	Keterangan
1	Jenis Motor	Induksi Tiga Fasa (Three Phase Induction Motor)	Umum digunakan di industri sawit
2	Daya Nominal	18,5 kW (25 HP)	Kapasitas sesuai kebutuhan penggerak FFB
3	Tegangan Kerja	380 – 400 Volt AC	Sistem distribusi standar industri
4	Frekuensi	50 Hz	Sesuai standar PLN Indonesia

5	Arus Nominal	$\pm 34 - 36$ Ampere	Arus kerja normal pada beban penuh
6	Kecepatan Putar	1.470 rpm	4 pole motor, sinkron 1.500 rpm
7	Faktor Daya (Power Factor)	0,85 – 0,9	Menunjukkan efisiensi penggunaan daya
8	Efisiensi	$\geq 90\%$ (IE2/IE3)	Motor hemat energi kelas industri
9	Sistem Starting	Star – Delta Starter	Mengurangi arus start hingga 1/3 DOL
10	Kelas Isolasi	Kelas F (155°C)	Tahan panas, cocok untuk beban berat
11	Kelas Proteksi	IP55	Tahan debu dan percikan air
12	Duty Type	S1 – Continuous Duty	Dapat beroperasi terus-menerus
13	Torsi Awal	$\pm 150\%$ dari torsi nominal	Mampu menggerakkan beban awal berat
14	Bahan Rangka	Besi Cor (Cast Iron)	Kokoh, tahan getaran, dan kuat
15	Sistem Pendinginan	Fan Cooled (IC411)	Pendinginan dengan kipas eksternal
16	Diameter Poros	± 42 mm	Tergantung desain dan pabrikan
17	Tipe Pemasangan	Foot Mounted (B3)	Mudah dipasang pada pondasi motor
18	Berat Motor	$\pm 180 - 200$ kg	Sesuai tipe dan merek motor
19	Suhu Operasi Maksimal	80 – 90°C (normal)	Aman untuk operasi jangka panjang
20	Pabrikan Umum	Siemens, ABB, WEG, TECO	Merek industri yang umum digunakan

1.3.3 Rangkaian Starting Star-Delta yang Digunakan

One line diagra motor FFB menggambarkan rangkaian segaris mulai dari rangkaian daya start-delta pada motor serta rangkaian kontrol yang ada pada motor. Adapun rangkaian yang digunakan pada motor FFB ini adalah sebagai berikut :



Gambar 3.1 Rangkaian Wiring Motor FFB

Rangkaian Star-Delta pada diagram ini digunakan untuk mengontrol motor tiga fasa yang biasanya digunakan pada sistem conveyor. Motor ini dirancang agar dapat beroperasi dalam dua tahap: star (bintang) dan delta. Penggunaan metode ini bertujuan untuk mengurangi arus start yang besar pada saat motor pertama kali dihidupkan. Berikut adalah penjelasan mengenai rangkaian dan cara kerjanya:

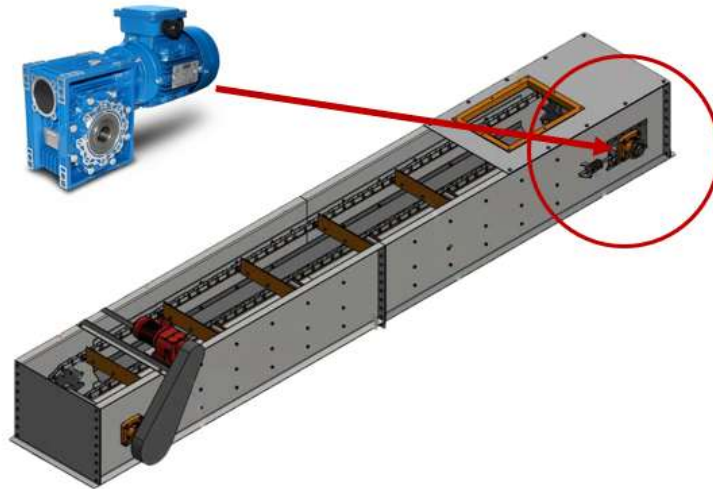
- 1) Rangkaian ini terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu kontaktor (K1, K2, K3), timer (C1), sekering (F1), switch (T1, T2), serta relay untuk mengatur urutan pengoperasian motor. Di sisi rangkaian listrik, terdapat terminal untuk fasa R, S, T yang terhubung dengan motor, dan juga ada beberapa kontak yang terhubung ke setiap fasa pada motor (C1, C2, dan C3).
- 2) Pada awalnya, motor akan dijalankan dalam konfigurasi star. Pada mode ini, motor mendapatkan tegangan lebih rendah (sekitar 58% dari tegangan nominalnya), yang mengurangi beban arus start yang tinggi. Dalam tahap ini, kontak C1 dan C2 akan terhubung sesuai dengan fasa motor yang dipilih. Setelah motor berjalan selama beberapa detik (sesuai waktu yang diatur oleh timer C1), rangkaian akan mengubah konfigurasi menjadi delta. Dalam konfigurasi delta, motor akan memperoleh tegangan penuh dan

beroperasi pada kapasitas normalnya. Timer mengatur berapa lama motor tetap dalam kondisi star sebelum beralih ke delta.

- 3) Rangkaian ini dilengkapi dengan kontaktor pengaman dan sekring untuk menghindari kerusakan akibat arus lebih atau gangguan lainnya. Pada panel kontrol terdapat tombol ON/OFF untuk menghidupkan dan mematikan motor, serta indikator lampu untuk menunjukkan status motor (apakah dalam kondisi run atau trip). Kontaktor K1, K2, dan K3 berfungsi untuk menghubungkan dan memutuskan sambungan antara motor dan sumber listrik sesuai dengan mode star atau delta. Kontaktor ini dikendalikan oleh relay yang berfungsi untuk mengatur urutan pengoperasian motor serta untuk mengamankan sistem dari gangguan yang tidak diinginkan.
- 4) Salah satu bagian penting dari rangkaian ini adalah timer yang mengatur waktu antara transisi dari mode star ke mode delta. Waktu yang ditetapkan pada timer memungkinkan motor berjalan dalam mode star untuk periode tertentu sebelum transisi ke mode delta terjadi. Hal ini penting untuk menghindari lonjakan arus yang berlebihan saat motor beroperasi pada beban penuh
- 5) Pada aplikasi conveyor, pengaturan motor menggunakan rangkaian star-delta ini sangat efektif, karena conveyor biasanya memulai dengan beban yang ringan, dan perlahan bertambah saat material bergerak. Menggunakan metode star-delta mengurangi kemungkinan terjadinya kerusakan pada motor akibat arus start yang terlalu besar. Secara keseluruhan, rangkaian start-delta ini sangat efisien dalam mengatur motor tiga fasa pada conveyor, memberikan kontrol yang tepat, serta meningkatkan umur motor dengan mengurangi risiko kerusakan akibat lonjakan arus start.

1.4 Konfigurasi Conveyor FFB dan Posisi Motor Penggerak

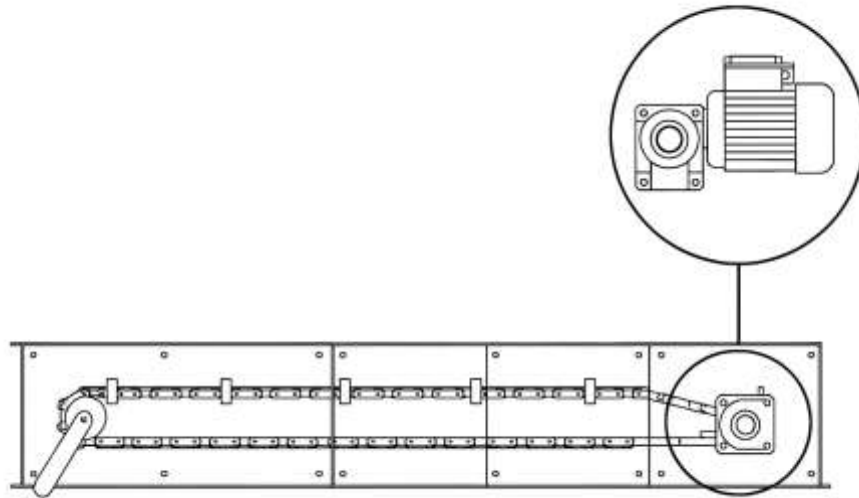
Gambar 3D motor pada conveyor FFB ini menampilkan bentuk conveyor yang akan digerakkan oleh motor FFB dan menunjukkan posisi letak motor pada bagian conveyor.



Gambar 3.2 Conveyor dan Posisi Motor

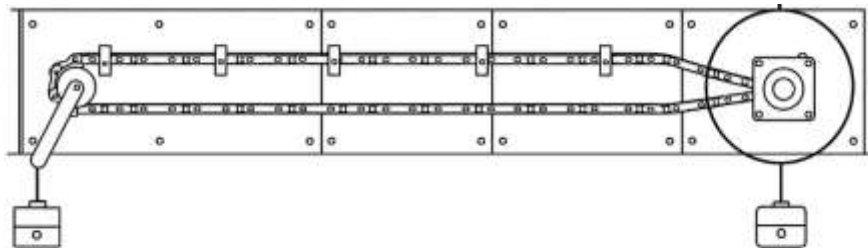
Gambar 3.6 menunjukkan konfigurasi sistem conveyor FFB (Fresh Fruit Bunch) beserta posisi motor penggerak yang digunakan dalam proses pemindahan material. Adapun bagian-bagian utama yang ditunjukkan pada gambar tersebut adalah sebagai berikut:

1. Unit Konveyor
 - a. Struktur berbentuk kotak memanjang
 - b. Di dalamnya terdapat rantai yang terhubung dengan scraper (bilah pendorong) untuk mengangkat material sepanjang jalur konveyor.
 - c. Terdapat beberapa titik penyangga dan pengarah rantai.
2. Motor Penggerak
 - a. Gambar 3.2 tersebut memperlihatkan posisi motor dan gearbox pada conveyor.
 - b. Motor ini adalah motor listrik dengan gearbox worm yang berfungsi untuk menggerakkan rantai konveyor
 - c. Motor disambungkan dengan poros penggerak (shaft) yang menggerakkan rantai dari sisi tersebut



Gambar 3.3 Conveyor dan Motor FFB 2D

Motor listrik yang ditunjukkan berfungsi sebagai penggerak utama rantai konveyor, dan dipasang pada ujung belakang sistem. Energi dari motor ditransmisikan melalui gearbox ke rantai untuk menggerakkan material sepanjang konveyor.



