TUGAS AKHIR – ME184834

ANALISA GANGGUAN *SHORT CIRCUIT* SERTA PENGATURAN KOORDINASI PROTEKSI PADA *CONTAINER CRANE* DISUPLAI DENGAN ENERGI TERBARUKAN BERBASIS SIMULASI

Sastri Ade Priyangga
NRP 04211640000075

Dosen Pembimbing
Ir. Sardono Sarwito, M.Sc.
NIP. 196003191987011001

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN INSTITUT
TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA
2020

TUGAS AKHIR
(ME184834)

Analisa Gangguan *Short Circuit* serta Pengaturan Koordinasi Proteksi pada *Container Crane* Disuplai dengan Sumber Energi Terbarukan Berbasis Simulasi

Sastri Ade Priyangga

(04211640000075)

Dosen Pembimbing :

Ir. Sardono Sarwito, M.Sc.

NIP. 196003191987011001

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020

BACHELOR THESIS
(ME184834)

Short Circuit Analysis and Setting of Overcurrent Protection Coordination on the Container Crane Supplied by Renewable Energy Using Simulation

Sastri Ade Priyangga

(04211640000075)

Supervisor :

Ir. Sardono Sarwito, M.Sc.

NIP. 196003191987011001

DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2020

LEMBAR PENGESAHAN

Analisa Gangguan *Short Circuit* serta Pengaturan Koordinasi Proteksi pada *Container Crane* Disuplai dengan Sumber Energi Terbarukan Berbasis Simulasi

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat

Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

Bidang Studi Marine Electrical and Automation System (MEAS)

Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Sastri Ade Priyangga

NRP. 04211640000075

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

Ir. Sardono Sarwito, M.Sc. (……..)
NIP. 196003191987011001

SURABAYA

Juli 2020

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA GANGGUAN *SHORT CIRCUIT* SERTA PENGATURAN KOORDINASI PROTEKSI PADA *CONTAINER CRANE* DISUPLAI DENGAN ENERGI TERBARUKAN BERBASIS SIMULASI

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Marine Elctrical and Automation System (MEAS)
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Penulis:

Sastri Ade Priyangga

NRP. 04211640000075

Disetujui Oleh,
Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan

Beny Cahyono, S.T., M.T., Ph.D

NIP. 197903192008011008

SURABAYA

AGUSTUS, 2020

ANALISA GANGGUAN *SHORT CIRCUIT* SERTA PENGATURAN KOORDINASI PROTEKSI PADA *CONTAINER CRANE* DISUPLAI DENGAN SUMBER ENERGI TERBARUKAN BERBASIS SIMULASI

Nama mahasiswa : Sastri Ade Priyangga
NRP : 04211640000075
Pembimbing : Ir. Sardono Sarwito, M.Sc.

ABSTRAK

Konsep pelabuhan ramah lingkungan atau dikenal dengan istilah *green port* kini diterapkan oleh seluruh negara-negara di ASEAN yang bertujuan untuk mengurangi tingkat pencemaran laut, polusi udara serta berbagai dampak kerusakan lingkungan yang ditimbulkan oleh berbagai aktifitas bongkar muat di pelabuhan. Salah satu upaya dalam mewujudkan konsep *green port* yang diaplikasikan pada *container crane* adalah konsep elektrifikasi, yaitu menggunakan sumber energi listrik yang sebelumnya menggunakan bahan bakar fosil dialihkan dengan energi terbarukan. Kondisi di lapangan yang tidak menentu sesuai dengan faktor lingkungan yang terlibat dapat menyebabkan suatu sistem mengalami kegagalan. *Short circuit* adalah hubungan yang disengaja antara konduksi melalui hambatan atau impedansi yang memiliki perbedaan yang cukup potensial. Gangguan *short circuit* terjadi ketika konduktor yang memiliki tegangan yang terhubung ke konduktor tegangan lain atau terhubung langsung ke konduktor yang bersifat netral (*ground*). Oleh sebab itu diperlukan adanya sistem koordinasi proteksi untuk meminimalisir adanya gangguan pada sistem kelistrikan, salah satunya dengan menggunakan *circuit breaker*. Pada penelitian ini dilakukan simulasi menggunakan *software ETAP* untuk mengetahui besar arus dari gangguan *short circuit* dan perencanaan sistem koordinasi proteksi setiap *circuit breaker* pada komponen yang membutuhkan daya besar dengan arus hubungan singkat maksimal yaitu 9,882 kA pada motor *hoist*, 3,586 kA pada motor *boom*, 1,683 kA pada motor *trolley* dan 4,415 kA pada motor *gantry* dengan keseluruhan disuplai dengan energi terbarukan. Pengujian ini dilakukan pada beberapa konfigurasi suplai daya dan variasi skema operasi dari motor utama. Diharapkan juga nantinya akan menghasilkan solusi untuk pengaturan sistem koordinasi proteksi *circuit breaker* pada *container crane*.

Kata Kunci : ***Green port, Container crane, Short Circuit, Circuit Breaker, ETAP***.

SHORT CIRCUIT ANALYSIS AND SETTING OF OVERCURRENT PROTECTION COORDINATION ON THE CONTAINER CRANE SUPPLIED BY RENEWABLE ENERGY USING SIMULATION

Student name : Sastri Ade Priyangga
NRP : 04211640000075
Supervisor I : Ir. Sardono Sarwito, M.Sc.

ABSTRACT

The concept of an environmentally friendly port or also known as a green port is now being applied by all countries in ASEAN which aims to reduce levels of marine pollution, air pollution, and various environmental impacts caused by various loading and unloading activities at ports. One effort to realize the green port concept that is applied to container cranes is the concept of electrification, which uses electrical energy sources that previously used fossil fuels to be transferred to renewable energy. Conditions in the field that are not certain according to the environmental factors involved can cause a system to fail. A short circuit is an intentional connection between conduction via resistance or impedance that has a considerable potential difference. A Short circuit occurs when a conductor that has a voltage is connected to a conductor of another voltage or is directly connected to a conductor that is neutral (ground). Therefore, it is necessary to have a protection coordination system to minimize any disturbances in the electrical system, one of which is by using a circuit breaker. In this study, a simulation using ETAP software was carried out to determine the current magnitude of short circuit disturbances and the planning of the protection coordination system for each circuit breaker on components that require large power with a maximum short circuit current of 9.882 kA on the motor *hoist*, 3.586 kA on the motor *boom*, 1.683 kA on the motor *trolley*, and 4.415 kA on the motor *gantry*, which those are entirely supplied with renewable energy. This test is carried out on several power supply configurations and various operating schemes of the main motor. It is also hoped that later it will solve setting up a circuit breaker protection coordination system on the container crane.

Key Word: ***Green port, Container crane, Short Circuit, Circuit Breaker, ETAP***.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbil Alaamiin. Segala puji dan syukur bagi Allah SWT, karena atas segala kemudahan dan pertolongan-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul "**Analisa Gangguan *Short Circuit* serta Pengaturan Koordinasi Proteksi pada *Container Crane* Disuplai dengan Sumber Energi Terbarukan Berbasis Simulasi**" ini dengan tepat waktu.

Penulisan skripsi ini disusun guna memenuhi salah satu dari beban satuan kredit semester (SKS) serta mendapatkan gelar sarjana teknik di Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada seluruh pihak yang memberikan dukungan dalam bentuk bantuan, moral, kasih saying dan material terutama kepada kedua orang tua beserta keluarga besar penulis. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak lain yang berperan penting dalam penyelesaian tugas akhir ini yang tidak dapat dicantumkan satu persatu. Khususnya kepada beberapa pihak berikut ini :

1. Ir. Sardono Sarwito, M.Sc. sebagai dosen pembimbing pertama pada tugas akhir ini yang telah memberikan arahan, semangat, dan perhatian dengan sabar dan dukungan secara positif.
2. Segenap keluarga penulis, terutama Ibu, Bapak dan kakak tercinta yang selalu mendoakan, menghibur dan memberi semangat.
3. Kepada Andi Irawan, Rocky Deardo sebagai mentor *software* ETAP dan kelistrikan yang berperan besar dan selalu sabar dalam membimbing penulis.
4. Kepada teman-teman VOYAGE 16 yan telah menemani penulis dari awal perkuliahan hingga tahun terakhir di bangku kuliah.
5. Kepada Alif Dio Riskiansyah, Maya Putri, Fajar Abifian, Faiq Hilya, Neny Sutanti, Lila Anas, Muftihana Hanin, Hana Kireina dan teman-teman yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang selalu memberikan dukungan dalam bentuk apapun baik secara moral dan spiritual.
6. Kepada Rifki Abdillah, Dennis Chaniago, Azmi Naufal, Dodi Fasha, Syafri Octa, Purinda Bisma, Weldayana Bima, Isa Hanif dan segenap keluarga besar *MEAS Laboratory* yang telah menemani, memotivasi, serta memberikan pengaruh dalam keadaan susah maupun senang.
7. Kepada keluarga besar KASITRO, KONCO KENTHEL, BASKET SISKAL dan SINGHASARI BASKETBALL yang telah menemani, memotivasi serta memberikan kenangan penulis dari tahun kedua hingga tahun terakhir perkuliahan.
8. Kepada keluarga besar BARAKUDA 13, MERCUSUAR 14, SALVAGE 15, BADRIKARA 17, dan CAKRAWALA 18 yang selalu

memberikan semangat agar dapat menyelesaikan tugas akhir dengan tepat waktu.

9. Seluruh civitas akademika Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember yang telah memberikan fasilitas dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Demikian besar harapan penulis atas hasil dari penelitian tugas akhir ini agar dapat bermanfaat bagi seluruh pembacanya serta dapat bermanfaat bagi adik-adik tingkat untuk penyelesaian tugas skripsi kedepannya sebagai bahan referensi. Penulis mengucapkan mohon maaf apabila dalam penulisan tugas akhir ini masih memiliki banyak kekurangan. Koreksi dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan dalam penyusunan tugas akhir ini.

Surabaya, 26 Juli 2020

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN i
ABSTRAK ii
KATA PENGANTAR iv
DAFTAR ISI vi
DAFTAR GAMBAR ix
DAFTAR TABEL xi
BAB I 1
PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Perumusan Masalah 3
1.3 Batasan Masalah 3
1.4 Tujuan Penelitian 3
1.5 Manfaat 3
BAB II 4
TINJAUAN PUSTAKA 4
2.1 Pengertian *Crane* 4
2.2 *Container Crane* 6
2.3 Sistem Kelistrikan pada *Container Gantry Crane* 9
2.4 Spesifikasi *Container Gantry Crane* 10
2.5 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) 11
2.6 Prinsip Kerja Panel Surya 12
2.7 Komponen Panel Surya 13
2.8 Perhitungan Kapasitas Panel Surya 13
2.9 Gangguan *Short Circuit* 14
2.10 Gangguan Beban Berlebih 16
2.11 Koordinasi Proteksi 17
2.12 Miniature Circuit Breaker 18
2.12.1 Prinsip Kerja *Circuit Breaker* saat Hubungan Singkat 18
2.12.2 Prinsip Kerja *Circuit Breaker* saat Beban Berlebih 18
2.12.3 Setting *Circuit Breaker* saat Hubungan Singkat 19

2.12.4 Setting *Circuit Breaker* saat Beban Berlebih 19
2.13 Karakteristik Kurva Arus Waktu 19
2.14 Software ETAP (*Electrical Transient Analyzer Program*) 21
2.15 Aturan Gangguan *Short Circuit* Berdasarkan IEC 22
2.16 Gelombang yang Dihasilkan oleh Inverter 23
BAB III 25
METODE PENELITIAN 25
3.1 Deskripsi Tahapan Penelitian 26
3.2 Studi Literatur 26
3.3 Pengumpulan Data 26
3.4 Proses 26
3.5 Pemodelan Sistem 27
3.6 Pembahasan dan Hasil 27
3.7 Kesimpulan dan Saran 27
3.8 Jadwal Pelaksanaan 27
BAB 4 29
ANALISA DAN PEMBAHASAN 29
4.1 Perhitungan Kebutuhan Daya Listrik *Container Crane* 29
4.1.1 Perhitungan Beban pada Motor Listrik 29
4.1.2 Perhitungan Beban pada Komponen Elektrikal 29
4.2 Perhitungan *Wiring Diagram Junction Power* 30
4.2.1 Perhitungan Arus Nominal dan Arus Start 30
4.2.2 Perhitungan Kabel Pengaman 31
4.2.3 Perhitungan Busbar 31
4.3 Simulasi Load Flow Analysis 32
4.4 Hasil Nilai Arus *Short Circuit* pada Setiap Bus 32
4.5 Hasil Perbandingan Arus *Short Circuit* dengan Simulasi Software 36
4.6 Pengaturan Circuit Breaker 38
4.7 Analisis Koordinasi Pengaman 42
BAB 5 58
KESIMPULAN DAN SARAN 58

5.1 Kesimpulan 58
5.2 Saran 58
DAFTAR PUSTAKA 59

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Boom crane 4
Gambar 2. 2. Trolley crane 5
Gambar 2. 3. Spreader crane 5
Gambar 2. 4. Bagian-Bagian dari Crane 6
Gambar 2. 5. Container Crane 7
Gambar 2. 6. Transformator 8
Gambar 2. 7. Motor AC Tiga Fasa 8
Gambar 2. 8. Motor DC 9
Gambar 2. 9. Sistem Kelistrikan dari Container Crane 10
Gambar 2. 10. KONE Crane 11
Gambar 2. 11. Solarcell 12
Gambar 2. 12. Skema Dasar Solarcell 13
Gambar 2. 13. Hubungan Singkat Fasa ke Netral 15
Gambar 2. 14. Hubungan Singkat Antar Fasa 16
Gambar 2. 15. Hubungan Singkat Tiga Fasa 16
Gambar 2. 16. Kurva Arus Waktu 20
Gambar 2. 17. Karakteristik Kurva Arus Waktu 20
Gambar 2. 18. Tampilan Depan Aplikasi ETAP 16.0.0 22
Gambar 2. 19. Tabel IEC 23
Gambar 2. 20. Jenis Gelombang Output dari Inverter 24
Gambar 3. 1. Flow Chart Metodologi Penelitian 25
Gambar 4. 1. Nilai Arus Singkat pada Skenario I Suplai Tegangan PLN 33
Gambar 4. 2. Nilai Arus Singkat pada Skenario II Suplai Tegangan PLN 33
Gambar 4. 3. Nilai Arus Singkat pada Skenario III Suplai Tegangan PLN 33
Gambar 4. 4. Nilai Arus Singkat pada Skenario IV Suplai Tegangan PLN 34
Gambar 4. 5. Nilai Arus Singkat pada Skenario V Suplai Tegangan PLN 34
Gambar 4. 6. Nilai Arus Singkat pada Skenario I Suplai Tegangan Inverter + PLN 35
Gambar 4. 7. Nilai Arus Singkat pada Skenario II Suplai Tegangan Inverter + PLN 35
Gambar 4. 8. Nilai Arus Singkat pada Skenario III Suplai Tegangan Inverter + PLN 35
Gambar 4. 9. Nilai Arus Singkat pada Skenario IV Suplai Tegangan Inverter + PLN 36
Gambar 4. 10. Nilai Arus Singkat pada Skenario V Suplai Tegangan Inverter + PLN 36
Gambar 4. 11. Pemilihan Spesifikasi Kabel Pengaman untuk Motor Hoist 500 kW 37
Gambar 4. 12. Oneline Diagram Container Crane KONE Crane SWL 60 Ton 38
Gambar 4. 13. Pemilihan Spesifikasi Circuit Breaker untuk Motor Hoist 500 kW 39
Gambar 4. 14. Oneline Diagram Skenario I 43
Gambar 4. 15. Urutan Pemutusan Kontak Circuit Breaker Skenario I 43
Gambar 4. 16. Kurva Arus Waktu Skenario I 44
Gambar 4. 17. Oneline Diagram Skenario II 46

Gambar 4. 18. Urutan Pemutusan Kontak Circuit Breaker Skenario II 46
Gambar 4. 19. Kurva Arus Waktu Skenario II 47
Gambar 4. 20. Oneline Diagram Skenario III 49
Gambar 4. 21. Urutan Pemutusan Kontak Circuit Breaker Skenario III 49
Gambar 4. 22. Kurva Arus Waktu Skenario III 50
Gambar 4. 23. Oneline Diagram Skenario IV 52
Gambar 4. 24. Urutan Pemutusan Kontak Circuit Breaker Skenario IV 52
Gambar 4. 25. Kurva Arus Waktu Skenario IV 53
Gambar 4. 26. Oneline Diagram Skenario V 55
Gambar 4. 27. Kurva Arus Waktu Skenario V 55

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1. Skenario dan Skema Operasi 27
Tabel 3. 2. Tabel Jadwal Pelaksanaan 28
Tabel 4. 1. Spesifikasi Motor Listrik KONE Crane 29
Tabel 4. 2. Perhitungan Beban Daya Listrik pada Komponen-Komponen Listrik 30
Tabel 4. 3. Peritungan Beban Daya Listrik pada Komponen-Komponen Listrik 31
Tabel 4. 4. Nilai Arus Singkat pada Masing-Masing Kondisi dan Skenario 36
Tabel 4. 5. Nilai Arus Singkat pada Masing-Masing Kondisi dan Skenario 37
Tabel 4. 6. Perhitungan untuk Arus Long Time Pick Up Skenario I 40
Tabel 4. 7. Perhitungan untuk Arus Short Time Pick Up Skenario I 40
Tabel 4. 8. Perhitungan untuk Arus Long Time Pick Up Skenario II 40
Tabel 4. 9. Perhitungan untuk Arus Short Time Pick Up Skenario II 41
Tabel 4. 10. Perhitungan untuk Arus Long Time Pick Up Skenario III 41
Tabel 4. 11. Perhitungan untuk Arus Short Time Pick Up Skenario III 41
Tabel 4. 12. Perhitungan untuk Arus Long Time Pick Up Skenario IV 42
Tabel 4. 13. Perhitungan untuk Arus Short Time Pick Up Skenario IV 42

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sejak lima tahun terakhir, konsep pelabuhan ramah lingkungan atau dikenal dengan istilah *green port* saat ini tengah gencar diterapkan oleh seluruh negara-negara ASEAN, baik di pelabuhan yang sudah maju, maupun yang sedang berkembang. Penerapan konsep ini merupakan bagian dari upaya untuk meminimalisir tingkat pencemaran laut, polusi udara serta berbagai dampak kerusakan lingkungan yang ditimbulkan oleh berbagai aktifitas bongkar muat di pelabuhan (*Asshanti, 2017*). Salah satu penerapan konsep *green port* yang diaplikasikan pada *container crane* adalah dengan menggunakan sumber energi listrik yang sebelumnya menggunakan bahan bakar fosil diganti dengan sumber energi terbarukan.

Sumber energi terbarukan saat ini terdapat banyak jenisnya. Pada era sekarang, telah banyak penerapan energy terbarukan seperti turbin angin, turbin air, sel surya, gelombang laut, panas bumi(*geothermal*) dan sebagainya. Peran dari sumber energi ini untuk menggantikan peran dari bahan bakar fosil yang diketahui menghasilkan emisi yang cukup tinggi, yang berakibat pencemaran lingkungan, hingga menipisnya lapisan ozon di atmosfer. Salah satu langkah penerapan konsep *green port* saat ini adalah menggunakan energi terbarukan, yaitu menggunakan sumber daya yang dapat diperbarui seperti energi matahari, aliran air, aliran udara, panas bumi dan sebagainya. Pada penerapan era ini digunakan *solarcell* yang memanfaatkan energi surya untuk diubah menjadi energi listrik. Terdapat dua tipe energi surya, yaitu sinar matahari dan *photovoltaic* (*photo* = cahaya), (*voltaic* = tegangan). Proses ini menggunakan bahan semi konduktor yang dapat disesuaikan sesuai kebutuhan untuk melepas elektron yang akan membentuk dasar energi listrik. Dari proses *photovoltaic* ini akan berperan untuk menyuplai peralatan-peralatan listrik pada *container crane* yang sebelumnya disuplai menggunakan diesel. Adapun beberapa manfaat yang diperoleh dengan penerapan konsep *green port* untuk *power supply container crane* dari bahan bakar fosil menjadi energi matahari, yaitu :

- Efisiensi Biaya Bahan Bakar
  Penerapan konsep *green port* pada *container crane* dapat menekan peningkatan harga bahan bakar minyak yang semakin meningkat, dimana kebutuhan BBM untuk operasional peralatan bongkar muat sangat tinggi dan merupakan salah satu *cost center* yang cukup besar.
- Mengurangi Dampak Polusi Lingkungan
  Konsep *green port* juga akan membantu mengurangi permasalahan lingkungan *(environmental issues)* yang disebabkan oleh aktivitas

bongkar muat di pelabuhan, seperti emisi gas buang (emisi CO_2) yang diakibatkan dari hasil pembakaran motor diesel dengan menggunakan bahan bakar minyak. Elektrifikasi juga akan mengurangi kebisingan yang umumnya diakibatkan oleh operasional motor diesel.

- Mengurangi Frekuensi Pemeliharaan
  Konversi *power supply* pada *container crane* dari diesel menjadi listrik akan mengurangi frekuensi pemeliharaan pada *container crane*, sehingga ketersediaan peralatan *container crane* menjadi meningkat yang berdampak pada meningkatnya pelayanan bongkar muat.
- Menekan Biaya untuk Penggantian *Engine Parts*

Energi listrik yang dihasilkan oleh *solarcell* tidak dapat langsung digunakan untuk menyuplai peralatan listrik yang terdapat di crane. Dibutuhkan sebuah alat untuk mengubah arus searah yang dihasilkan oleh *solarcell* menjadi arus bolak-balik, yakni *inverter*. Dari sebuah *inverter* akan dihasilkan sebuah gelombang kotak (*square wave*) ataupun *sinusoid wave*. Dari inverter inilah energi listrik dapat digunakan untuk menyuplai peralatan listrik yang memiliki arus bolak-balik dalam operasinya.

Kondisi di lapangan yang tidak menentu sesuai dengan faktor lingkungan yang terlibat dapat menyebabkan suatu sistem mengalami kegagalan. Salah satu kegagalan yang dapat terjadi adalah *short circuit*. Berdasarkan standar IEC, *short circuit* adalah hubungan yang disengaja antara konduksi melalui hambatan atau impedansi yang memiliki perbedaan yang cukup potensial. Dalam desain sistem tenaga listrik, gangguan *short circuit* adalah hal yang penting untuk diperhatikan. Gangguan *short circuit* terjadi ketika konduktor yang memiliki tegangan yang terhubung ke konduktor tegangan lain atau terhubung langsung ke konduktor yang bersifat netral (*ground*). Istilah *short circuit* dipakai untuk menjelaskan bahwa konduktor terhubung secara singkat. Untuk menangani gangguan ini, analisa terhadap *short circuit* diperlukan sehingga diharapkan dapat menggunakan sistem proteksi yang tepat dalam sistem daya. Analisa gangguan *short circuit* yang mempelajari apa saja yang berperan menyebabkan gangguan *short circuit* yang mungkin mengalir ke setiap cabang dari alat-alat listrik pada *container crane*.

