TUGAS AKHIR - ME184834

STUDI ALIRAN DAYA PADA *CONTAINER CRANE* DENGAN SUPLAI ENERGI TERBARUKAN BERBASIS SIMULASI

DODI FASHA
NRP. 04211640000063

Dosen Pembimbing
Ir. Sardono Sarwito, M.Sc.

Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2020

TUGAS AKHIR – ME184834

STUDI ALIRAN DAYA PADA *CONTAINER CRANE* DENGAN SUPLAI ENERGI TERBARUKAN BERBASIS SIMULASI

Dodi Fasha
NRP. 04211640000063

Dosen Pembimbing
Ir. Sardono Sarwito, M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2020

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

UNDERGRADUATE THESIS – ME184834

STUDY OF LOAD FLOW IN CONTAINER CRANE WITH RENEWABLE ENERGY SUPPLY BASED ON SIMULATION

Dodi Fasha
NRP. 04211640000063

Supervisor
Ir. Sardono Sarwito, M.Sc.

DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING

Faculty of Marine Technology

Sepuluh Nopember Institute of Technology

Surabaya

2020

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

STUDI ALIRAN DAYA PADA *CONTAINER CRANE* DENGAN SUPLAI ENERGI TERBARUKAN BERBASIS SIMULASI

SKRIPSI
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 :
Dodi Fasha
NRP. 04211640000063

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

Ir. Sardono Sarwito, M.Sc. (……..…..)
NIP. 1960 0319 1987 01 1001

SURABAYA
JULI 2020

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

STUDI ALIRAN DAYA PADA *CONTAINER CRANE* DENGAN SUPLAI 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:

Dodi Fasha

NRP. 04211640000063

Disetujui Oleh,

Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan

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

NIP. 197903192008011008

SURABAYA

AGUSTUS, 2020

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

STUDI ALIRAN DAYA PADA *CONTAINER CRANE* DENGAN SUPLAI ENERGI TERBARUKAN BERBASIS SIMULASI

Nama Mahasiswa : Dodi Fasha
NRP. : 04211640000063
Departemen : Teknik Sistem Perkapalan
Dosen Pembimbing I : Ir. Sardono Sarwito, M.Sc.
Dosen Pembimbing II : -

ABSTRAK

Pelabuhan petikemas tak lepas dari kesibukan proses bongkar muat barangnya, dengan selalu adanya kapal yang datang dan pergi membawa muatan. Proses bongkar muat tersebut menggunakan alat berat yang bahan bakarnya yang kurang ramah lingkungan. Saat ini pelabuhan petikemas di seluruh dunia tengah menerapkan prinsip konsep pelabuhan hijau ramah lingkungan (*green port*). Segala macam alat baik industri maupun produksi sebisa mungkin dicarikan solusi agar dapat mengurangi jumlah polusi dan limbah. Maka muncullah adanya konsep bahan bakar yang dapat diperbarui, seperti matahari, air, angin, dan sumber daya alam lain yang dapat menunjang terciptanya konsep pelabuhan petikemas yang ramah lingkungan. Alat berat seperti *container crane* di pelabuhan menjadi alat berat utama dalam proses distribusi muatan kapal. *Crane* yang beroperasi dengan suplai listrik dari PLN dan generator diesel pada umumnya, pada penelitian ini dicoba diteliti dengan percobaan suplai menggunakan energi sumber daya alam yang dapat diperbarui, seperti panel surya. Dengan mengamati dan memodelkan sistem kelistrikan *container crane*, khususnya skema *one-line diagram*-nya, pada penelitian ini dioperasikan menggunakan pemodelan berbasis simulasi ETAP. Kondisi dari suplai energi listrik panel surya yang memiliki karakteristik tegangan, frekuensi, dan daya yang berbeda dengan energi listrik dari PLN dan generator diesel, dicoba untuk dibandingkan dan dianalisa pada penelitian ini. Studi kasus kali ini hanya fokus pada aliran daya yang terdapat dalam sistem kelistrikan *container crane*. Baik itu efisiensi tiap motornya, rugi daya selama proses transmisi, hingga tegangan jatuh yang terjadi selama proses distribusi tegangan. Setelah proses pemodelan dan simulasi telah dilakukan, didapatkan hasil bahwa suplai panel surya (PV) cukup bisa untuk digunakan sebagai sumber daya untuk suplai sistem kelistrikan *container crane*. Pada suplai PV, disimulasikan menggunakan output tegangan hasil inverter sebesar 0,38 kV. Simulasi dengan suplai PV ini menghasilkan efisiensi daya yang lebih rendah dari suplai PLN dan generator, serta tegangan jatuh yang lebih tinggi dari suplai PLN dan generator. Namun, pada tiap skenario suplai PV, efisiensi daya dan tegangan jatuhnya masih dalam batas IEC dan IEEE. Contohnya pada saat skenario motor *gantry*, efisiensi daya sebesar 94,44%, dan tegangan jatuh 0,274%. Lalu pada skenario motor *boom*, efisiensi daya 94,43% dan tegangan jatuh 0,457%. Pada skenario motor *trolley*, efisiensi daya 94,44% dan tegangan jatuh 0,374%. Pada skenario motor *hoist*, efisiensi daya 94,76% dan tegangan jatuh 0,269%.

Kata kunci: Aliran Daya, *Container Crane*, ETAP, Panel Surya

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

STUDY OF LOAD FLOW IN CONTAINER CRANE WITH SOLAR-CELL'S SUPPLY BASED ON SIMULATION

Name	**: Dodi Fasha**
NRP	**: 04211640000063**
Department	**: *Marine Engineering***
Supervisor I	**: Ir. Sardono Sarwito, M.Sc.**
Supervisor II	**: -**

ABSTRACT

Container ports can't be separated from their loading-unloading process with container ships that never stops come and come again to load or unload their containers or cargos of goods. Those loading and unloading processes are still using heavy equipment that still consuming less eco-friendly fuels. Nowadays, container ports all around the word are still implementing the principle concept of "green port". All the heavy equipments in port, like product equipment or industrial equipment, are expected to get some solutions to reducing its polution and waste of fuel. So, therefore came a new concept of using renewable fuels, its like solar energy with solar panel or wind energy, or any natural resources that can supports the realization concept of "green and eco-friendly container port". Heavy equipment, like container crane, in port is becoming the main equipment that contributes and operates during the loading-unloading processes. Container cranes that usually operated with consuming fuel from State Electricity Company (PLN) and diesel generators, in this research, are getting studied with new renewable energy supply, solar panels. According to container crane's one-line diagram of electricity scheme,the its one-line diagram is modeled into simulation application, its called ETAP. Solar panel's condition and characteristics (such as voltage, frequency, and output load), that have any differences with supply electric energy from State Electricity Company(PLN) and diesel generators, are being compared and analyzed in this research. Research focus of study is only on its loadflow on this container crane electric system. Otherwise, such as its electric motor's load efficiency, loss power, and voltage drop during its power and voltage distribution are being studied too. After doing process of modelling its one-line diagram into ETAP, then its simulated per scenario. Some results of this research are, solar panel supply is still works and recommended for supplying electricity demand of one container crane. Some notes required in this study are, the voltage output from inverter are 0,38 kV. Other results are, this type of supply is producing fewer load efficiency higher voltage drop if being compared into supply from State Electricity Company(PLN) and diesel generators. But, in all scenarios being simulated, solar panel supply has load efficiency and voltage drop that is still in between among the minimum standards from IEEE and IEC. The example is from gantry motors scenario, its load efficiency is 94,4% and voltage drop only 0,274%. Then, from boom motor scenario, its load efficiency is 94,43% and voltage drop only 0,457%. From trolley motor scenario, its load efficiency is 94,44% and voltage drop only 0,374%. Last, on hoist motor scenario, its load efficiency is 94,76% and only has 0,269% of voltage drops.

Keyword*: *Load Flow, Container Crane,* ETAP, *Solar Panel

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

AlhamdulillahirabbilAlamin, Puji syukur pada Allah, SWT. Tuhan Yang Maha Esa, yang telah memberikan nikmat dan rahmat dalam penulisan tugas akhir kali ini. Serta tak lupa shalawat kepada Nabi Muhammad SAW. Terakhir tak lupa dengan bantuan dari semua orang yang terkait, penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul "**STUDI ALIRAN DAYA PADA CONTAINER CRANE DENGAN SUPLAI ENERGI TERBARUKAN BERBASIS SIMULASI**", oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terimakasih dan permintaan maaf apabila telah direpotkan selama penulisan tugas akhir ini hingga selesai, ucapan itu penulis tujukan kepada:

1. Keluarga saya. Ayah, Mama, dan dua adik kandung saya, Dani dan Dea, beserta keluarga besar saya di manapun mereka berada, yang senantiasa memberikan doa, dukungan moral dan material kepada penulis.
2. Bapak Beny Cahyono, S.T., M.T., Ph.D. selaku Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS, yang telah memfasilitasi penulis dalam mengerjakan tugas akhir dan perkuliahan.
3. Bapak A.A. Bagus Dinariyana Dwi. P., S.T., MES., Ph.D. selaku dosen wali penulis yang selalu memberi motivasi perkuliahan di tiap semester.
4. Bapak Ir. Sardono Sarwito, M.Sc. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan dan masukan dalam setiap asistensi, yang sayangnya tidak dapat bertatap muka di separuh jalannya perkuliahan akibat pandemi.
5. Teman-teman satu bimbingan tugas akhir dengan Bapak Sardono (Syafri Octa, Ade Priyangga, Mochammad Bisma, dan Weldayana) yang menjadi teman diskusi dan saling memotivasi di tiap minggunya dalam mengerjakan tugas akhir.
6. Bapak Nurul Khafid, *Superintendent* spesialis pada *electrical maintenance* dari *equipment* pada *shore* dan *yard* area di PT. Terminal Teluk Lamong (PT. TTL), yang telah memberikan spesifikasi data tentang *container crane ship-to-shore* milik PT. TTL, serta segenap karyawan dan pekerja PT. TTL.
7. Teman-teman yang telah berkontribusi dalam penyelesaian *single-line diagram* pada aplikasi ETAP, Rocky Deardo (Siskal LJ'17), teman-teman Teknik Elektro angkatan 2016 (Eyov Glenn, Andi, Risqiya) yang telah membimbing penyusunan maupun memberikan sudut pandang terkait kelistrikan pada ETAP
8. Teman-teman kontrakan "Kasitro" dan grup "Konco Kenthel" yang telah menampung dan memberikan saya tempat beristirahat saat di kampus, serta sering mengajak futsal bersama hingga bercanda ria di warung kopi setelahnya.
9. Teman-teman angkatan saya, VOYAGE 2016, yang telah menemani bangku perkuliahan dari sejak mahasiswa baru, hingga sekarang sudah lulus dan menempuh jalannya masing-masing. Semoga bisa sukses bersama.
10. Terakhir, saya ucapkan ke Tim Pemandu LKMM TM ITS 2020 "Peradaban", yang selalu meramaikan hari-hari penulis. Entah itu bercanda, maupun serius dalam sesi rapat, yang menemani malam-malam pengerjaan tugas akhir ini

Penulis menyadari bahwa pasti ada kekurangan dalam penulisan di penelitian ini. Penulis juga terbuka terhadap saran dan kritikan.