Gambar 3.4 Limit Switch Pada Conveyor

Limit switch pada sistem conveyor memiliki peranan yang sangat penting sebagai salah satu perangkat proteksi motor dan keselamatan mekanis. Perangkat ini biasanya dipasang di kedua ujung conveyor untuk mendeteksi posisi akhir dari pergerakan rantai, belt, atau benda kerja yang sedang diangkut. Pada kondisi operasi normal, limit switch berada pada posisi tidak tertekan sehingga aliran listrik menuju motor tetap terhubung dan motor dapat bekerja secara kontinu. Ketika conveyor beroperasi dan objek yang bergerak mencapai ujung lintasan, maka tuas atau roller pada limit switch akan tertekan oleh bagian mekanis conveyor atau stopper yang telah dirancang. Penekanan ini akan memutuskan

rangkaian kendali motor, baik melalui kontaktor, relay, maupun sistem PLC, sehingga motor berhenti berputar secara otomatis.

Fungsi proteksi ini sangat penting karena tanpa limit switch, motor berisiko terus berputar meskipun mekanisme conveyor sudah mencapai batasnya, yang dapat menyebabkan beban berlebih, overcurrent, dan panas berlebih pada motor. Selain itu, jika motor tetap beroperasi, komponen mekanik seperti gear reducer, sproket, dan rantai conveyor akan mengalami tekanan berlebih sehingga menimbulkan keausan cepat atau bahkan kerusakan fatal. Dengan adanya limit switch, risiko over-travel dapat dihilangkan, motor terlindungi dari kondisi overload, dan umur peralatan mekanis dapat diperpanjang.

Selain sebagai proteksi otomatis, limit switch juga mendukung aspek keselamatan kerja (safety) dalam industri. Ketika terjadi situasi darurat atau benda kerja tersangkut di ujung conveyor, limit switch akan secara otomatis menghentikan pergerakan untuk mencegah kecelakaan atau kerusakan lebih lanjut. Dalam beberapa sistem modern, sinyal dari limit switch bahkan diintegrasikan dengan alarm atau indikator panel untuk memberikan peringatan kepada operator bahwa conveyor telah mencapai posisi akhir. Dengan demikian, limit switch tidak hanya melindungi motor dan mekanisme conveyor, tetapi juga meningkatkan keandalan sistem serta keamanan proses produksi secara keseluruhan.

1.5 Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data dalam penelitian ini difokuskan pada pengambilan data gangguan yang terjadi saat proses starting dan saat motor induksi Fresh Fruit Bunch (FFB) beroperasi secara normal (running). Secara umum, metode yang digunakan dapat dirumuskan ulang sebagai berikut.

- a. Melakukan observasi lapangan pada sistem penggerak FFB untuk mengidentifikasi kondisi instalasi motor induksi, sistem starting star-delta (jika digunakan), serta peralatan proteksi yang terpasang. Observasi ini bertujuan memetakan titik-titik potensial terjadinya gangguan baik pada saat pengasutan maupun saat motor berjalan.
- b. Melakukan pengukuran dan pencatatan data elektrik motor pada saat starting dan saat motor mencapai kondisi steady state, seperti arus tiap fasa, tegangan,

daya, faktor daya. Pengukuran dilakukan berulang pada beberapa siklus starting dan operasi untuk memperoleh data gangguan yang representatif, misalnya lonjakan arus, ketidakseimbangan fasa, atau fluktuasi tegangan.

- c. Mengumpulkan data terkait kerja sistem proteksi, khususnya limit switch dan perangkat proteksi lainnya, meliputi posisi pemasangan, kondisi fisik, fungsi proteksi, serta responnya terhadap gangguan saat starting maupun saat motor berjalan. Pada tahap ini juga dicatat kejadian trip, alarm, atau interlock yang muncul selama pengujian.
- d. Menganalisis data hasil pengukuran dan observasi untuk menentukan jenis dan penyebab gangguan yang terjadi pada motor induksi FFB, baik yang muncul sesaat ketika starting maupun yang terjadi selama operasi kontinu. Analisis dilakukan dengan membandingkan data aktual dengan nilai nominal nameplate dan kajian teoritis, misalnya batas arus start, batas kenaikan suhu, serta standar ketidakseimbangan fasa yang diizinkan.
- e. Menyusun perhitungan pendukung untuk memverifikasi kesesuaian hasil pengukuran di lapangan dengan model teoritis. Hasil simulasi digunakan untuk menguatkan identifikasi gangguan dan mengevaluasi efektivitas sistem proteksi yang ada.

Berdasarkan hasil analisis dan perbandingan dengan teori, menyusun kesimpulan mengenai kelayakan operasi motor induksi FFB, termasuk rekomendasi perbaikan atau penyesuaian agar motor dapat beroperasi dengan aman dan andal.

1.6 Data Penelitian

Adapun data penelitian yang diambil pada penelitian yang dilakukan ini adalah sebagai berikut :

a. Data Kerja Motor

Data ini menggambarkan bagaimana motor dipakai dalam proses produksi, meliputi: jenis beban yang digerakkan (misalnya conveyor, screw press, pompa FFB), karakteristik beban (beban konstan atau berubah- ubah, beban berat saat start), kecepatan putar kerja (rpm aktual dibandingkan rpm nominal), durasi operasi per siklus (jam/hari), pola operasi (kontinu, intermiten, sering

start- stop), serta kondisi lingkungan kerja (suhu ruang, kelembapan, adanya debu, uap, atau getaran dari mesin lain). Dari data ini dapat dinilai apakah pola kerja dan lingkungan cenderung mempercepat keausan atau gangguan motor.

b. Nilai Kelistrikan Motor

Data ini berisi parameter listrik yang diukur dan/atau diambil dari nameplate, antara lain: tegangan suplai tiap fasa (V), arus tiap fasa pada kondisi tanpa beban, saat starting, dan saat beban penuh (A), daya aktif (kW) dan daya semu (kVA), faktor daya ($\cos \phi$), frekuensi sistem (Hz), slip (selisih antara kecepatan sinkron dan kecepatan aktual), serta efisiensi bila perhitungan memungkinkan. Termasuk pula data nameplate seperti tegangan dan arus nominal, daya terpasang, jumlah kutub, kelas isolasi, dan kelas duty. Nilai- nilai ini digunakan sebagai acuan untuk menilai apakah motor bekerja dalam batas aman atau sudah melampaui spesifikasi

c. Data Gangguan Saat Starting

Data ini fokus pada kondisi tidak normal yang muncul selama beberapa detik pertama ketika motor dihidupkan, misalnya: nilai puncak arus start tiap fasa dan lamanya waktu arus start tinggi; besar penurunan tegangan (voltage drop) di sisi suplai saat start; ketidakseimbangan arus antar fasa (persentase unbalance); kejadian motor gagal mencapai kecepatan nominal(stall) atau start terlalu lama; bunyi mendengung berlebihan, getaran besar, atau poros sulit berputar; serta respon perangkat proteksi (apakah overload, MCB, atau relay fasa pernah trip saat start). Untuk sistem star- delta, dapat dicatat pula momen perpindahan dari star ke delta, apakah timbul hentakan torsi, arus lonjak kedua, atau trip proteksi saat perpindahan.

d. Data Gangguan Saat Motor Berjalan

Data ini mencakup semua gejala abnormal setelah motor berada pada kecepatan kerja, antara lain: arus fasa yang tidak seimbang atau salah satu fasa selalu lebih tinggi dari nominal; kenaikan suhu body motor dan bearing yang melebihi batas (misalnya hasil pengukuran dengan termometer atau sensor suhu); fluktuasi tegangan suplai selama operasi; perubahan suara (berdengung, berdecit) dan getaran berlebih yang terukur dengan vibrometer atau dirasakan secara fisik; penurunan kecepatan putar pada beban yang seharusnya konstan;

kejadian trip overload relay, proteksi suhu, atau proteksi fasa ketika beban dianggap normal; serta kondisi visual seperti perubahan warna isolasi, bau terbakar, atau kebocoran pelumas pada bearing. Data ini memungkinkan analisis lebih detail terhadap kemungkinan kerusakan belitan stator/rotor, masalah bearing, misalignment, unbalance beban, maupun setting proteksi yang kurang tepat.

3.6 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.5 Diagram Alir Penelitian

Adapun proses alir penelitian ini adalah sebagai berikut :

Dari diagram alir pada 3.1 dapat dijelaskan tahap – tahap penelitian, adapun tahap penelitian berdasarkan diagram alir penelitian adalah sebagai berikut :

1. Flowchart penelitian dimulai dari tahap Mulai, yaitu titik awal yang menandai bahwa proses analisis telah dimulai. Pada bagian ini ditetapkan terlebih dahulu tujuan penelitian serta ruang lingkup permasalahan yang akan dikaji. Tahap ini menjadi fondasi agar penelitian berjalan dengan arah yang jelas dan terstruktur.
2. Tahapan berikutnya adalah Identifikasi Masalah. Pada tahap ini dilakukan pencatatan permasalahan nyata yang terjadi di lapangan. Masalah utama yang ditemukan adalah adanya beban pengangkatan berlebih pada motor conveyor FFB, motor yang sering mengalami trip saat beroperasi, serta risiko gangguan terhadap proses produksi akibat berhentinya conveyor. Identifikasi masalah ini penting dilakukan agar fokus penelitian tetap terarah pada kondisi yang benar-benar memengaruhi kinerja motor.
3. Setelah masalah diidentifikasi, penelitian dilanjutkan dengan Studi Literatur. Studi literatur dilakukan dengan mengumpulkan teori dan referensi terkait yang mendukung analisis. Beberapa kajian penting di antaranya adalah pemahaman mengenai konsep motor induksi, pengetahuan mengenai jenis-jenis gangguan yang umumnya terjadi pada motor, serta konsep dasar motor FFB sebagai penggerak conveyor di pabrik kelapa sawit. Tahap ini memberikan dasar teori yang kuat untuk membandingkan data lapangan dengan teori yang ada.
4. Selanjutnya masuk ke tahap Pengumpulan Data. Pada bagian ini dikumpulkan data kerja motor baik saat proses starting maupun ketika motor sudah beroperasi normal. Data saat starting meliputi besarnya arus inrush, kestabilan tegangan, dan durasi transisi star-delta. Sedangkan data saat beroperasi normal berisi arus beban, tegangan antar fasa, serta kondisi motor selama menjalankan beban kerja. Data-data ini menjadi bahan utama yang akan diolah pada tahap berikutnya.
5. Tahap berikut adalah Pengolahan Data, yaitu proses mengubah data mentah menjadi informasi yang lebih terstruktur. Data arus dan tegangan saat starting

digambarkan dalam bentuk tabel atau grafik untuk melihat pola lonjakan arus dan kestabilan tegangan. Sementara itu, data arus dan tegangan motor saat kondisi normal dibandingkan dengan standar yang ada pada nameplate motor. Dari hasil olahan ini, dapat ditentukan indikasi awal penyebab motor trip, baik karena overload, ketidakseimbangan fasa, maupun kesalahan pada sistem proteksi.