Untuk mendukung upaya realisasi konsep *green port* yang efektif dan optimal, diperlukan adanya analisa terhadap daya listrik yang diperlukan dalam operasional *container crane*. Terdapat tiga cara dalam menentukan kebutuhan daya listrik, yaitu dengan menggunakan rumus empiris, analisa beban listrik dan simulasi. Dalam penelitian ini, dilakukan perhitungan daya listrik pada setiap komponen-komponen listrik serta motor-motor listrik yang digunakan dengan menggunakan rumus empiris. Selanjutnya, dilakukan analisa beban listrik yang dibutuhkan dalam mengoptimalkan kinerja peralatan bongkar muat yang telah dilakukan elektrifikasi. Adapun analisa daya listrik yang harus diperhatikan meliputi perhitungan beban-beban motor listrik yang terdapat pada *container*

crane, menentukan nilai *load factor* pada seluruh peralatan serta motor-motor listrik yang bekerja pada *container crane*, serta penentuan *wiring junction power* dan pengaturan koordinasi proteksi setiap circuit breaker pada komponen yang membutuhkan daya yang besar. Setelah seluruh perhitungan telah didapatkan, maka langkah selanjutnya adalah melakukan simulasi gangguan *short circuit* dan *star – protection & coordination* dengan menggunakan *software* simulasi, sehingga akan didapatkan kondisi gangguan akan terjadi pada jenis pekerjaan dan mode operasi tertentu yang dapat digunakan dalam perencanaan sistem di masa yang akan datang dan sebagai bahan evaluasi terhadap sistem yang ada.

1.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan dibahas dalam penelitian, yaitu :

1. Berapa nilai arus short circuit antara suplai PLN dengan suplai inverter PV yang terjadi pada sistem kelistrikan *container crane*?
2. Bagaimana perhitungan dari *circuit breaker* untuk memproteksi sistem apabila terjadi gangguan?
3. Bagaimana pengaturan kembali koordinasi *device* pengaman jika komponen tidak dapat dilindungi saat terjadi gangguan?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dibuat agar lingkup penelitian ini lebih focus, yaitu :

1. Menganalisa gangguan *short circuit* kelistrikan hanya pada sumber yang menyuplai komponen elektrikal *container crane* dan koordinasi serta pengaturan *circuit breaker*.
2. Simulasi dilakukan dengan menggunakan *software* simulasi.
3. Penelitian ini tidak menghitung mendetail perhitungan serta perencanaan dari segi ekonomi.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mendapatkan nilai arus short circuit antara suplai PLN dengan suplai inverter PV yang terjadi pada sistem kelistrikan *container crane*.
2. Mendapatkan nilai dari perhitungan *circuit breaker* untuk memproteksi sistem jika terjadi gangguan.
3. Mendapatkan nilai dari pengaturan kembali koordinasi device pengaman jika komponen tidak dapat dilindungi saat terjadi gangguan.

1.5 Manfaat

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Sebagai studi lanjut mengenai pengaturan koordinasi proteksi arus lebih pada sistem kelistrikan di *container crane*.
2. Menambah pengetahuan dalam menganalisa penyebab device pengaman yang tidak bekerja secara optimal.
3. Hasil penelitian ini dapat dijadikan dasar pengaturan koordinasi proteksi arus lebih pada sistem kelistrikan di *container crane*.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian *Crane*

Crane ialah suatu alat pengangkat dan pemindah suatu benda atau material. Crane digunakan untuk mengangkat muatan baik secara vertikal maupun horizontal secara bersama dan menaikkan atau menurunkan muatan ke tempat yang telah ditentukan *(Iqbal, 2011)*. Bagian-bagian utama dari *crane* yaitu ditunjukkan pada Gambar 2.4. sebagai berikut.

a. *Machinery House*

Machinery House adalah tempat pemasangan motor-motor listrik utama yang menggerakkan *container crane* dan seluruh peralatan penunjang lainnya, seperti transformator, *converter* dan PLC (*Program Logic Control*).

b. *Boom*

Boom adalah bagian yang berfungsi untuk memperpanjang jangkauan *crane*. Apabila *container crane* tidak beroperasi, maka *boom* akan bergerak ke atas.

Gambar 2. 1. *Boom crane*

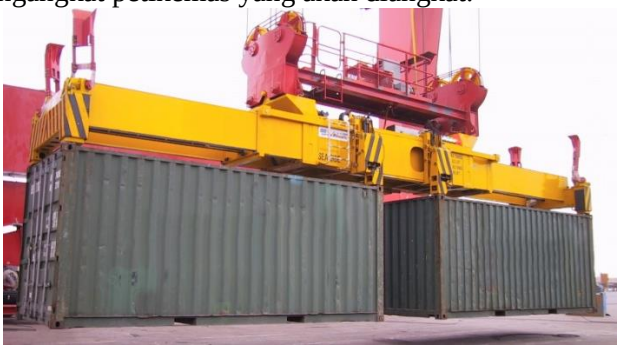
c. *Trolley*

Trolley adalah bagian yang berfungsi untuk mengangkat *spreader* ke arah atas maupun ke bawah serta ke depan dan ke belakang.

Gambar 2. 2. *Trolley crane*

d. *Spreader*

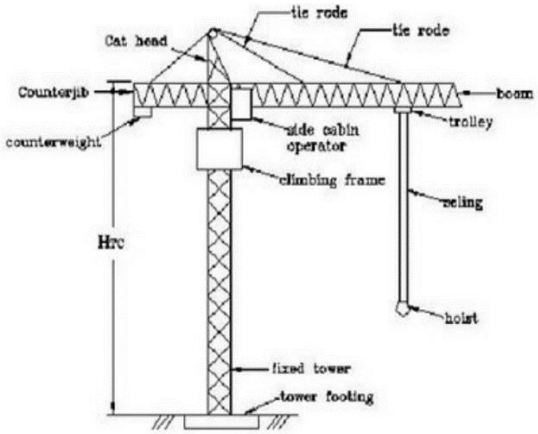
Spreader adalah bagian yang berfungsi untuk mengangkat peti kemas dari dermaga ke kapal maupun sebaliknya. *Spreader* memiliki ukuran yang dapat disesuaikan dengan panjang lintasan yang harus ditempuh untuk mengangkat petikemas yang akan diangkat.



Gambar 2. 3. *Spreader crane*

e. *Operator Cabin*

Operator Cabin adalah kabin tempat operator *container crane* bekerja. Kabin ini bergerak bersamaan dengan *trolley* sehingga operator yang bekerja dapat melihat posisi *spreader* secara tepat terhadap peti kemas.



Gambar 2. 4. Bagian-Bagian dari *Crane*

2.2 *Container Crane*

Container Crane adalah jenis *crane* yang digunakan dalam menangani muatan peti kemas atau *container*. Yang dimaksud dari peti kemas ialah peti atau sebuah kotak yang memenuhi persyaratan teknis sesuai standar ISO sebagai alat atau perangkat pengangkutan barang yang dapat digunakan di berbagai moda transportasi. Satuan kapasitas kargo peti kemas dinyatakan dalam satuan TEU *(twenty feets equivalent unit)*. Hal ini didasarkan pada volume peti kemas yang berukuran 20 *feets long*. Selain itu terdapat pula peti kemas dengan ukuran 40 *feets long (Asshanti, 2017)*.

Adapun jenis dari *container crane* yang umumnya digunakan untuk aktifitas bongkar muat container di pelabuhan yaitu *Gantry Crane (Container Crane)*. *Container Crane* (CC) atau *Container Gantry Crane* adalah sebuah alat yang berfungsi untuk bongkar muat peti kemas dari dermaga ke kapal maupun dari kapal ke dermaga. *Container crane* dipasang secara permanen yang diletakkan di pinggir dermaga dengan menggunakan rel, sehingga dapat bergeser baik ke kanan dan ke kiri untuk aktifitas bongkar muat peti kemas dalam jangkauan yang dekat maupun jauh. *Container gantry crane* mempunyai cara kerja sebagai berikut :

1) Gerakan *Hoist*

   Gerakan *hoist* pada *Container Gantry Crane* ialah gerakan naik dan turun untuk mengangkat dan menurunkan petikemas yang telah dijepit oleh *spreader* yang diikat melalui tali baja *(wire rope)* yang telah digulung oleh drum dan digerakkan oleh elektromotor. Apabila posisi pengangkatannya telah sesuai, maka gerakan drum dapat dihentikan dengan menggunakan rem *(brake)* yang terdapat pada *operator cab's* dengan menggunakan *handle*.

2) Gerakan Transversal

   Gerakan transversal pada *Container Gantry Crane* ialah gerakan yang dilakukan oleh *trolley* saat membawa muatan dengan arah dan

pergerakan yang sejajar dengan *boom* dan *girder*. Gerakan ini dilakukan melalui tali baja yang terlilit pada drum dengan penggerak mula elektromotor, setelah itu *trolley* akan bergerak pada rel yang terletak di atas *boom* dan *girder*. Gerakan ini akan terhenti jika arus listrik pada elektromotor diputus dan rem bekerja untuk menghentikan gerakan *trolley*.

3) Gerakan Longitudinal
   Gerakan longitudinal pada *Container Gantry Crane* ialah gerakan memanjang pada rel besi yang terpasang pada permukaan tanah yang dilakukan melalui roda gigi transmisi. Dalam melakukan gerakan ini, elektromotor akan memutar roda *gantry* dan *gantry* akan bergerak secara maju mundur ke arah yang dikehendaki. Apabila *gantry* telah pada posisi yang dikehendaki, maka arus listrik akan terputus dan rem sekaligus akan bekerja.

Gambar 2. 5. *Container Crane*

Pada *Container Gantry Crane*, terdapat beberapa komponen elektrikal yang bekerja. Adapun komponen-komponen elektrikal tersebut antara lain :

- Transformator
  Transformator adalah suatu komponen elektrikal yang digunakan untuk merubah besaran arus listrik bolak-balik (AC). Transformator bekerja berdasarkan Hukum Faraday dan Hukum Ampere, dimana jika pada salah satu kumparan pada transformator dialiri arus bolak balik (arus AC), maka akan timbul garis-garis gaya magnet yang berubah-ubah. Akibatnya, pada sisi kumparan primer akan terjadi induksi. Pada sisi kumparan sekunder akan menerima garis-garis gaya magnet dari sisi primer yang berubah-ubah pula, sehingga pada sisi kumparan sekunder akan timbul pula induksi. Dari peristiwa tersebut, antara kedua ujung kumparan (lilitan) akan terdapat beda tegangan.

Gambar 2. 6. Transformator

- Motor AC Tiga Fasa
  Motor listrik arus bolak-balik (AC) adalah suatu komponen elektrikal yang berfungsi untuk mengkonversi sumber energi listrik bolak-balik tiga fasa menjadi energi mekanik yang berupa putaran. Motor AC tiga fasa atau yang disebut juga sebagai motor asinkron tiga fasa merupakan motor listrik yang menggunakan sumber tegangan tiga fasa yang selanjutnya dihubungkan dengan motor. Prinsip kerja dari motor AC tiga fasa yaitu pada saat tegangan dihubungkan ke stator, maka stator akan menghasilkan fluks magnet yang mengakibatkan medan putar. Medan putar tersebut selanjutnya akan memotong batang konduktor pada rotor. Selanjutnya, akan timbul GGL induksi dari batang konduktor. GGL induksi ini muncul karena terdapat perbedaan nilai antara medan putar stator (n_s) dengan kecepatan putar rotor (n_r). Karena pada rotor dan stator merupakan rangkaian yang tertutup, maka GGL akan menghasilkan arus yang menimbulkan gaya pada rotor, sehingga rotor akan berputar.

Gambar 2. 7. Motor AC Tiga Fasa
(Sumber : id.hanzelmotor.org/asynchronous-otor/ie3-motor)

- Motor DC
  Motor listrik arus searah (DC) adalah suatu komponen elektrikal yang berfungsi untuk mengkonversi sumber energi listrik arus searah menjadi energi mekanik yang berupa putaran. Motor DC merupakan motor listrik yang menggunakan sumber arus DC yang selanjutnya mengalir melalui

armature atau lilitan. Prinsip kerja dari motor listrik arus searah yaitu jika kumparan jangkar dialiri arus listrik dan kumparan medan diberi arus eksitasi, maka akan timbul gaya Lorentz pada tiap-tiap sisi kumparan jangkar tersebut. Gaya Lorentz pada motor arus searah ditunjukkan oleh kaidah tangan kiri, dimana ibu jari menunjukkan arah gaya (F), jari telunjuk menunjukkan arah medan magnet (B) dan jari tengah menunjukkan arah arus (I). Sesuai dengan Hukum Lorentz, adanya arus serta medan magnet yang terbentuk akan menghasilkan gaya (F). Gaya inilah yang akan menimbulkan putaran (energi mekanik) pada motor DC, dan selanjutnya energi mekanik tersebut dapat ditransmisikan ke peralatan yang diinginkan. Adapun sumber arus DC didapatkan dari baterai atau sumber AC yang disearahkan dengan menggunakan *rectifier* atau penyearah arus.

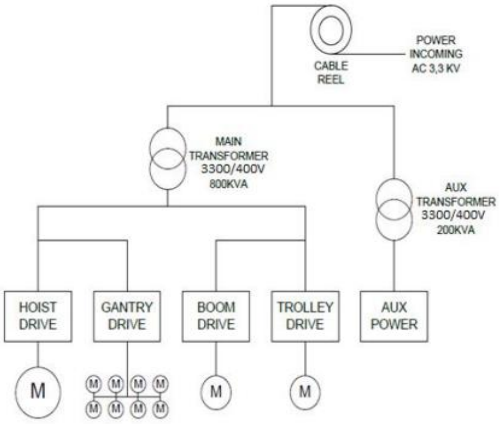
Gambar 2. 8. Motor DC
(Sumber : zonaelektro.net/)

- Penyearah Tiga Fasa Terkontrol Penuh
  Rangkaian penyearah ialah rangkaian yang dapat mengubah tegangan bolak-balik (AC) menjadi tegangan searah (DC). Salah satu komponen utama yang terdapat pada penyearah terkontrol yakni *thyristor* atau SCR (*Silicon Controlled Rectifier*) sebagai komponen penyearah yang dapat mengendalikan tegangan keluaran DC (Saragi, 2012). Adapun penyearah terkontrol dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu penyearah terkontrol penuh dan penyearah setengah terkontrol. Penyearah ini dapat digunakan untuk pengaturan kecepatan motor arus searah.

2.3 Sistem Kelistrikan pada *Container Gantry Crane*

Sistem kelistrikan pada *Container Gantry Crane* ditunjukkan oleh Gambar. Dalam operasionalnya, terdapat beberapa komponen elekrikal yang bekerja, yaitu transformator, motor arus bolak-balik (AC) tiga fasa, motor arus searah (DC) dan penyearah arus (*rectifier*) tiga fasa terkontrol penuh. Sistem kelistrikan *Container Gantry Crane* dimulai dari sumber listrik yang akan menyuplai *main trafo* dan *auxiliary trafo*. Adapun sumber listrik yang digunakan berasal dari *solarcell* yang sebelumnya mengalami proses konversi energi *photovoltaic* menjadi energi listrik yang akan disimpan di *battery*. Setelah itu,

listrik akan dialirkan menuju *main trafo* dan *auxiliary trafo*. *Main trafo* dan *auxiliary trafo* berfungsi menurunkan tegangan dari sumber. Tegangan keluaran dari *main trafo* akan dialirkan menuju motor-motor listrik penggerak komponen-komponen yang terdapat pada *Container Gantry Crane*, seperti *gantry drive, boom drive, trolley drive dan hoist drive*, sedangkan untuk tegangan keluaran dari *auxiliary trafo* akan berfungsi sebagai *auxiliary power*.



Gambar 2. 9. Sistem Kelistrikan dari *Container Crane*

2.4 Spesifikasi *Container Gantry Crane*

Brand	**: KONE Crane**
Year Built	**: 1990**
Amount	**: 4**
Type Crane	**: Panamax**
Lifting Under Spreader Above Rail Level	**: 40 meter**
Lifting Under Spreader Below Rail Level	**: 15 meter**
Max. Outreach From Sea Side	**: 38,5 meter**
Min. Backreach From Land Side	**: 11 meter**
S.W.L Under Lifting Beam	**: 70 ton**
S.W.L Under Spreader	**: 60 ton**
Span Leg to Leg	**: 15,55 meter**
Power	**: 1582 kW**

Gambar 2. 10. KONE *Crane*

2.5 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Pemanfaatan energi terbarukan saat ini menjadi isu lingkungan yang perlu diperhatikan. Penggunaan energi fosil telah banyak menghasilkan dampak serius terhadap lingkungan. Ada banyak sumber energi terbarukan yang telah dikembangkan saat ini, yaitu energi matahari(*solar energy*), panas bumi(*geothermal*), aliran air dan aliran udara. Penggunaan sumber energi terbarukan mulai diterapkan dikarenakan minimnya emisi yang dihasilkan, sumber energi yang tak terbatas jumlahnya, dan dampak terhadap lingkungan sekitar. Pada penerapan konsep *greenport*, pemanfaatan energi terbarukan yang digunakan ialah energi matahari(*solar energy*).

Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) adalah sebuah pembangkit listrik yang mengkonversi energi surya menjadi energi listrik. Pada pembangkitan listrik menggunakan energi surya yang terbagi menjadi dua tipe, yaitu sinar matahari dan *photovoltaic*. *Photovoltaic* mengubah secara langsung energi cahaya menjadi energi listrik dengan memanfaatkan efek *photoelectric*. *Solarcell* ini menggunakan sekitar 10-20 yang dipasang pada sebuah *tracking device* yang akan mengikuti arah datangnya cahaya matahari untuk menangkap cahaya matahari dengan maksimal. Suatu kesatuan *solar panel* yang terdiri dari beberapa *solarcell* yang digabung bersama untuk membentuk suatu sistem yang disebut dengan *solar array*.

Untuk penggunaan *solarcell* dalam skala industri, ratusan *solar array* saling berkaitan akan membentuk sebuah *large utility-scale PV system.* Panel tradisional terbuat dari bahan silikon, biasanya berbentuk pelat datar. Generasi kedua dari *solarcell* adalah *thin-film solar cells* karena terbuat dari material nonsilikon, seperti *galium arsinete*. *Solarcell* jenis ini menggunakan lapisan material bersifat semikonduktor yang memiliki ketebalan sangat kecil. Generasi ketiga *solarcell* dibuat dari variasi material baru selain silikon, meliputi tinta solar (*solar inks*) yang menggunakan teknologi *conventional press printing*, solar dyes, dan plastik konduktif (*conductive plastics*). Beberapa panel surya menggunakan

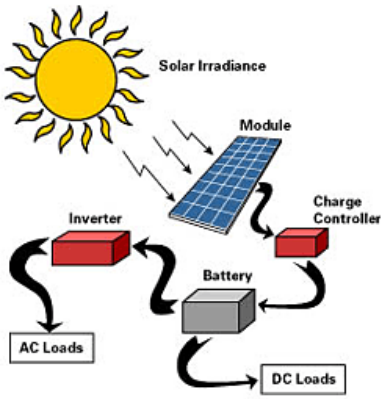
lensa plastik atau cermin untuk memfokuskan ke dalam lembaran kecil dari material PV yang memiliki efisiensi tinggi.

Gambar 2. 11. *Solarcell*

2.6 Prinsip Kerja Panel Surya

Prinsip kerja dari panel surya diawali dari sebuah partikel yang disebut "Photon". *Photon* adalah sebuah partikel sinar matahari yang berukuran sangat kecil. Partikel tersebut menghantam atom semikonduktor *solarcell* sehingga akan memunculkan energi yang besar untuk memisahkan elektron dari struktur atomnya. Elektron yang terpisah dan bermuatan negatif ini akan bebas bergerak pada daerah pita konduksi dari material yang bersifat semikonduktor, sehingga atom yang kehilangan elektron ini akan mengalami kekosongan pada strukturnya. Kekosongan ini disebut dengan "hole" dengan muatan negatif.

Daerah yang bersifat semikonduktor dengan elektron yang bebas ini bersifat negatif dan berlaku sebagai pendonor elektron, daerah ini disebut dengan semikonduktor tipe N. Sedangkan pada daerah yang bersifat semikonduktor dengan *hole* akan bersifat positif dan berlaku sebagai penerima elektron, daerah ini disebut dengan semikonduktor tipe P. Pada persimpangan daerah yang bersifat positif dan negatif akan timbul energi yang mendorong elektron dan *hole* bergerak ke arah yang berlawanan. Elektron akan bergerak menjauhi daerah yang bersifat negatif, sedangkan *hole* akan bergerak menjauhi daerah yang bersifat positif. Pada saat diberikan sebuah beban berupa komponen elektrikal di persimpangan daerah yang bersifat positif dan negatif inilah akan memunculkan arus listrik.



Gambar 2. 12. Skema Dasar *Solarcell*
(*Sumber :* https://tenagamatahari.wordpress.com/)

2.7 Komponen Panel Surya

- Panel Surya
  Panel surya merupakan komponen utama yang digunakan untuk pembangkit listrik tenaga sel surya. Panel Surya berfungsi untuk mengkonversi cahaya yang dihasilkan oleh matahari menjadi energi listrik. Untuk menghasilkan energi listrik memanfaatkan efek *photovoltaic*.
- *Inverter*
  Inverter merupakan sebuah alat yang digunakan untuk mengubah arus searah (arus DC 12/24 V) yang dihasilkan oleh panel surya atau *battery* menjadi arus bolak-balik (arus AC) dengan tegangan 220 V.
- *Battery*
  Battery merupakan sebuah alat yang digunakan untuk menyimpan energi listrik. Pada saat sel surya mengkonversi cahaya matahari menjadi energi listrik dengan memanfaatkan efek *photovoltaic*, energi listrik tersebut dapat disimpan di battery dan dapat digunakan untuk menyuplai komponen elektrikal dengan sumber arus searah (arus DC).
- Kontroler
  Kontroler merupakan sebuah alat yang digunakan untuk mengatur atau mengontrol proses pengisian energi listrik dari panel surya menuju battery.