Demikian, semoga dapat bermanfaat bagi semuanya. Maaf, dan Terima Kasih.

Surabaya, 20 Juli 2020

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN ..... **v**
LEMBAR PENGESAHAN ..... **vii**
ABSTRAK ..... **ix**
ABSTRACT ..... **xi**
DAFTAR ISI ..... **xv**
DAFTAR GAMBAR ..... **xix**
DAFTAR TABEL ..... **xxiii**
BAB I PENDAHULUAN **1**
1.1. Latar Belakang 1
1.2. Perumusan Masalah 2
1.3. Batasan Masalah 2
1.4. Tujuan 2
1.5. Manfaat 3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA **5**
2.1 Terminal Peti Kemas 5
2.2 Sistem Bongkar Muat di Terminal Peti Kemas 9
2.3 *Crane* 10
2.3.1 *Container Forklift* 10
2.3.2 *Reach Stacker (Straddler Loader)* 10
2.3.3 *Rubber Tyred Gantry Crane (Transtainer)* 11
2.3.4 *Side Loader* 11
2.3.5 *Straddler Carrier* 12
2.3.6 *Container Spreader* 12
2.3.7 *Gantry Crane* (*Ship to Shore Container Crane*) 13
2.4 Sistem Operasional STS *Container Crane* 13
2.5 Bagian-Bagian *Container Crane* 14
2.6 Komponen Kelistrikan *Container Crane* 15
2.7 Sistem Kelistrikan *Container Crane* 17
2.8 Sel Surya (*Photovoltaic*) 17

2.9 *Electrical Wave-form* (Bentuk Gelombang Listrik) 19
2.10 Studi Aliran Daya 21
2.11 Standar IEC 22
2.12 ETAP 22
BAB III METODOLOGI PENELITIAN 25
3. 1 Diagram Alir Tahapan Pengerjaan Tugas Akhir 25
3.2 Deskripsi Tahapan Pengerjaan Tugas Akhir 26
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN 29
4.1 Pencarian dan Pengumpulan Data 29
4.2 *Single Line Diagram Container Crane* STS01 Terminal Teluk Lamong .. 29
4.3 Perencanaan Skenario Simulasi STS *Container Crane* 42
4.3.1 Simulasi Motor *Gantry* (16 motor AC 3-fase) 45
4.3.2 Simulasi Motor *Boom* (1 motor AC 3-fase) 46
4.3.3 Simulasi Motor *Trolley* (4 motor AC 3-fase) 47
4.3.4 Simulasi Motor *Hoist* (2 motor AC 3-fase) 48
4.3.5 Simulasi Motor *Trolley* + Motor *Hoist* (4 motor + 2 motor AC 3-fase) 48
4.4 Analisa Hasil dan Pembahasan 48
4.4.1 Skenario 1 (Motor *Gantry*) 49
- Grid PLN + Generator (*Gantry*) 49
- PV Array (Gantry) 56
- Analisa Perbandingan Nilai Aliran Daya Tiap Jenis Suplai (*Gantry*) 59
- Analisa Perbandingan Nilai Distribusi Tegangan dan Tegangan Jatuh (*Gantry*) 59
4.4.2 Skenario 2 (Motor *Boom*) 60
- Grid PLN + Generator (*Boom*) 60
- PV Array (Boom) 64
- Analisa Perbandingan Nilai Aliran Daya Tiap Jenis Suplai (*Boom*) 66
- Analisa Perbandingan Nilai Distribusi Tegangan dan Tegangan Jatuh (*Boom*) 67
4.4.3 Skenario 3 (Motor *Trolley*) 68
- Grid PLN + Generator (*Trolley*) 68

- **PV *Array* (*Trolley*)** **72**
- **Analisa Perbandingan Nilai Aliran Daya Tiap Jenis Suplai (*Trolley*)** **74**
- **Analisa Perbandingan Nilai Distribusi Tegangan dan Tegangan Jatuh (*Trolley*)** **75**

4.4.4 Skenario 4 (Motor *Hoist*) **76**

- **Grid PLN + Generator (*Hoist*)** **76**
- **PV Array (*Hoist*)** **80**
- **Analisa Perbandingan Nilai Aliran Daya Tiap Jenis Suplai (*Hoist*)** **82**
- **Analisa Perbandingan Nilai Distribusi Tegangan dan Tegangan Jatuh (*Hoist*)** **83**

4.4.5 Skenario 5 (Motor *Trolley* + Motor *Hoist*) **84**

4.5 Total Kebutuhan Daya **85**

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN **87**

5.1 Kesimpulan **87**

5.2 Saran **88**

DAFTAR PUSTAKA **89**

LAMPIRAN **91**

BIODATA PENULIS **95**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. PT. Terminal Teluk Lamong 5
Gambar 2.2. *Container yard* PT. TTL 6
Gambar 2.3. Dermaga Terminal Teluk Lamong..... 7
Gambar 2.4. Proses penyaluran pakan ternak curah kering menuju *storage*..... 7
Gambar 2.5. Top view letak *transfer area* Terminal Teluk Lamong..... 8
Gambar 2.6. *Main gate* Terminal Teluk Lamong 8
Gambar 2.7. Proses Bongkar Muat 9
Gambar 2.8. *Container forklift* Konecranes 10
Gambar 2.9. *Reach Stacker* Konecranes 10
Gambar 2.10. *Transtainer* Konecranes Terminal Teluk Lamong..... 11
Gambar 2.11. Kalmar DSA 100 1998 *Side-loading forklift truck* 11
Gambar 2.12. *Straddler Carrier* Konecranes 12
Gambar 2.13. *Container Spreader* TIMARS 12
Gambar 2.14. STS *Container Crane* PT. TTL 13
Gambar 2.15. Gambaran gerakan utama *ship-to-shore container crane* 14
Gambar 2.16. Bagian-bagian *container crane*..... 15
Gambar 2.17. Transformator *step-down* 16
Gambar 2.18. *Hoist Lifting Motor* pada *Electric Crane Hoist* 16
Gambar 2.19. ZCJJ *Silicon Controller Rectifier*..... 16
Gambar 2.20. Sistem kelistrikan *container crane* 17
Gambar 2.21. Tampilan contoh sel surya..... 18
Gambar 2.22. Struktur sel surya 18
Gambar 2.23. Bentuk-bentuk gelombang listrik..... 20
Gambar 2.24. Segitiga daya 21
Gambar 2.25. Batas *voltage drop* menurut standar IEC 22
Gambar 2.26. Faktor daya pada kondisi normal 22
Gambar 2.27. Tampilan ETAP pengerjaan sistem kelistrikan *container crane* 23

Gambar 3.1. Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir 25

Gambar 4.1. *Container crane ship-to-shore* Terminal Teluk Lamong 29
Gambar 4.2. *Single-line diagram* STS-*crane*_halaman 1 30
Gambar 4.3. *Single-line diagram* STS-*crane*_halaman 2 30
Gambar 4.4. *Single-line diagram* STS-*crane*_halaman 3 31
Gambar 4.5. *Single-line diagram* STS-*crane*_halaman 4 31
Gambar 4.6. *Single-line diagram* STS-*crane*_halaman 5 32
Gambar 4.7. *Single-line diagram* STS-*crane*_halaman 6 32
Gambar 4.8. *Single-line diagram* STS-*crane*_halaman 7 33
Gambar 4.9. *Single-line diagram* STS-*crane*_halaman 8 33
Gambar 4.10. *Single-line diagram* STS-*crane*_halaman 9 34
Gambar 4.11. *Single-line diagram* STS-*crane*_halaman 10..... 34
Gambar 4.12. *Single-line diagram* STS-*crane*_halaman 11..... 35
Gambar 4.13. *Single-line diagram* STS-*crane*_halaman 12..... 35
Gambar 4.14. *Single-line diagram* STS-*crane*_halaman 13..... 36

Gambar 4.15. *Single-line diagram* STS-*crane*_halaman 14 36
Gambar 4.16. *Single-line diagram* STS-*crane*_halaman 15 37
Gambar 4.17. Petunjuk penggabungan kode gambar rangkaian pada ETAP 37
Gambar 4.18. *Single-line diagram* STS-*crane* pada ETAP_bagian 1 38
Gambar 4.19. *Single-line diagram* STS-*crane* pada ETAP_bagian 2 38
Gambar 4.20. *Single-line diagram* STS-*crane* pada ETAP_bagian 3 39
Gambar 4.21. *Single-line diagram* STS-*crane* pada ETAP_bagian 4 39
Gambar 4.22. *Single-line diagram* STS-*crane* pada ETAP_bagian 5 40
Gambar 4.23. *Single-line diagram* STS-*crane* pada ETAP_bagian 6 40
Gambar 4.24. *Single-line diagram* STS-*crane* pada ETAP_bagian 7 41
Gambar 4. 25. *Single-line diagram* STS-*crane* pada ETAP_bagian 8 41
Gambar 4.26. *Single-line diagram* STS-*crane* pada ETAP_bagian 9 42
Gambar 4.27. *Single-line diagram* STS-*crane* pada ETAP_bagian 10 42
Gambar 4.28. Data spesifikasi kelistrikan suplai PLN dan trafo *step-down* utama 43
Gambar 4.29. Tampilan suplai PLN dan trafo utama STS-*container crane* pada ETAP 43
Gambar 4.30. Data spesifikasi kelistrikan Generator 3,3MW 11kV 43
Gambar 4.31. Data spesifikasi kelistrikan Trafo *step-down* dari Generator 3,3MW 43
Gambar 4.32. Tampilan generator mode *voltage control* STS-*container crane* pada ETAP 44
Gambar 4.33. Spesifikasi data kelistrikan *solar-cell*_bagian 1 44
Gambar 4.34. Spesifikasi data kelistrikan *solar-cell*_bagian 2 44
Gambar 4.35. Tampilan *solar-cell* pada ETAP (untuk suplai motor *trolley* dan *boom*) 45
Gambar 4.36. Data spesifikasi kelistrikan motor *gantry* STS-*container crane* 45
Gambar 4.37. Tampilan motor *gantry seaside* STS-*container crane* pada ETAP 46
Gambar 4.38. Tampilan motor *gantry landside* STS-*container crane* pada ETAP 46
Gambar 4.39. Data spesifikasi kelistrikan motor *boom* STS-*container crane* 46
Gambar 4.40. Tampilan motor *boom* STS-*container crane* pada ETAP 47
Gambar 4.41. Data spesifikasi kelistrikan motor *trolley* STS-*container crane* 47
Gambar 4.42. Tampilan motor *trolley* STS-*container crane* pada ETAP 47
Gambar 4.43. Data spesifikasi kelistrikan motor *hoist* STS-*container crane* 48
Gambar 4.44. Tampilan motor *hoist* STS-*container crane* pada ETAP 48
Gambar 4.45. Tampilan *loadflow* suplai PLN + generator pada ETAP (sisi pembangkitan) 49
Gambar 4.46. Tampilan *loadflow* suplai PLN + generator pada ETAP (*gantry seaside*) 53
Gambar 4.47. Tampilan *loadflow* suplai PLN + generator pada ETAP (*gantry landside*) 53
Gambar 4.48. Tampilan *loadflow* suplai PV pada ETAP (motor *gantry landside*) 56
Gambar 4.49. Tampilan *loadflow* suplai PV pada ETAP (motor *gantry landside*) 56
Gambar 4.50. Tampilan *loadflow* suplai PLN + generator pada ETAP (sisi pembangkitan) 60
Gambar 4.51. Tampilan *loadflow* suplai PLN + generator pada ETAP (motor *Boom*) . 62
Gambar 4. 52. Tampilan *loadflow* suplai PV pada ETAP (motor *Boom*) 64
Gambar 4.53. Tampilan *loadflow* suplai PLN + generator pada ETAP (sisi pembangkitan) 68