6. Setelah data diolah, langkah berikutnya adalah Analisis Data. Analisis ini bertujuan untuk menelusuri penyebab motor conveyor FFB mengalami trip baik saat starting maupun ketika berjalan normal. Misalnya, apabila arus starting terlalu tinggi, hal ini menunjukkan torsi awal star-delta tidak cukup untuk menggerakkan beban yang berat. Jika motor mengalami trip saat berjalan normal, maka kemungkinan disebabkan arus beban yang melebihi kapasitas, ketidakseimbangan tegangan antar fasa, atau adanya gangguan mekanis pada conveyor. Analisis ini menghubungkan antara teori hasil studi literatur dengan data yang diperoleh di lapangan.
7. Flowchart kemudian mengarahkan pada tahap Keputusan, yaitu pertanyaan apakah penyebab gangguan motor sudah berhasil diperoleh. Jika jawabannya belum, maka proses kembali ke tahap sebelumnya, yakni pengumpulan dan pengolahan data, untuk mencari data tambahan atau memperbaiki metode pengukuran. Namun, jika jawabannya ya, maka penelitian dapat dilanjutkan ke tahap berikutnya untuk menyusun hasil akhir.
8. Tahap selanjutnya adalah Hasil dan Kesimpulan. Pada bagian ini peneliti merangkum penyebab utama terjadinya trip pada motor conveyor FFB beserta bukti data yang mendukung. Selain itu, disusun pula rekomendasi teknis untuk meminimalisir gangguan, misalnya dengan mengatur ulang timer star-delta, memperbaiki setelan proteksi overload, melakukan perawatan kontaktor dan kabel, atau bahkan mempertimbangkan penggunaan metode starting yang lebih modern seperti soft starter atau inverter.
9. Akhir dari alur penelitian ditutup dengan tahap Selesai, yang menandakan bahwa proses analisis telah tuntas. Semua hasil dan kesimpulan sudah diperoleh, dan rekomendasi perbaikan sudah siap untuk diterapkan guna meningkatkan keandalan motor conveyor FFB pada kapasitas 18,5 kW.

BAB 4

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Deskripsi Motor dan Sistem Star-Delta

Motor listrik induksi tiga fasa merupakan salah satu komponen utama dalam proses pengolahan tandan buah segar (Fresh Fruit Bunch/FFB) pada Pabrik Kelapa Sawit (PKS). Motor berkapasitas 18,5 kW digunakan untuk menggerakkan mesin tertentu pada proses pengolahan. Sistem pengasutan yang digunakan adalah star-delta (Y- Δ). Metode ini dipilih karena dapat menurunkan arus start hingga sekitar 1/3 dari arus nominal Direct On Line (DOL). Dengan demikian, beban listrik pada jaringan tidak terlalu berat ketika motor pertama kali dihidupkan.

Namun, kelemahan metode ini adalah torsi awal yang dihasilkan hanya sekitar 25–30% dari torsi penuh, sehingga pada beban mekanis berat sering menimbulkan masalah berupa kegagalan start. Oleh karena itu, diperlukan analisis lebih lanjut mengenai kinerja dan gangguan yang terjadi pada sistem ini.

4.2 Perhitungan Full Load Current (FLC) dan Proteksi

Full Load Current (FLC) merupakan arus nominal motor listrik pada kondisi beban penuh. Nilai FLC sangat penting dalam perencanaan sistem kelistrikan karena digunakan sebagai dasar dalam penentuan ukuran penghantar, pemilihan pengaman seperti MCB/MCCB, serta pengaturan overload relay guna melindungi motor dari kerusakan akibat arus lebih.

Motor yang dianalisis merupakan motor induksi tiga fasa dengan daya terpasang sebesar 18,5 kW yang dioperasikan pada tegangan 400 V. Adapun data teknis motor yang digunakan dalam perhitungan adalah sebagai berikut:

1. Daya motor (P) = 18,5 kW
2. Tegangan kerja (V) = 400 V
3. Faktor daya ($\cos \varphi$) = 0,85
4. Efisiensi (η) = 0,94

Perhitungan Full Load Current (FLC) untuk motor induksi tiga fasa dilakukan

$$I = \frac{P \times 1000}{\sqrt{3} \times V \times \cos \varphi \times \eta}$$

menggunakan persamaan berikut:

Dengan memasukkan nilai parameter motor ke dalam persamaan tersebut, diperoleh:

$$I = \frac{18,5 \times 1000}{1,732 \times 400 \times 0,85 \times 0,94}$$

$$I = \frac{18.500}{553,4}$$

$$I = 33,4 \text{ A}$$

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, dapat disimpulkan bahwa nilai Full Load Current (FLC) motor induksi tiga fasa berdaya 18,5 kW adalah sebesar 33,4 A.

Nilai FLC ini selanjutnya digunakan sebagai acuan dalam penentuan sistem proteksi motor. Pengaturan overload relay umumnya disesuaikan sebesar 100% hingga 110% dari nilai arus nominal motor. Dengan demikian, setting arus overload relay pada motor ini ditentukan sebagai berikut:

$$I_{OLR} = 1,05 \times 33,4 = 35,1 \text{ A}$$

Sehingga nilai pengaturan overload relay yang digunakan berada pada kisaran 34 A hingga 36 A. Untuk pengaman terhadap gangguan hubung singkat dan arus lebih, digunakan MCB atau MCCB dengan kapasitas arus sekitar 125% hingga 150% dari nilai FLC. Berdasarkan perhitungan, kapasitas arus pengaman yang sesuai adalah:

$$I_{MCCB} = 1,25 \times 33,4 = 41,75 \text{ A}$$

Dengan demikian, MCCB yang dipilih untuk sistem ini adalah MCCB dengan rating arus 50 A. Selain itu, pemilihan kontaktor disesuaikan dengan arus kerja motor, yaitu minimal sama atau lebih besar dari nilai FLC. Oleh karena itu, kontaktor yang digunakan memiliki kapasitas arus kerja sebesar 40 A hingga 50 A pada kategori pemakaian AC-3.

Berdasarkan hasil perhitungan dan penentuan proteksi tersebut, dapat disimpulkan bahwa sistem proteksi yang dirancang telah memenuhi persyaratan teknis untuk pengoperasian motor induksi tiga fasa 18,5 kW dengan metode pengasutan star-delta, sehingga mampu melindungi motor dari gangguan arus lebih maupun hubung singkat secara efektif.

Tabel 4.1 Spesifikasi Motor Conveyor FFB

No	Parameter	Simbol	Nilai	Satuan	Keterangan
1	Daya motor	P	18,5	kW	Daya terpasang motor induksi
2	Tegangan kerja	V	400	Volt	Tegangan sistem tiga fasa
3	Faktor daya	$\cos \phi$	0,85	–	Sesuai data motor
4	Efisiensi motor	η	0,94	–	Efisiensi pada beban penuh
5	Full Load Current	IFLC	33,4	Amper	Hasil perhitungan
6	Setting Overload Relay	IOLR	34 – 36	Amper	100–110% dari FLC
7	Kapasitas MCCB	IMCCB	50	Amper	± 125 – 150% dari FLC
8	Kapasitas Kontaktor	IK	40 – 50	Amper	Kategori AC-3
9	Metode pengasutan	–	Star–Delta	–	Untuk menurunkan arus start

4.3 Identifikasi Gangguan

Berdasarkan pengamatan di PMKS Supra Matra Abadi Aek Nabara Selatan, terdapat beberapa gangguan umum yang dialami motor 18,5 kW dengan starter star delta yaitu :

Table 4.2 Identifikasi Gangguan Pada Motor Conveyor FFB

No	Jenis Gangguan	Kondisi Terjadi	Indikasi Gangguan	Dampak Terhadap Sistem
1	Motor trip saat starting	Saat motor pertama kali dihidupkan	Arus starting tinggi, tegangan drop	Motor tidak dapat beroperasi, conveyor berhenti
2	Motor trip saat operasi normal	Saat motor sudah berjalan	Arus melebihi arus nominal	Proses pemindahan FFB terganggu
3	Arus tidak stabil	Starting dan operasi normal	Fluktuasi arus motor	Sistem proteksi sering aktif
4	Beban mekanis berlebih	Saat conveyor membawa muatan	Torsi motor meningkat	Kinerja motor menurun
5	Sistem starting star-delta tidak optimal	Proses perpindahan star ke delta	Perpindahan tidak sempurna	Motor mengalami trip

Dari table 4.2 dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Terjadi gagal starting motor

Gagal starting merupakan kondisi ketika motor conveyor FFB tidak mampu mencapai kecepatan nominal pada saat proses starting. Berdasarkan hasil pengamatan dan data operasional di lapangan, kejadian gagal starting ini terjadi beberapa kali dalam satu tahun, sehingga berpotensi mengganggu kontinuitas proses produksi. Kondisi tersebut umumnya disebabkan oleh arus starting yang melebihi batas yang diizinkan, terjadinya penurunan tegangan (voltage drop), atau beban awal conveyor yang terlalu besar. Pada sistem starting star-delta, kegagalan starting juga dapat terjadi akibat perpindahan rangkaian dari kondisi star ke delta yang tidak berlangsung secara optimal, sehingga torsi motor menjadi tidak mencukupi untuk melanjutkan putaran. Akibat kondisi tersebut, sistem proteksi bekerja dan menyebabkan motor mengalami trip sebelum conveyor dapat beroperasi secara normal. Kondisi gagal starting ini mengharuskan dilakukan reset sistem proteksi serta penanganan ulang oleh operator sebelum motor dapat dioperasikan kembali.