2.8 Perhitungan Kapasitas Panel Surya

Perhitungan nilai daya listrik yang dihasilkan dari panel surya, pada dasarnya menggunakan rumus pendekatan fungsi luas dari panel surya tersebut. Semakin luas panel surya yang digunakan, maka semakin besar pula energi listrik yang dihasilkan. Berikut merupakan perhitungan nilai kapasitas daya listrik yang dihasilkan oleh panel surya, yang dapat dihitung dengan rumus dibawah ini :

$$PPV = t \times n \times Pmax$$

Keterangan :

- PPV = Besarnya daya yang dihasilkan oleh efek *photovoltaic*
- t = Peak intensitas matahari
- n = Jumlah panel surya yang digunakan
- P = Kapasitas daya yang mampu dihasilkan satu panel surya

Besarnya nilai peak intensitas matahari berdasarkan pada perhitungan di atas yakni dimulai dari pukul 7 pagi hingga 5 sore. Sehingga dapat diambil kesimpulan bahwa nilai peak intensitas matahari di Indonesia diasumsikan minimal sebesar 4 jam dan maksimum sebesar 5 jam.

2.9 Gangguan *Short Circuit*

Gangguan *short circuit* dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu *short circuit* simetri dan asimetri. Gangguan ini dapat menyebabkan mengalirnya arus lebih pada fasa yang mengalami gangguan. Selain itu, gangguan ini juga dapat menyebabkan peningkatan tegangan pada fase yang tidak mengalami kegagalan. Hampir semua kegagalan yang terjadi dalam sistem tenaga listrik adalah *short circuit* asimetri.

Short circuit terjadi karena adanya faktor internal dan faktor eksternal. Faktor internal dari gangguan ini adalah kerusakan peralatan listrik. Sementara faktor eksternal disebabkan oleh cuaca buruk, badai, hujan, bencana dan lain-lain. Selain faktor internal dan eksternal, kegagalan ini dapat berasal dari kegagalan sementara atau permanen. Gangguan yang bersifat sementara dapat diamankan oleh pemutus arus (*Circuit Breaker*) atau komponen pengaman lainnya. Sementara pada gangguan yang bersifat permanen adalah yang menyebabkan kerusakan permanen pada sistem, seperti kegagalan isolator, kerusakan konduktor, dan kerusakan pada peralatan. Beberapa konsekuensi yang ditimbulkan dari *short circuit* yaitu adanya arus korsleting, yaitu aliran arus yang menjadi besar. Jumlah arus listrik yang mengalir dapat merusak peralatan listrik jika perangkat tidak dilengkapi dengan sistem perlindungan yang tepat. Seperti yang diketahui, ketika terjadi *short circuit*, terdapat tiga kondisi yang terjadi saat itu, yaitu *subtransient*, *transient* dan *steady current*. Oleh karena itu, saat pengaturan pada arus dan waktu tunda harus dipertimbangkan saat kondisi tersebut.

Penyetelan arus hendaknya juga mempertimbangkan kondisi-kondisi tersebut. Penyetelan nilai arus sebaiknya lebih besar dari nilai arus nominal dari peralatan-peralatan elektrikal seperti *inverter*, motor listrik dan lain sebagainya untuk melindungi peralatan tersebut dari kerusakan yang disebabkan oleh beban berlebih. Hal lain yang patut diperhatikan untuk pengaman terhadap arus lebih adalah koordinasi pengaman, baik besaran arus maupun waktu tunda(*time delay*). (*Januarizki, 2016*)

Beberapa *short circuit* dapat terjadi pada instalasi listrik. Terdapat karakteristik utama bahwa terjadi gangguan, yaitu :

- Durasi (Self-extinguishing, transient, dan steady state)
- Sumber : mekanik (kerusakan pada satu konduktor, kontak listrik disengaja antara dua konduktor melalui objek konduktif dari luar), dari internal atau tegangan berlebih secara atmosperik
- Kerusakan isolasi karena panas yang timbul, kelembaban atau lingkungan yang bersifat korosif
- Lokasi : di dalam atau di luar dari mesin, atau dari switchboard
- Fasa ke tanah (80% dari kegagalan)
- Antar fasa (15% dari kegagalan)

2.9.1 Arus Hubungan Singkat Fasa ke Netral (*Line-to-Ground*)

Hubungan singkat ini terjadi antara salah satu fasa dengan netral (Isc1). Sebagai contoh, di terminal transformator terhubung dengan Y-Zigzag atau generator dibawah kondisi subtransien. Persamaan dari hubungan singkat ini adalah :

$$Isc1 = \frac{VLL}{\sqrt{3} \times (Zsc + ZLN)}$$

Dimana VLL adalah tegangan antar fasa yang akan direpresentasikan ke bentuk VLN, dengan ZLN adalah impedansi netral dan ZSC merupakan impedansi pada fasa yang terkena gangguan.

Gambar 2. 13. Hubungan Singkat Fasa ke Netral
(Chaier Technique Schneider Electric no 158 / p.12)

2.9.2 Arus Hubungan Singkat Antar Fasa (*Line-to-Line*)

Hubungan singkat ini terjadi antara dua fasa tanpa terhubung ke netral. Sebagai contoh, terjadi kesalahan pada mesin atau motor listrik yang berputar, impedansi motor yang dihasilkan sehingga Isc_2 mendekati nilai Isc_3. Arus hubungan singkat antar fasa (Isc_2) dapat diberikan persamaan berikut :

$$Isc2 = \frac{VLL}{2 \times Zsc}$$

Sehingga persamaannya menjadi :

$$Isc2 = \frac{\sqrt{3}\,Isc3}{2} = 0{,}86\,Isc3$$

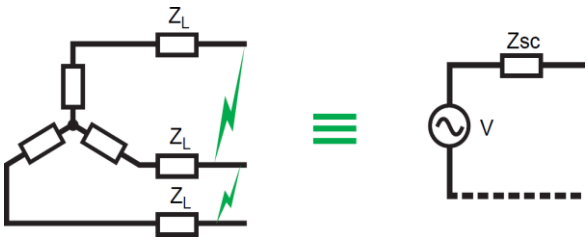
Gambar 2. 14. Hubungan Singkat Antar Fasa
(Chaier Technique Schneider Electric no 158 / p.1)

2.9.3 Arus Hubungan Singkat Tiga Fasa (*3-Phase*)

Hubungan singkat ini melibatkan ketiga fasa. Hubungan singkat tiga fasa paling sering terjadi pada jaringan kelistrikan. Arus hubungan singkat tiga fasa (Isc3) diberikan oleh persamaan berikut :

$$Isc3 = \frac{VLL}{\sqrt{3}\ \times Zsc}$$

Dimana V_{LL} adalah tegangan nominal *Line-to-Line*, dan Zsc adalah impedansi.



Gambar 2. 15. Hubungan Singkat Tiga Fasa
(Chaier Technique Schneider Electric no 158 / p.12)

2.10 Gangguan Beban Berlebih

Masalah beban lebih dapat terjadi apabila motor mengangkat beban yang lebih berat, sehingga arus yang dibutuhkan akan meningkat. Suatu motor listrik dapat dikatakan terjadi gangguan beban lebih jika arus yang mengalir melebihi arus nominalnya, artinya motor menyerap arus secara berlebihan, sehingga menimbulkan panas yang tinggi. Panas yang tinggi dan terus menerus akan menyebabkan kerusakan pada lilitan motor, jika kondisi ini tidak segera diproteksi maka akan membakar lilitan motor.

Motor listrik kadang kala mendapatkan beban lebih tanpa disadari. Beberapa komponen tidak dapat menahan kelebihan beban yang diterimanya, akibatnya akan terjadi kerusakan. Misalnya, motor digunakan untuk memutar beban melebihi kapasitas putaran motor sehingga suplay arus akan melebihi daya tahan kawatnya, sehingga kawat kumparan hangus dan tidak dapat digunakan lagi. Dalam kondisi ini, untuk memproteksi motor dapat digunakan proteksi circuit breaker arus lebih dan beban lebih.

2.11 Koordinasi Proteksi

Sistem proteksi adalah sistem pengaman peralatan listrik seperti generator, transformator, motor dll. terhadap kondisi-kondisi abnormal. Fungsi utama dari sistem proteksi adalah menghindari atau mengurangi kerusakan peralatan listrik, mempercepat melokalisir daerah yang terganggu, mengamankan manusia dari bahaya listrik (*Hutahuruk, 1991*).

Perhitungan sirkuit pendek untuk pemilihan switchgear dan koordinasi perlindungan dilakukan sesuai dengan praktik nasional dan internasional yang telah ditetapkan, yang paling penting dan diterima secara luas adalah Standar IEC dan ANSI / IEEE. Standar IEC 60909 yang diterapkan dalam makalah ini, mencakup berbagai tingkat tegangan jaringan, konfigurasi, kondisi operasi dan peralatan pembangkit dan beban.

Koordinasi proteksi pada sistem kelistrikan membutuhkan beberapa pembelajaran khusus salah satunya yaitu terletak pada cara mendesain waktu trip. Suatu circuit breaker harus dilakukan pengaturan waktu pickup-nya agar dapat beroperasi dengan cepat dan memiliki selektivitas tinggi dalam merasakan serta mengisolasi gangguan pada peralatan sekitarnya. Peralatan proteksi harus disiapkan untuk memutus setiap arus lebih yang mengalir pada motor atau rangkaian listrik sebelum arus tersebut dapat menyebabkan kenaikan suhu yang merusak isolasi, sambungan, terminasi atau sekeliling penghantar.

Untuk memproteksi sebuah sistem harus diperhatikan mengenai batas daerah mana yang akan diamankan, sehingga suatu sistem proteksi akan memberikan respon terhadap gangguan yang terjadi pada sekitar daerah yang terkena gangguan. Idealnya daerah proteksi harus saling overlap, sehingga setiap bagian dari sistem mendapatkan perlindungan. Antara *circuit breaker* utama dengan circuit breaker cadangan (backup) harus di koordinasikan agar menghasilkan sistem proteksi yang sempurna.

Pada umumnya proteksi cadangan memiliki perlambatan waktu (time delay), hal ini bertujuan supaya poteksi utama dapat memproteksi terlebih dahulu, dan apabila proteksi utama gagal, maka proteksi cadangan yang akan beroperasi selanjutnya (Wahyudi, 2008). Untuk memenuhi fungsi tersebut maka waktu trip proteksi utama disetel lebih cepat daripada trip proteksi cadangan. Pengaman dengan kemampuan selektif yang baik dibutuhkan untuk mencapai keandalan sistem yang tinggi karena dengan pengamanan yang cepat dan tepat maka akan mengisolir gangguan seminimal mungkin. (*Warrington, 1962*).

2.12 Miniature Circuit Breaker

Miniature Circuit Breaker (MCB) merupakan sebuah peralatan 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 atau gangguan seperti hubungan singkat. (*Nashrudin, 2010*).

Fungsi utama dari MCB adalah sebagai alat pembuka dan penutup suatu rangkaian listrik ketika dalam kondisi berbeban, serta mampu membuka atau menutup saat terjadi gangguan (short circuit) pada peralatan listrik. Dapat disimpulkan, arus berlebih yang disebabkan oleh beban lebih dan hubungan pendek (*short circuit*) dapat sekaligus diproteksi dalam *range* yang telah diatur pada *circuit breaker*. Terdapat jenis circuit breaker yang lain namun memiliki fungsi yang serupa, yaitu MCCB (*Molded Case Circuit Breaker*) dan ACB (*Air Circuit Breaker*). MCCB merupakan alat pengaman yang dalam proses operasinya memiliki dua fungsi, yaitu sebagai pengaman dan sebagai alat penghubung. Jika dilihat dari segi pengaman, maka MCCB dapat berfungsi sebagai pengaman gangguan arus hubung singkat dan arus beban lebih. Pada jenis tertentu, pengaman ini mempunyai kemampuan pemutusan yang dapat diatur sesuai dengan yang diinginkan. ACB merupakan alat pengaman dengan sarana pemadam busur api berupa udara. ACB ini dapat digunakan pada tegangan rendah dan menengah. Untuk menginginkan sistem agar lebih terproteksi, dapat menggunakan kombinasi CB yang sesuai dengan kebutuhan dari sistem kelistrikan.

2.12.1 Prinsip Kerja *Circuit Breaker* saat Hubungan Singkat

Pemutusan ini terjadi apabila terjadi hubungan singkat yang menimbulkan arus yang sangat besar sehingga membutuhkan waktu yang relatif cepat untuk melindungi komponen - komponen listrik dengan melakukan pemutusan rangkaian (*trip*). Pemutusan rangkaian tidak menggunakan bimetal, tetapi dilakukan menggunakan sistem induksi elektromagnetik. Untuk cara kerjanya hampir sama dengan prinsip induktor. Apabila suatu induktor dialiri arus listrik yang besar menyebabkan induktor dalam MCB akan bergerak karena timbulnya induksi magnet. Arus listrik yang besar mengalir pada coil dalam waktu yang singkat akan menghasilkan induksi magnet pada coil. Akibatnya induksi magnetik antara terminal atas dengan terminal bawah akan terputus yang menyebabkan MCB menjadi off. Trip ini disebut instantaneous pick up pada pengaturan MCB *low voltage circuit breaker*.

2.12.2 Prinsip Kerja *Circuit Breaker* saat Beban Berlebih

Arus listrik dapat menyebabkan panas pada suatu tahanan, meskipun arus listrik tersebut nilainya kecil. Hal ini berarti arus yang mengalir pada sebuah bimetal yang terdapat pada MCB dapat menimbulkan panas. Apabila arus yang melewati bimetal melebihi arus

nominal MCB atau melebihi *rating* amperenya tersebut menyebabkan bimetal akan menjadi melengkung karena dua logam tersebut mempunyai koefisien muai yang berbeda. Apabila arus semakin melebihi arus nominalnya, maka yang terjadi bimetal akan semakin melengkung menyebabkan bimetal tersebut menyentuh pemicu dan menarik komponen trip agar tidak kontak dengan terminal atas dan bersamaan dengan itu tuas operasi atau *toggle* menjadi *off*.

2.12.3 Setting *Circuit Breaker* saat Hubungan Singkat

Setting circuit breaker saat hubungan singkat disebut juga *short time pick up* pada pengaturan *circuit breaker*. Berdasarkan *British Standard 142, setting pick up* untuk hubungan singkat adalah 1,6 FLA s/d 0,8 Isc min. Hal ini dimaksudkan bahwa *circuit breaker* akan memproteksi sebelum terjadinya hubungan singkat minimal yaitu hubungan singkat satu fasa pada komponen tersebut.

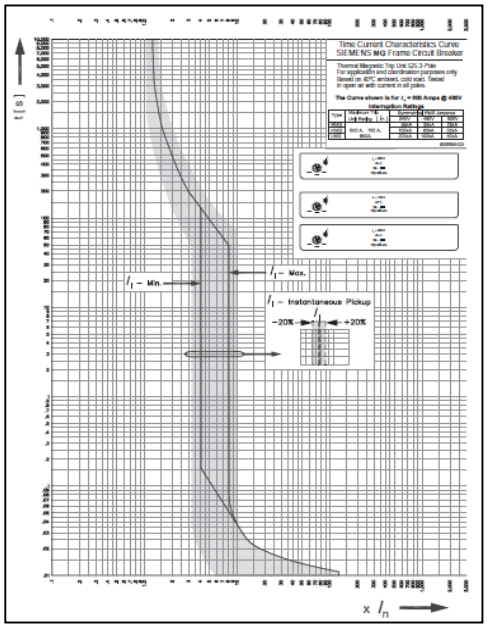
Sedangkan untuk memproteksi arus hubungan singkat maksimal atau disebut juga hubungan singkat tiga fasa, digunakan *setting instantaneous pick up*, dimana nilai *setting circuit breaker* harus dibawah nilai arus hubungan singkat tiga fasa pada komponen tersebut.

2.12.4 Setting *Circuit Breaker* saat Beban Berlebih

Setting circuit breaker saat hubungan singkat disebut juga long time pick up pada pengaturan *circuit breaker*. Berdasarkan *British Standard 142, setting pick up* untuk gangguan beban berlebih adalah 1,05 FLA – 1,4 FLA. Hal ini dimaksudkan bahwa ketika beban mencapai 105% maka sudah dianggap gangguan beban lebih. Sehingga toleransi maksimal beban lebih adalah jika motor beroperasi pada 140% pembebanan. Akan tetapi *setting circuit breaker* harus memproteksi sebelum beban mencapai 140% agar arus yang timbul tidak membakar lilitan motor.

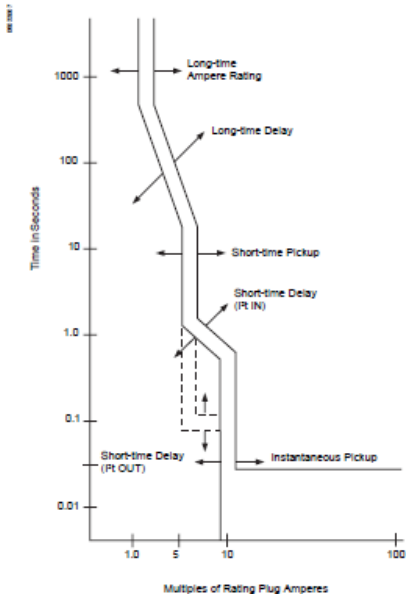
2.13 Karakteristik Kurva Arus Waktu

Kurva arus-waktu adalah kurva yang digunakan untuk menunjukan seberapa cepat suatu breaker akan memutus suatu arus yang menyebabkan gangguan. Pada sumbu x (*horizontal axis*) menunjukan nilai dari arus nominal untuk *breaker*. Pada sumbu y (*vertical axis*) menunjukan waktu dalam detik.



Gambar 2. 16. Kurva Arus Waktu
(Siemens, Basic of Circuit Breaker)

Karakteristik kurva arus waktu pada bagian bawah ke bagian kiri mengindikasikan daerah tidak adanya operasi dan pada bagian bawah ke bagian kanan mengindikasikan daerah operasi. karakteristik kurva ini dibutuhkan dalam mengkoordinasikan untuk memilih atau mengatur beberapa peralatan proteksi.



Gambar 2. 17. Karakteristik Kurva Arus Waktu
(Data Bulletin Schneider Electric, 2001)

Pengaturan waktu pemutusan dalam *circuit breaker* dikategorikan dalam beberapa jenis yaitu (*Csanyi, 2016*) :

a. *Continues Ampere (Ir)*
   Nilai arus yang mengalir dari rangkaian atau peralatan tanpa menyebabkan *circuit breaker* memutus kontak (*trip*). Nilai *continues ampere* adalah prosentase dari arus nominal circuit breaker. Dan dapat dilakukan pengaturan nilai dari 20 sampai 100 persen dari arus nominal *circuit breaker*.
b. *Long-time Delay*
   Long-time Delay mengakibatkan *circuit breaker* menunda waktu untuk mengizinkan *temporary inrush current* (arus start motor) tanpa mengakibatkan *circuit breaker* memutus rangkaian. Pengaturan waktu tunda ini dari 2.2 sampai 27 detik pada enam kali nilai arus pengaturan (Ir). *Long time delay* umumnya terjadi pada gangguan beban lebih (*overload*).
c. *Short-time Pickup*
   Digunakan jika terjadi arus hubung singkat yang nilainya kecil. Bekerja berdasarkan fungsi inverse dimana semakin besar nilai arus maka semakin cepat *circuit breaker* melepas kontak. Pengaturan waktu *short time pickup* dari 1.5 sampai 100 kali dari nilai arus pengaturan (Ir).
d. *Short-time Delay*
   Pengaturan waktu dari *Short Time Delay* terkait dengan pengaturan waktu pemutusan *Short Time Pick Up*.
e. *Instantaneous*
   Digunakan untuk memutus *circuit breaker* tanpa adanya waktu tunda dengan nilai arus yang mengalir 2 - 40 kali dari arus pengaturan (Ir). Interupsi seketika ini terjadi ketika nilai dari arus hubung singkat yang sangat besar, sehingga meminimalisir dampak kerusakan pada rangkaian dan peralatan lainnya.

2.14 Software ETAP (*Electrical Transient Analyzer Program*)

ETAP (*Electrical Transient Analyzer Program*) adalah suatu perangkat lunak/*software* yang mendukung pemodelan sistem tenaga listrik. *Software* ini mampu bekerja dalam mode *offline* untuk simulasi tenaga listrik, mode *online* untuk pengelolaan data secara *real-time* atau untuk mengendalikan sistem secara *real-time*.

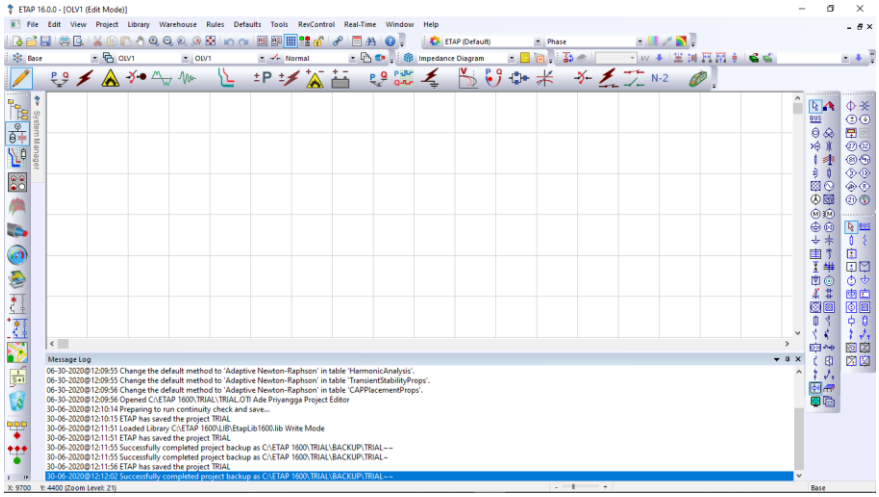
Pengguna ETAP digunakan untuk mendapatkan sejumlah informasi mengenai kondisi sistem baik secara *offline* dengan simulasi maupun secara *online*/*real-time*. Didalam simulasi *software* ETAP, pengguna akan dapat mensimulasikan suatu gangguan pada sistem tenaga listrik yang sebelumnya sudah dilakukan permodelan, sehingga pengguna dapat mengetahui kondisi sistem setelah terjadi gangguan dan bagaimana cara menanggulanginya. Salah satunya

adalah simulasi gangguan yang digunakan pada ETAP adalah analisa gangguan *short circuit*.

Electrical Transient Analyzer Program Power Station juga menyediakan fasilitas berupa *Library* yang akan membantu desain suatu sistem kelistrikan. *Library* ini dapat diedit atau dapat ditambahkan dengan informasi peralatan, bila diperlukan.

Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam penggunaan *software Electrical Transient Analyzer Program Power Station* adalah :

a. One Line Diagram menunjukkan hubungan antar komponen-komponen elektrikal sehingga membentuk suatu sistem kelistrikan.
b. Informasi pada *Library* mengenai semua peralatan yang akan digunakan dalam sistem kelistrikan. Data-data elektris maupun mekanis dari peralatan yang lengkap dapat membantu dan mempermudah hasil simulasi.
c. Standar yang digunakan biasanya mengacu pada standar IEC atau ANSI, pada frekuensi sistem dan metode yang dipakai. Perbedaan antara standar IEC dan ANSI terdapat pada standar frekuensi yang digunakan akan berakibat perbedaan spesifikasi peralatan elektrikal yang digunakan. Pada IEC, nilai frekuensi yang dipakai adalah 50 Hz, sedangkan ANSI adalah 60 Hz.
d. Dalam *study case*, berisikan parameter-parameter yang berkaitan dengan metode studi yang akan dilakukan dan format hasil dari analisa.