Gambar 4.54. Tampilan *loadflow* suplai PLN + generator pada ETAP (motor *Trolley*)70
Gambar 4.55. Tampilan *loadflow* suplai PV pada ETAP (motor *Trolley*)..... 72
Gambar 4.56. Tampilan *loadflow* suplai PLN + generator pada ETAP (sisi pembangkitan) 76
Gambar 4.57. Tampilan *loadflow* suplai PLN + generator pada ETAP (motor *Hoist*).. 78
Gambar 4.58. Tampilan *loadflow* suplai PV pada ETAP (motor *Hoist*)..... 80
Gambar 4.59. Lokasi bus motor *trolley* pada ETAP 84

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1. Nilai aliran daya pada sisi suplai *grid* PLN + generator (skenario 1)..... 49
Tabel 4.2. Nilai tegangan jatuh pada sisi suplai *grid* PLN + generator (skenario 1) 52
Tabel 4.3. Nilai aliran daya skenario 1 (motor *gantry*) suplai *grid* PLN + generator 54
Tabel 4.4. Nilai tegangan jatuh skenario 1 (motor *gantry*) suplai grid PLN + generator 55
Tabel 4.5. Nilai aliran daya skenario 1 (motor *gantry*) suplai PV *Array* 57
Tabel 4.6. Nilai tegangan jatuh skenario 1 (motor *gantry*) suplai PV *Array*..... 58
Tabel 4.7. Nilai aliran daya pada sisi suplai *grid* PLN + generator (skenario 2)..... 61
Tabel 4.8. Nilai tegangan jatuh pada sisi suplai *grid* PLN + generator (skenario 2) 61
Tabel 4.9. Nilai aliran daya skenario 2 (motor *boom*) suplai *grid* PLN + generator 62
Tabel 4.10. Nilai tegangan jatuh skenario 2 (motor *Boom*) suplai grid PLN + generator 63
Tabel 4.11. Nilai aliran daya skenario 2 (motor *Boom*) suplai PV *Array* 64
Tabel 4.12. Nilai tegangan jatuh skenario 2 (motor *Boom*) suplai PV *Array*..... 65
Tabel 4.13. Nilai aliran daya pada sisi suplai *grid* PLN + generator (skenario 3)..... 68
Tabel 4.14. Nilai tegangan jatuh pada sisi suplai *grid* PLN + generator (skenario 3) ... 69
Tabel 4.15. Nilai aliran daya skenario 3 (motor *trolley*) suplai *grid* PLN + generator .. 70
Tabel 4.16. Nilai tegangan jatuh skenario 3 (motor *Trolley*) suplai grid PLN + generator 71
Tabel 4.17. Nilai aliran daya skenario 3 (motor Trolley) suplai PV *Array*..... 72
Tabel 4.18. Nilai tegangan jatuh skenario 3 (motor *Trolley*) suplai PV *Array*..... 73
Tabel 4.19. Nilai aliran daya pada sisi suplai *grid* PLN + generator (skenario 4)..... 76
Tabel 4.20. Nilai tegangan jatuh pada sisi suplai *grid* PLN + generator (skenario 4) ... 77
Tabel 4.21. Nilai aliran daya skenario 4 (motor *Trolley*) suplai *grid* PLN + generator. 78
Tabel 4.22. Nilai tegangan jatuh skenario 4 (motor *Hoist*) suplai grid PLN + generator 79
Tabel 4.23. Nilai aliran daya skenario 4 (motor *Hoist*) suplai PV *Array*..... 80
Tabel 4.24. Nilai tegangan jatuh skenario 4 (motor *Hoist*) suplai PV *Array* 81

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1. Perbandingan Nilai Aliran Daya pada Simulasi Motor *Gantry* (Skenario 1) 59
Grafik 4.2. Perbandingan Nilai Tegangan Jatuh pada Simulasi Motor *Gantry* (Skenario 1) 59
Grafik 4.3. Perbandingan Nilai Distribusi Tegangan pada Simulasi Motor *Gantry* (Skenario 1) 60
Grafik 4.4. Perbandingan Nilai Aliran Daya pada Simulasi Motor *Boom* (Skenario 2) 66
Grafik 4.5. Perbandingan Nilai Tegangan Jatuh pada Simulasi Motor *Boom* (Skenario 2) 67
Grafik 4.6. Perbandingan Nilai Distribusi Tegangan pada Simulasi Motor Boom (Skenario 2) 67
Grafik 4.7. Perbandingan Nilai Aliran Daya pada Simulasi Motor *Trolley* (Skenario 3) 74
Grafik 4.8. Perbandingan Nilai Tegangan Jatuh pada Simulasi Motor *Trolley* (Skenario 3) 75
Grafik 4.9. Perbandingan Nilai Distribusi Tegangan pada Simulasi Motor *Trolley* (Skenario 3) 75
Grafik 4.10. Perbandingan Nilai Aliran Daya pada Simulasi Motor *Hoist* (Skenario 4) 82
Grafik 4.11. Perbandingan Nilai Tegangan Jatuh pada Simulasi Motor Hoist (Skenario 4) 83
Grafik 4.12. Perbandingan Nilai Distribusi Tegangan pada Simulasi Motor *Hoist* (Skenario 4) 83

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I
PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pelabuhan adalah wilayah industri yang identik dengan aktivitas bongkar muatnya, baik itu muatan curah, dalam kemasan, hingga peti kemas. Aktivitas yang rutin berlangsung setiap harinya itu membuat pelabuhan seperti tidak pernah henti melakukan aktivitas perdagangan dan transportasi muatan dari kapal ke dermaga, dan sebagainya. Hal itu membuat pelabuhan sangat berperan dalam melakukan pencemaran laut dan polusi udara. Berdasar polusi dan pencemaran yang diakibatkannya tersebut, muncullah konsep baru, yaitu konsep *Green Port*. Konsep 'Pelabuhan Hijau' atau *Green Port* adalah konsep yang menjadi bagian dari komitmen pelabuhan-pelabuhan di dunia untuk mengurangi emisi karbon.

Datuk Abdul Rahim, Ketua *The 32nd Asean Port Association Working Committee* (APA WCM), menegaskan bahwa konsep pelabuhan hijau harus diimplementasikan oleh pelabuhan anggota IMO (*International Maritime Organization*), konsep pelabuhan hijau merupakan salahsatu konsep yang disetujui oleh pelabuhan di dunia dalam mengurangi emisi karbon, serta memberi insentif bagi kapal yang tidak membuang sampah dan mengurangi konsumsi minyak (Agus Mulyadi, 2011). Pelabuhan pun juga dapat diuntungkan karena terjaga kebersihan lingkungannya. Hal lain yang diutamakan dalam pengembangan pelabuhan hijau adalah kemampuan pelabuhan menguasai teknologi informasi dan komunikasi, hal itu dilakukan agar pekerjaan di wilayah pelabuhan menjadi lebih efektif dan efisien yang berimbas pada memotong waktu tunggu kapal agar pelayanan semakin baik. Saat ini, konsep *Green Port* telah diterapkan di beberapa pelabuhan nasional dan internasional di Indonesia. Salah satunya adalah pelabuhan peti kemas milik Pelindo III, PT. Terminal Teluk Lamong.

PT. Terminal Teluk Lamong adalah terminal yang dibangun oleh Pelindo III. Berlokasi di utara Surabaya, PT. TTL diresmikan pada tahun 2015 oleh Presiden Jokowi sebagai 'Greater Surabaya Metropolitan Port' atau GSMP, yang spesifik pada pendalaman dan pelebaran Alur Pelayaran Barat Surabaya (APBS) yang dilakukan oleh Pelindo III. Sebagai terminal peti kemas pertama di Indonesia yang menerapkan teknologi semi-otomatis sebagai konsep *green port*, PT. TTL memiliki 1 dermaga domestik dan 1 dermaga internasional, serta beberapa peralatan berat yang berbahan bakar listrik dan gas, antara lain: Truk berbahan bakar CNG (*Compressed Natrium Gas*), *Automated Stacking Crane* (ASC), *Ship to Shore* (STS) *Container Crane*, *Combined Terminal Tractor* (CTT) dan *Docking System*, *Grab Ship Unloader* (GSU), *Conveyor*, hingga Pembangkit Listrik Tenaga Mesin Gas (PLTMG). 10 STS *Container Crane* milik PT. TTL ini merupakan fasilitas yang selalu beroperasi setiap harinya.

Aliran daya pada tiap motor listrik sistem kelistrikan STS *container crane* harus baik dan sesuai spesifikasi dari alat, agar meminimalisir kemungkinan terjadinya kerusakan pada sistem kelistrikan STS *container crane*. Maka dari itu, pada penelitian kali ini diperlukan adanya studi terkait

aliran daya dari suplai daya pembangkit PT. TTL menuju beban yang terdapat pada tiap motor listrik per STS *Container Crane* ini. Pada umumnya suplai motor listrik di tiap *crane* menggunakan suplai tegangan arus AC dari PLN dan generator AC, namun dalam studi kali ini dilakukan percobaan dengan suplai tegangan arus DC berbahan tenaga surya, yaitu menggunakan komponen *solar-cell*. Analisis aliran daya (*load-flow*) lebih difokuskan pada mengetahui besarnya aliran daya sumber listrik *solar-cell* menuju beban motor listrik pada sistem kelistrikan *container crane*, apakah stabil, optimal, dan telah memenuhi standar batas minimal yang berlaku (IEC dan IEEE). Selain itu, manfaat dari studi aliran daya ini juga untuk mengetahui perbandingan rugi-rugi (*losses*) daya dan tegangan jatuh dari tiap simulasi, baik itu suplai tegangan arus AC maupun tegangan arus DC.

1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, terdapat beberapa rumusan masalah yang dapat diambil sebagai bahasan tugas akhir ini, antara lain:

1.2.1 Berapa nilai daya aktif, daya reaktif, rugi daya dan tegangan jatuh pada tiap operasional motor utama STS *container crane* dengan pemodelan *software* ETAP?