2. Motor trip saat sedang beroperasi

Pada saat motor conveyor FFB beroperasi dalam kondisi normal, motor bekerja dengan menerima beban dari rangkaian rantai conveyor yang berfungsi untuk memindahkan TBS (Fresh Fruit Bunch). Apabila terjadi kondisi operasi yang tidak normal, seperti kenaikan arus yang melampaui arus nominal, beban mekanis yang berlebihan, atau penurunan tegangan suplai, maka sistem proteksi motor akan aktif. Sistem proteksi tersebut berupa thermal overload relay (TOR) dan relay pengaman arus lebih yang berfungsi untuk melindungi motor dari kerusakan. Aktivasi sistem proteksi ini menyebabkan suplai listrik ke motor terputus secara otomatis sehingga motor berhenti beroperasi secara tiba-tiba (trip) dan proses pemindahan FFB terhenti. Berdasarkan hasil pengamatan dan data operasional di lapangan, kejadian trip pada saat motor beroperasi normal terjadi beberapa kali dalam satu tahun, yang berdampak pada terhentinya sementara alur produksi hingga dilakukan reset sistem proteksi serta pemeriksaan dan penanganan terhadap penyebab gangguan sebelum motor dapat dioperasikan kembali.

4.4 Analisis Data dan Pembahasan

Analisis data dan pembahasan dalam penelitian “Analisis Gangguan pada Motor FFB 18,5 kW dengan Rangkaian Star-Delta” berfungsi untuk mengolah seluruh data hasil pengukuran dan observasi, kemudian menafsirkannya berdasarkan teori motor induksi dan sistem starting star-delta. Pada tahap ini, data kerja motor, nilai kelistrikan, serta data gangguan saat starting dan saat motor berjalan disusun dalam bentuk tabel atau grafik, lalu dibandingkan dengan data nameplate, standar yang berlaku, dan karakteristik teoritis motor induksi tiga fasa.

Analisis data biasanya mencakup perhitungan besarnya arus start, persentase penurunan tegangan saat starting, slip dan kecepatan motor, ketidakseimbangan arus antar fasa, serta kenaikan suhu atau indikasi lain dari gangguan listrik maupun mekanik. Dari perhitungan tersebut diidentifikasi jenis gangguan yang terjadi, misalnya over-current, unbalance, overheating, atau kinerja rangkaian star-delta yang kurang tepat (misalnya waktu perpindahan star–delta terlalu cepat atau terlalu lama).

Bagian pembahasan kemudian menghubungkan hasil analisis dengan kondisi nyata di lapangan, seperti kualitas instalasi, kapasitas kabel dan pengaman, kondisi limit switch dan proteksi lain, serta pola operasi motor di PMKS Supra Matra Abadi. Di sini dijelaskan sebab–akibat: mengapa gangguan tertentu muncul, apa hubungannya dengan metode pengasutan star-delta, dan apa dampaknya terhadap umur serta keandalan motor FFB. Pembahasan juga memuat evaluasi apakah motor masih bekerja dalam batas aman atau sudah melampaui spesifikasi, lalu diakhiri dengan usulan perbaikan atau rekomendasi teknis yang menjadi dasar untuk bagian kesimpulan dan saran penelitian.

4.4.1 Analisis Gangguan Akibat Motor Gagal Starting

Salah satu gangguan yang paling sering terjadi pada motor penggerak conveyor tandan buah segar (FFB) di Pabrik Kelapa Sawit adalah gagal starting. Kondisi ini umumnya muncul pada motor yang menggunakan metode starting star–delta, di mana torsi awal yang dihasilkan hanya sekitar 30% dari torsi penuh motor. Pada saat beban awal conveyor terlalu berat, misalnya akibat adanya penumpukan tandan buah segar di area inlet, motor tidak mampu menghasilkan

gaya putar yang cukup untuk menggerakkan sistem. Akibatnya, motor hanya bergetar atau berputar dengan kecepatan yang sangat rendah tanpa mampu mencapai putaran nominal.

Fenomena gagal starting ini bukan hanya mengganggu proses produksi, tetapi juga berpotensi menyebabkan timbulnya arus start yang tinggi dalam jangka waktu lama. Jika kondisi ini terus berlangsung, maka proteksi overload akan bekerja untuk memutus arus ke motor sehingga sistem trip secara otomatis. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis lebih lanjut mengenai faktor penyebab terjadinya gagal starting, baik dari sisi beban mekanis pada conveyor maupun dari sisi karakteristik starting motor.

Analisis ini bertujuan untuk memberikan gambaran menyeluruh tentang kondisi lapangan yang memicu terjadinya gagal starting serta menentukan apakah gangguan tersebut berasal dari faktor desain, pengoperasian, atau perawatan sistem. Dengan demikian, solusi yang tepat dapat ditetapkan untuk meminimalisir gangguan dan menjaga kontinuitas operasi conveyor pada proses pengolahan tandan buah segar.

Dari hasil survey dan wawancara kepada operator pada lokasi penelitian, motor conveyor FFB dengan kapasitas 18,5 W (25 HP) dapat mengangkat kurang lebih 6 – 8 ton setiap jamnya dengan estimasi tandan sawit yaitu 15 – 25 kg/tandan. Maka dalam satu flight/paddle (sekatan) pada chain/belt conveyor FFB, maka besarnya muatan per angkat bisa diperkirakan dari kapasitas per jam dan jumlah flight per menit:

$$\text{Muatan per angkat (kg)} = (\text{Kapasitas (kg/jam)}) / (\text{Flight per jam})$$

Maka :

- a. 6 Ton/jam = 6000 / 12 = 500 kg per angkat
- b. 7 Ton/jam = 7000 / 12 = 583 kg per angkat
- c. 8 Ton/jam = 8000 / 12 = 666 kg per angkat

Dari hasil perhitungan muatan per angkat (kg) dalam keadaan normal motor conveyor FFB dengan kapasitas 18,5 W dapat mengangkat 500 – 666 kg kelapa sawit dalam sekali flight atau sekali angkat. Namun yang terjadi pada saat survey kelokasi penelitian terdapat kapasitas kelapa sawit yang melebihi kemampuan motor pada saat start awal. Sehingga motor mengalami gagal start akibat stak yang disebabkan oleh beban angkat berlebih dalam satu flight.

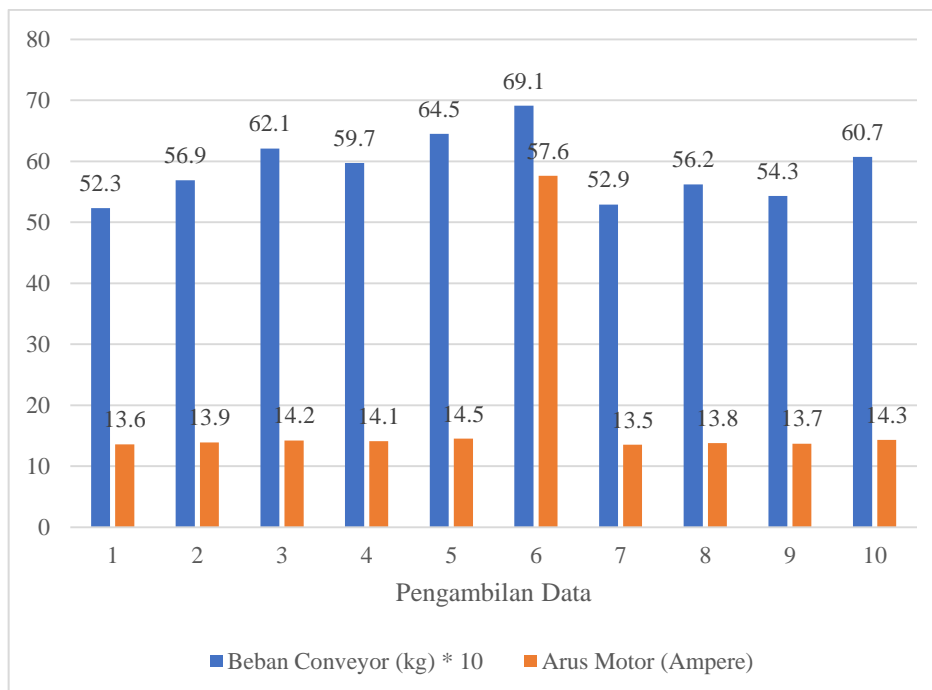
Maka dari itu pada analisis gangguan motor akibat gagal starting dilakukan pengambilan data sebanyak 10 kali (ketika motor dalam keadaan start awal) untuk melihat berapa beban yang menyebabkan motor gagal starting. Adapun hasil pengambilan data dapat dilihat pada tabel 4.2 berikut :

Tabel 4.3 Data Starting Motor

Pengambilan Data	Beban Conveyor (kg)	Arus Motor (Ampere)	Tegangan (Volt)	Kondisi Motor
1	523	13,6	399,8	Berhasil Start
2	569	13,9	400	Berhasil Start
3	621	14,2	400	Berhasil Start
4	597	14,1	399,9	Berhasil Start
5	645	14,5	400	Berhasil Start
6	691	57,6	400,2	Gagal Start
7	529	13,5	400	Berhasil Start
8	562	13,8	399,5	Berhasil Start
9	543	13,7	400	Berhasil Start
10	607	14,3	400,2	Berhasil Start

Pada tabel 4.3 dapat dilihat pada pengambilan data ke-6 nilai arus pada motor conveyor FFB mengalami peningkatan. Dimana FLC mengizinkan motor bekerja dalam arus 34 A. Dikarenakan motor FFB menggunakan rangkaian star-delta yang menyebabkan arus start awal dapat direduksi hasil pengukuran menunjukkan nilai arus pada saat start awal relatif turun 1/3 yaitu kisaran 13,5 – 14,3 A. Pada data ke-6 terbaca nilai arus berbeda dengan pengambilan data yang lain yaitu 57,6. Sejalan dengan nilai beban yang diangkut pada pengambilan data ke-6 juga relatif sangat besar, sesuai hasil perhitungan dalam keadaan normal motor conveyor FFB hanya dapat mengangkat beban dengan nominal 500 – 666 kg/flight. Namun pada pengambilan data berat kelapa sawit yang harus diangkat motor adalah sebesar 691 kg. maka nilai ini mengakibatkan motor gagal starting (tidak mampu untuk mengangkat beban) yang mengakibatkan arus terus meningkat dan membuat MCCB memutus rangkaian listrik ke motor sebagai sistem proteksi.