Gambar 2. 18. Tampilan Depan Aplikasi ETAP 16.0.0

2.15 Aturan Gangguan *Short Circuit* Berdasarkan IEC

Aturan yang dipakai sebagai patokan untuk mengetahui terjadinya *short circuit* pada motor-motor listrik pada *crane* yang dapat diterima atau tidak dalam penelitian ini adalah IEC (*International Electrotechnical Commision*). Aturan IEC telah mengatur banyak hal yang berkaitan dengan instalasi listrik dan peralatan

listrik dan peralatan listrik seperti persyaratan yang harus diterapkan pada instalasi berkaitan dengan efisiensi listrik. Salah satu bagian yang diatur oleh IEC adalah kualitas tegangan pada sebuah instalasi dan peralatan listrik. Kualitas tegangan yang dimaksud ialah gejala gangguan *short circuit* pada instalasi listrik dan peralatan listrik. Pada IEC 60909-0 *Short-circuit currents in three-phase a.c systems* ditunjukkan pada tabel dibawah ini :

Nominal voltage U_n	Voltage factor c for the calculation of maximum short-circuit currents c_{max} [1]	Voltage factor c for the calculation of minimum short-circuit currents c_{min}
Low voltage 100 V to 1 000 V (IEC 60038, table I)	1,05[3] 1,10[4]	0,95
Medium voltage >1 kV to 35 kV (IEC 60038, table III)	1,10	1,00
High voltage[2] >35 kV (IEC 60038, table IV)		

[1] $c_{max}U_n$ should not exceed the highest voltage U_m for equipment of power systems.

[2] If no nominal voltage is defined $c_{max}U_n = U_m$ or $c_{min}U_n = 0{,}90 \times U_m$ should be applied.

[3] For low-voltage systems with a tolerance of +6 %, for example systems renamed from 380 V to 400 V.

[4] For low-voltage systems with a tolerance of +10 %.

Gambar 2. 19. Tabel IEC

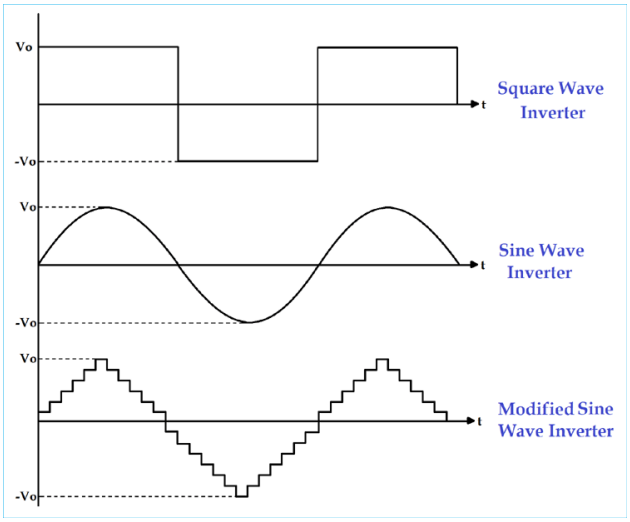
2.16 Gelombang yang Dihasilkan oleh Inverter

Inverter ialah sebuah rangkaian untuk mengubah tegangan searah (DC) menjadi tegangan bolak-balik (AC), atau lebih tepatnya inverter berperan memindahkan tegangan dari sumber searah (DC) ke beban bolak-balik (AC). Sumber tegangan dari inverter dapat berupa baterai, panel surya maupun dari sumber tegangan searah lainnya. Berdasarkan output gelombang yang dihasilkan, inverter dapat dibagi menjadi tiga macam, yaitu gelombang kotak (*square wave*), *modified sine wave*, dan *pure sine wave*.

- Gelombang Kotak (*Square Wave*)
  Square Wave merupakan gelombang inverter yang paling sederhana. Meskipun gelombang jenis ini dapat menghasilkan tegangan bolak-balik (AC) sebesar 220V, frekuensi 50 Hz namun memiliki kualitas yang sangat buruk. Sehingga hanya dapat digunakan pada beberapa peralatan listrik saja. Hal ini disebabkan karena karakteristik keluaran inverter ini adalah memiliki level *total harmonic distortion* yang tinggi.
- Gelombang Sinus Termodifikasi (*Modified Sine Wave*)
  Modified Sine Wave merupakan gelombang inverter yang memiliki karakteristik hampir sama dengan *square wave*, namun pada gelombang ini outputnya hampir menyentuh nilai 0 untuk beberapa saat sebelum pindah ke positif atau negatif. Selain itu, karena gelombang ini memiliki *total harmonic distortion* yang lebih sedikit dibandingkan *square wave*,

maka dapat digunakan untuk beberapa komponen elektrikal seperti televisi, lampu dan komputer. Namun gelombang ini tidak dapat digunakan untuk beban-beban yang lebih sensitif.

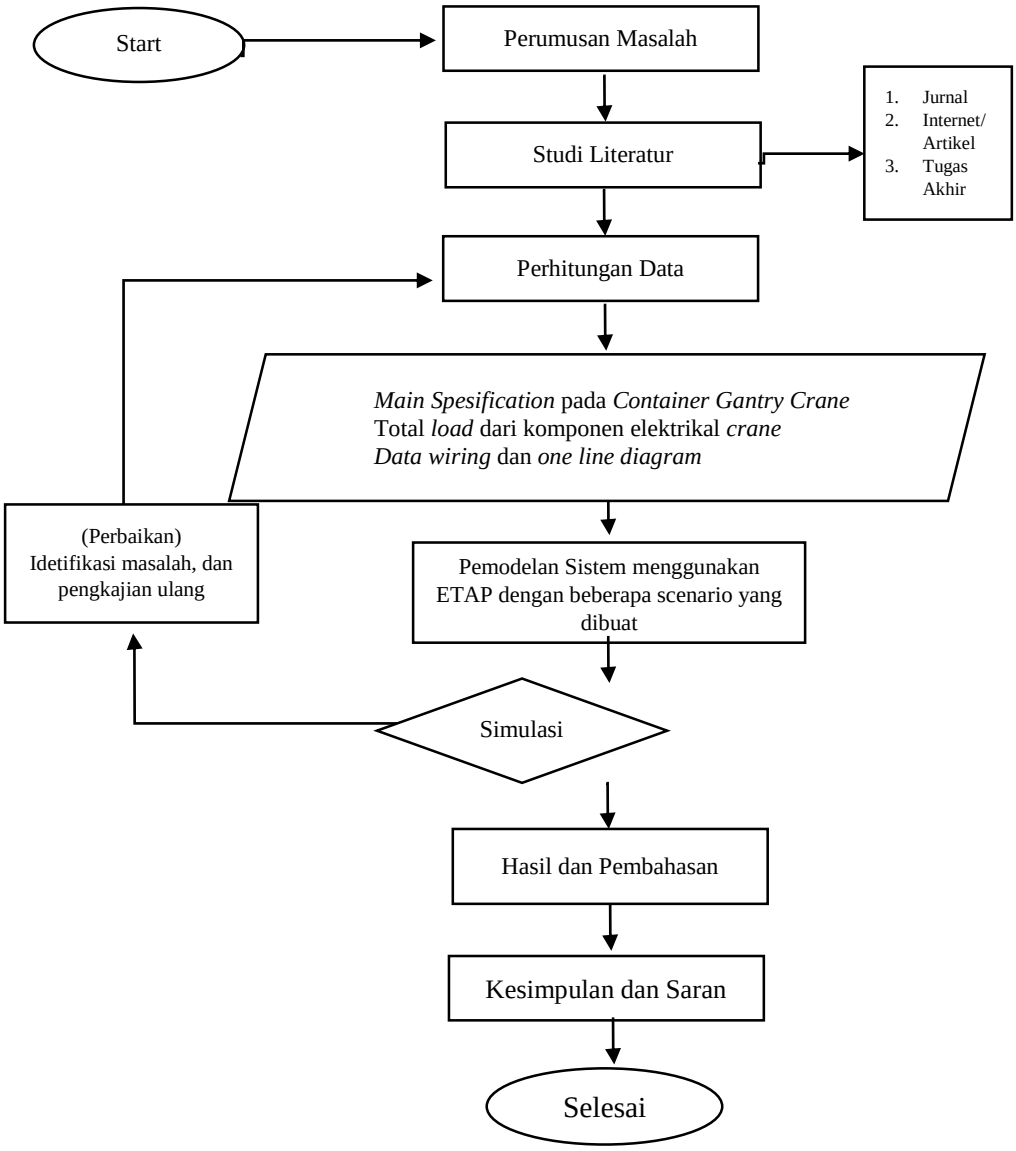
- Gelombang Sinus Murni (*Pure Sine Wave*)
  Pure Sine Wave merupakan gelombang inverter yang hampir sama dengan gelombang sinusoida sempurna. Dengan *total harmonic distortion* (THD) < 3%. Sehingga gelombang ini cocok digunakan untuk semua alat elektronik. Oleh sebab itu, gelombang ini juga disebut dengan *clean power supply*. Teknologi yang digunakan oleh gelombang ini umumnya disebut dengan *pulse width modulation* (PWM) yang dapat merubah tegangan searah (DC) menjadi tegangan bolak-balik (AC) dengan bentuk gelombang yang hampir sama dengan gelombang sinusoida.



Gambar 2. 20. Jenis Gelombang Output dari Inverter
Sumber : https://circuitdigest.com/tutorial/different-types-of-inverters

BAB III
METODE PENELITIAN

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah menggunakan metode berbasis *software*. Perhitungan data dilakukan dengan melakukan pengumpulan data riil terhadap objek penelitian, perhitungan yang diperlukan berdasarkan data riil menggunakan rumus empiris. Kemudian, hasil yang didapat akan dilakukan analisa untuk didapatkan sebuah kesimpulan. Adapun tahapan-tahapan yang dilakukan adalah sebagai berikut :



Gambar 21. 1. *Flow Chart* Metodologi Penelitian

3.1 Deskripsi Tahapan Penelitian

Perumusan masalah merupakan tahap pertama dalam penyelesaian tugas akhir/skripsi. Tahap ini adalah tahapan yang sangat penting, dimana pada tahap ini mengapa suatu permasalahan yang ada harus dipecahkan sehingga layak untuk dijadikan bahan dalam tugas akhir. Pencarian masalah dilakukan dengan cara mencari informasi mengenai masalah yang terjadi saat ini. Dari tahap ini, tujuan mengapa tugas akhir ini diselesaikan dapat diketahui. Dalam tugas akhir ini, masalah yang akan dibahas dan dipecahkan adalah mengenai analisa gangguan *short circuit* pada *container gantry crane* disuplai dengan *solarcell* apakah sesuai standar yang ditentukan dengan menggunakan metode simulasi *software* ETAP versi 16.0.0.

3.2 Studi Literatur

Tahap selanjutnya adalah studi literatur. Tahap ini dilaksanakan untuk mendapatkan referensi yang sesuai dengan topic permasalahan yang dibahas, dengan cara mempelajari teori-teori yang relevan dengan topic kajian untuk diterapkan pada tugas akhir ini, sehingga akan jelas apa yang harus dilakukan agar permasalahan tersebut dapat terselesaikan. Adapun beberapa macam teori-teori yang dapat mendukung dalam penelitian ini bersumber dari buku, internet, jurnal dan sebagainya.

3.3 Pengumpulan Data

Tahap berikutnya adalah pengumpulan data. Tahap ini bertujuan untuk memperoleh data dan informasi yang dibutuhkan untuk menunjang pengerjaan tugas akhir ini. Dalam hal ini, data yang diperlukan antara lain :

1. *Main specification* dari *container gantry crane*
2. Total *load* dari komponen elektrikal *crane*
3. Perhitungan kapasitas yang dihasilkan panel surya
4. Data *wiring* dan *one line diagram*
5. Data standard IEEE dan IEC

‘

3.4 Proses

Selanjutnya adalah tahap proses. Dalam tahap ini terdapat beberapa proses yang dilakukan untuk memecahkan masalah dalam penelitian ini. Langkah pertama yang dilakukan adalah perhitungan menggunakan rumus pendekatan yang disesuaikan dengan *main specification* dari peralatan elektrikal crane untuk menghitung total *load* pada crane.

Langkah berikutnya adalah menghitung kapasitas yang dihasilkan oleh panel surya dan data wiring dari peralatan elektrikal pada *crane*. Selanjutnya adalah melakukan pemodelan simulasi dengan *software* ETAP versi 16.0.0 untuk mendapatkan perbandingan dari hasil perhitungan data-data secara general dan dari rumus pendekatan sebelumnya. Berikut tabel variasi pembebanan yang

dilakukan pada pengambilan data untuk meneliti aliran daya yang terjadi pada sistem kelistrikan *crane* yaitu :

Skenario	Suplai Daya	Beban	Skema Operasi
1	Listrik PLN	Motor *Boom*, *Hoist*, *Trolley*, *Gantry*	Skenario I : Hoist beroperasi Skenario II : Boom beroperasi Skenario III : Trolley beroperasi Skenario IV : Gantry beroperasi Skenario V : Hoist + Trolley beroperasi
2	*Solarcell*/ output dari Inverter	Motor *Boom*, *Hoist*, *Trolley*, *Gantry*	Skenario I : Hoist beroperasi Skenario II : Boom beroperasi Skenario III : Trolley beroperasi Skenario IV : Gantry beroperasi Skenario V : Hoist + Trolley beroperasi

Tabel 3. 1. Skenario dan Skema Operasi

3.5 Pemodelan Sistem

Pada tahap pemodelan ini, dilakukan serangkaian pemodelan dengan one line diagram pada *software* simulasi yang dipakai, yaitu ETAP versi 16.0.0. Tahap ini dilakukan proses menggambar ulang sistem kelistrikan sesuai dengan kondisi nyata pada *container gantry crane*.

3.6 Pembahasan dan Hasil

Langkah selanjutnya adalah tahap pembahasan dan hasil. Pada tahap ini akan menjelaskan data yang telah kredibilitasnya apakah sesuai dengan standard yang dipakai (IEC). Setelah itu, akan dilakukan pembahasan faktor apa saja yang mempengaruhi beberapa data yang mengakibatkan tidak memenuhi standar atau kurang kredibel dan juga membahas upaya apa yang perlu dilakukan untuk memperbaiki data yang kurang kredibel atau kurang memenuhi standard.

3.7 Kesimpulan dan Saran

Tahap akhir dari penelitian ini adalah mengambil kesimpulan dan saran. Tahap ini dilakukan pembuatan kesimpulan yang diambil berdasarkan proses sebelumnya. Berikutnya, akan dilakukan pemberian saran yang berisi tentang hal-hal apa saja yang perlu dikaji lebih lanjut untuk penelitian berikutnya.

3.8 Jadwal Pelaksanaan

Pelaksanaan penelitian tugas akhir ini dilaksanakan pada bulan Februari 2020 dan direncanakan selesai pada bulan Mei 2020.

No	Rencanaan Kegiatan	Februari				Maret				April				Mei			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Perumusan Masalah																
2	Studi Literatur																
3	Pengumpulan Data																
4	Pembuatan Model																
5	Simulasi																
6	Hasil dan Pembahasan																
7	Validasi																
8	Kesimpulan dan Saran																
9	Penyusunan Laporan																

Tabel 3. 2. Tabel Jadwal Pelaksanaan

BAB 4
ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Perhitungan Kebutuhan Daya Listrik *Container Crane*

Dalam melakukan perhitungan untuk menghitung berapa besar kebutuhan daya listrik yang diperlukan dalam mode operasional *container crane*, diperlukan perhitungan beban daya listrik yang terdapat di tiap-tiap equipment elektrikal seperti motor-motor listrik dan peralatan lainnya yang beroperasi di *container crane*. Adapun perhitungan beban listrik pada tiap komponen elektrikal yang terdapat pada satu unit *container crane* yang beroperasi di PT. Terminal Teluk Lamong Surabaya adalah sebagai berikut.

4.1.1 Perhitungan Beban pada Motor Listrik

Perhitungan beban pada motor-motor listrik yang beroperasi di *container crane* merupakan hal yang penting dilakukan, sebab kebutuhan daya listrik yang terbesar diperoleh dari operasional dari motor-motor listrik. Adapun motor-motor listrik tersebut antara lain motor *hoist*, motor *boom*, motor *trolley* dan motor *gantry*. Perhitungan beban seluruh motor listrik yang didapat pada satu unit container crane dengan rincian KONE *Crane* dilakukan berdasarkan spesifikasi yang terdapat di PT. Terminal Teluk Lamong Surabaya.

Adapun spesifikasi dari motor listrik yang beroperasi berdasarkan *container crane* adalah seperti ditunjukkan pada tabel 4.1 dibawah ini.

No.	Peralatan	Spesifikasi	Daya
1	Motor Hoist	2 x 500kW S3-ED	1000 kW
2	Motor Boom	110 kW S3-ED	110 kW
3	Motor Trolley	4 x 30 kW S3-ED	120 kW
4	Motor Gantry	16 x 22 kW S3-ED	352 kW
Total			1582 kW

Tabel 4. 1. Spesifikasi Motor Listrik KONE Crane

4.1.2 Perhitungan Beban pada Komponen Elektrikal

Besar beban daya listrik yang terdapat pada seluruh peralatan listrik yang beroperasi di *container crane* ini menentukan besarnya beban listrik yang diperlukan oleh *container crane*. Adapun peralatan listrik lainnya yang beroperasi di container crane yaitu *main hoist brake, boom brake, trolley brake, gantry brake, air conditioning, cooling fan, lighting, cable heater, AC Electrical Room* dan *auxiliary*. Besar beban listrik dari seluruh komponen-komponen tersebut ditunjukkan pada tabel 4.2.

No.	Spesifikasi	Total kW
1	Main Hoist Brake	3 kW x 2 unit
2	Boom Brake	3 kW x 1 unit
3	Trolley Brake	3,4 kW x 4 unit

4	Gantry Rail Brake	8 kW x 16 unit
5	Air Conditioning	10 kW x 1 unit
6	Cooling Fan	4 kW x 2 unit
7	Lighting	1 kW x 25 unit
8	Cable Heater	0,05 kW x 2 unit
9	AC Electrical Room	25 kW x 2 unit
10	Auxiliary	20 kW
Total		263,7 kW

Tabel 3. 2. Perhitungan Beban Daya Listrik pada Komponen-Komponen Listrik

4.2 Perhitungan *Wiring Diagram Junction Power*

Wiring Diagram ialah skema alur tegangan listrik dan arus listrik yang ada pada suatu peralatan listrik. Adapun wiring diagram junction power adalah skema untuk mengetahui berapa besar power dari tiap-tiap komponen yang ada di suatu peralatan dan juga untuk mengetahui berapa besar arus yang mengalir pada tiap-tiap komponen tersebut (*Iqbal, Muhammad : 2011).*

Dalam melakukan perhitungan wiring diagram junction power, diperlukan data-data mengenai arus nominal serta arus start dari komponen-komponen elektrikal yang beroperasi di container crane. Dari data tersebut, akan didapatkan data-data mengenai jenis kabel pengaman serta busbar yang akan dipakai.

4.2.1 Perhitungan Arus Nominal dan Arus Start

Perhitungan arus start ialah perhitungan yang penting dilakukan karena pada perhitungan arus start, kita dapat mengetahui besar lonjakan arus start dari motor-motor listrik yang beroperasi pada container crane. Umumnya motor induksi memiliki arus start yang besarnya hingga mencapai beberapa kali lipat dari arus nominalnya, yaitu 2 – 3 kali dari arus nominalnya, sehingga perhitungan arus start tersebut harus dilakukan secara tepat untuk faktor keamanan dalam perhitungan kebutuhan daya listrik.

Perhitungan arus start pada motor-motor induksi yang bekerja pada container crane dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$I_{start} = 3 \times I_{nominal} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots [1]$$

Dengan menggunakan rumus tersebut, maka perhitungan nilai arus start pada motor-motor induksi yang bekerja pada container crane dijabarkan dalam Tabel 4.3.

No.	Peralatan	$I_{nominal}$	I_{start}
1	Motor Hoist	84,90 Ampere	254,71 Ampere
2	Motor Boom	11,21 Ampere	33,62 Ampere
3	Motor Trolley	12,57 Ampere	37,70 Ampere
4	Motor Gantry	44,83 Ampere	134,49 Ampere

Tabel 4. 3. Peritungan Beban Daya Listrik pada Komponen-Komponen Listrik

4.2.2 Perhitungan Kabel Pengaman

Perhitungan kabel pengaman berfungsi untuk menentukan besarnya diameter kabel pengaman yang digunakan agar tidak terjadi lonjakan arus atau kelebihan beban (*Iqbal, Muhammad : 2011*). Kabel pengaman berfungsi sebagai proteksi terhadap peralatan listrik terhadap kondisi yang tidak normal. seperti beban berlebih atau terjadi hubungan singkat arus listrik. dengan cara memutuskan arus gangguan dan mengisolasi gangguan yang terjadi.

Dalam melakukan penentuan kabel pengaman yang diperlukan pada MCB, dibutuhkan perhitungan mengenai nilai arus nominal serta nilai arus *start* terbesar pada motor-motor listrik yang berada di *container crane*, selanjutnya dilakukan perhitungan arus total dari penjumlahan arus nominal serta arus *start* yang telah didapatkan. Adapun rumus yang dapat digunakan untuk menentukan besar nilai arus nominal adalah sebagai berikut :

Untuk motor listrik arus searah :

$$I = \frac{P}{V} \text{ .....[2]}$$

Untuk motor listrik arus bolak balik tiga fasa:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \times V \times cos\varphi} \text{ .....[3]}$$

Setelah diketahui besar nilai arus nominal, maka langkah selanjutnya yaitu menghitung besar arus total yang mengalir dalam satu *container crane*. Adapun besar nilai arus total dapat dihitung sebagai berikut :

$$I_{total} = I_{nominal} + I_{komponen\ arus\ terbesar} \text{ .....[4]}$$

Nilai arus total yang telah didapatkan selanjutnya digunakan untuk menentukan jenis kabel pengaman yang akan digunakan.

4.2.3 Perhitungan Busbar

Busbar ialah sebuah alat yang dapat menghantarkan tegangan dan arus listrik menuju peralatan-peralatan listrik. Perhitungan busbar bertujuan untuk menentukan jenis dan besar ukuran busbar yang akan digunakan dalam menghantarkan tegangan dan arus listrik menuju motor-motor listrik serta komponen-komponen listrik lainnya yang beroperasi di *container crane*. Dalam menentukan jenis dan ukuran busbar yang akan digunakan, dapat digunakan rumus sebagai berikut:

$$I_{busbar} = 4 \times I_{total} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots [5]$$

Dari besar arus busbar yang telah didapatkan, maka langkah selanjutnya yaitu menentukan ukuran busbar yang sesuai pada tabel busbar dengan cara mencocokan nilai arus busbar dengan nilai arus yang terdapat pada tabel.