1.2.2 Bagaimana hasil perbandingan tiap percobaan simulasi suplai tegangan arus AC dari PLN & generator dan suplai tegangan arus DC dari *solar-cell* pada STS *container crane* dengan pemodelan *software* ETAP?

1.2.3 Bagaimana nilai aliran daya dan hasil perbandingan suplai tegangan pada skenario saat motor *hoist* dan *trolley* dioperasikan secara bersamaan?

1.3. Batasan Masalah

Pembatasan masalah diperlukan agar tujuan utama dari penelitian ini tidak menyimpang. Batasan masalah peneliti yang ditetapkan pada penelitian ini diantaranya adalah:

1.3.1. Pengambilan data hanya dilakukan dengan cara simulasi pada *single-line diagram* STS *container crane* berbasis pemodelan menggunakan *software* ETAP.

1.3.2. Pembahasan hanya pada sistem kelistrikan motor listrik dari 1 STS *container crane* milik PT. Terminal Teluk Lamong.

1.4. Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah:

1.4.1. Mengetahui nilai daya aktif, daya reaktif, rugi daya dan tegangan jatuh pada tiap operasional motor utama STS *container crane* dengan pemodelan *software* ETAP.

1.4.2. Mengetahui perbandingan tiap percobaan simulasi suplai tegangan arus AC dari PLN & generator dan suplai tegangan arus DC dari *solar-cell* pada STS *container crane* dengan pemodelan *software* ETAP.

1.4.3. Mengetahui aliran daya dan hasil perbandingan suplai tegangan pada skenario saat motor *hoist* dan *trolley* dioperasikan secara bersamaan.

1.5. Manfaat

Manfaat yang akan didapatkan dengan adanya penelitian ini adalah:

1.5.1. Sebagai referensi untuk operasional motor listrik dengan suplai tarus AC dan suplai tegangan arus DC dari *solar-cell* pada sistem kelistrikan *container crane*.

1.5.2. Sebagai referensi solusi permasalahan yang terjadi pada operasional motor listrik *container crane*.

1.5.3. Sebagai referensi untuk penulisan tugas akhir lainnya.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Terminal Peti Kemas

2.1.1 PT. Terminal Teluk Lamong (PT. TTL)

PT. Terminal Teluk Lamong (PT. TTL) berlokasi di wilayah batas laut antara kota Surabaya dan Kabupaten Gresik, merupakan terminal *multipurpose* yang diapit oleh 2 pelabuhan milik PT. Pelabuhan Indonesia III (PT. Pelindo III, Persero), yaitu Pelabuhan Gresik di sebelah barat, dan Pelabuhan Utama Tanjung Perak di sebelah timur. PT. TTL merupakan terminal peti kemas pertama di Indonesia yang menerapkan konsep pelabuhan ramah lingkungan (*green-port*) yang telah diterapkan pada beberapa fasilitas bongkar-muat peti kemas.

PT. TTL diresmikan oleh Presiden RI Joko Widodo pada 22 Mei 2015, pada saat itu juga Presiden Jokowi meresmikan "*Greater Surabaya Metropolitan Port*" atau GSMP, yang spesifik pada pendalaman dan pelebaran Alur Pelayaran Barat Surabaya (APBS) yang dilakukan oleh Pelindo III. Setelah adanya proyek GSMP, alur pelayaran barat Surabaya menjadi berada pada kedalaman 16 meter dengan lebar alur 200 meter. Hal itu memunculkan dampak positif yang bukan hanya untuk Pelindo III saja, namun untuk pelabuhan swasta lain di sepanjang perairan Tanjung Perak, sehingga kapal-kapal berukuran besar pun dapat bersandar dengan aman. Contohnya saja seperti kapal berjenis Panamax yang berkapasitas 50 ribu sampai 80 ribu DWT (*Deadweight Tonnage*). Tampak atas Terminal Teluk Lamong ditunjukkan pada Gambar 2.1.

Gambar 2.1. PT. Terminal Teluk Lamong
(Sumber: www.enciety.co)

2.1.2 Fasilitas Bongkar Muat Terminal Teluk Lamong

Terminal Teluk Lamong dalam menjalankan proses transportasi bongkar-muat curah dan peti kemas, seperti yang dilansir dalam *website*

resmi-nya (teluklamong.co.id), memiliki beberapa fasilitas utama dan penunjang, antara lain:

- ***Container Yard***

  Container yard (lapangan peti kemas) merupakan lapangan penumpukan peti kemas sebelum dan sesudah diangkut dari dan ke kapal. Dalam artian lain, *Container yard* adalah area dimana peti kemas ditumpuk rapi bertingkat sebelum diangkut ke kapal maupun sesudah diangkut dari kapal. *Container yard* memiliki luasan yang berbeda-beda di tiap terminal peti kemas, tergantung dari luas terminal secara keseluruhan dan padatnya aktivitas bongkar muat terminal tersebut.

  Area penumpukan peti kemas PT. TTL awalnya dirancang 10 blok (5 blok domestik dan 5 blok internasional) dengan kapasitas 1 juta TEUs, yang dialokasikan untuk pengiriman internasional dan domestik.

  Container yard di Terminal Teluk Lamong dibagi menjadi dua sisi, *Land site* dan *Water site*. *Land site area* dipergunakan untuk menerima dan proses *delivery* peti kemas. *Water site area* dipergunakan untuk proses *loading-unloading*. Pada blok 6-10 terdapat fasilitas sistem *docking* untuk proses *loading-unloading* secara otomatis.

  Namun, hingga saat ini, telah diperluas menjadi 30 blok dan mampu menampung hingga 6,5 juta TEUs. Sejumlah blok juga dilengkapi dengan *reefer plug* (*freezer* peti kemas). Adapun fasilitas *container yard* ditunjukkan pada Gambar 2.2.

Gambar 2.2. *Container yard* PT. TTL
(Sumber: halonetizen.com)

- **Dermaga (*Dock*)**

  Dermaga merupakan area dimana kapal dapat bersandar atau tempat kapal ditambatkan di pelabuhan. Dermaga juga merupakan tempat naik turunnya orang atau tempat dimana terjadinya proses bongkar muat barang dari dan ke kapal pengangkut muatan.

  Terminal Teluk Lamong memiliki 1 dermaga internasional yang berada di sisi luar berukuran 500x50 meter dengan kedalaman -14

MLWS (*Mean Low Water Springs*) dan 1 dermaga domestik berukuran 450x40 meter dengan kedalaman -13 MLWS (*Mean Low Water Springs*). Adapun fasilitas dermaga pelabuhan terminal peti kemas ditunjukkan pada Gambar 2.3.

Gambar 2.3. Dermaga Terminal Teluk Lamong
(Sumber: indonesiaimages.net)

- ***Dry Bulk Storage***

Dry bulk atau muatan dalam bentuk curah kering padat dalam bentuk biji-bijian, serbuk, bubuk, dan butiran, seperti: gandum, kedelai, jagung, pasir, semen, klinker, soda dan sebagainya.

Bisnis curah kering PT Terminal Teluk Lamong menerapkan prinsip *green port* karena hanya melayani muatan bersifat ramah lingkungan, yaitu komoditi pangan. Pada proses operasional curah kering, Pelindo III melengkapi Terminal Teluk Lamong dengan dua unit *Grab Ship Unloader* (GSU) berkapasitas 2000 ton/jam. Selain GSU, juga terdapat dua *line conveyor* dengan panjang 950 meter berkapasitas 2000 ton/jam/*line*. Setelah melalui *conveyor*, muatan yang dibongkar akan langsung menuju *cylo* atau gudang penyimpanan. Fasilitas proses *dry bulk storage* ditunjukkan pada Gambar 2.4.

Gambar 2.4. Proses penyaluran pakan ternak curah kering menuju *storage*
(Sumber: republika.co.id)

- ***Transfer Area***

Terminal Teluk Lamong memiliki fasilitas area transit seluas 5,3 hektar untuk layanan penumpukan peti kemas sementara, baik yang *full* atau *empty*. Selain itu *transfer area* menjadi wilayah yang juga difungsikan sebagai *exception area* bagi pengguna jasa (*driver*) apabila ada masalah data peti kemas yang telah dilakukan *job-order*.

PT Pelindo III memiliki sekitar 70 truk berbahan bakar gas dan elektrik untuk mengangkut peti kemas di wilayah *transfer area* terminal untuk meningkatkan layanan berbasis *green port* (Peni Widarti, 2017). Adapun letak *transfer area* Terminal Teluk Lamong ditunjukkan dengan warna hijau di sebelah kiri pada denah Gambar 2.5.

Gambar 2.5. Top view letak *transfer area* Terminal Teluk Lamong
(Sumber: Ayunda, L.D., 2016)

- ***Pre-In Gate* dan *Main Gate***

Pre-in gate menjadi fasilitas truk untuk keluar-masuk pertama terminal yang memiliki sistem teknologi informasi. *Main gate* dibagi menjadi 9 pintu/loket untuk truk bermuatan peti kemas dan 1 pintu untuk muatan non-peti kemas. *Main gate* Terminal Teluk Lamong dilengkapi juga dengan teknologi semi-otomatis yang dapat dikendalikan jarak jauh tak berawak. Adapun *main gate* dari Terminal Teluk Lamong ditunjukkan pada Gambar 2.6.

Gambar 2.6. *Main gate* Terminal Teluk Lamong
(Sumber: maritimedia.com/2018)

2.2 Sistem Bongkar Muat di Terminal Peti Kemas

Terminal peti kemas merupakan area industri yang memiliki fokus pada pemberian layanan logistik kapal yang muatannya berbentuk *container*. Perdagangan domestik dan internasional menggunakan peti kemas semakin tahun semakin meningkat sesuai permintaan pasar. Maka dari itu, tiap negara berusaha dalam membangun dan mengembangkan terminal peti kemas modern dengan sistem otomatisasi, peralatan dan fasilitas canggih, operasional pelayanan cepat, hingga sumber daya manusia yang unggul di tiap bidangnya.

Terminal peti kemas berfungsi sebagai tempat transit antarmoda kapal pengangkut dan truk peti kemas untuk menjalankan proses operasional terminal peti kemas. Proses operasional terminal peti kemas (menurut Peraturan Pemerintah RI No. 20 Tahun 2010 tentang Angkutan Perairan) dapat dibagi menjadi 3, yaitu: *stevedoring*, *cargodoring*, dan *receiving/delivery*. Adapun ilustrasi singkat penjelasan dari PBM (Proses Bongkar Muat) di terminal peti kemas ditunjukkan pada Gambar 2.7.