Dari hasil tabel 4.3 dapat dihasilkan grafik hubungan antara berat angkat kelapa sawit dengan arus yang dihasilkan pada motor adalah sebagai berikut :



Gambar 4.1 Grafik Beban kelapa sawit dan arus motor

Dari gambar 4.1 menunjukkan hubungan antara beban conveyor ($\text{kg} \times 10$) dengan arus motor (Ampere) pada sepuluh kali pengambilan data. Secara umum terlihat bahwa semakin besar beban yang diangkut conveyor, maka arus motor cenderung meningkat. Pada pengambilan data ke-1 hingga ke-5, beban conveyor mengalami kenaikan bertahap dari 52,3 kg hingga 64,5 kg, sedangkan arus starting motor relatif sama di kisaran 13,6 – 14,5 A. Hal ini menunjukkan bahwa pada kondisi beban normal, motor masih mampu starting dan bekerja dengan baik tanpa mengalami lonjakan arus yang signifikan.

Namun, pada pengambilan data ke-6 terlihat adanya kenaikan beban yang cukup tinggi, mencapai 691 kg. Kondisi ini mengakibatkan arus motor meningkat drastis hingga 57,6 A, jauh di atas rata-rata arus normal. Lonjakan arus tersebut menunjukkan bahwa motor bekerja lebih berat untuk mengatasi beban yang berlebih, sehingga pada kondisi nyata dapat berpotensi menyebabkan trip atau proteksi motor aktif untuk mencegah kerusakan.

Setelah itu, pada pengambilan data ke-7 hingga ke-10, beban conveyor kembali menurun di kisaran 529 – 607 kg, sehingga arus starting motor juga kembali normal di sekitar 13,5 – 14,3 A. Pola ini mengindikasikan bahwa motor hanya mengalami stress berlebih pada saat terjadi lonjakan beban, sedangkan pada

kondisi normal motor mampu bekerja dengan baik dan efisien. Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa beban conveyor yang terlalu besar menjadi faktor utama meningkatnya arus motor secara signifikan, dan hal tersebut harus dikendalikan untuk mencegah motor mengalami gangguan seperti overcurrent atau trip mendadak. Selain itu, dikarenakan motor dirangkai star-delta yang mereduksi arus pada saat start awal, motor mengalami kesulitan start ketika beban mekanis berat, karena torsi awal hanya 25–30% dari torsi nominal.

4.4.1 Analisis Gangguan Motor Saat Sedang Beroperasi

Dalam operasional pabrik kelapa sawit, motor penggerak conveyor FFB (Fresh Fruit Bunch) bekerja dengan beban yang bersifat fluktuatif sesuai dengan kapasitas dan kontinuitas material yang diolah. Pada kondisi tertentu, beban yang diterima motor dapat melebihi batas operasi normal, misalnya ketika jumlah tandan kelapa sawit yang masuk ke sistem conveyor terlalu besar atau terjadi penyumbatan material pada aliran proses, sehingga menyebabkan motor bekerja dengan arus listrik yang meningkat secara signifikan. Peningkatan arus ini memicu sistem proteksi motor, seperti thermal overload relay (TOR) atau relay pengaman arus lebih, untuk bekerja memutus suplai listrik sebagai upaya perlindungan, yang mengakibatkan motor mengalami trip di tengah operasi meskipun suplai listrik dari sumber masih tersedia. Kegagalan operasi motor ini terjadi akibat kombinasi beban mekanis yang berlebih, kenaikan arus yang melampaui nilai setting proteksi, serta kemungkinan ketidakstabilan tegangan suplai, sehingga motor tidak dapat mempertahankan kondisi kerja normal. Dampak dari gangguan tersebut adalah terhentinya sementara proses pemindahan FFB, terganggunya kontinuitas alur produksi, serta meningkatnya frekuensi perawatan dan potensi penurunan umur pakai motor. Upaya penanggulangan dapat dilakukan dengan mengendalikan beban conveyor agar sesuai dengan kapasitas desain, melakukan pemeriksaan dan perawatan rutin pada sistem mekanis untuk mencegah penyumbatan, serta menyetel sistem proteksi motor sesuai dengan arus nominal dan karakteristik beban, sehingga keandalan operasi motor conveyor FFB dapat ditingkatkan.

Fenomena ini tidak hanya mengganggu kontinuitas proses produksi, tetapi juga berpotensi menimbulkan kerusakan pada komponen motor maupun sistem mekanis yang terhubung. Jika gangguan terjadi berulang tanpa analisis yang tepat, maka dapat memperpendek umur motor, meningkatkan risiko downtime, dan mengurangi efisiensi pabrik secara keseluruhan. Oleh sebab itu, perlu dilakukan analisis mendalam terhadap penyebab motor trip saat beroperasi akibat beban kelapa sawit yang terlalu berat, sehingga dapat diketahui faktor pemicu, karakteristik gangguan, serta solusi penanganan yang tepat.

Adapun pengambilan data dilakukan selama 3 jam, dimana setiap jam terdapat 12 flight. Maka total pengambilan data dilakukan sebanyak 36 kali. Adapun hasil pengambilan data motor conveyor FFB yang telah dilakukan adalah sebagai berikut :

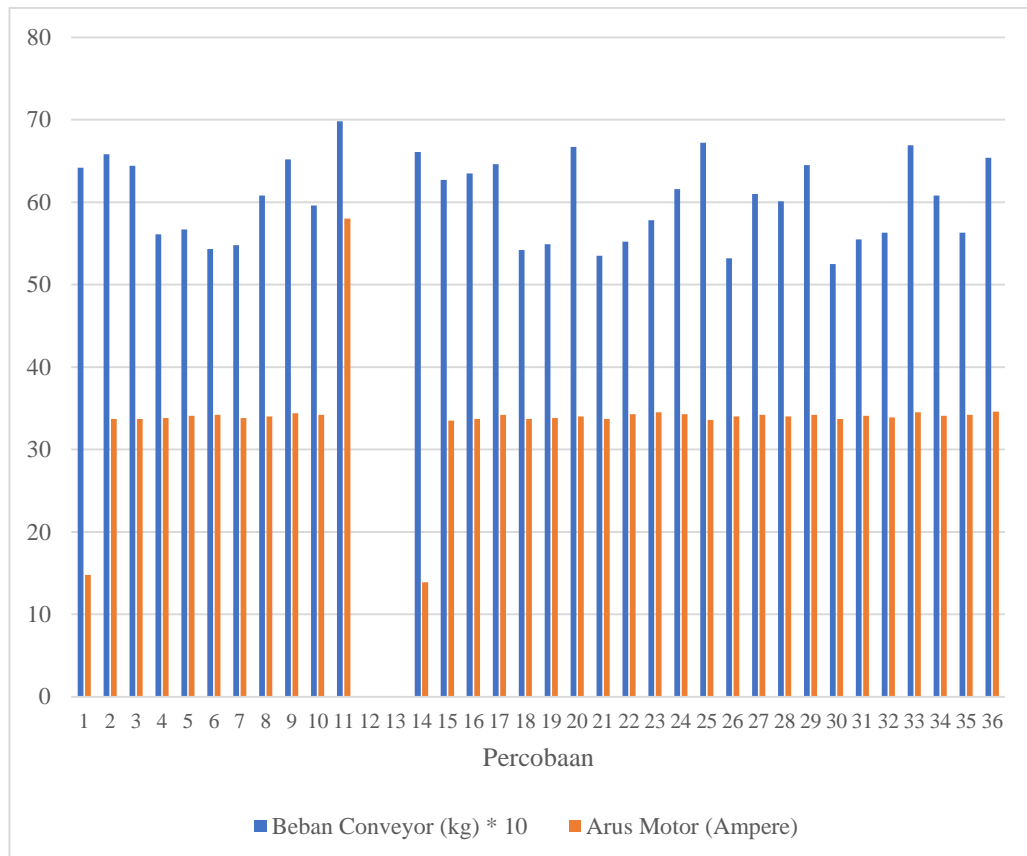
Tabel 4.4 Data Motor Saat Beroperasi

Pengambilan Data	Beban Conveyor (kg)	Arus Motor (Ampere)	Tegangan (Volt)	Kondisi Motor
1	642	14,8	400,2	Starting
2	658	33,7	400,1	Normal
3	644	33,7	399,7	Normal
4	561	33,8	399,6	Normal
5	567	34,1	399,8	Normal
6	543	34,2	399,7	Normal
7	548	33,8	400	Normal
8	608	34	399,7	Normal
9	652	34,4	400,2	Normal
10	596	34,2	399,8	Normal
11	698	58	399,7	Trip
12	0	0	0	off
13	0	0	0	off
14	661	13,9	400,3	Starting
15	627	33,5	400	Normal
16	635	33,7	399,8	Normal
17	646	34,2	400,2	Normal
18	542	33,7	400,3	Normal
19	549	33,8	400,3	Normal
20	667	34	399,5	Normal
21	535	33,7	400	Normal
22	552	34,3	400,2	Normal

Pengambilan Data	Beban Conveyor (kg)	Arus Motor (Ampere)	Tegangan (Volt)	Kondisi Motor
23	578	34,5	399,8	Normal
24	616	34,3	399,7	Normal
25	672	33,6	399,8	Normal
26	532	34	400,2	Normal
27	610	34,2	400,2	Normal
28	601	34	399,7	Normal
29	645	34,2	400	Normal
30	525	33,7	399,6	Normal
31	555	34,1	400,1	Normal
32	563	33,9	399,9	Normal
33	669	34,5	399,7	Normal
34	608	34,1	399,7	Normal
35	563	34,2	400	Normal
36	654	34,6	399,8	Normal

Dari tabel 4.4 hasil pengambilan data motor FFB berkapasitas 18,5 kW dengan rangkaian star-delta menunjukkan hubungan antara beban conveyor, arus motor, tegangan, serta kondisi motor dalam 36 kali pengamatan. Secara umum, motor bekerja pada beban 500 – 666 kg dengan arus relatif stabil di sekitar 34 A, sesuai dengan arus nominal operasinya. Tegangan suplai juga terjaga stabil di kisaran 399,5 – 400,3 V, sehingga motor dapat beroperasi normal tanpa gangguan.