4.3 Simulasi Load Flow Analysis

Simulasi *Load Flow Analysis* dipakai untuk mengetahui kondisi awal dari perencanaan suatu sistem kelistrikan. Dalam simulasi ini, juga dipakai untuk mengetahui dari nilai setiap tegangan yang mengalir, memastikan juga bahwa tegangan tidak dalam kondisi *overvoltage* maupun *undervoltage*. Serta memastikan equipment yang ter-instal pada suatu sistem kelistrikan tidak mengalami *overload*, *over excited* maupun *under excited*.

4.4 Hasil Nilai Arus *Short Circuit* pada Setiap Bus

Nilai arus *short circuit* dapat diperoleh dengan cara melakukan simulasi *short circuit* pada skenario yang telah direncanakan, yaitu skenario I : motor *hoist* run, motor *boom, trolley, gantry* off; skenario II : motor *boom* run, motor *hoist, trolley, gantry* off; skenario III : motor *trolley* run, motor *hoist, boom, gantry* off; skenario IV : motor *gantry* run, motor *hoist, boom, trolley* off; skenario V : motor *hoist + trolley* run, motor *boom, gantry* off. Pada skenario tersebut terdapat kondisi disuplai oleh tegangan PLN dan tegangan hasil output dari inverter ditambah *backup* suplai tegangan PLN. Hasil simulasi *short circuit* tiga fasa ini dapat disebut nilai I_{sc} *maximum* karena kebutuhan akan arus terbesar dalam suatu sistem kelistrikan adalah pada hubungan tiga fasa. Sementara pada hasil simulasi *short circuit* antar fasa dapat disebut nilai I_{sc} *minimum* karena kebutuhan arus terkecil dalam suatu rangkaian sistem kelistrikan ada pada hubungan antar fasa.

Nilai arus *short circuit* pada kondisi disuplai dengan menggunakan tegangan PLN akan menjadi acuan untuk untuk studi kasus selanjutnya. Berikut ini adalah nilai arus *short circuit* pada *container crane* saat kondisi suplai tegangan PLN.

4.4.1 Nilai Arus Short Circuit Tegangan PLN Tiap Skenario

Project:	ETAP	Page:	1
Location:	16.0.0C	Date:	30-05-2020
Contract:		SN:	4359168
Engineer:		Revision:	Base
Filename: Coba	Study Case: SC	Config.:	Normal

Short-Circuit Summary Report

3-Phase, LG, LL, LLG Fault Currents

Bus		3-Phase Fault			Line-to-Ground Fault				Line-to-Line Fault				*Line-to-Line-to-Ground			
ID	kV	I"k	ip	Ik	I"k	ip	Ib	Ik	I"k	ip	Ib	Ik	I"k	ip	Ib	Ik
Bus110	0.380	5.818	13.792	1.101	0.000	0.000	0.000	0.000	4.581	10.858	4.581	4.581	4.581	10.858	4.581	4.581
Bus111	0.380	5.818	13.792	1.101	0.000	0.000	0.000	0.000	4.581	10.858	4.581	4.581	4.581	10.858	4.581	4.581

All fault currents are in rms kA. Current ip is calculated using Method C.

* LLG fault current is the larger of the two faulted line currents.

Gambar 22. 1. Nilai Arus Singkat pada Skenario I Suplai Tegangan PLN

4.4.2 Nilai Arus Short Circuit Tegangan PLN Skenario II

Project:	ETAP	Page:	1
Location:	16.0.0C	Date:	30-05-2020
Contract:		SN:	4359168
Engineer:		Revision:	Base
Filename: Coba	Study Case: SC	Config.:	Normal

Short-Circuit Summary Report

3-Phase, LG, LL, LLG Fault Currents

Bus		3-Phase Fault			Line-to-Ground Fault				Line-to-Line Fault				*Line-to-Line-to-Ground			
ID	kV	I"k	ip	Ik	I"k	ip	Ib	Ik	I"k	ip	Ib	Ik	I"k	ip	Ib	Ik
Bus47	0.400	1.532	3.352	0.297	0.000	0.000	0.000	0.000	1.196	2.618	1.196	1.196	1.196	2.618	1.196	1.196

All fault currents are in rms kA. Current ip is calculated using Method C.

* LLG fault current is the larger of the two faulted line currents.

Gambar 4. 23. Nilai Arus Singkat pada Skenario II Suplai Tegangan PLN

4.4.3 Nilai Arus Short Circuit Tegangan PLN Skenario III

Project:	ETAP	Page:	1
Location:	16.0.0C	Date:	30-05-2020
Contract:		SN:	4359168
Engineer:		Revision:	Base
Filename: Coba	Study Case: SC	Config.:	Normal

Short-Circuit Summary Report

3-Phase, LG, LL, LLG Fault Currents

Bus		3-Phase Fault			Line-to-Ground Fault				Line-to-Line Fault				*Line-to-Line-to-Ground			
ID	kV	I"k	ip	Ik	I"k	ip	Ib	Ik	I"k	ip	Ib	Ik	I"k	ip	Ib	Ik
Bus109	0.400	1.812	3.451	0.296	0.000	0.000	0.000	0.000	1.177	2.241	1.177	1.177	1.177	2.241	1.177	1.177

All fault currents are in rms kA. Current ip is calculated using Method C.

* LLG fault current is the larger of the two faulted line currents.

Gambar 24. 3. Nilai Arus Singkat pada Skenario III Suplai Tegangan PLN

4.4.4 Nilai Arus Short Circuit Tegangan PLN Skenario IV

Project:	ETAP	Page:	1
Location:	16.0.0C	Date:	30-05-2020
Contract:		SN:	4359168
Engineer:	Study Case: SC	Revision:	Base
Filename: Coba		Config.:	Normal

Short-Circuit Summary Report

3-Phase, LG, LL, LLG Fault Currents

Bus		3-Phase Fault			Line-to-Ground Fault				Line-to-Line Fault				*Line-to-Line-to-Ground			
ID	kV	I"k	ip	Ik	I"k	ip	Ib	Ik	I"k	ip	Ib	Ik	I"k	ip	Ib	Ik
Bus55	0.400	5.020	9.385	3.387	0.000	0.000	0.000	0.000	3.868	7.231	3.868	3.868	3.868	7.231	3.868	3.868

All fault currents are in rms kA. Current ip is calculated using Method C.

* LLG fault current is the larger of the two faulted line currents.

Gambar 25. 4. Nilai Arus Singkat pada Skenario IV Suplai Tegangan PLN

4.4.5 Nilai Arus Short Circuit Tegangan PLN Skenario V

Project:	ETAP	Page:	1
Location:	16.0.0C	Date:	30-05-2020
Contract:		SN:	4359168
Engineer:	Study Case: SC	Revision:	Base
Filename: Coba		Config.:	Normal

Short-Circuit Summary Report

3-Phase, LG, LL, LLG Fault Currents

Bus		3-Phase Fault			Line-to-Ground Fault				Line-to-Line Fault				*Line-to-Line-to-Ground			
ID	kV	I"k	ip	Ik	I"k	ip	Ib	Ik	I"k	ip	Ib	Ik	I"k	ip	Ib	Ik
Bus109	0.400	1.812	3.451	0.296	0.000	0.000	0.000	0.000	1.177	2.241	1.177	1.177	1.177	2.241	1.177	1.177
Bus110	0.380	5.818	13.792	1.101	0.000	0.000	0.000	0.000	4.581	10.858	4.581	4.581	4.581	10.858	4.581	4.581
Bus111	0.380	5.818	13.792	1.101	0.000	0.000	0.000	0.000	4.581	10.858	4.581	4.581	4.581	10.858	4.581	4.581

All fault currents are in rms kA. Current ip is calculated using Method C.

* LLG fault current is the larger of the two faulted line currents.

Gambar 26. 5. Nilai Arus Singkat pada Skenario V Suplai Tegangan PLN

4.4.6 Nilai Arus Short Circuit Tegangan Inverter + Backup PLN Skenario I

Project:	ETAP	Page:	1
Location:	16.0.0C	Date:	05-06-2020
Contract:		SN:	4359168
Engineer:	Study Case: SC	Revision:	Base
Filename: Coba		Config.:	Normal

Short-Circuit Summary Report

3-Phase, LG, LL, LLG Fault Currents

Bus		3-Phase Fault			Line-to-Ground Fault				Line-to-Line Fault				*Line-to-Line-to-Ground			
ID	kV	I"k	ip	Ik	I"k	ip	Ib	Ik	I"k	ip	Ib	Ik	I"k	ip	Ib	Ik
Bus110	0.380	6.296	15.345	2.178	0.000	0.000	0.000	0.000	5.009	12.206	5.009	5.009	5.009	12.206	5.009	5.009

All fault currents are in rms kA. Current ip is calculated using Method C.

* LLG fault current is the larger of the two faulted line currents.

Gambar 27. 6. Nilai Arus Singkat pada Skenario I Suplai Tegangan Inverter + PLN

4.4.7 Nilai Arus Short Circuit Tegangan Inverter + Backup PLN Skenario II

Project:	ETAP	Page:	1
Location:	16.0.0C	Date:	05-06-2020
Contract:		SN:	4359168
Engineer:		Revision:	Base
Filename: Coba	Study Case: SC	Config.:	Normal

Short-Circuit Summary Report

3-Phase, LG, LL, LLG Fault Currents

Bus		3-Phase Fault			Line-to-Ground Fault				Line-to-Line Fault				*Line-to-Line-to-Ground			
ID	kV	I"k	ip	Ik	I"k	ip	Ib	Ik	I"k	ip	Ib	Ik	I"k	ip	Ib	Ik
Bus47	0.400	2.535	5.451	1.752	0.000	0.000	0.000	0.000	2.090	4.494	2.090	2.090	2.090	4.494	2.090	2.090

All fault currents are in rms kA. Current ip is calculated using Method C.

* LLG fault current is the larger of the two faulted line currents.

Gambar 28. 7. Nilai Arus Singkat pada Skenario II Suplai Tegangan Inverter + PLN

4.4.8 Nilai Arus Short Circuit Tegangan Inverter + Backup PLN Skenario III

Project:	ETAP	Page:	1
Location:	16.0.0C	Date:	05-06-2020
Contract:		SN:	4359168
Engineer:		Revision:	Base
Filename: Coba	Study Case: SC	Config.:	Normal

Short-Circuit Summary Report

3-Phase, LG, LL, LLG Fault Currents

Bus		3-Phase Fault			Line-to-Ground Fault				Line-to-Line Fault				*Line-to-Line-to-Ground			
ID	kV	I"k	ip	Ik	I"k	ip	Ib	Ik	I"k	ip	Ib	Ik	I"k	ip	Ib	Ik
Bus109	0.400	2.856	4.501	1.733	0.000	0.000	0.000	0.000	2.147	3.383	2.147	2.147	2.147	3.383	2.147	2.147

All fault currents are in rms kA. Current ip is calculated using Method C.

* LLG fault current is the larger of the two faulted line currents.

Gambar 29. 8. Nilai Arus Singkat pada Skenario III Suplai Tegangan Inverter + PLN

4.4.9 Nilai Arus Short Circuit Tegangan Inverter + Backup PLN Skenario IV

Project:	ETAP	Page:	1
Location:	16.0.0C	Date:	05-06-2020
Contract:		SN:	4359168
Engineer:		Revision:	Base
Filename: Coba	Study Case: SC	Config.:	Normal

Short-Circuit Summary Report

3-Phase, LG, LL, LLG Fault Currents

Bus		3-Phase Fault			Line-to-Ground Fault				Line-to-Line Fault				*Line-to-Line-to-Ground			
ID	kV	I"k	ip	Ik	I"k	ip	Ib	Ik	I"k	ip	Ib	Ik	I"k	ip	Ib	Ik
Bus55	0.400	8.073	12.688	4.521	0.000	0.000	0.000	0.000	5.950	9.352	5.950	5.950	5.950	9.352	5.950	5.950

All fault currents are in rms kA. Current ip is calculated using Method C.

* LLG fault current is the larger of the two faulted line currents.

Gambar 30. 9. Nilai Arus Singkat pada Skenario IV Suplai Tegangan Inverter + PLN

4.4.10 Nilai Arus Short Circuit Tegangan Inverter + Backup PLN Skenario V

Project:	ETAP	Page:	1
Location:	16.0.0C	Date:	05-06-2020
Contract:		SN:	4359168
Engineer:		Revision:	Base
Filename: Coba	Study Case: SC	Config.:	Normal

Short-Circuit Summary Report

3-Phase, LG, LL, LLG Fault Currents

Bus		3-Phase Fault			Line-to-Ground Fault				Line-to-Line Fault				*Line-to-Line-to-Ground			
ID	kV	I"k	ip	Ik	I"k	ip	Ib	Ik	I"k	ip	Ib	Ik	I"k	ip	Ib	Ik
Bus109	0.400	2.856	4.501	1.733	0.000	0.000	0.000	0.000	2.147	3.383	2.147	2.147	2.147	3.383	2.147	2.147
Bus110	0.380	6.296	15.345	2.178	0.000	0.000	0.000	0.000	5.009	12.206	5.009	5.009	5.009	12.206	5.009	5.009

All fault currents are in rms kA. Current ip is calculated using Method C.

* LLG fault current is the larger of the two faulted line currents.

Gambar 31. 10. Nilai Arus Singkat pada Skenario V Suplai Tegangan Inverter + PLN

4.5 Hasil Perbandingan Arus *Short Circuit* dengan Simulasi Software

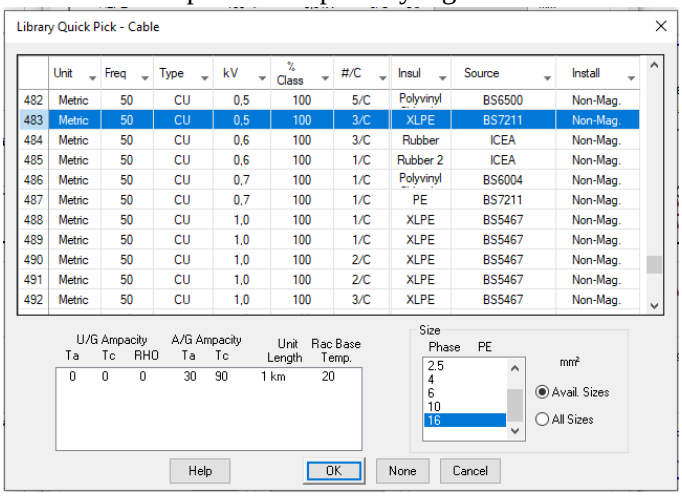
No	Skenario	Nilai Arus Short Circuit		Selisih suplai PLN – PV (kA)
		Suplai PLN (kA)	Suplai Inverter PV + Backup PLN (kA)	
1	I (Hoist run)	11,678	13,103	1,425
2	II (Boom run)	3,019	3,755	0,736
3	III (Trolley run)	1,292	1,685	0,393
4	IV (Gantry run)	3,620	4,418	0,798

Tabel 4. 4. Nilai Arus Singkat pada Masing-Masing Kondisi dan Skenario

Dari hasil simulasi *short circuit* diatas, dapat diketahui beberapa komponen yang memiliki nilai arus short circuit yang besar secara signifikan dibandingkan komponen yang lain, serta nilai arus short circuit dengan suplai inverter lebih besar dibandingkan suplai PLN dalam kelangsungan operasional

container crane dengan nilai arus short circuit yang besar tersebut dijadikan sebagai studi kasus.

Berdasarkan hasil simulasi *short circuit* diatas, dapat diketahui dari skenario yang dilakukan menghasilkan arus short yang besar. Untuk menurunkan arus short yang terjadi, dapat dilakukan dengan membesarkan diameter dari kabel pengaman yang dipilih. Pada pembahasan kali ini akan ditunjukkan cara untuk pemilihan kabel pengaman untuk motor *hoist* yang dapat mewakili cara pemilihan kabel pengaman untuk komponen-komponen yang lain.



	Unit	Freq	Type	kV	% Class	#/C	Insul	Source	Install
482	Metric	50	CU	0,5	100	5/C	Polyvinyl	BS6500	Non-Mag.
483	Metric	50	CU	0,5	100	3/C	XLPE	BS7211	Non-Mag.
484	Metric	50	CU	0,6	100	3/C	Rubber	ICEA	Non-Mag.
485	Metric	50	CU	0,6	100	1/C	Rubber 2	ICEA	Non-Mag.
486	Metric	50	CU	0,7	100	1/C	Polyvinyl	BS6004	Non-Mag.
487	Metric	50	CU	0,7	100	1/C	PE	BS7211	Non-Mag.
488	Metric	50	CU	1,0	100	1/C	XLPE	BS5467	Non-Mag.
489	Metric	50	CU	1,0	100	1/C	XLPE	BS5467	Non-Mag.
490	Metric	50	CU	1,0	100	2/C	XLPE	BS5467	Non-Mag.
491	Metric	50	CU	1,0	100	2/C	XLPE	BS5467	Non-Mag.
492	Metric	50	CU	1,0	100	3/C	XLPE	BS5467	Non-Mag.

Gambar 32. 11. Pemilihan Spesifikasi Kabel Pengaman untuk Motor *Hoist* 500 kW

Setelah kabel pengaman dipilih, maka langkah selanjutnya adalah dilakukan simulasi short circuit untuk mengetahui arus short yang dihasilkan. Dibandingkan dengan tabel 4.13 diatas, terdapat perbedaan nilai arus short yang dihasilkan dari perbaikan kabel pengaman dengan spesifikasi kabel pengaman yang sama di setiap motor-motor utama *crane*.

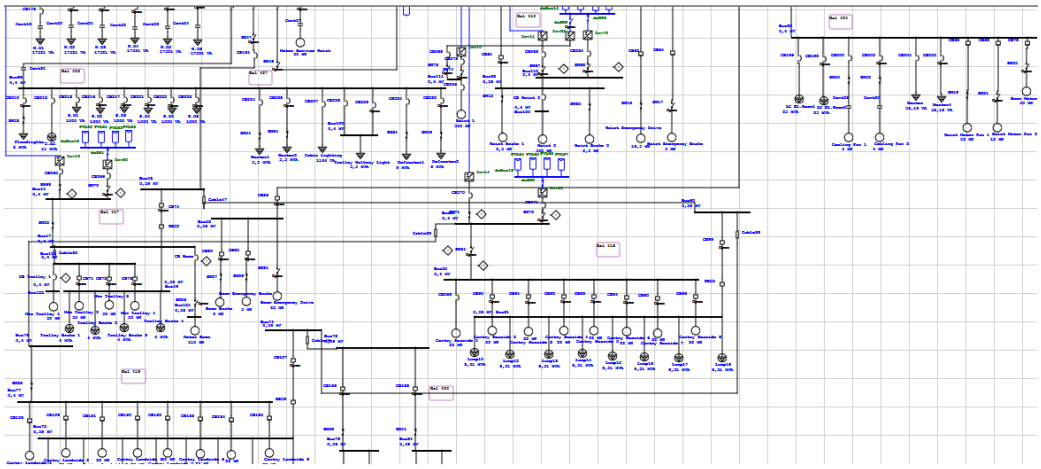
No	Skenario	Nilai Arus Short Circuit		Selisih suplai PLN – PV (kA)
		Suplai PLN (kA)	Suplai Inverter PV + Backup PLN (kA)	
1	I (Hoist run)	8,494	9,882	1,388
2	II (Boom run)	2,859	3,586	0,727
3	III (Trolley run)	1,280	1,683	0,403
4	IV (Gantry run)	3,616	4,415	0,799

Tabel 4. 5. Nilai Arus Singkat pada Masing-Masing Kondisi dan Skenario

Berdasarkan tabel 4.4 diatas, maka diperoleh beberapa komponen yang akan digunakan sebagai studi kasus untuk mengevaluasi koordinasi dan pengaman pada sistem kelistrikan *container crane*. Komponen yang dipilih sebagai skenario studi kasus adalah komponen yang memberikan kontribusi arus yang cukup besar

secara signifikan kepada *bus* yang memiliki gangguan dibandingkan dengan komponen lain. Berikut ini adalah beberapa skenario studi kasus yang akan dibahas :

1. Skenario I : Motor Hoist dengan kontribusi arus short circuit sebesar disuplai dengan output dari inverter + backup PLN
2. Skenario II : Motor Boom dengan kontribusi arus short circuit sebesar disuplai dengan output dari inverter + backup PLN
3. Skenario III : Motor Trolley dengan kontribusi arus short circuit sebesar disuplai dengan output dari inverter + backup PLN
4. Skenario IV : Motor Gantry dengan kontribusi arus short circuit sebesar disuplai dengan output dari inverter + backup PLN
5. Skenario V : Motor Hoist dan Trolley dengan kontribusi arus short circuit sebesar disuplai dengan output dari inverter + backup PLN



Gambar 33. 12. Oneline Diagram Container Crane KONE Crane SWL 60 Ton

Berdasarkan pemilihan skenario studi kasus diatas maka dapat dilihat pada rangkaian *oneline diagram*, komponen-komponen yang dijadikan sebagai studi kasus berada pada *bus* yang paling dekat dengan *photovoltaic* (PV).

4.6 Pengaturan Circuit Breaker

Setelah mendapatkan studi kasus, selanjutnya mengatur *setting circuit breaker* yang menyesuaikan dengan FLA (*Full Load Ampere*) komponen, tegangan *bus* dan nilai Isc minimal agar *circuit breaker* dapat *trip* sebelum mencapai nilai arus *short circuit* minimal.

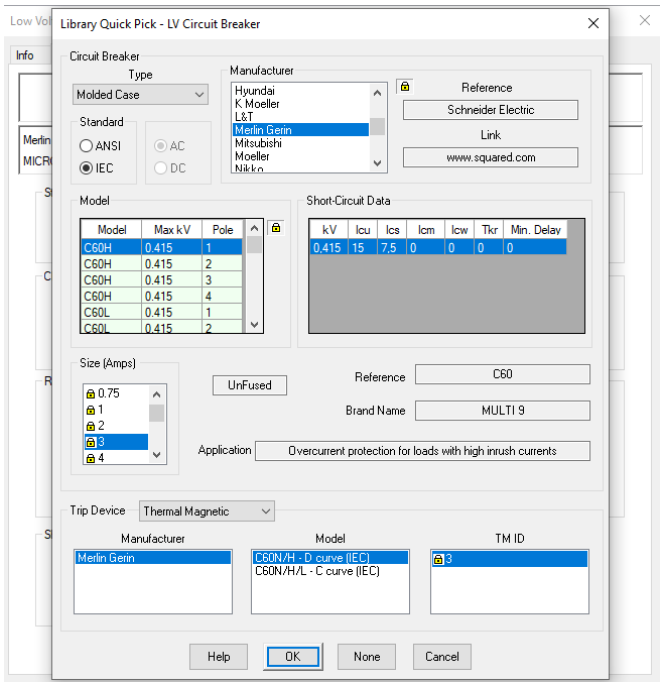
4.6.1 Menentukan Spesifikasi *Circuit Breaker*

Menentukan spesifikasi *circuit breaker* dilakukan sesuai dengan fungsi dan kebutuhan dengan mempertimbangkan koordinasi proteksi yang direncanakan. Sumber tegangan PLN sebaiknya menggunakan spesifikasi *circuit breaker* yang sama untuk memudahkan koordinasi proteksi pada sistem kelistrikan. Selain itu, *circuit breaker* yang dipilih

sebagai proteksi untuk sumber tegangan inverter *Photo Voltaic*(PV), harus bisa sebagai proteksi *backup* untuk komponen-komponen yang sedang terhubung dengan PV tersebut. Pada penentuan CB di kapal, sebagai contoh, pemilihan CB berdasarkan arus maksimal yang mengalir atau arus start dari beban peralatan elektrikal.