- ***Stevedoring***

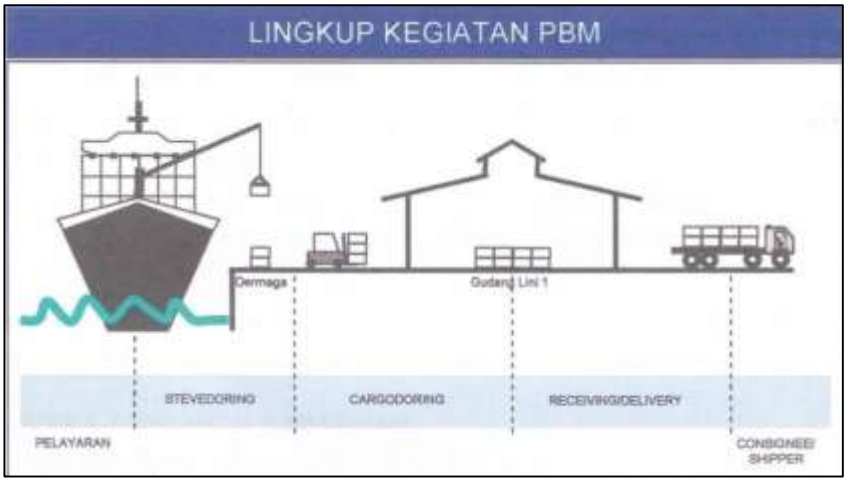
Stevedoring adalah pekerjaan membongkar barang dari kapal ke dermaga/ tongkang/ truk atau memuat barang dari dermaga/tongkang/truk ke dalam kapal hingga tersusun dalam palka kapal dengan menggunakan derek kapal/darat;

- ***Cargodoring***

Cargodoring adalah pekerjaan melepaskan barang dari tali/jala-jala (*tackle*) di dermaga dan mengangkut dari dermaga ke gudang/lapangan penumpukan barang atau sebaliknya;

- ***Receiving/delivery***

Receiving/delivery adalah pekerjaan memindahkan barang dari timbunan/tempat penumpukan di gudang/ lapangan penumpukan dan menyerahkan sampai tersusun di atas kendaraan di pintu gudang/ lapangan penumpukan atau sebaliknya.



Gambar 2.7. Proses Bongkar Muat
(Sumber: mikasa.co.id)

2.3 *Crane*

Crane merupakan jenis alat angkut berat yang digunakan untuk mengangkut peti kemas. Beberapa jenis *crane* yang ada di pelabuhan antara lain:

2.3.1 *Container Forklift*

Container Forklift adalah alat berat yang memiliki penampang angkut berbentuk seperti garpu (*fork*) dan menjepit pada sisi samping *container*. Perbedaan *forklift* pada jenis ini adalah lebih ke muatan angkut yang spesifik, yaitu khusus *container* dan biasanya yang bermuatan kosong. *Container forklift* memiliki daya angkat yang besar dan dengan jangkauan yang lebih tinggi guna dapat mengangkut tumpukan peti kemas yang ditumpuk tinggi bahkan sampai 7 tingkatan. Adapun *container forklift* ditunjukkan pada Gambar 2.8.

Gambar 2.8. *Container forklift* Konecranes
(Sumber: cranemarket.com)

2.3.2 *Reach Stacker (Straddler Loader)*

Reach stacker atau *stradller loader a*dalah alat angkut *container* yang mirip seperti *container forklift* namun memiliki perbedaan pada sisi penjepit yang berada di atas *container*. *Reach stacker* memindahkan peti kemas yang berada lurus di depan atau belakang dari lokasi semula. Contoh *reach stacker* ditunjukkan pada Gambar 2.9.

Gambar 2.9. *Reach Stacker* Konecranes
(Sumber: konecranesreachstacker.blogspot.com)

2.3.3 *Rubber Tyred Gantry Crane (Transtainer)*

Rubber tyred gantry crane atau *transtainer* adalah alat bongkar muat peti kemas kapal yang berfungsi untuk mengangkut dan menumpuk 4 sampai 5 *tiers*, dan memiliki lebar span 6 + 1 *rows*, serta bergerak lurus sesuai alur rel *gantry*. *Transtainer* beroperasi pada lapangan penumpukan peti kemas (*container yard)*. *Transtainer* ditunjukkan pada Gambar 2.10.

Gambar 2.10. *Transtainer* Konecranes Terminal Teluk Lamong
(Sumber: konecranes.co.id)

2.3.4 *Side Loader*

Side loader adalah alat angkut peti kemas yang prinsip kerjanya mengangkut dari arah samping dan menggunakan 2 pengunci pada bagian atas dari *container* serta memiliki penahan pada *shoes* bagian bawah pengangkat. Arah pergerakan *side loader* untuk belok kiri atau kanan terletak pada roda belakang, hal ini ditujukan agar lebih mudah bergerak karena roda belakang sedikit menerima beban. Adapun *side loader* ditunjukkan pada Gambar 2.11.

Gambar 2.11. Kalmar DSA 100 1998 *Side-loading forklift truck*
(Sumber: heavycherry.com/machineinfo/kalmar)

2.3.5 *Straddler Carrier*

Straddler Carrier adalah alat angkut peti kemas yang hampir mirip dengan *Transtainer*, hanya yang membedakan ukurannya lebih kecil dan dapat bergerak *mobile* kemana saja dibandingka dengan *Transtainer* yang geraknya hanya maju-mundur mengikuti alur rel *gantry*-nya. *Straddle Carrier* ditunjukkan pada Gambar 2.12 di bawah ini.

Gambar 2.12. *Straddler Carrier* Konecranes
(Sumber: konecranes.com)

2.3.6 *Container Spreader*

Container spreader merupakan salah satu alat angkut peti kemas yang dapat dipasang dengan *transtainer, straddler loader,* hingga *gantry crane. Container spreader* memiliki sistem kerja penguncian pada tiap ujung bagian atas peti kemas yang menempel pada keempat sudut *spreader. Container spreader* ditunjukkan pada Gambar 2.13.

Gambar 2.13. *Container Spreader* TIMARS
(Sumber: nauticexpo.com)

2.3.7 *Gantry Crane* (*Ship to Shore Container Crane*)

Gantry Crane atau biasa disebut STS *Container Crane* didesain untuk menyalurkan peti kemas dari kapal ke pelabuhan dan sebaliknya. STS *Container Crane* berfungsi untuk mengatasi proses bongkar muat peti kemas agar dapat dijalankan dengan *single operator*, karena segala kontrol dan indikasi notifikasi telah tersedia dalam *operator's cabin*.

Operator's cabin juga letaknya lumayan jauh dari gerakan *trolley* sehingga operator memliki pandangan yang baik dalam pengoperasian. Namun, tetap diperlukan orang-orang di area penumpukan peti kemas di kapal dan di *container yard* untuk memasang dan mendaratkan masing-masing peti kemas. Ketika *crane* STS tidak digunakan, maka *boom*-nya dapat dinaikkan sehingga proses berlabuhnya kapal tidak terganggu. Adapun untuk STS *Container Crane* ditunjukkan pada Gambar 2.14.

Gambar 2.14. STS *Container Crane* PT. TTL
(Sumber: konecranes.co.id)

2.4 Sistem Operasional STS *Container Crane*

Gantry crane, atau STS *container crane*, terdiri dari 3 kabin pengoperasian, antara lain: (1) kabin utama atau kabin operator, (2) kabin *boom* dan *hoist*, (3) kabin pemeriksaan. Cara kerja dari *gantry crane* dibagi menjadi 4 gerakan utama, antara lain: gerakan *hoist*, gerakan transversal, gerakan longitudinal (M. Anhar Pulungan, 2009). Adapun untuk lebih jelasnya dalam langkah gerak utama *container crane* dapat ditunjukkan pada Gambar 2.15.

- Gerakan *Hoist*

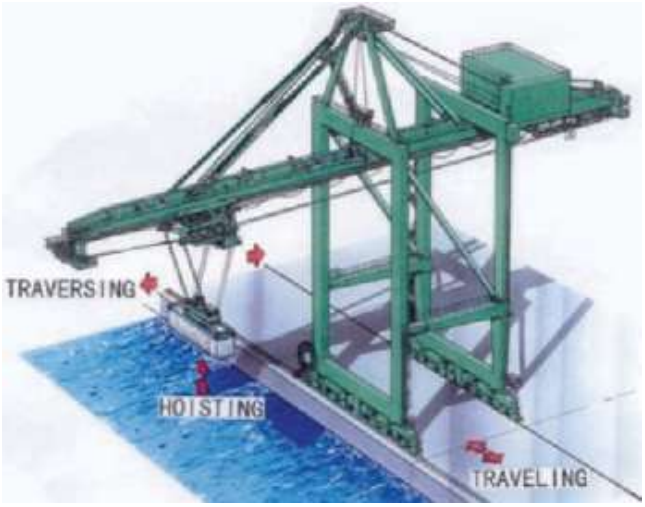
Gerakan *hoist* merupakan gerak naik atau turunnya bagian *crane*, karena kerja dari motor listrik *hoist*, untuk mengangkat atau menurunkan peti kemas yang telah dijepit oleh *spreader*, *spreader* ini telah diikat melalui tali baja yang digulung oleh *drum* yang digerakkan oleh elektromotor. Setelah motor listrik bekerja, maka drum akan menggulung atau mengangkatnya, apabila telah sesuai seperti permintaan, maka gerakan dari *drum* bisa dihentikan menggunakan rem yang terdapat pada *handle* di kabin operator semi otomatis.

- Gerakan Transversal

Gerakan transversal merupakan gerakan berpindah *crane* pada arah melintang yang dilakukan oleh motor listrik *trolley* melalui tali baja yang digulung pada *drum*. *Trolley* bergerak pada rel bergerak yang terletak diatas *girder* dan *boom* digerakkan oleh motor listrik *boom*. Gerakan ini akan berhenti jika arus listrik pada motor listrik diputus sambungannya, maka rem bekerja.

- Gerakan Longitudinal

Gerakan longitudinal atau gerakan *travelling* dilakukan oleh motor listrik *gantry*. Pada gerak atau langkah ini, *crane* akan memanjang pada rel besi yang terletak pada permukaan tanah melalui roda gigi transmisi. Motor *gantry* akan memutar roda *crane* bergerak ke arah yang diinginkan, maju atau mundur, dan setelah jarak yang diinginkan tercapai, maka arus listrik akan diputus dan sehingga otomatis rem bekerja.



Gambar 2.15. Gambaran gerakan utama *ship-to-shore container crane*
(Sumber: semanticscholar.org/paper/Ziyad-N-Masoud/2007)

2.5 Bagian-Bagian *Container Crane*

Bagian-bagian utama dari *container crane*, yaitu: *Machinery house, boom, gantry unit, spreader, hoist* dan *trolley*. Bagian-bagian *container crane* ditunjukkan pada Gambar 2.16 di bawah ini.

- *Machinery House*

Machinery house adalah tempat yang terdapat ssemua motor listrik utama yang digunakan sebagai penggerak *container crane*, termasuk peralatan-peralatan seperti transformator hingga converter.

- *Boom*

Boom digunakan sebagai langkah memperpanjang jangkauan *container crane* ke arah laut. Namun, saat *container crane* tidak beroperasi, *boom* akan bergerak ke atas.