Adapun grafik hubungan antara beban kelapa sawit yang diangkat, arus dan kondisi motor yang dihasilkan dari tabel 4.4 adalah sebagai berikut :



Gambar 4.2 Grafik hubungan beban kelapa sawit dan arus motor saat beroperasi

Pada pengambilan data pertama (1) dan ke-14, motor terlihat dalam kondisi Starting, dengan arus yang lebih rendah dari normal karena proses awal running motor. Setelah proses start selesai, kondisi motor kembali stabil dengan arus sekitar 34 A. Gangguan utama terjadi pada pengambilan data ke-11, ketika beban conveyor mencapai 698 kg, melampaui batas nominal yang seharusnya maksimal 666 kg. Kondisi ini menyebabkan arus motor melonjak tajam hingga 58 A, jauh di atas arus normal 34 A. Akibatnya, sistem proteksi bekerja untuk mengamankan motor sehingga tercatat kondisi Trip. Pada pengambilan data ke-12 dan 13, motor berada pada kondisi off, dengan arus dan tegangan nol, menandakan bahwa motor benar-benar berhenti akibat perlindungan overload.

Setelah dilakukan reset dan motor dijalankan kembali, pada pengambilan data ke-14 sampai ke-36 motor kembali beroperasi normal. Nilai beban kembali berada pada rentang nominal (500–666 kg), arus motor stabil di sekitar 34 A, serta

tegangan tetap normal di kisaran 400 V. Hal ini menunjukkan bahwa motor hanya mengalami trip sesaat akibat beban berlebih, bukan karena kerusakan permanen. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa gangguan motor saat beroperasi terjadi akibat kelebihan beban (698 kg) yang memicu kenaikan arus hingga 58 A dan menyebabkan motor trip. Pada kondisi beban nominal, motor dapat bekerja dengan stabil dan aman sesuai desainnya.

4.5. Pembahasan

Berdasarkan hasil pengamatan, motor penggerak conveyor FFB dengan kapasitas 18,5 kW umumnya beroperasi pada kondisi normal dengan beban material berkisar antara 500 hingga 666 kg. Pada kondisi tersebut, arus listrik yang mengalir rata-rata sekitar 34 A dengan tegangan suplai stabil di kisaran 400 V, sehingga motor mampu bekerja dengan baik tanpa gangguan. Namun, pada salah satu kejadian, beban material tercatat mencapai 698 kg. Kondisi ini menyebabkan arus melonjak hingga 58 A, jauh di atas arus normal. Kenaikan arus sebesar ini menunjukkan adanya kondisi overload mekanis yang memicu sistem proteksi bekerja dan akhirnya motor mengalami trip atau gagal starting. Hal ini membuktikan bahwa penyebab utama gangguan lebih mengarah pada kelebihan beban material atau hambatan mekanis pada conveyor, bukan disebabkan oleh penurunan tegangan suplai.

Dampak dari gangguan ini cukup signifikan terhadap operasional pabrik. Motor yang trip menyebabkan conveyor berhenti secara tiba-tiba sehingga aliran material terhenti, dan hal ini berdampak pada turunnya kontinuitas proses produksi. Selain itu, kejadian trip yang berulang berpotensi mempercepat kerusakan komponen motor akibat panas berlebih maupun stress mekanis, serta meningkatkan risiko downtime yang lebih panjang. Karena itu, diperlukan langkah perbaikan segera baik dari sisi teknis maupun operasional.

Solusi jangka pendek yang dapat dilakukan adalah memastikan jalur material pada conveyor dalam kondisi bersih dari penyumbatan, serta melakukan pengecekan mekanis pada komponen seperti bearing, pulley, dan kopling agar tidak menambah beban motor. Setelah itu, motor dapat dijalankan kembali secara bertahap dengan memastikan arus start berada dalam batas aman. Dari sisi

operasional, perlu dilakukan pembatasan jumlah material yang masuk sekaligus ke conveyor, misalnya dengan mengatur agar tidak ada tandan berlebih dalam satu kali siklus. Dengan begitu, lonjakan torsi dan arus saat start dapat dihindari.

Dalam jangka menengah, diperlukan perbaikan dari sisi sistem kontrol dan proteksi. Pengaturan overload relay sebaiknya dievaluasi kembali agar sesuai dengan arus nominal motor, sehingga proteksi tetap melindungi motor namun tidak terlalu sensitif terhadap lonjakan sesaat. Selain itu, penerapan soft starter atau Variable Frequency Drive (VFD) sangat disarankan. Soft starter dapat membantu mengendalikan arus start dengan lebih halus, sementara VFD memberikan kontrol torsi yang lebih baik dan memungkinkan pembatasan arus sehingga motor tidak mudah mengalami trip meskipun terjadi beban mendadak.

Lebih jauh, aspek non-teknis juga sangat penting untuk mencegah terulangnya kejadian ini. Standar Operasional Prosedur (SOP) terkait feeding material harus diperketat agar operator tidak memasukkan beban melebihi kapasitas conveyor. Operator juga perlu diberi pelatihan untuk mengenali tanda-tanda awal overload seperti suara motor yang berubah, getaran berlebih, atau kenaikan arus yang mendekati batas. Untuk mendukung hal tersebut, pemasangan sistem monitoring arus secara real time dengan alarm peringatan juga perlu dilakukan. Alarm ini dapat memberikan peringatan dini saat arus mendekati batas kritis, sehingga tindakan pencegahan bisa segera diambil sebelum motor benar-benar trip.

Dengan kombinasi perbaikan teknis, penguatan SOP, serta penerapan sistem monitoring, gangguan akibat motor gagal starting dapat diminimalisir. Pada akhirnya, keberhasilan perbaikan ini dapat diukur dari berkurangnya kejadian trip saat motor beroperasi pada beban normal (500–666 kg) serta stabilnya arus motor di sekitar 34 A. Jika langkah-langkah ini dijalankan secara konsisten, kontinuitas proses produksi dapat terjaga, umur peralatan lebih panjang, dan risiko kerugian akibat downtime dapat ditekan.

Gangguan berupa trip motor akibat beban berlebih memberikan dampak langsung maupun tidak langsung baik terhadap kondisi motor maupun terhadap proses produksi kelapa sawit. Dari sisi motor, arus yang melonjak hingga 58 A pada saat beban conveyor mencapai 698 kg menyebabkan timbulnya panas berlebih pada lilitan motor. Jika kondisi ini berulang, insulasi lilitan dapat

mengalami degradasi lebih cepat, yang pada akhirnya menurunkan umur pakai motor. Selain itu, proses trip berulang juga dapat menimbulkan stress mekanis pada komponen penggerak seperti bearing, kopling, dan shaft akibat hentakan mendadak saat motor berhenti secara tiba-tiba. Hal ini berpotensi meningkatkan frekuensi perawatan serta menambah biaya perbaikan.

Dari sisi produksi kelapa sawit, gangguan trip motor menyebabkan conveyor berhenti secara mendadak sehingga aliran TBS (Tandan Buah Segar) menuju stasiun berikutnya terhambat. Kondisi ini dapat menimbulkan penumpukan material pada jalur feeding yang mengganggu kontinuitas operasi pabrik. Apabila gangguan berlangsung lama, TBS yang menumpuk berisiko mengalami penurunan kualitas karena proses perebusan tertunda. Penundaan perebusan lebih dari waktu ideal dapat menyebabkan kandungan asam lemak bebas (ALB/FFA) meningkat, sehingga mutu minyak sawit mentah (CPO) menurun dan berdampak langsung pada nilai jual produk. Selain itu, berhentinya aliran material juga mengakibatkan kapasitas olah pabrik menurun, yang berarti berkurangnya volume produksi harian.

Dengan demikian, gangguan motor akibat beban berlebih bukan hanya menjadi permasalahan teknis pada peralatan, tetapi juga berdampak signifikan terhadap efektivitas dan efisiensi produksi. Untuk itu, langkah pencegahan dan solusi harus segera diterapkan agar motor tetap terjaga keandalannya dan produksi kelapa sawit tidak mengalami kerugian kualitas maupun kuantitas.

Untuk dapat memaksimalkan produksi kelapa sawit terutama pada bagian FFB pergantian metode starter motor juga dapat menjadi pertimbangan agar meminimalisir gangguan yang diakibatkan oleh starting awal atau kekurangan torsi motor untuk mengangkat beban kelapa sawit. Adapun rekomendasi dan perbandingan tiap rangkaian motor FFB dapat dilihat pada tabel 4.2 berikut :

Tabel 4.5 Perbandingan Metode Starter Motor

Metode Starter	Arus Start	Torsi Start	Kelebihan / Kekurangan
DOL	100% ($3-7 \times$ FLC)	100%	Sederhana, murah; arus start tinggi
Star-Delta	$\approx 33\%$ FLC	25-30%	Mengurangi arus start; torsi rendah transisi bermasalah
Autotransformer	50-70% FLC	50-70%	Lebih halus; biaya lebih tinggi
Soft Starter	Terukur & dikendalikan	Terukur	Start halus, proteksi bagus; biaya tinggi
VFD	Sangat rendah	Terkendali penuh	Kontrol kecepatan, efisiensi tinggi; investasi besar

BAB 5

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Dari hasil analisis data arus dan beban pada motor FFB kapasitas 18,5 kW dengan rangkaian star-delta, dapat diketahui bahwa gangguan utama yang muncul disebabkan oleh beban berlebih sehingga motor mengalami kenaikan arus hingga trip. Gangguan ini berdampak pada performa motor sekaligus mengganggu kelancaran proses produksi. Berdasarkan temuan tersebut, berikut disampaikan beberapa kesimpulan.