Dalam menentukan spesifikasi dan *setting circuit breaker*, ada baiknya mendahulukan pemilihan *circuit breaker* untuk beban-beban terlebih dahulu kemudian melakukan *setting circuit breaker power supply* dengan menyesuaikan *setting* dari beban-beban yang terhubung. Hal ini bertujuan untuk membuat *setting trip* tercepat pada *circuit breaker* yang melindungi beban jika terjadi gangguan pada *bus*, sehingga koordinasi proteksi arus lebih ini dapat meminimalisir kerusakan pada alat-alat di *container crane*.

Pada pembahasan ini akan menunjukkan cara pemilihan *circuit breaker* pada motor *hoist* yang dapat mewakili cara pemilihan *circuit breaker* untuk komponen-komponen yang lain.



Gambar 34. 13. Pemilihan Spesifikasi *Circuit Breaker* untuk Motor *Hoist* 500 kW

Gambar diatas menjelaskan cara pemilihan spesifikasi circuit breaker untuk motor *hoist* 500 kW. Pada bagian *manufacturer* digunakan untuk memilih merk *circuit breaker* yang akan digunakan, kemudian pada *short-circuit data* dipilih nilai kV diatas nilai kV bus. Pada kolom rating ID dipilih nilai diatas FLA (*full load ampere*) komponen yang diproteksi.

4.6.2 Menentukan Setting Trip Device Circuit Breaker

Penentuan *setting trip device* berkaitan dengan kurva arus waktu. Hal yang harus diketahui dalam perencanaan *circuit breaker* adalah nilai *setting arus long time pick up* dan *short time pick up* pada *circuit breaker*. Sesuai dengan *Standard British 142* bahwa range dari *setting long time pick up* adalah 1,05 – 1,4 FLA dan untuk *setting short time pick up* adalah 1,6 FLA – 0,8 Isc minimum.

4.6.2.1 Perhitungan Setting Trip Device Skenario I

No	Kode CB	FLA (A)	1,05FLA (A)	Iset (A)	1,4FLA (A)
1.	CB 263	721,7	757,78	760	1010,38
2.	CB 264	721,7	757,78	780	1010,38
3.	CB Hoist 2	882,4	926,52	1000	1235,36

Tabel 4. 6. Perhitungan untuk Arus Long Time Pick Up Skenario I

Berdasarkan tabel 4.6 diatas, untuk skenario I yaitu CB Hoist 2 yang memproteksi motor hoist akan memulai menunda waktu jalannya arus ketika beban motor mencapai 105% dan akan trip jika arus yang masuk menuju beban telah mencapai 1000 A karena beban berlebih.

No	Kode CB	FLA (A)	Isc Min (A)	1,6FLA (A)	Iset (A)	0,8 Isc_{min} (A)
1.	CB 263	721,7	9882	1154,72	7600	7905,6
2.	CB 264	721,7	9882	1154,72	7800	7905,6
3.	CB Hoist 2	882,4	9882	1411,84	6000	7905,6

Tabel 4. 7. Perhitungan untuk Arus Short Time Pick Up Skenario I

Berdasarkan tabel 4.7 diatas, untuk skenario 1 yaitu CB Hoist 2 yang memproteksi motor *hoist* akan trip jika arus yang ditarik oleh motor *hoist* mencapai 6000 A dimana arus lebih tidak disebabkan oleh beban berlebih.

4.6.2.2 Perhitungan Setting Trip Device Skenario II

No	Kode CB	FLA (A)	1,05FLA (A)	Iset (A)	1,4FLA (A)
1.	CB 265	392,9	412,54	510	550,06
2.	CB 266	341,9	358,99	450	478,66
3.	CB Boom	215	225,75	250	301

Tabel 4. 8. Perhitungan untuk Arus Long Time Pick Up Skenario II

Berdasarkan tabel 4.8 diatas, untuk skenario I yaitu CB Boom yang memproteksi motor *boom* akan memulai menunda waktu jalannya arus ketika beban motor mencapai 105% dan akan trip jika arus yang masuk menuju beban telah mencapai 250 A karena beban berlebih.

No	Kode CB	FLA (A)	Isc Min (A)	1,6FLA (A)	Iset (A)	0,8 Isc_{min} (A)
1.	CB 265	392,9	3775	628,64	2040	3004
2.	CB 266	341,9	3775	547,04	1800	3004
3.	CB Boom	215	3775	344	2000	3004

Tabel 5. 9. Perhitungan untuk Arus Short Time Pick Up Skenario II

Berdasarkan tabel 4.9 diatas, untuk skenario 1 yaitu CB Boom yang memproteksi motor *boom* akan trip jika arus yang ditarik oleh motor *boom* mencapai 2000 A dimana arus lebih tidak disebabkan oleh beban berlebih.

4.6.2.3 Perhitungan Setting Trip Device Skenario III

No	Kode CB	FLA (A)	1,05FLA (A)	Iset (A)	1,4FLA (A)
1.	CB 265	392,9	412,54	510	550,06
2.	CB 266	341,9	358,99	450	478,66
3.	CB Trolley 1	63,31	66,47	75	88,63

Tabel 6. 10. Perhitungan untuk Arus Long Time Pick Up Skenario III

Berdasarkan tabel 4.10 diatas, untuk skenario I yaitu CB Trolley 1 yang memproteksi motor *trolley* akan memulai menunda waktu jalannya arus ketika beban motor mencapai 105% dan akan trip jika arus yang masuk menuju beban telah mencapai 75 A karena beban berlebih.

No	Kode CB	FLA (A)	Isc Min (A)	1,6FLA (A)	Iset (A)	0,8 Isc_{min} (A)
1.	CB 265	392,9	3775	628,64	2040	3004
2.	CB 266	341,9	3775	547,04	1800	3004
3.	CB Trolley 1	63,31	1685	101,29	600	1348

Tabel 7. 11. Perhitungan untuk Arus Short Time Pick Up Skenario III

Berdasarkan tabel 4.11 diatas, untuk skenario 1 yaitu CB Trolley 1 yang memproteksi motor *trolley* akan trip jika arus yang ditarik oleh motor *trolley* mencapai 600 A dimana arus lebih tidak disebabkan oleh beban berlebih.

4.6.2.4 Perhitungan Setting Trip Device Skenario IV

No	Kode CB	FLA (A)	1,05FLA (A)	Iset (A)	1,4FLA (A)
1.	CB 270	519,6	545,58	700	727,44
2.	CB 271	547	574,35	600	765,8
3.	CB Gantry 1	47,7	50,08	65	66,78

Tabel 8. 12. Perhitungan untuk Arus Long Time Pick Up Skenario IV

Berdasarkan tabel 4.12 diatas, untuk skenario I yaitu CB Gantry 1 yang memproteksi motor *gantry* akan memulai menunda waktu jalannya arus ketika beban motor mencapai 105% dan akan trip jika arus yang masuk menuju beban telah mencapai 65 A karena beban berlebih.

No	Kode CB	FLA (A)	Isc Min (A)	1,6FLA (A)	Iset (A)	0,8 Isc_{min} (A)
1.	CB 270	519,6	4418	831,36	1050	3534,4
2.	CB 271	547	4418	875,2	900	3534,4
3.	CB Gantry 1	47,7	4418	76,32	390	3534,4

Tabel 9. 13. Perhitungan untuk Arus Short Time Pick Up Skenario IV

Berdasarkan tabel 4.13 diatas, untuk skenario 1 yaitu CB Gantry 1 yang memproteksi motor *gantry* akan trip jika arus yang ditarik oleh motor *gantry* mencapai 390 A dimana arus lebih tidak disebabkan oleh beban berlebih.

4.6.2.5 Perhitungan Setting Trip Device Skenario V

Berdasarkan skenario 5 yang dijalankan, perhitungan setting trip device circuit breaker motor *hoist* dan motor *trolley* memiliki persamaan spesifikasi perhitungan setting trip device circuit breaker pada skenario 1 dan 3.

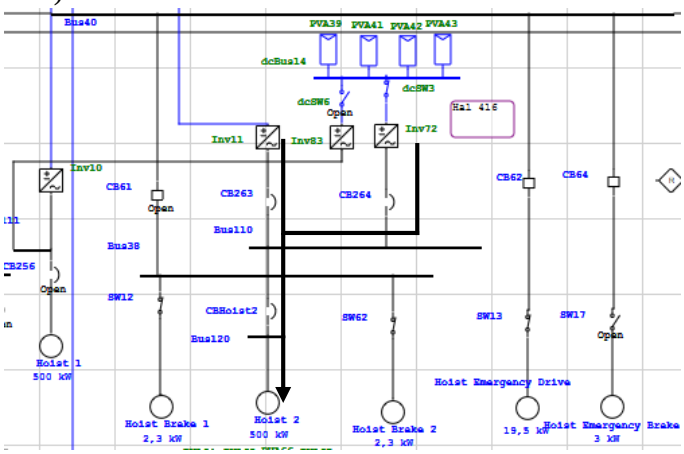
4.7 Analisis Koordinasi Pengaman

Pemasangan pengaman digunakan untuk melindungi komponen dari kerusakan yang diakibatkan oleh mengalirnya arus gangguan yang besar pada peralatan serta meminimalisir daerah yang mengalami pemutusan aliran daya karena gangguan pada peralatan lain. Seperti yang telah dijelaskan pada bab 2, bahwa kurva arus waktu dalam software simulasi berpedoman pada FLA (full load ampere), sehingga nilai arus pada kurva arus waktu dalam hal ini adalah nilai arus FLA.

4.7.1 Analisis Skenario I

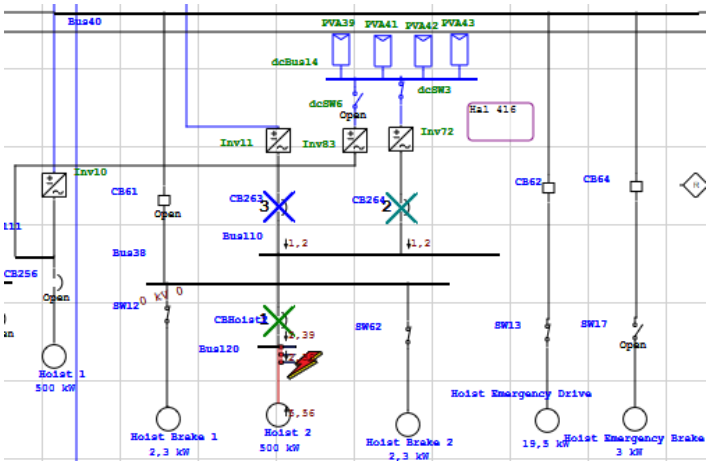
Skenario pertama adalah pada kondisi motor *hoist* run dengan suplai output inverter dengan *backup* dengan tegangan dari PLN, dengan bus

motor *hoist* yang mengalami gangguan. Total kebutuhan daya pada kondisi tersebut adalah 500kW x 2 unit motor *hoist*. Dalam studi kasus ini, hanya salah satu motor saja yang mengalami gangguan hubungan singkat (*short circuit*).



Gambar 35. 14. *Oneline Diagram* Skenario I

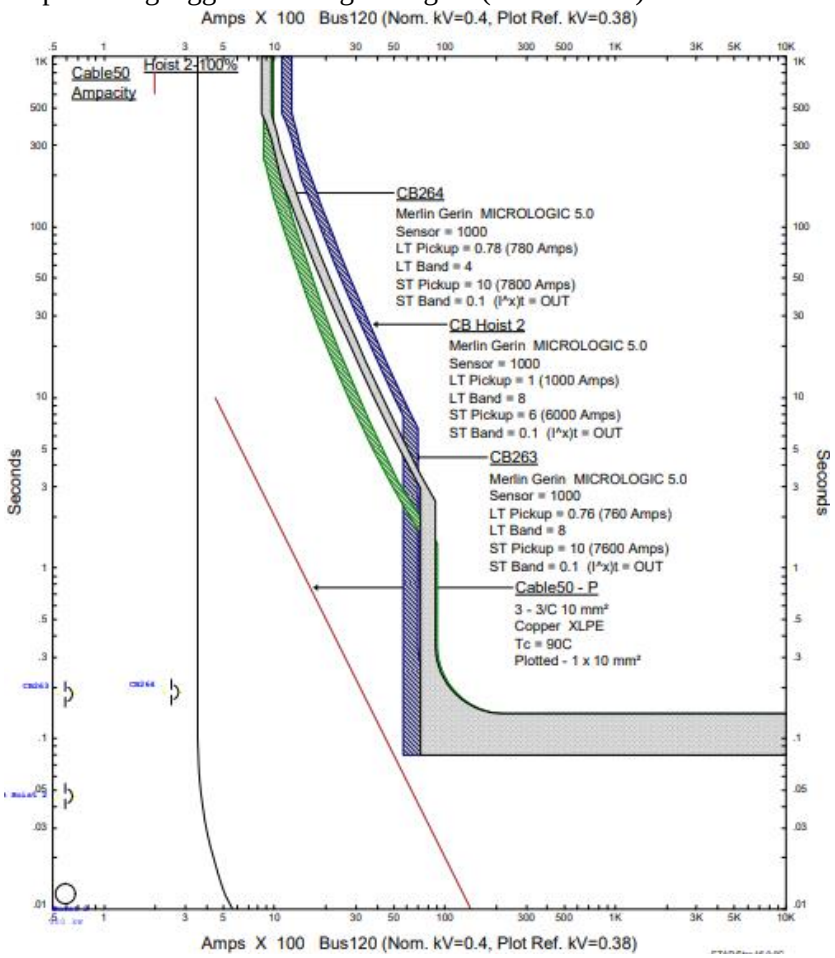
Dari gambar 4.14 *oneline diagram* diatas, motor *hoist* sengaja diberikan gangguan hubungan arus singkat (*short circuit*) dengan menggunakan *star-protection device coordination* pada *software* simulasi. Maka, *circuit breaker* yang akan dilakukan pengaturan koordinasi proteksi yaitu *circuit breaker* CB Hoist 2, CB263 dan CB264.



Gambar 36. 15. Urutan Pemutusan Kontak *Circuit Breaker* Skenario I

CB Hoist 2 merupakan pengaman pertama yang berfungsi untuk mengamankan motor *hoist* jika terjadi gangguan. CB264 merupakan pengaman dari inverter dari output PV(*photovoltaic*) sekaligus sebagai pengaman *backup* apabila CB Hoist 2 mengalami kegagalan dalam memproteksi motor *Hoist*. CB263 dan CB264 adalah pengaman untuk

inverter suplai tegangan PLN dan inverter output PV sekaligus berfungsi sebagai pengaman *backup* jika CB Hoist 2 mengalami kegagalan dalam memproteksi gangguan hubungan singkat (*short circuit*).



Gambar 37. 16. Kurva Arus Waktu Skenario I

Output dari simulasi skenario 1 menghasilkan kurva kerja pada gambar 4.16 yang menjelaskan kerja circuit breaker CB Hoist 2, CB263, CB264, dan kurva arus motor *hoist* sebagai berikut :

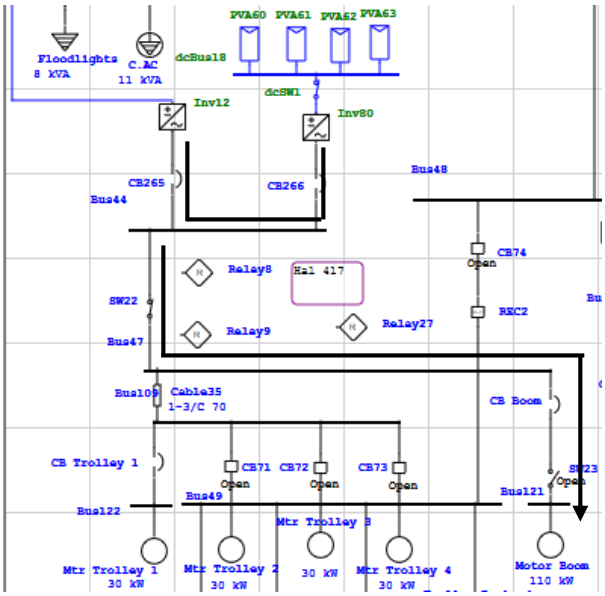
- Kurva motor *hoist* 2 dari bawah keatas adalah nilai arus start motor *hoist* 2 yang kemudian kembali pada arus FLA nya dalam waktu 3 detik.
- Kurva CB Hoist 2 yang berwarna biru adalah kurva *circuit breaker* yang melindungi motor *hoist*. *Circuit breaker* ini memiliki karakteristik kecepatan *long-time pickup* 1 detik pada arus 1000 A. Artinya, ketika motor *hoist* terjadi gangguan beban lebih yang menyebabkan nilai arus FLA mencapai 1000 A, maka *circuit breaker* akan mendeteksi arus tersebut dalam 1 detik dengan *delay* waktu *trip* 5 - 400 detik. Sehingga,

ketika terjadi beban lebih, maka *circuit breaker* tidak langsung memutuskan arus kecuali apabila dalam waktu 5 - 400 detik nilai arus tidak segera turun.

- Kurva CB Hoist 2 juga memiliki karakteristik kecepatan *short-time pickup* 6 detik pada arus 6000 A. Artinya, ketika aliran arus pada motor *hoist* mencapai 6000 A, maka *circuit breaker* akan mendeteksi arus tersebut dalam waktu 6 detik dan langsung terjadi *trip* saat itu juga.
- Kurva CB264 yang berwarna hijau adalah kurva *circuit breaker* yang melindungi inverter output dari PV(*photovoltaic*) sekaligus sebagai pengaman *backup* jika CB Hoist 2 mengalami kegagalan dalam memproteksi motor *hoist* 2. *Circuit breaker* akan *trip* dalam waktu 0,15 detik jika arus yang mengalir melewati batas *setting* arus *circuit breaker* CB264 yaitu 7800 A. Ketika PV terjadi terjadi *overload* yang menyebabkan nilai arus FLA mencapai 780 A, maka *circuit breaker* PV akan mendeteksi arus tersebut dalam waktu 10 detik, dan akan *trip* dalam waktu 1 - 300 detik.
- CB263 yang berada di belakang kurva CB Hoist 2 adalah kurva *circuit breaker* yang melindungi inverter suplai tegangan PLN sekaligus sebagai pengaman *backup* jika CB Hoist 2 mengalami kegagalan dalam memproteksi motor *hoist* 2. *Circuit breaker* akan *trip* dalam waktu 0,15 detik jika arus yang mengalir melewati batas *setting* arus *circuit breaker* CB263 yaitu 7600 A. Ketika PV terjadi terjadi *overload* yang menyebabkan nilai arus FLA mencapai 760 A, maka *circuit breaker* PV akan mendeteksi arus tersebut dalam waktu 10 detik, dan akan *trip* dalam waktu 2 - 300 detik.
- Kurva kerja *circuit breaker* berada di sebelah kanan kurva arus *start* dari motor *hoist*, artinya pada saat motor *hoist* melakukan *starting*, jika terjadi lonjakan arus *start*, masih dapat diamankan oleh ketiga *circuit breaker* tersebut. Jika kurva kerja *circuit breaker* bersinggungan dengan kurva arus *starting* motor, maka akan dianggap sebagai gangguan oleh *circuit breaker* yang sebenarnya adalah lonjakan arus *starting* dari motor. Sehingga *circuit breaker* akan selalu *trip* setiap motor melakukan *starting*.

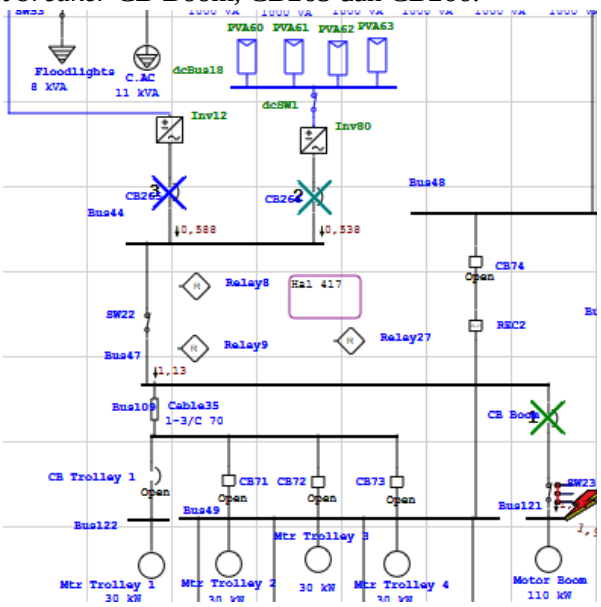
4.7.2 Analisis Skenario II

Skenario kedua adalah pada kondisi motor *boom* run dengan suplai output inverter dengan *backup* dengan tegangan dari PLN, dengan bus motor *boom* yang mengalami gangguan. Total kebutuhan daya pada kondisi tersebut adalah 110kW x 1 unit motor *boom*.