- *Gantry unit*

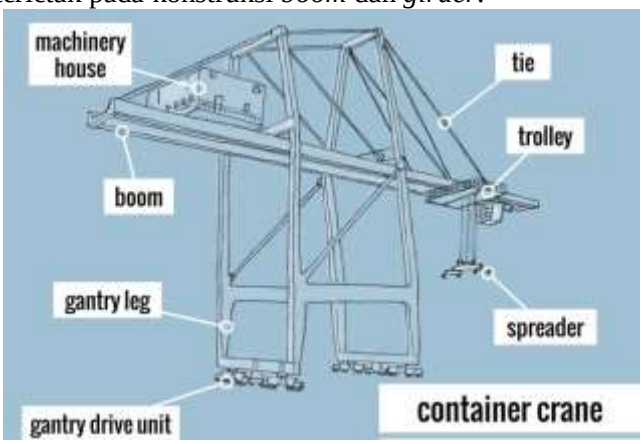
Gantry unit adalah bagian yang digunakan sebagai langkah berpindahnya *container crane* menyamping ke kanan dan ke kiri, mengikuti alur rel *gantry*.

- *Spreader*

  Spreader digunakan untuk menjepit peti kemas di semua ujung sisi atasnya, baik itu dari truk *container* menuju kapal maupun sebaliknya. *Spreader* dapat menyesuaikan ukuran sesuai dengan panjang hingga lebar sisi atas peti kemas yang akan diangkat.
- *Hoist*

  Hoist merupakan bagian yang menjadi langkah gerak utama *container crane* dalam menaikkan atau menurunkan *container* menuju atau dari kapal.
- *Trolley*

  Trolley digunakan untuk memindahkan peti kemas dari truk ke kapal laut, dan *trolley* terletak pada konstruksi *boom* dan *girder*.



Gambar 2.16. Bagian-bagian *container crane*
(Sumber: inchbyinch.de/container-crane-2)

2.6 Komponen Kelistrikan *Container Crane*

Beberapa komponen utama dalam sistem kelistrikan *container crane* STS ini antara lain terdapat trafo, motor listrik 3 fasa, dan *inverter* (*rectifier*). Hal ini terdapat pada *single-line diagram* dari masing-masing *container crane.*

- **Transformator**

  Transformator atau Trafo adalah suatu alat listrik yang dapat mengubah taraf suatu tegangan AC ke taraf yang lain. Dalam arti lain, pengubahan taraf tersebut seperti menurunkan tegangan AC dari 220VAC ke 12 VAC ataupun menaikkan tegangan dari 110VAC ke 220 VAC.

  Trafo bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik dan hanya bekerja pada tegangan yang berarus bolak-balik (AC). Trafo dengan rating besar selalu digunakan untuk menaikkan listrik yang berasal dari pembangkit listrik PLN, dinaikkan hingga ratusan kV untuk didistribusikan. Selain itu juga ada trafo lainnya untuk menurunkan tegangan listrik tersebut ke tegangan yang dibutuhkan pada tiap rumah tangga maupun perkantoran yang umumnya menggunakan tegangan AC 220V. Trafo ditunjukkan pada Gambar 2.17.

Gambar 2.17. Transformator *step-down*
(Sumber: agholding.com/distribution)

- **Motor Listrik 3 Fasa**

Motor AC tiga fasa memiliki dua komponen dasar yaitu stator dan rotor. Bagian rotor dipisahkan dengan bagian stator oleh celah udara yang sempit (air gap) dengan jarak antara 0,4 mm sampai 4 mm.

Tipe motor induksi tiga fasa berdasarkan lilitan pada rotor dibagi menjadi dua macam yaitu rotor belitan (*wound rotor*), tipe motor induksi yang memiliki rotor terbuat dari lilitan yang sama dengan lilitan statornya dan rotor sangkar tupai (*squirrel-cage rotor*) yaitu tipe motor dimana konstruksi rotor tersusun oleh beberapa batangan logam yang dimasukkan melewati slot-slot pada rotor motor induksi, kemudian setiap bagian disatukan oleh cincin sehingga membuat batangan logam terhubung singkat dengan batangan logam yang lain. Adapun gambaran motor listrik 3 fasa ditunjukkan pada Gambar 2.18.

Gambar 2.18. *Hoist Lifting Motor* pada *Electric Crane Hoist*
(Sumber: vohoboo.com/Hoist-Lifting-Motor-for-Electric-Crane-Hoist)

- ***Rectifier***

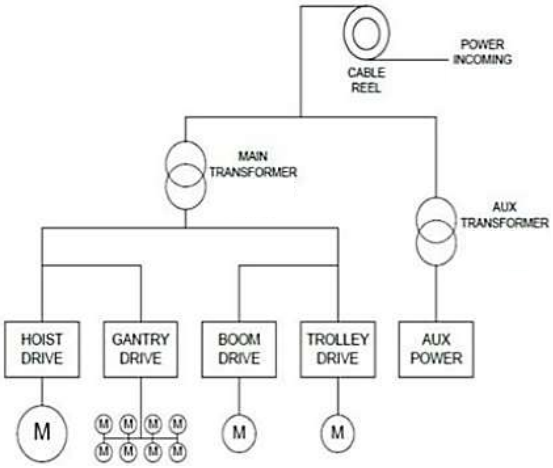
Rangkaian penyearah adalah komponen yang mengubah tegangan arus AC menjadi tegangan arus DC. Salah satu jenis rangkaian penyearah adalah *Silicon Controlled Rectifier* (SCR) yang berfungsi sebagai penyearah yang dapat mengendalikan keluaran tegangan arus DC (Saragi, 2012). Contoh *Rectifier* ditunjukkan pada Gambar 2.19.

Gambar 2.19. ZCJJ *Silicon Controller Rectifier*
(Sumber: indonesian.alibaba.com)

2.7 Sistem Kelistrikan *Container Crane*

Secara garis besar, sistem kelistrikan *container crane* dimulai dari pembangkit listrik yang akan menyuplai energi. Sumber listrik yang digunakan yaitu bersumber dari PLN mode *'swing'* dengan dibantu suplai mode '*voltage control'* oleh generator AC 3 fasa. Lalu, listrik tadi dialirkan menuju *main transformator* dan *auxiliary transformator*, sesuai *single-line diagram* dari pelabuhan terminal peti kemas.

Main transformator dan *auxiliary transformator* menurunkan tegangan dari sumber menuju beban-beban motor listrik dan komponen lainnya. Tegangan dari *main transformator* akan dialirkan menuju ke cabang 4 macam motor penggerak utama *container crane* seperti: *hoist drive*, *boom drive*, *gantry drive*, dan *trolley drive*. Tegangan dari *auxiliary transformator* akan dialirkan menuju *auxiliary power*. Adapun gambaran singkat mengenai sistem kelistrikan *container crane* dapat dilihat pada Gambar 2.20.



Gambar 2.20. Sistem kelistrikan *container crane*
(Sumber: Fathia Fauziah, 2017)

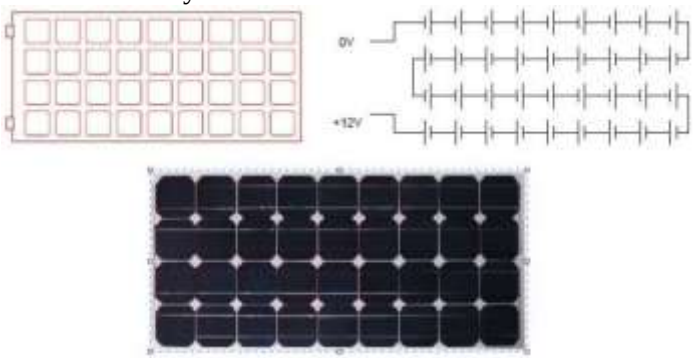
2.8 Sel Surya (*Photovoltaic*)

Sel surya adalah alat yang dapat mengubah langsung cahaya matahari menjadi listrik. Sel surya bisa dapat menjadi panel utama untuk memaksimalkan potensi yang sangat besar dari energi cahaya matahari.

Sel surya dapat dianalogikan sebagai alat dengan dua terminal/sambungan, dimana saat kondisi gelap atau tidak cukup cahaya maka sel surya berfungsi seperti dioda, dan saat disinari dengan cahaya matahari maka dapat menghasilkan tegangan.

Ketika disinari, umumnya satu sel surya komersial dapat menghasilkan tegangan DC sebesar 0,5 hingga 1 volt, dan arus *short-circuit* dalam skala mA/cm^2. Besar tegangan dan arus ini tentu tidak cukup untuk sebagai pembangkit utama, sehingga umumnya sejumlah sel surya disusun secara seri, seperti membentuk modul surya. Satu modul surya biasanya terdiri dari 28 hingga 36 sel surya, dan menghasilkan tegangan dc total sebesar 12 volt, dalam kondisi sinar matahari yang intens. Modul surya tersebut bisa digabungkan

secara paralel atau seri untuk memperbesar total tegangan dan arus outputnya sesuai dengan daya yang dibutuhkan. Gambar 2.21 dibawah ini menunjukan ilustrasi dari modul sel surya.



Gambar 2.21. Tampilan contoh sel surya
(Sumber : teknologisurya.wordpress.com)

Struktur sel surya, sesuai dengan perkembangan sains dan teknologi, jenis-jenis teknologi sel surya pun berkembang dengan berbagai inovasi. Ada yang disebut sel surya generasi satu, dua, tiga dan empat, dengan struktur atau bagian-bagian penyusun sel yang berbeda pula.

Struktur dan cara kerja dari sel surya yang umum berada dipasaran saat ini yaitu sel surya berbasis material silikon yang juga secara umum mencakup struktur dan cara kerja sel surya generasi pertama (sel surya silikon) dan kedua (*thin* film/lapisan tipis).

Gambar 2.22. Struktur sel surya
(Sumber: teknologisurya.wordpress.com)

Gambar 2.22 menunjukan ilustrasi sel surya dan juga bagian-bagiannya. Secara umum terdiri dari :

1. **Substrat/*Metal backing***

   Substrat adalah material yang menopang seluruh komponen sel surya. Material substrat juga harus mempunyai konduktifitas listrik yang baik karena juga berfungsi sebagai kontak terminal positif sel surya, sehinga umumnya digunakan material metal atau logam seperti aluminium atau molybdenum. Untuk sel surya dye-sensitized (DSSC) dan sel surya organik, substrat juga berfungsi sebagai tempat masuknya cahaya sehingga

material yang digunakan yaitu material yang konduktif tapi juga transparan sepertii ndium tin oxide (ITO) dan flourine doped tin oxide (FTO).

2. Material semikonduktor

Material semikonduktor merupakan bagian inti dari sel surya yang biasanya mempunyai tebal sampai beberapa ratus mikrometer untuk sel surya generasi pertama (silikon), dan 1-3 mikrometer untuk sel surya lapisan tipis. Material semikonduktor inilah yang berfungsi menyerap cahaya dari sinar matahari.

3. Kontak metal/*contact grid*

Selain substrat sebagai kontak positif, diatas sebagian material semikonduktor biasanya dilapiskan material metal atau material konduktif transparan sebagai kontak negatif.