1. Penyebab utama gangguan motor conveyor FFB berkapasitas 18,5 kW adalah beban conveyor yang melebihi kapasitas kerja motor. Pada kondisi normal, motor bekerja dengan arus sekitar 34 A untuk beban TBS berkisar 500–666 kg. Namun, saat beban meningkat secara berlebihan, arus motor melonjak hingga mencapai 58 A, yang melampaui arus nominal dan menyebabkan sistem proteksi bekerja sehingga motor mengalami trip.
2. Gangguan berupa trip motor memberikan dampak signifikan terhadap motor dan proses produksi. Lonjakan arus yang terjadi secara berulang berpotensi menyebabkan pemanasan berlebih pada lilitan motor, mempercepat degradasi isolasi, serta meningkatkan beban mekanis pada komponen transmisi seperti bearing, poros, dan kopling. Dari sisi operasional, berhentinya motor mengakibatkan terhambatnya pemindahan TBS, penumpukan material, keterlambatan proses perebusan, serta berpotensi menurunkan mutu TBS yang ditandai dengan meningkatnya kadar ALB/FFA dan menurunnya kualitas CPO.
3. Penggunaan sistem starting star-delta mampu menurunkan arus awal motor, namun memiliki keterbatasan pada torsi awal. Kondisi ini menyebabkan motor berisiko mengalami kesulitan start atau trip ketika harus menggerakkan beban yang besar. Oleh karena itu, diperlukan pengaturan waktu perpindahan dari rangkaian star ke delta yang tepat serta pengendalian beban conveyor agar sesuai dengan kapasitas motor, sehingga gangguan trip dapat diminimalkan dan keandalan operasi motor conveyor FFB dapat ditingkatkan..

5.2. Saran

1. Sebaiknya dilakukan pengaturan kapasitas muatan conveyor agar tidak melebihi batas nominal, yaitu berkisar antara 500–666 kg. Operator perlu diberikan pemahaman mengenai dampak beban berlebih terhadap motor, serta pengawasan yang konsisten untuk mencegah terjadinya penumpukan TBS yang dapat meningkatkan arus motor secara tiba-tiba.
2. Perlu dilakukan pemasangan sistem monitoring arus motor secara real-time yang terhubung dengan panel kontrol. Dengan adanya sistem ini, lonjakan arus dapat terdeteksi lebih awal sebelum motor trip. Selain itu, penyetelan ulang pada setting proteksi arus lebih (overcurrent relay) juga dapat dipertimbangkan agar motor terlindungi tetapi tidak terlalu sensitif terhadap variasi beban yang masih dalam batas wajar.
3. Penggunaan starter star-delta sebaiknya dioptimalkan dengan memastikan waktu perpindahan dari star ke delta sudah sesuai karakteristik beban. Jika perpindahan terlalu cepat atau lambat, maka lonjakan arus masih dapat terjadi. Oleh karena itu, kalibrasi dan pengaturan timer pada rangkaian star-delta perlu dilakukan secara berkala agar performa motor lebih stabil.
4. Jika tren produksi meningkat sehingga beban conveyor semakin berat, maka pihak pabrik perlu melakukan evaluasi terhadap kapasitas motor. Apabila motor 18,5 kW dinilai tidak lagi memadai untuk kebutuhan proses, pertimbangan penggantian dengan motor berdaya lebih besar dapat menjadi solusi jangka panjang untuk menjaga kelancaran produksi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. Evalina, A. H. Azis, and Zulfikar, "Pengaturan Kecepatan Putaran Motor Induksi 3 Fasa Menggunakan Programmable logic controller," *J. Electr. Technol.*, vol. 3, no. 2, pp. 73–80, 2018.
- [2] R. Andreansyah, "Perencanaan Dan Pembuatan Rangkaian Daya Starting Motor 3 Fasa, 380 Volt, 50 Hz, 3 Hp Dengan Metoda Bintang (Y) â€“Segitiga (â†),” *Cyclotron*, 2019.
- [3] U. Arifin Muhammad, "Analisis Perbandingan Arus Starting Motor Induksi 3 Fasa Rangkaian Star Delta Dengan Variable Frequency Drive," *Univ. Muhammadiyah Surakarta*, vol. 20, no. 7, pp. 189–195, 2021.
- [4] M. Induksi and T. Fasa, "MASALAH OPEN TRANSITION PADA SAKLAR BINTANG- SEGITIGA SEBAGAI STARTING MOTOR INDUKSI 3 PASE," vol. 12, no. 2, pp. 116–119, 2016.
- [5] M. P. Darmawan and N. S. Soedjarwanto, "Analisis Identifikasi Kecacatan Bearing Motor Induksi Berdasarkan Arus Stator Dan Torsi Pada Rpm Berbasis Fast Fourier Transform," *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 11, no. 3, pp. 303–310, 2023, doi: 10.23960/jitet.v11i3.3071.
- [6] W. Hari Nugroho, I. Gede Eka Lesmana, and R. Camalia Hartantrie, "Analisis Kinerja Motor Terhadap Kerusakan Kompresor Tipe B – 304 pada LRT Jakarta Seri 1100," *J. Asimetrik J. Ilm. Rekayasa Inov.*, vol. 4, pp. 89–96, 2022, doi: 10.35814/asiimetrik.v4i1.2429.
- [7] D. L. Kurniawan, I. Diah PK, and B. Yan Dewantara, "Analisa Gangguan Belitan Stator Pada Motor Brushless DC Menggunakan Matlab Simulink," *CIRCUIT J. Ilm. Pendidik. Tek. Elektro*, vol. 5, no. 1, p. 1, 2021, doi: 10.22373/crc.v5i1.7692.
- [8] D. Metode *et al.*, "Jambura Industrial Review Jambura Industrial Review," vol. 1, no. 2, pp. 1–10, 2021.
- [9] I. Qomah, D. A. Asfani, and D. C. Riawan, "Deteksi Kerusakan Batang Rotor Pada Motor Induksi Menggunakan Analisis Arus Mula Berbasis Hilbert Transform," *J. Tek. ITS*, vol. 5, no. 2, 2016, doi: 10.12962/j23373539.v5i2.16054.
- [10] Jaya Edo Andhika Praditya, Musthofa Arif, and Priananda Ciptian Wieried, "Sistem Proteksi Gangguan Thermal dan Arus Lebih Motor Induksi 3 Fasa pada Mesin Kompresor Menggunakan Metode Logika Fuzzy Dilengkapi Fitur Mobile App," *J. Tek. ITS*, vol. 10, no. 2, pp. 412–419, 2021.
- [11] D. Zaenal, "Analisa Gangguan Stator Motor Induksi Fasa 3 Dengan Metode

Current Signature Analisis Dan Monitoring Temperatur,” *Epic J. Electr. Power, Instrum. Control*, vol. 2, no. 2, pp. 1–9, 2019, doi: 10.32493/epic.v2i2.2897.

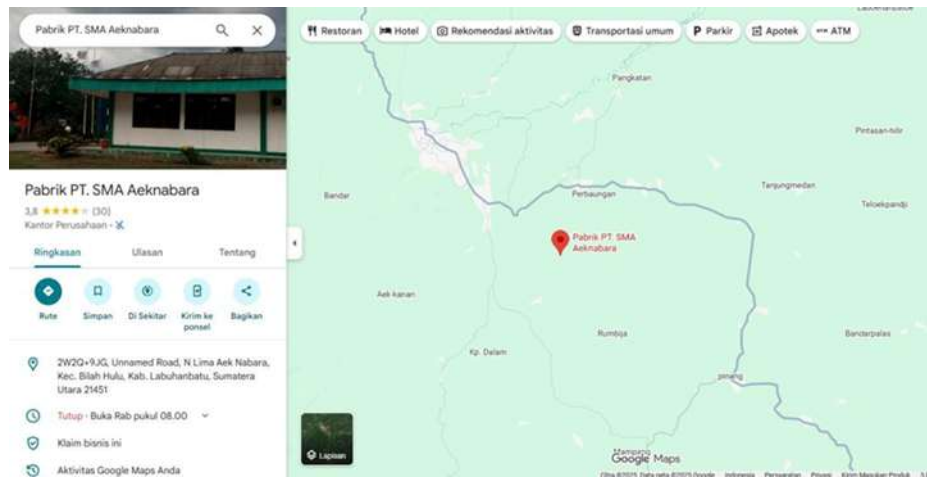
- [12] Y. Rijono, *Dasar Teknik Tenaga Listrik*. Yogyakarta: Andi Offset.
- [13] Zuhail, *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
- [14] Margiono, “Konstruksi Motor Induksi Satu Fasa dan Tiga Fasa.” Jakarta.
- [15] M. Putri, P. Wibowo, S. Aryza, and A. P. R. Utama Siahaan, “An implementation of a filter design passive lc in reduce a current harmonisa,” *Int. J. Civ. Eng. Technol.*, vol. 9, no. 7, pp. 867–873.
- [16] Sumanto, *Mesin Listrik Arus Bolak-Balik*. Yogyakarta: Andi.
- [17] B. A. B. Ii, “Politeknik Negeri Sriwijaya Tinjauan Pustaka,” pp. 6–25.
- [18] A. Supriyadi, “Metode Starting Motor Induksi 3 Fasa Rotor Sangkar Tupai (Squirrel-Cage Rotor 3 Phase Induction Motor,” *Swara Patra*.
- [19] W. H. Kusuma and Umar, “Analisa Ketidakseimbangan Fasa Terhadap Kemampuan Kerja (Derating) Motor Induksi. Universitas Indonesia.”
- [20] M. A. Saputra and S. Amien, *Analisis Pengaruh Jatuh Tegangan Terhadap Kinerja Motor Induksi Tiga Fasa Rotor Belitan*. Universitas Sumatera Utara.
- [21] Zuhail, *Dasar Tenaga Listrik*. Jakarta: ITB Bandung.
- [22] A. Pawawoi, “Analisis Kedip Tegangan (Voltage Sags) Akibat Pengasutan Motor Induksi Dengan Berbagai Metode Pengasutan Studi Kasus Di PT. Abaisiat Raya,” *J. Tek. Univ. Andalas*, vol. 1, no. 32, p. 49, 2009.
- [23] J. E. Elektrik, “ANALISIS HUBUNG SINGKAT PADA SALURAN UDARA TEGANGAN MENENGAH 20 KV (STUDI KASUS PADA PENYULANG LG 02 PT PLN (PERSERO) RAYON,” vol. 08, pp. 25–31, 2019.
- [24] B. Sidabutar, *Analisa Hubung Singkat dan Motor Starting Dengan Menggunakan ETAP Power Station 4.0*. Medan. Universitas Sumatera Utara.
- [25] B. A. B. Ii and T. Pustaka, “Politeknik Negeri Sriwijaya,” pp. 6–34.
- [26] P. Ilmiah, A. J. I. Pranata, P. Studi, T. Elektro, F. Teknik, and U. M. Surakarta, “ANALISIS SISTEM PROTEKSI RELAY ARUS LEBIH PADA GENERATOR,” 2019.
- [27] A. Subari and D. H. Kusumastuti, “SETTING RELAY DIFFERENSIAL