Gambar 38. 17. *Oneline Diagram* Skenario II

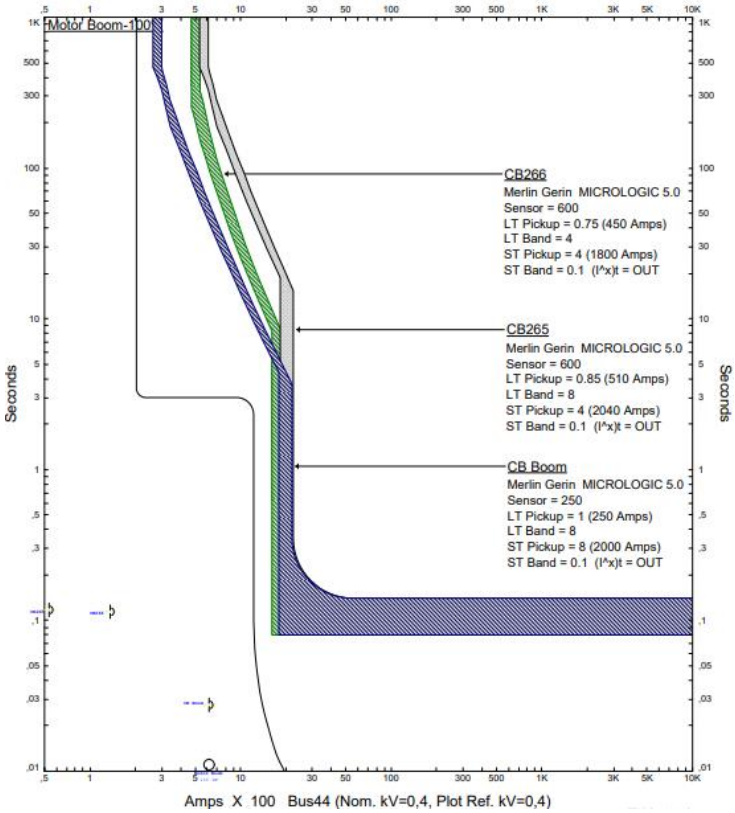
Dari gambar 4.17 *oneline diagram* diatas, motor *boom* sengaja diberikan gangguan hubungan arus singkat (*short circuit*) dengan menggunakan *star-protection device coordination* pada *software* simulasi. Maka, *circuit breaker* yang akan dilakukan pengaturan koordinasi proteksi yaitu *circuit breaker* CB Boom, CB265 dan CB266.



Gambar 39. 18. Urutan Pemutusan Kontak *Circuit Breaker* Skenario II

CB Boom merupakan pengaman pertama yang berfungsi untuk mengamankan motor *boom* jika terjadi gangguan. CB266 merupakan

pengaman dari inverter dari output PV(*photovoltaic*) sekaligus sebagai pengaman *backup* apabila CB Boom mengalami kegagalan dalam memproteksi motor *boom*. CB265 dan CB266 adalah pengaman untuk inverter suplai tegangan PLN dan inverter output PV sekaligus berfungsi sebagai pengaman *backup* jika CB Boom mengalami kegagalan dalam memproteksi gangguan hubungan singkat (*short circuit*).



Gambar 40. 19. Kurva Arus Waktu Skenario II

Output dari simulasi skenario 2 menghasilkan kurva kerja pada gambar 4.19 yang menjelaskan kerja *circuit breaker* CB Boom, CB265, CB266, dan kurva arus motor *boom* sebagai berikut :

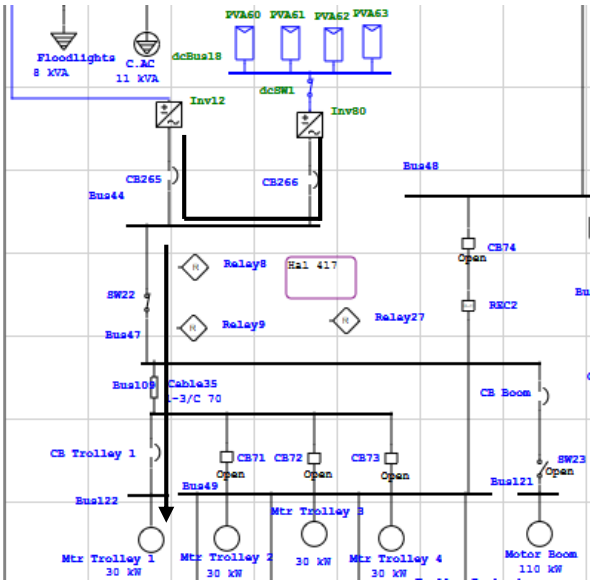
- Kurva motor *boom* dari bawah keatas adalah nilai arus start motor *boom* yang kemudian kembali pada arus FLA nya dalam waktu 3 detik.
- Kurva CB Boom yang berwarna biru adalah kurva *circuit breaker* yang melindungi motor *boom*. *Circuit breaker* ini memiliki karakteristik kecepatan *long-time pickup* 1 detik pada arus 250 A. Artinya, ketika motor *boom* terjadi gangguan beban lebih yang menyebabkan nilai arus FLA mencapai 250 A, maka *circuit breaker* akan mendeteksi arus tersebut dalam 1 detik dengan *delay* waktu *trip* 5 - 400 detik. Sehingga,

ketika terjadi beban lebih, maka *circuit breaker* tidak langsung memutuskan arus kecuali apabila dalam waktu 5 - 400 detik nilai arus tidak segera turun.

- Kurva CB Boom juga memiliki karakteristik kecepatan *short-time pickup* 8 detik pada arus 2000 A. Artinya, ketika aliran arus pada motor *boom* mencapai 2000 A, maka *circuit breaker* akan mendeteksi arus tersebut dalam waktu 8 detik dan langsung terjadi *trip* saat itu juga.
- Kurva CB265 yang berwarna abu-abu adalah kurva *circuit breaker* yang melindungi inverter *output* dari suplai tegangan PLN sekaligus sebagai pengaman *backup* jika CB Boom mengalami kegagalan dalam memproteksi motor *boom*. *Circuit breaker* akan *trip* dalam waktu 0,15 detik jika arus yang mengalir melewati batas *setting* arus *circuit breaker* CB265 yaitu 2040 A. Ketika inverter PLN terjadi *overload* yang menyebabkan nilai arus FLA mencapai 510 A, maka *circuit breaker* PV akan mendeteksi arus tersebut dalam waktu 4 detik, dan akan *trip* dalam waktu 20 - 400 detik.
- CB266 yang berwarna hijau adalah kurva *circuit breaker* yang melindungi inverter *output* dari PV(*photovoltaic*) sekaligus sebagai pengaman *backup* jika CB Boom mengalami kegagalan dalam memproteksi motor *boom*. *Circuit breaker* akan *trip* dalam waktu 0,15 detik jika arus yang mengalir melewati batas *setting* arus *circuit breaker* CB266 yaitu 1800 A. Ketika inverter PV terjadi *overload* yang menyebabkan nilai arus FLA mencapai 450 A, maka *circuit breaker* PV akan mendeteksi arus tersebut dalam waktu 4 detik, dan akan *trip* dalam waktu 8 - 300 detik.
- Kurva kerja *circuit breaker* berada di sebelah kanan kurva arus *start* dari motor *boom*, artinya pada saat motor *boom* melakukan *starting*, jika terjadi lonjakan arus *start*, masih dapat diamankan oleh ketiga *circuit breaker* tersebut. Jika kurva kerja *circuit breaker* bersinggungan dengan kurva arus *starting* motor, maka akan dianggap sebagai gangguan oleh *circuit breaker* yang sebenarnya adalah lonjakan arus *starting* dari motor. Sehingga *circuit breaker* akan selalu *trip* setiap motor melakukan *starting*.

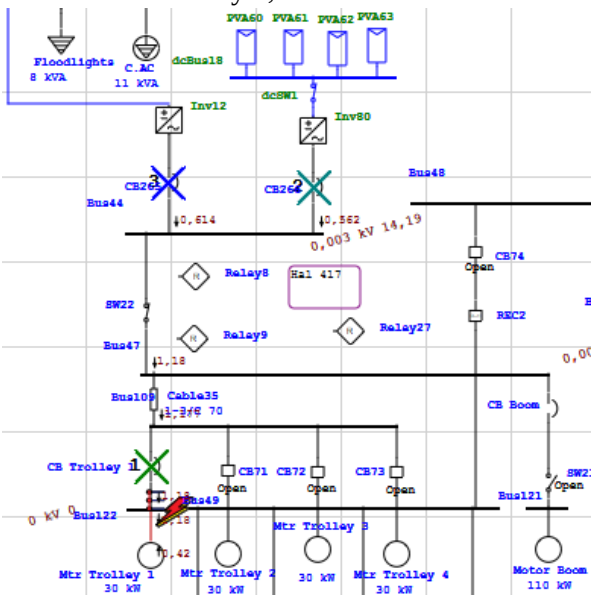
4.7.3 Analisis Skenario III

Skenario ketiga adalah pada kondisi motor *trolley* run dengan suplai output inverter dengan *backup* dengan tegangan dari PLN, dengan bus motor *trolley* yang mengalami gangguan. Total kebutuhan daya pada kondisi tersebut adalah 30kW x 4 unit motor *trolley*. Dalam studi kasus ini, hanya salah satu motor saja yang mengalami gangguan hubungan singkat (*short circuit*).



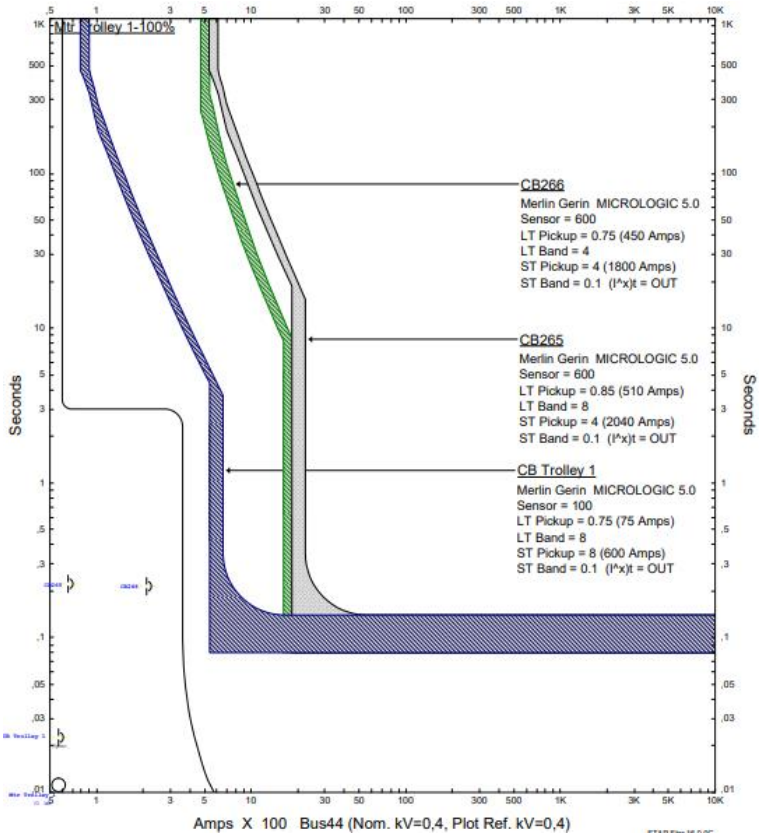
Gambar 41. 20. *Oneline Diagram* Skenario III

Dari gambar 4.20 *oneline diagram* diatas, motor *trolley* 1 sengaja diberikan gangguan hubungan arus singkat (*short circuit*) dengan menggunakan *star-protection device coordination* pada *software* simulasi. Maka, *circuit breaker* yang akan dilakukan pengaturan koordinasi proteksi yaitu *circuit breaker* CB Trolley 1, CB265 dan CB266.



Gambar 42. 21. Urutan Pemutusan Kontak *Circuit Breaker* Skenario III

CB Trolley 1 merupakan pengaman pertama yang berfungsi untuk mengamankan motor *trolley* jika terjadi gangguan. CB266 merupakan pengaman dari inverter dari output PV(*photovoltaic*) sekaligus sebagai pengaman *backup* apabila CB Trolley 1 mengalami kegagalan dalam memproteksi motor *trolley* 1. CB265 dan CB266 adalah pengaman untuk inverter suplai tegangan PLN dan inverter output PV sekaligus berfungsi sebagai pengaman *backup* jika CB Trolley 1 mengalami kegagalan dalam memproteksi gangguan hubungan singkat (*short circuit*).



Gambar 43. 22. Kurva Arus Waktu Skenario III

Output dari simulasi skenario 3 menghasilkan kurva kerja pada gambar 4.22 yang menjelaskan kerja circuit breaker CB Trolley 1, CB265, CB266, dan kurva arus motor *trolley* 1 sebagai berikut :

- Kurva motor *trolley* 1 dari bawah keatas adalah nilai arus start motor *trolley* 1 yang kemudian kembali pada arus FLA nya dalam waktu 3 detik.
- Kurva CB Trolley 1 yang berwarna biru adalah kurva *circuit breaker* yang melindungi motor *trolley* 1. *Circuit breaker* ini memiliki karakteristik kecepatan *long-time pickup* 0,75 detik pada arus 75 A. Artinya, ketika motor *trolley* 1 terjadi gangguan beban lebih yang

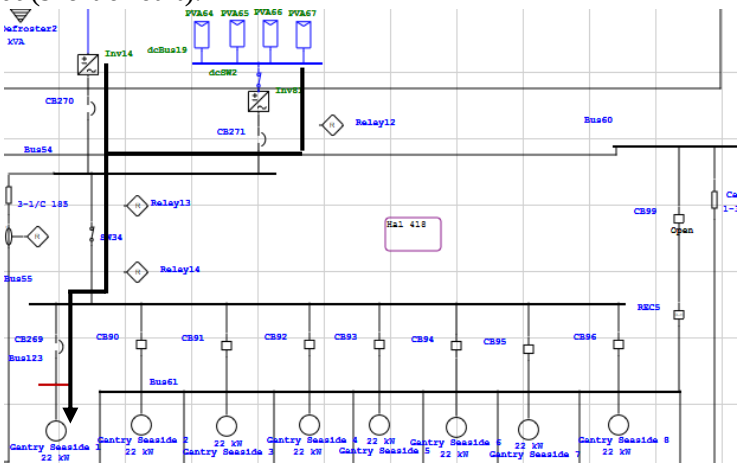
menyebabkan nilai arus FLA mencapai 75 A, maka *circuit breaker* akan mendeteksi arus tersebut dalam 0,75 detik dengan *delay* waktu *trip* 4 - 500 detik. Sehingga, ketika terjadi beban lebih, maka *circuit breaker* tidak langsung memutuskan arus kecuali apabila dalam waktu 4 - 500 detik nilai arus tidak segera turun.

- Kurva CB Trolley 1 juga memiliki karakteristik kecepatan *short-time pickup* 8 detik pada arus 600 A. Artinya, ketika aliran arus pada motor *trolley* 1 mencapai 600 A, maka *circuit breaker* akan mendeteksi arus tersebut dalam waktu 8 detik dan langsung terjadi *trip* saat itu juga.
- Kurva CB265 yang berwarna abu-abu adalah kurva *circuit breaker* yang melindungi inverter *output* dari suplai tegangan PLN sekaligus sebagai pengaman *backup* jika CB Boom mengalami kegagalan dalam memproteksi motor *trolley* 1. *Circuit breaker* akan *trip* dalam waktu 0,15 detik jika arus yang mengalir melewati batas *setting* arus *circuit breaker* CB265 yaitu 2040 A. Ketika PV terjadi terjadi *overload* yang menyebabkan nilai arus FLA mencapai 510 A, maka *circuit breaker* PV akan mendeteksi arus tersebut dalam waktu 4 detik, dan akan *trip* dalam waktu 20 - 400 detik.
- CB266 yang berwarna hijau adalah kurva *circuit breaker* yang melindungi inverter *output* dari PV(*photovoltaic*) sekaligus sebagai pengaman *backup* jika CB Boom mengalami kegagalan dalam memproteksi motor *boom*. *Circuit breaker* akan *trip* dalam waktu 0,15 detik jika arus yang mengalir melewati batas *setting* arus *circuit breaker* CB266 yaitu 1800 A. Ketika inverter PV terjadi *overload* yang menyebabkan nilai arus FLA mencapai 450 A, maka *circuit breaker* PV akan mendeteksi arus tersebut dalam waktu 4 detik, dan akan *trip* dalam waktu 8 - 300 detik.
- Kurva kerja *circuit breaker* berada di sebelah kanan kurva arus *start* dari motor *trolley*, artinya pada saat motor *trolley* melakukan *starting*, jika terjadi lonjakan arus *start*, masih dapat diamankan oleh ketiga *circuit breaker* tersebut. Jika kurva kerja *circuit breaker* bersinggungan dengan kurva arus *starting* motor, maka akan dianggap sebagai gangguan oleh *circuit breaker* yang sebenarnya adalah lonjakan arus *starting* dari motor. Sehingga *circuit breaker* akan selalu *trip* setiap motor melakukan *starting*.

4.7.4 Analisis Skenario IV

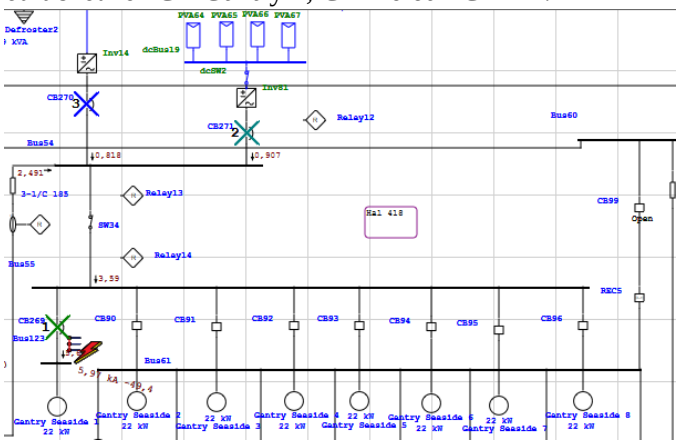
Skenario keempat adalah pada kondisi motor *gantry run* dengan suplai output inverter dengan *backup* dengan tegangan dari PLN, dengan bus motor *gantry* yang mengalami gangguan. Total kebutuhan daya pada kondisi tersebut adalah 22kW x 16 unit motor *gantry*. Dalam studi kasus

ini, hanya salah satu motor saja yang mengalami gangguan hubungan singkat (*short circuit*).



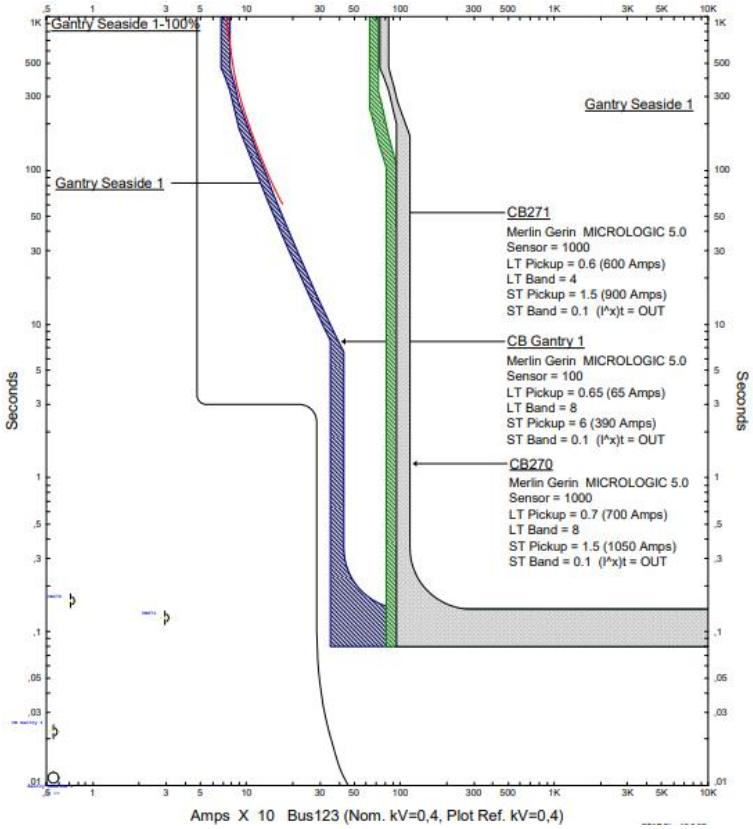
Gambar 44. 23. *Oneline Diagram* Skenario IV

Dari gambar 4.23 *oneline diagram* diatas, motor *gantry* 1 sengaja diberikan gangguan hubungan arus singkat (*short circuit*) dengan menggunakan *star-protection device coordination* pada *software* simulasi. Maka, *circuit breaker* yang akan dilakukan pengaturan koordinasi proteksi yaitu *circuit breaker* CB Gantry 1, CB270 dan CB271.



Gambar 45. 24. Urutan Pemutusan Kontak *Circuit Breaker* Skenario IV

CB Gantry 1 merupakan pengaman pertama yang berfungsi untuk mengamankan motor *gantry* jika terjadi gangguan. CB271 merupakan pengaman dari inverter dari output PV(*photovoltaic*) sekaligus sebagai pengaman *backup* apabila CB Gantry 1 mengalami kegagalan dalam memproteksi motor *gantry* 1. CB270 dan CB271 adalah pengaman untuk inverter suplai tegangan PLN dan inverter output PV sekaligus berfungsi sebagai pengaman *backup* jika CB Gantry 1 mengalami kegagalan dalam memproteksi gangguan hubungan singkat (*short circuit*).



Gambar 46. 25. Kurva Arus Waktu Skenario IV

Output dari simulasi skenario 4 menghasilkan kurva kerja pada gambar 4.25 yang menjelaskan kerja circuit breaker CB Gantry 1, CB270, CB271, dan kurva arus motor *gantry* 1 sebagai berikut :

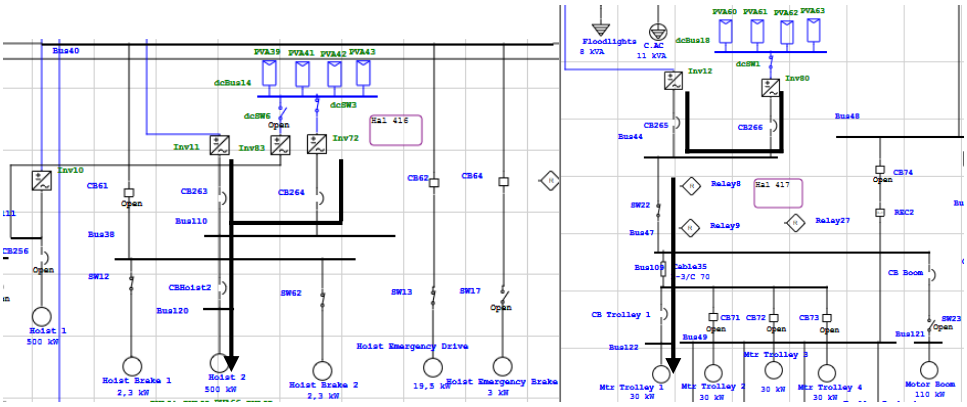
- Kurva motor *gantry* 1 dari bawah keatas adalah nilai arus start motor *gantry* 1 yang kemudian kembali pada arus FLA nya dalam waktu 3 detik.
- Kurva CB Gantry 1 yang berwarna biru adalah kurva *circuit breaker* yang melindungi motor *gantry* 1. *Circuit breaker* ini memiliki karakteristik kecepatan *long-time pickup* 0,65 detik pada arus 65 A. Artinya, ketika motor *gantry* 1 terjadi gangguan beban lebih yang menyebabkan nilai arus FLA mencapai 65 A, maka *circuit breaker* akan mendeteksi arus tersebut dalam 0,65 detik dengan *delay* waktu *trip* 8 - 500 detik. Sehingga, ketika terjadi beban lebih, maka *circuit breaker* tidak langsung memutuskan arus kecuali apabila dalam waktu 8 - 500 detik nilai arus tidak segera turun.
- Kurva CB Gantry 1 juga memiliki karakteristik kecepatan *short-time pickup* 6 detik pada arus 390 A. Artinya, ketika aliran arus pada motor

gantry 1 mencapai 390 A, maka *circuit breaker* akan mendeteksi arus tersebut dalam waktu 6 detik dan langsung terjadi *trip* saat itu juga.