4. Lapisan anti-reflektif

Refleksi cahaya harus diminimalisir agar mengoptimalkan cahaya yang terserap oleh semikonduktor. Oleh karena itu biasanya sel surya dilapisi oleh lapisan anti-refleksi. Material anti-reflektif ini adalah lapisan tipis material dengan besar indeks refraktif optik antara semikonduktor dan udara yang menyebabkan cahaya dibelokkan ke arah semikonduktor sehingga meminimumkan cahaya yang dipantulkan kembali.

5. Enkapsulasi/*cover glass*

Bagian ini berfungsi sebagai enkapsulasi untuk melindungi modul surya dari hujan atau kotoran.

2.9 *Electrical Wave-form* (Bentuk Gelombang Listrik)

Electrical wave-form atau dapat diartikan menjadi ‘bentuk gelombang listrik’, adalah bagian dari gelombang elektromagnetik yang tidak memiliki bentuk fisik. Apabila ingin melihat bentuknya, diperlukan peralatan khusus, seperti osiloskop, untuk dapat melihat bentuk wujud gelombangnya. Selain itu, juga dapat menggambarkannya ke kertas grafik dengan menghubungkan setiap perubahan titik plot tegangan pada suatu periode waktu tertentu (Dickson Kho, 2017). Secara teknik, bentuk gelombang listrik (*electrical wave-form*) adalah representasi visual dari perubahaan tegangan atau arus, terhadap waktu.

Klasifikasi bentuk gelombang listrik ada beberapa macam. Sebagai catatan, semua *electrical wave-form* memiliki 3 karakteristik umum gelombang sebagai berikut :

- Periode (*Period*)

Periode adalah waktu yang dibutuhkan untuk menempuh 1 kali getaran atau waktu yang dibutuhkan pada 1 siklus gelombang bolak-balik, biasanya dilambangkan dengan t dengan satuan detik (*second*).

- Frekuensi (*Frequency*)

Frekuensi adalah sejumlah getaran yang dihasilkan selama 1 detik (f=1/t), adapun satuan dari frekuensi adalah Hertz.

- Amplitudo (*Amplitude*)

Amplitudo adalah simpangan terjauh yang diukur dari titik keseimbangan dalam suatu getaran.

Berikut ini adalah lima jenis bentuk gelombang yang paling sering ditemukan pada rangkaian elektronika ataupun Listrik. Untuk lebih jelasnya, bentuk-bentuk gelombang ini ditunjukkan pada Gambar 2.23 di bawah ini.

1. Bentuk Gelombang Sinus (*Sine Wave-Form*)

Bentuk gelombang sinus (*sine wave-form*) adalah salah satu bentuk gelombang yang umum ditemukan di rangkaian Elektronika terutama pada sinyal-sinyal analog seperti sinyal Audio, sinyal tegangan AC dan sinyal RF.

2. Bentuk Gelombang Kotak (*Square Wave-Form*)

Bentuk gelombang kotak (*square wave-form*) memiliki bentuk seperti kotak dan umumnya digunakan pada rangkaian mikro elektronik untuk pengendalian waktu (*timing control*). Hal ini dikarenakan *square wave-form* memiliki bentuk gelombang simetris dengan durasi yang sama pada siklus setengah kotak dengan setengah kotak lainnya (memiliki interval teratur).

3. Bentuk Gelombang Persegi *(Rectanguler Wave-Form*)

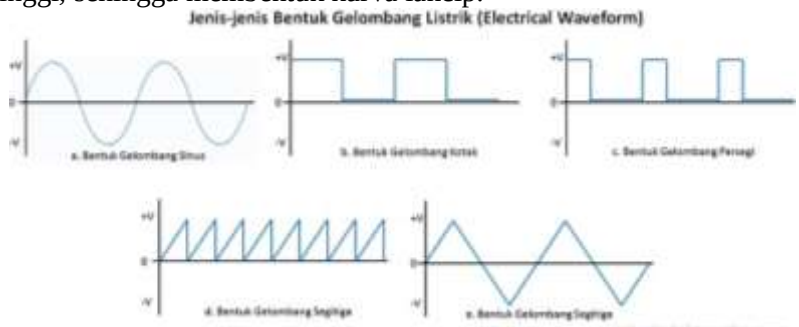
Bentuk gelombang persegi (*rectanguler wave-form*) memiliki bentuk yang hampir sama dengan bentuk gelombang kotak, yang membedakan adalah interval waktu saat kondisi *high-low* gelombang yang tidak teratur atau tidak memiliki panjang waktu yang sama.

4. Bentuk Gelombang Gigi Gergaji (*Saw-Tooth Wave-Form*)

Bentuk gelombang gigi gergaji (*saw-tooth wave-form*) memiliki bentuk yang menyerupai gigi gergaji. Pada bentuk gelombang gigi gergaji ini, tegangan naik secara linear dari titik 0 hinggi titik mencapai titik tertinggi (+V), kemudian jatuh secara tiba-tiba ke titik terendahnya (0) tanpa pewaktuan yang sama. Gelombang gigi gergaji ini digunakan pada rangkaian televisi terutama pada TV yang masih menggunakan tabung CRT dan juga sebagai pemicu/pemantik (*trigger*) pada rangkaian digital.

5. Bentuk Gelombang Segitiga (*Triangular Wave-Form*)

Bentuk gelombang segitiga (*triangular wave-form*) memiliki gelombang berbentuk seperti segitiga. Tegangan naik secara linear dari nol (0 V) hingga mencapai titik tertingginya (+V). Tegangan tertinggi tersebut hanya bertahan pada waktu yang sangat singkat di puncaknya (hingga menyerupai bentuk lancip) kemudian turun secara linear hingga mencapai titik terendahnya (-V). Di titik terendahnya, tegangan tersebut berada dalam waktu yang sangat singkat sekali juga, lalu kembali mencatatkan hasil untuk menuju titik tertinggi, sehingga membentuk kurva lancip.



Gambar 2.23. Bentuk-bentuk gelombang listrik
(Sumber: teknikelektronika.com)

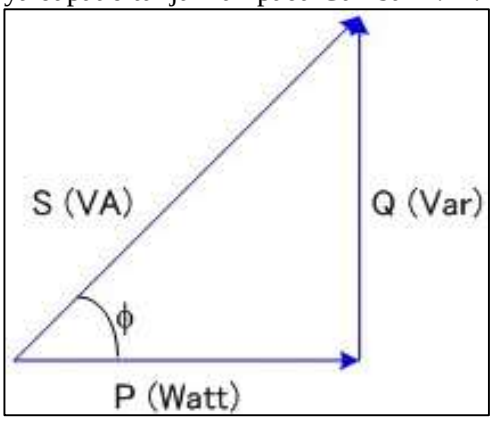
2.10 Studi Aliran Daya

Studi aliran daya adalah studi yang dilakukan untuk mencari tahu apakah suatu sistem kelistrikan yang diuji tersebut memenuhi standar yang berlaku atau tidak. Hal-hal yang diamati adalah aliran daya dan tegangan dari sumber menuju ke setiap beban pada setiap kondisi simulasi sesuai yang diinginkan.

Tujuan dari studi aliran daya ini adalah untuk mengetahui dan memberikan evaluasi hingga rekomendasi pada suatu sistem kelistrikan yang diujikan, mulai dari kondisi sumber pembangkitan daya hingga menuju ke beban (seperti motor listrik, trafo, dan beban resistif-induktif lainnya). Analisis atau studi ini juga bertujuan untuk memastikan apakah sistem kelistrikan yang diuji telah memenuhi standar dan mengetahui rugi daya yang terdapat pada sistem kelistrikan, sehingga bisa dihindari dan mengurangi *power loss* hingga paling minimal.

Studi aliran daya pada setiap penelitian pada umumnya dalah membuat diagram *single-line* dari sistem kelistrikan objek pengamatan dan mencatat beberapa variabel dari sistem kelistrikan yang telah dibuat di aplikasi. Variabel-variabel yang diamati dan dicatat selama proses simulasi tiap gerak motor utama antara lain adalah: daya aktif (P), daya reaktif (Q), daya semu (S), arus (A), faktor daya (PF), hingga tegangan (V) tiap bus dari suplai menuju beban.

Daya aktif (P) adalah daya yang digunakan pada beban resistif dan memiliki satuan Watt. Daya reaktif (Q) adalah daya yang digunakan pada komponen reaktif dan memiliki satuan VAR, dan terdiri dari daya reaktif induktif untuk menghasilkan medan magnet pada komponen motor listrik dan daya reaktif kapasitif yang dibutuhkan oleh kapasitor. Daya semu (S) adalah daya hasil perkalian antara tegangan dan arus dengan satuan VA. Adapun untuk lebih jelasnya, segitiga daya dapat ditunjukkan pada Gambar 2.24.



Gambar 2.24. Segitiga daya
(Sumber: Suhinar El, 2015)

Pada Gambar 2.24 terdapat sudut yang mengapit antara garis imajiner daya aktif (P) dan daya reaktif (Q), sudut tersebut menyatakan besarnya faktor daya (*load factor*) dari sebuah sistem., dan umumnya faktor daya atau cos-phi dari suatu sistem yang ideal adalah berkisar pada besarnya cos-phi kurang lebih 85%.

2.11 Standar IEC

Tegangan jatuh suatu sistem kelistrikan terjadi saat beban yang terdapat dalam sistem terlalu besar, sehingga memiliki beban berlebih dan suplai daya dan tegangan yang tidak mencukupi. Tegangan jatuh (*voltage drop*) memiliki ambang batas minimal yang boleh terjadi pada sistem kelistrikan manapun, termasuk di dunia maritim seperti *container crane*. Batas atau standar minimal yang berlaku pada setiap sistem kelistrikan diatur pada standar IEC, yaitu *International Electrotechnical Commission*. Batas minimal *voltage drop* seperti pada Gambar 2.25 di bawah ini adalah tidak boleh melebihi 5%.

Type of installation	Lighting %	Other uses %
A – Low voltage installations supplied directly from a public low voltage distribution system	3	5
B – Low voltage installation supplied from private LV supply [a]	6	8

[a] As far as possible, it is recommended that voltage drop within the final circuits do not exceed those indicated in installation type A.

When the main wiring systems of the installations are longer than 100 m, these voltage drops may be increased by 0,005 % per metre of wiring system beyond 100 m, without this supplement being greater than 0,5 %.

Voltage drop is determined from the demand by the current-using equipment, applying diversity factors where applicable, or from the values of the design current of the circuits.

Gambar 2.25. Batas *voltage drop* menurut standar IEC
(Sumber: IEC 60364)

International Electrotechnical Commission (IEC) juga menetapkan standar dimana suatu sistem kelistrikan juga harus memperhatikan daya yang hilang selama proses transmisi dari suplai menuju beban. Untuk lebih jelasnya, IEC juga mengatur adanya ambang batas minimal dari efisiensi daya yang boleh masuk menuju beban sistem, seperti motor listrik dan semacamnya, adalah 75%. Adapun untuk penjelasan lebih mengenai standar IEC dalam efisiensi daya dapat ditunjukkan pada Gambar 2.26.