PADA GARDU INDUK KALIWUNGU GUNA MENGHINDARI
KEGAGALAN PROTEKSI”.

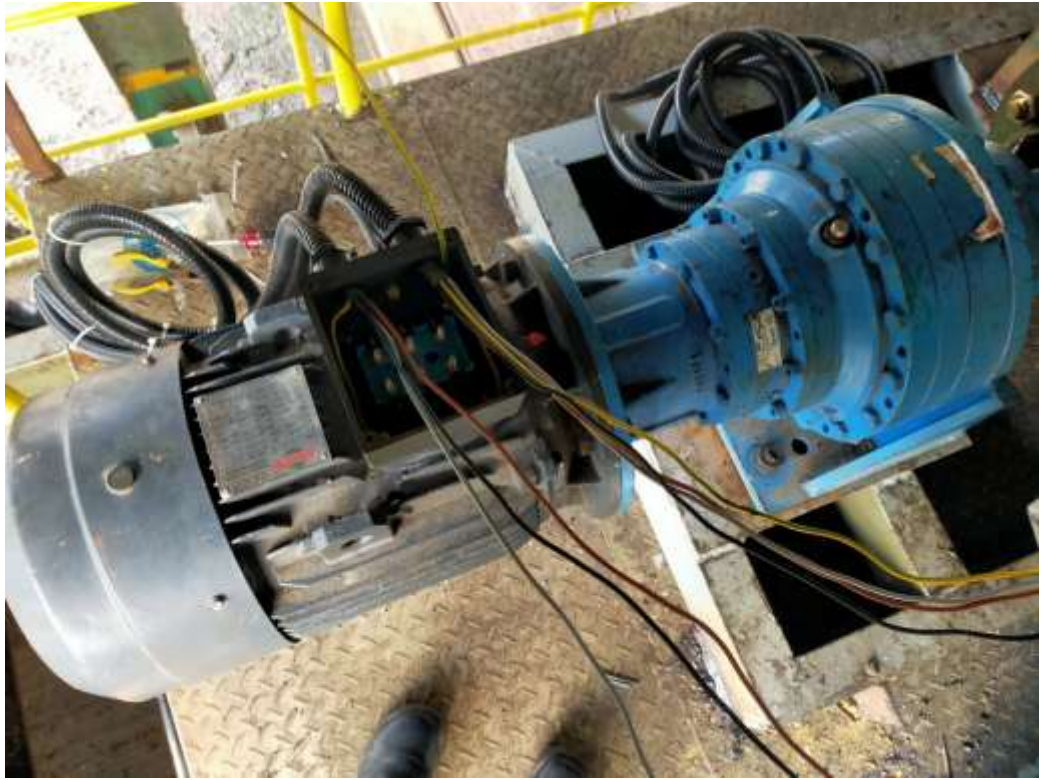
- [28]S. Suprijadi *et al.*, “ANALISIS HASIL OVER HOUL PEMUTUS TENAGA (PMT) 70KV PADA BAY ARJAWINANGUN 2 DI PT PLN PERSERO APP,” no. September, pp. 618–625, 2018.
- [29]F. C. Lisi, F. Lisi, S. Silimang, and J. T. Elektro-ft, “Analisa Perhitungan Kapasitas dan Pemilihan Circuit Breaker (CB) pada Penyulang Gardu Induk Paniki Sistem Minahasa,” vol. 7, no. 1, pp. 9–16, 2018.
- [30]T. Puspita and I. A. Darmawan, “Thermal Overload Relay (TOR) Sebagai Sistem Proteksi Motor Induksi 3 Fasa Pada Mesin Molding Biofuel Pelletizer Di PT. Sejin Lestari Furniture,” *J. Tek. Mesin, Ind. Elektro dan Inform.*, vol. 2, no. 2, pp. 168–181, 2023.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Tempat dan Lokasi penelitian



Lampiran 2. Perakitan kabel dari panel kontrol ke motor



Lampiran 3. Motor dan Couplean ke chain conveyer FFB



Lampiran 4. Panel kontrol (Tegangan dan Arus R,S dan T)



Lampiran 5. Wiring pada panel control



Lampiran 6. Conveyor FFB






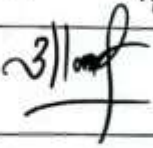


LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

ANALISIS GANGGUAN PADA MOTOR FFB (FRESH FRUITS BUNCH) BERKAPASITAS 18.5 KW DENGAN RANGKAIAN STAR DELTA (Studi Kasus : PMKS Supra Matra Abadi (SMA) Aek Nabara Selatan)

Nama : IRSYAD AL BIRRA
NPM : 2107220036

Dosen Pembimbing : Dr. Muhammad Fitra Zambak, S.T., M.Sc

No	Hari/Tanggal	Kegiatan	Paraf
1	KAMIS 20 FEB 2025	Bimbingan judul proposal	
2	SELASA 20 APRIL 2025	Bagian BAB 1 (Tujuan penelitian) 1. untuk mengetahui → menjadi untuk menganalisa 2. untuk mengetahui → menjadi untuk menganalisa	
3	SABTU 3 MEI 2025	Bagian BAB 1 (Ruang lingkup) 1. Analisa penyebab gangguan → menjadi Analisa Gangguan 2. menganalisa dampak motor → menjadi menganalisa motor	
4	SELASA 24 JUNI 2025	Bagian BAB 3 (Diagram alir penelitian) - konsep motor induksi - konsep gangguan pada motor - konsep motor FFB	
5	10 JUL 2025	Revisi Bagian BAB 3 Tentang Dokumentasi	
6		Acc Sumpro 22/7-2025	
			

LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

ANALISIS GANGGUAN PADA MOTOR FFB (FRESH FRUIT BUNCH)
BERKAPASITAS 18,5 KW DENGAN RANGKAIAN STAR DELTA STUDI KASUS
: PMKS SUPRA MATRA ABADI (SMA) AEK NABARA SELATAN

Nama : IRSYAD AL BIRRA
NPM : 2107220036

Dosen Pembimbing : Dr Muhammad Fitra Zambak S.T.M.SC





No	Hari/Tanggal	Kegiatan	Paraf
1	KAMIS SELASA 28 APRIL 2025	Bagian bab 1 (Tujuan penelitian) - untuk mengetahui → menjadi untuk menganalisa - untuk mengetahui → menjadi untuk menganalisa	31
2	SABTU 3 MEI 2025	Bagian bab 1 (Ruang Lingkup) - Analisa penyebab gangguan → menjadi analisa gangguan - menganalisa dampak motor → menjadi menganalisa motor	31
3	SELASA 24 JUNI 2025	Bagian bab 3 (Diagram aur pelutian) - konsep motor induksi - konsep gangguan pada motor - konsep motor FFB	31
4	KAMIS 10 JULI 2025	Revisian bagian Bab 3 Tentang Dokumentasi	31
5	JUM.AT 22 AGUSTUS 2025	Lampiran: Bab 5. Setiap gambar dokumentasi harus ada nama dan keterangan	31
6	SENIN 25 AGUSTUS 2025	Perbaikan cara penulisan di bab 1 sd 3	31
7	RABU 27 AGUSTUS 2025	Perbaikan penulisan di bab 4 sd 5	31
		Acc Seminar Hasil	

LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

**ANALISIS GANGGUAN PADA MOTOR FFB (FRESH FRUITS BUNCH)
BERKAPASITAS 18,5 KW DENGAN RANGKAIAN STAR DELTA
(STUDI KASUS : PMKS SUPRA MATRA ABADI (SMA) AEK NABARA
SELATAN)**

Nama : Irsyad Al Birra
NPM : 2107220036

Dosen Pembimbing : Dr Muhammad Fitra Zambak S.T., M.SC

No	Hari/Tanggal	Kegiatan	Paraf
1.		1. Penambahan kalimat di ruang lingkup penelitian di poin 1 dan 2. 2. Penambahan penjelasan di setiap judul besar. 3. Rapikan penulisan dalam setiap paragraf, jarak dan spasi.	
2.		1. Penambahan foto di bagian lokasi dan tempat penelitian. 2. Perbaiki tabel, bentuk tabel harus seragam 3. Perbaiki ukuran font dan spasi di dalam tabel font 11 dan spasi 1	
3.		1. Revisi susunan diagram alir penelitian 2. Penambahan tabel perhitungan FLC 3. Revisi style mendelay menjadi IEEE 4. Revisi Lampiran	
4.		1. Revisi Abstrak	
		Ace sidomy 12/01 - 2026	
		