- Kurva CB271 yang berwarna hijau adalah kurva *circuit breaker* yang melindungi inverter *output* dari PV(*photovoltaic*) sekaligus sebagai pengaman *backup* jika CB Gantry 1 mengalami kegagalan dalam memproteksi motor *gantry* 1. *Circuit breaker* akan *trip* dalam waktu 0,15 detik jika arus yang mengalir melewati batas *setting* arus *circuit breaker* CB271 yaitu 900 A. Ketika PV terjadi terjadi *overload* yang menyebabkan nilai arus FLA mencapai 600 A, maka *circuit breaker* PV akan mendeteksi arus tersebut dalam waktu 1,5 detik, dan akan *trip* dalam waktu 100 - 250 detik.
- CB270 yang berwarna abu-abu adalah kurva *circuit breaker* yang melindungi inverter *output* dari suplai tegangan PLN sekaligus sebagai pengaman *backup* jika CB Gantry 1 mengalami kegagalan dalam memproteksi motor *gantry 1*. *Circuit breaker* akan *trip* dalam waktu 0,15 detik jika arus yang mengalir melewati batas *setting* arus *circuit breaker* CB270 yaitu 1050 A. Ketika inverter PV terjadi *overload* yang menyebabkan nilai arus FLA mencapai 700 A, maka *circuit breaker* PV akan mendeteksi arus tersebut dalam waktu 1,5 detik, dan akan *trip* dalam waktu 200 - 500 detik.
- Kurva kerja *circuit breaker* berada di sebelah kanan kurva arus *start* dari motor *gantry* 1, artinya pada saat motor *gantry* 1 melakukan *starting*, jika terjadi lonjakan arus *start*, masih dapat diamankan oleh ketiga *circuit breaker* tersebut. Jika kurva kerja *circuit breaker* bersinggungan dengan kurva arus *starting* motor, maka akan dianggap sebagai gangguan oleh *circuit breaker* yang sebenarnya adalah lonjakan arus *starting* dari motor. Sehingga *circuit breaker* akan selalu *trip* setiap motor melakukan *starting*.

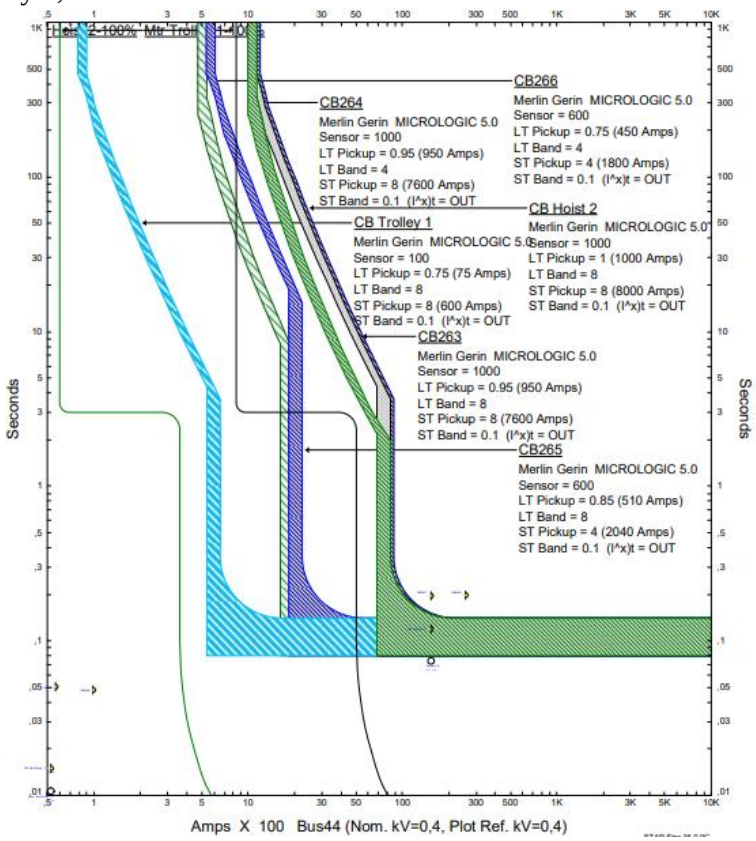
4.7.5 Analisis Skenario V

Skenario kelima adalah pada kondisi motor *hoist* dan *trolley* beroperasi secara bersamaan dengan suplai output inverter dengan *backup* dengan tegangan dari PLN, dengan bus motor *hoist* 2 dan *trolley* 1 yang mengalami gangguan. Total kebutuhan daya pada kondisi tersebut adalah 500kW x 2 unit motor *hoist* dan 30kW x 4 unit motor *trolley*. Dalam studi kasus ini, hanya salah satu motor saja yang mengalami gangguan hubungan singkat (*short circuit*).



Gambar 47. 26. *Oneline Diagram* Skenario V

Dari gambar 4.26 *oneline diagram* diatas, motor *hoist* 2 dan motor *trolley* 1 sengaja diberikan gangguan hubungan arus singkat (*short circuit*) dengan menggunakan *star-protection device coordination* pada *software* simulasi. Maka, *circuit breaker* yang akan dilakukan pengaturan koordinasi proteksi yaitu *circuit breaker* CB Hoist 2, CB263, CB264, CB Trolley 1, CB265 dan CB266.



Gambar 48. 27. Kurva Arus Waktu Skenario V

Output dari skenario 5 menghasilkan kurva kerja pada gambar 4.27 yang menjelaskan kerja circuit breaker CB Hoist 2, CB263, CB264, CB Trolley 1, CB265, CB266, kurva arus motor *hoist* 2 dan motor *trolley* 1 sebagai berikut :

- Kurva motor *hoist* 2 dari bawah keatas adalah nilai arus start motor *hoist* 2 yang kemudian kembali pada arus FLA nya dalam waktu 3 detik.
- Kurva CB Hoist 2 yang berwarna biru tua adalah kurva *circuit breaker* yang melindungi motor *hoist*. *Circuit breaker* ini memiliki karakteristik kecepatan *long-time pickup* 1 detik pada arus 1000 A. Artinya, ketika motor *hoist* terjadi gangguan beban lebih yang menyebabkan nilai arus FLA mencapai 1000 A, maka *circuit breaker* akan mendeteksi arus tersebut dalam 1 detik dengan *delay* waktu *trip* 5 - 400 detik. Sehingga, ketika terjadi beban lebih, maka *circuit breaker* tidak langsung memutuskan arus kecuali apabila dalam waktu 5 - 400 detik nilai arus tidak segera turun.
- Kurva CB Hoist 2 juga memiliki karakteristik kecepatan *short-time pickup* 8 detik pada arus 8000 A. Artinya, ketika aliran arus pada motor *hoist* mencapai 8000 A, maka *circuit breaker* akan mendeteksi arus tersebut dalam waktu 8 detik dan langsung terjadi *trip* saat itu juga.
- Kurva CB264 yang berwarna hijau tua adalah kurva *circuit breaker* yang melindungi inverter output dari PV(*photovoltaic*) sekaligus sebagai pengaman *backup* jika CB Hoist 2 mengalami kegagalan dalam memproteksi motor *hoist* 2. *Circuit breaker* akan *trip* dalam waktu 0,15 detik jika arus yang mengalir melewati batas *setting* arus *circuit breaker* CB264 yaitu 7600 A. Ketika PV terjadi terjadi *overload* yang menyebabkan nilai arus FLA mencapai 950 A, maka *circuit breaker* PV akan mendeteksi arus tersebut dalam waktu 8 detik, dan akan *trip* dalam waktu 2 - 300 detik.
- CB263 yang berwarna abu-abu yang berada di belakang kurva CB Hoist 2 adalah kurva *circuit breaker* yang melindungi inverter suplai tegangan PLN sekaligus sebagai pengaman *backup* jika CB Hoist 2 mengalami kegagalan dalam memproteksi motor *hoist* 2. *Circuit breaker* CB263 memiliki spesifikasi dan karakteristik yang sama dengan CB Hoist 2.
- Kurva motor *trolley* 1 dari bawah keatas adalah nilai arus start motor *trolley* 1 yang kemudian kembali pada arus FLA nya dalam waktu 3 detik.
- Kurva CB Trolley 1 yang berwarna biru muda adalah kurva *circuit breaker* yang melindungi motor *trolley* 1. *Circuit breaker* ini memiliki karakteristik kecepatan *long-time pickup* 0,75 detik pada arus 75 A. Artinya, ketika motor *trolley* 1 terjadi gangguan beban lebih yang

menyebabkan nilai arus FLA mencapai 75 A, maka *circuit breaker* akan mendeteksi arus tersebut dalam 0,75 detik dengan *delay* waktu *trip* 4 - 500 detik. Sehingga, ketika terjadi beban lebih, maka *circuit breaker* tidak langsung memutuskan arus kecuali apabila dalam waktu 4 - 500 detik nilai arus tidak segera turun.

- Kurva CB Trolley 1 juga memiliki karakteristik kecepatan *short-time pickup* 8 detik pada arus 600 A. Artinya, ketika aliran arus pada motor *trolley* 1 mencapai 600 A, maka *circuit breaker* akan mendeteksi arus tersebut dalam waktu 8 detik dan langsung terjadi *trip* saat itu juga.
- Kurva CB265 yang berwarna ungu adalah kurva *circuit breaker* yang melindungi inverter *output* dari suplai tegangan PLN sekaligus sebagai pengaman *backup* jika CB Boom mengalami kegagalan dalam memproteksi motor *trolley* 1. *Circuit breaker* akan *trip* dalam waktu 0,15 detik jika arus yang mengalir melewati batas *setting* arus *circuit breaker* CB265 yaitu 2040 A. Ketika PV terjadi terjadi *overload* yang menyebabkan nilai arus FLA mencapai 510 A, maka *circuit breaker* PV akan mendeteksi arus tersebut dalam waktu 4 detik, dan akan *trip* dalam waktu 20 - 400 detik.
- CB266 yang berwarna hijau muda adalah kurva *circuit breaker* yang melindungi inverter *output* dari PV(*photovoltaic*) sekaligus sebagai pengaman *backup* jika CB Boom mengalami kegagalan dalam memproteksi motor *boom*. *Circuit breaker* akan *trip* dalam waktu 0,15 detik jika arus yang mengalir melewati batas *setting* arus *circuit breaker* CB266 yaitu 1800 A. Ketika inverter PV terjadi *overload* yang menyebabkan nilai arus FLA mencapai 450 A, maka *circuit breaker* PV akan mendeteksi arus tersebut dalam waktu 4 detik, dan akan *trip* dalam waktu 8 - 300 detik.
- Kurva kerja *circuit breaker* berada di sebelah kanan kurva arus *start* dari motor *hoist* dan *trolley*, artinya pada saat motor *hoist* dan *trolley* melakukan *starting*, jika terjadi lonjakan arus *start*, masih dapat diamankan oleh masing-masing *circuit breaker* tersebut. Jika kurva kerja *circuit breaker* bersinggungan dengan kurva arus *starting* motor, maka akan dianggap sebagai gangguan oleh *circuit breaker* yang sebenarnya adalah lonjakan arus *starting* dari motor. Sehingga *circuit breaker* akan selalu *trip* setiap motor melakukan *starting*.

BAB 5
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan analisa data pada lima skenario, maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Besarnya arus hubungan singkat (*short circuit*) dipengaruhi oleh jumlah beban dari setiap peralatan pada setiap kondisi operasional container crane. Hasil simulasi pada kondisi suplai tegangan PLN dan suplai tegangan inverter dari PV dengan backup tegangan PLN di 5 skenario operasional container crane menunjukkan komponen yang memiliki nilai *short circuit* terbesar dengan suplai PLN yaitu motor *hoist* sebesar 11,678 kA dan *short circuit* terbesar dengan suplai inverter PV yaitu 13,103 kA. Setelah dilakukan penggantian kabel pengaman dengan spesifikasi yang sama di semua motor utama, nilai arus *short* terbesar dengan suplai PLN yaitu motor *hoist* sebesar 8,494 kA dan dengan suplai inverter PV sebesar 9,882 kA.
2. Pengaturan circuit breaker yang berfungsi sebagai pelindung utama motor *hoist, boom, trolley* dan *gantry*. Untuk motor *hoist* memiliki karakteristik *short-time pick up* sebesar 6000 A sedangkan untuk nilai 0,8Iscmin motor *hoist* 2 sebesar 9882 A agar dapat langsung trip ketika ada arus lebih yang sangat besar untuk melindungi komponen dengan cepat tanpa waktu delay. Oleh karena itu pemilihan circuit breaker untuk motor hoist harus memiliki *setting short time pick up* 6000 A yang sekaligus berfungsi sebagai pengaman *back up* untuk komponen – komponen yang terhubung, dimana dapat memproteksi arus yang lebih besar daripada *circuit breaker* yang melindungi komponen. Dalam pengaturan koordinasi arus lebih, kurva kerja *circuit breaker* harus berada di belakang kurva kerja beban agar selama starting motor hingga motor beroperasi tidak terjadi trip kecuali pada saat terjadi gangguan arus lebih.
3. Pengaturan ulang *circuit breaker* apabila motor *hoist, boom, trolley* dan *gantry* harus bekerja pada beban maksimal. Hal ini dikarenakan jika nilai beban suatu komponen berubah, maka arus nominal akan berubah, sehingga pengaturan kembali koordinasi pengaman berfungsi untuk mengoptimalkan kerja dari sistem proteksi dan memastikan bahwa tidak terjadi trip saat motor beroperasi.

5.2 Saran

Dari hasil penelitian ini disarankan untuk melakukan penelitian atau pengkajian lebih lanjut mengenai :

1. Penggunaan *photovoltaic* (PV) pada tegangan menengah sampai tinggi agar pengaman yang digunakan lebih bervariasi.
2. Proteksi arus lebih pada container crane khusunya motor hoist dengan variasi beban angkat pada motor hoist.

DAFTAR PUSTAKA

Asshanti, F. F. (2017). *Analisa Kebutuhan Daya Listrik Container Crane dalam Rangka Elektrifikasi Container Crane untuk Mengoptimalkan Proses Bongkar Muat di Terminal Petikemas Surabaya*.

B. De Metz-Noblat, G. Thomasset, F. D. (2000). Cahier technique no. 158 Calculation of Short-Circuit Currents. *Short Circuits in Power Systems: A Practical Guide to IEC 60909-0*, *158*, 233–271. https://doi.org/10.1002/9783527803378.ch18

Hutagalung, B. R. (2004). *Dampak Aktivitas Pelabuhan Dan Sebaran Pencemaran Lingkungan Pelabuhan Tanjung Emas Semarang dan Kawasan Sekitarnya*.

International Electrotechnical Commission. (2016). IEC 60909-0 Short-circuit currents in three-phase a.c. systems - Part 0: Calculation of currents. *Internationa Standard*, *0*.

Iqbal, M. (2011). *Analisa Kapasitas Daya Listrik Container Crane untuk Optimalisasi Proses Bongkar Muat*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Multa, L., & Aridani, R. P. (2013). Modul Pelatihan ETAP. *Modul Pelatihan ETAP*, 58.

Panji, P. A. A., Raditya, A. H., & Indrawan, T. (2017). Short-circuit current calculation application for A.C 3 phase on marine and mobile offshore installations based on IEC-61363 Standard. *Procedia Engineering*, *194*, 545–552. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.08.183

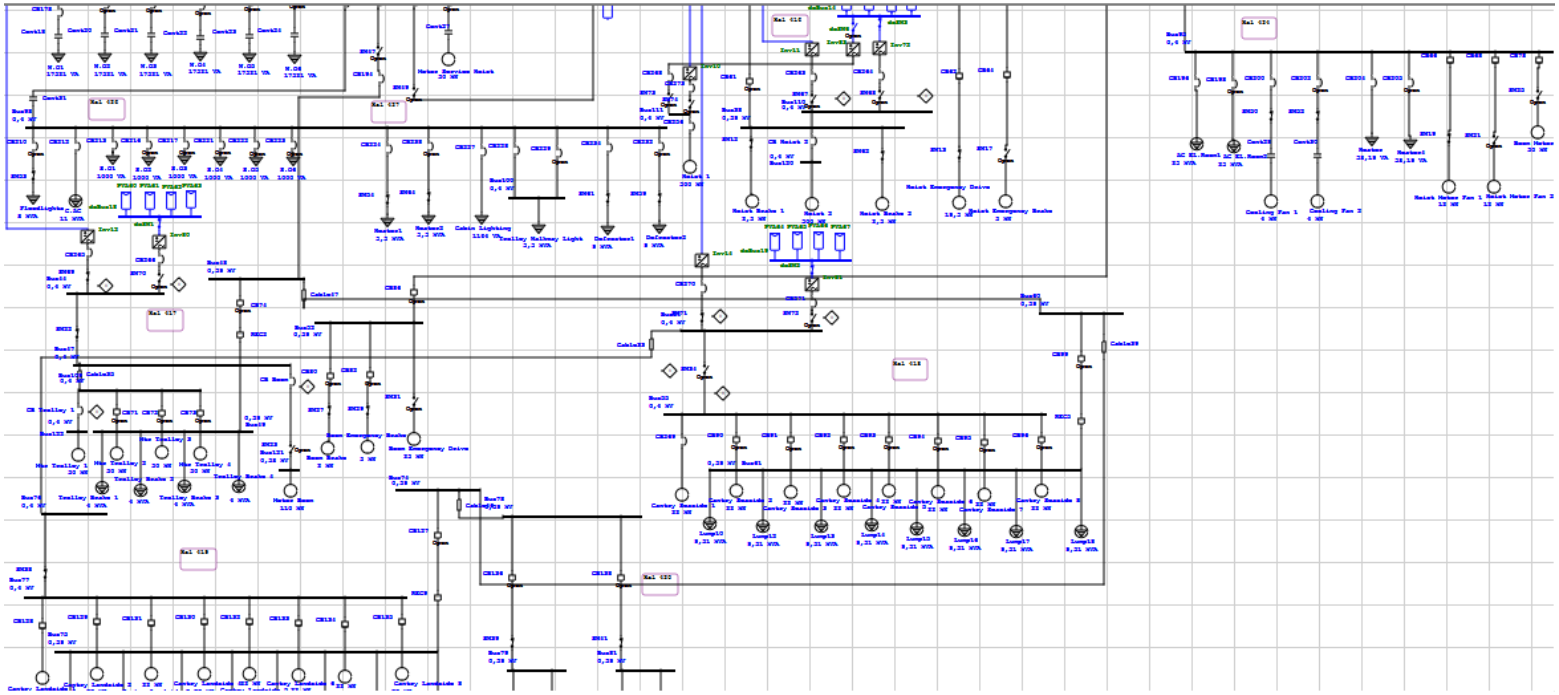
Purwoto, B. H., Jatmiko, F., M. A., & Huda, I. F. (2017). Efisiensi Penggunaan Panel Surya sebagai Sumber Energi Alternatif. *Emitor*, *18*(1), 10–42.

Salman, R. (2014). Simulasi Dan Analisis Aliran Daya Pada Sistem Tenaga Listrik Menggunakan Perangkat Lunak Electrical Transient Analyser Program (Etap) Versi 4.0. *Jurnal Pendidikan Teknologi Dan Kejuruan*, *15*(1). https://doi.org/10.24114/jptk.v15i1.1510

Saragi, H. S., & Yuningtyastuti, I. (n.d.). *Sistem Operasi Container Crane (CC) di Terminal Peti Kemas Semarang*. *Cc*, 3–8.

Siana, S. W. (2018). *Pengaturan koordinasi proteksi arus lebih pada sistem kelistrikan di kapal tanker dengan simulasi*.

LAMPIRAN



Relay ID	Instantaneous Pickup						
	1.6 FLA < Iset <= 0.8 Isc Min						
	1.6 FLA	Iset	0.8 Isc Min	Tap 1.6	Tap Iset	Tap 0.8 Isc Min	Isc Min (30 Cycle)
CB Gantry 1	76.32	390	3534.4	0.7632	6	54.37538462	4418
CB270	831.36	1050	3534.4	0.83136	1.5	5.049142857	4418
CB271	875.2	900	3534.4	0.8752	1.5	5.890666667	4418
CB265	628.64	2040	3004	1.04773	4	5.890196078	3755
CB Boom	344	2000	3004	1.376	8	12.016	3755
CB266	547.04	1800	3004	0.91173	4	6.675555556	3755
CB262	1215.52	1500	1576	1.21552	1.5	1.576	1970
CB Hoist 2	1411.84	6000	7905.6	1.41184	6	7.9056	9882
CB263	1154.72	5700	7905.6	1.15472	6	8.321684211	9882
CB264	1154.72	5700	7905.6	1.15472	6	8.321684211	9882
CBTrolley 1	101.296	600	1348	1.01296	8	17.97333333	1685

BIODATA PENULIS

Sastri Ade Priyangga, penulis dilahirkan di Malang pada 10 April 1998. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SDN Tamanharjo I Singosari, Malang pada tahun 2004 – 2010, setelah itu penulis menempuh pendidikan formal di SMPN 1 Singosari, Malang pada tahun 2010 - 2013, dan juga penulis melanjutkan pendidikan formal di SMAN 1 Lawang, Malang pada tahun 2013 – 2016. Selanjutnya penulis melanjutkan pendidikan ke tingkat yang lebih tinggi yaitu menuju perkuliahan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya di Departemen Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan, dengan Nomor Mahasiswa 04211640000075. Selama berkuliah, penulis aktif berorganisasi dari semester pertama sampai semester terakhir. Berbagai kepanitian juga diikuti ketika sedang ada event event di lingkungan ITS. Seperti contohnya penulis pernah mengikuti kepanitiaan Marine Icon 2017, 2018 dan 2019 yang merupakan event besar dari Departemen Teknik Sistem Perkapalan FTK ITS. Penulis pernah menjadi asisten laboratorium listrik kapal dan sistem otomasi (MEAS Laboratory) di Departemen Teknik Sistem Perkapalan dari tahun ketiga hingga tahun terakhir. Penulis juga pernah melakukan suatu Kerja Praktek di PT PAL Indonesia (Surabaya) pada tahun 2017, dan melanjutkan Kerja Praktek di PT Paiton Operation and Maintenance Indonesia (Paiton, Probolinggo) pada tahun berikutnya yaitu tahun 2018.

Email : adepriyangga@gmail.com

No Telp : +6283849374137