Utilisation (demand) factor

In normal operating conditions, the power consumption of a load is sometimes less than that indicated as its nominal power rating. This is a fairly common occurrence that justifies the application of an utilization factor (ku) in the estimation of realistic values. This factor must be applied to each individual load, with particular attention to electric motors, which are rarely operated at full load.

In an industrial installation this factor may be estimated on an average of 0.75 for motors.

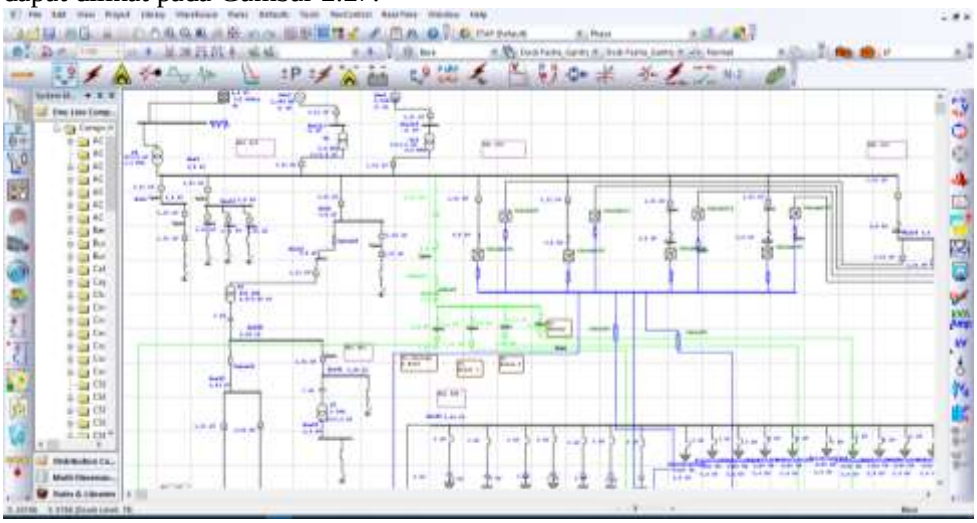
Gambar 2.26. Faktor daya pada kondisi normal
(Sumber: Ti-Soft)

2.12 ETAP

ETAP (*Electrical Transient Analyzer Program*) adalah suatu *software* yang membantu pemodelan dan analisa sistem tenaga listrik. *Sofware* ini mampu bekerja dalam keadaan *offline* (untuk simulasi tenaga listrik), dan bahkan *online* (untuk pengelolaan data *real-time* atau untuk mengendalikan sistem secara *real-time*). Fitur yang terdapat di dalamnya pun bermacam-macam, antara lain: fitur yang digunakan untuk menganalisa pembangkitan tenaga listrik, sistem transmisi maupun sistem distribusi tenaga listrik. ETAP awalnya dibuat dan dikembangkan untuk meningkatkan kualitas kearnanan fasilitas nuklir di Arnerika Serikat, yang lalu dikembangkan menjadi sistem monitor manajemen energi secara *real time*, simulasi, kontrol, dan optimasi sistem listrik (Awaluddin, 2007).

ETAP dapat digunakan untuk membuat proyek sistem tenaga listrik dalam bentuk diagram satu garis (*one-line* diagram) dan jalur sistem *grounding* untuk berbagai bentuk analisis, antara lain: aliran daya, hubung singkat, *starting* motor, stabilitas transien, hingga koordinasi *relay* proteksi dan sistem harmonisasi.

Proyek pemodelan sistem tenaga listrik memiliki masing-masing elemen rangkaian yang dapat di-*edit* langsung dari diagram *single-line* dan atau jalur sistem *grounding*. Sebagai aplikasi yang dapat mempermudah pengerjaan analisis, di dalam ETAP ini anti hasil perhitungan analisis dapat ditampilkan pada diagram *one-line* secara otomatis. Adapun tampilan dari *software* ETAP ini dapat dilihat pada Gambar 2.27.

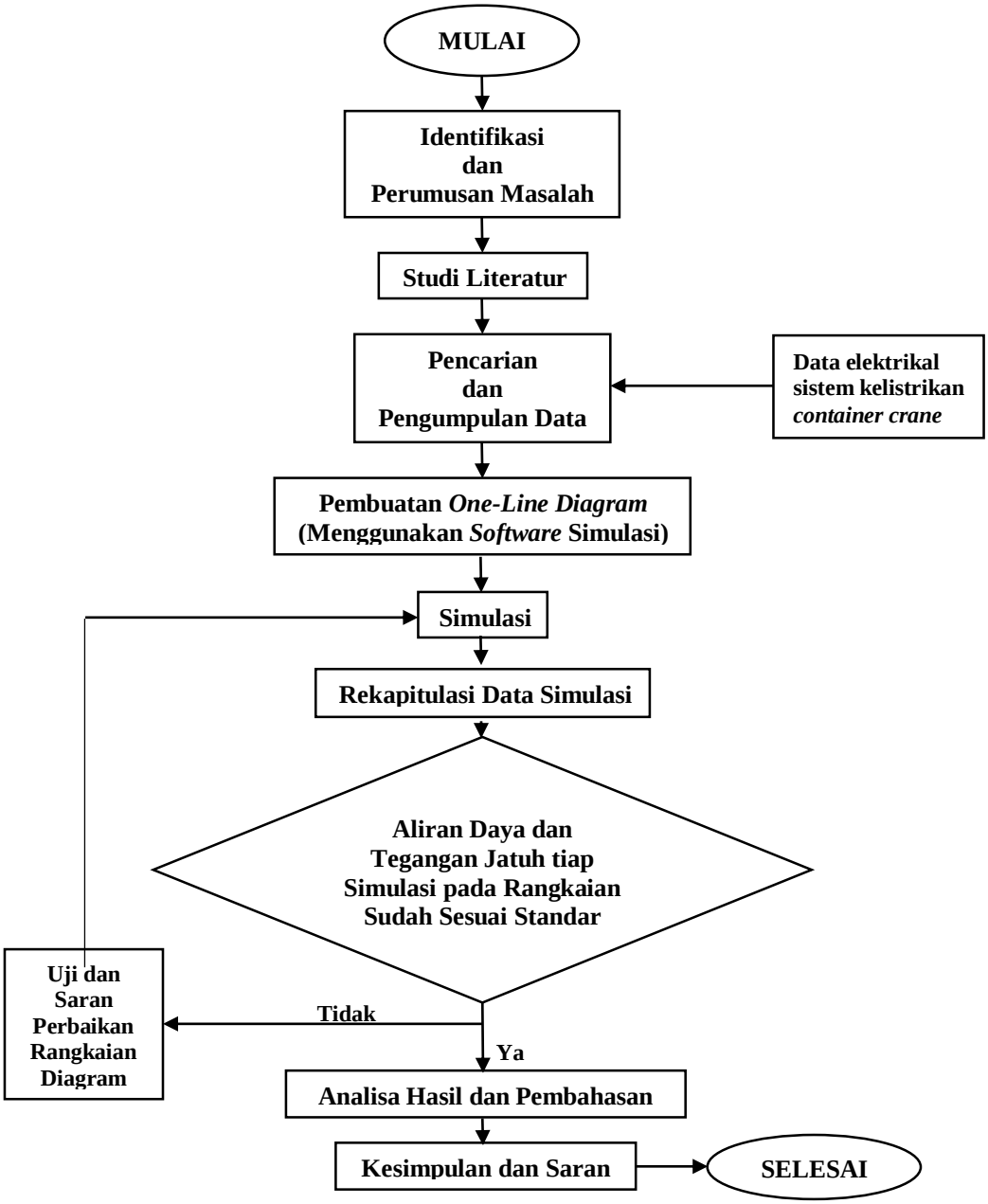


Gambar 2.27. Tampilan ETAP pengerjaan sistem kelistrikan *container crane*
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3. 1 Diagram Alir Tahapan Pengerjaan Tugas Akhir



Gambar 3.1. Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir
Sumber: Dokumentasi Pribadi

3.2 Deskripsi Tahapan Pengerjaan Tugas Akhir

- **Identifikasi dan Perumusan Masalah**

  Dalam langkah awal yang diambil dalam melakukan penelitian untuk tugas akhir ini adalah dengan membaca laporan tugas akhir yang sesuai bidang studi , serta mencari hal-hal dalam penelitian tersebut yang sekiranya dapat dikembangkan atau diteliti lebih baik lagi. Peneliti mengambil sebuah rumusan masalah mengenai studi aliran daya yang dikerjakan menggunakan pemodelan di *software* simulasi, khususnya untuk studi kasus pada sistem kelistrikan *container crane* tipe *ship-to-shore* atau disebut juga *gantry crane.*

- **Studi Literatur**

  Untuk tahapan studi literatur, dilakukan dengan mencari dan mengumpulkan informasi dan teori tentang aliran daya pada suatu objek kelistrikan dalam dunia maritim, yaitu pada *container crane*. Beberapa teori dan info dan teori tersebut didapatkan pada media *offline* dan *online*, seperti: jurnal, arsip tugas akhir, buku, hingga internet.

  Segala referensi dan literatur seperti jurnal-jurnal maupun buku yang berhubungan dalam pembuatan tugas akhir ini dapat dicari di beberapa tempat seperti: Laboratorium MEAS (*Marine Eletrical and Automation System*) milik Departemen Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS, Ruang Baca FTK-ITS, dan Perpustakaan ITS.

- **Pencarian dan Pengumpulan Data**

  Pada tahap ini, dilakukan beberapa kegiatan yang tujuan utamanya adalah mengumpulkan data primer dari objek penelitian tugas akhir, khususnya pada kasus studi aliran daya pada *container crane* berbasis simulasi ini, beberapa data yang diperoleh antara lain:

  1. Data spesifikasi *container crane* STS01 PT. Terminal Teluk Lamong
  2. Data *single-line diagram* dari *container crane* STS01

- **Pembuatan *One-Line* Diagram**

  Pada tahap ini, dilakukan pembuatan rangkaian *one-line diagram container crane*, dari data resmi milik PT. Terminal Teluk Lamong, menggunakan aplikasi simulasi ETAP.

- **Simulasi**

  Pada tahap simulasi, *one-line diagram* sistem kelistrikan *container crane* pada ETAP dijalankan sesuai dengan skenario tiap beban motor listrik, serta tiap suplai tegangan arus AC dan DC, pada *container crane* yang telah ditentukan sebelumnya.

- **Rekapitulasi Data Simulasi**

  Tahap simulasi telah selesai dilakukan, maka dilanjutkan dengan pencatatan tiap aliran daya, seperti: nilai daya aktif, daya reaktif, daya semu, arus listrik, hingga faktor daya yang ditampilkan pada ETAP

- **Analisa Hasil dan Pembahasan**

  Pada tahap ini, setelah data tiap simulasi dicatat, maka dilakukan pencocokan atau validasi data simulasi dengan aturan atau standar yang berlaku (standar IEEE dan IEC). Selain itu, apabila di dalam sistem

kelistrikan yang telah disimulasikan terdapat yang tidak memenuhi maka akan dilakukan upaya perbaikan yang nanti juga dibahas pada tahapan ini

- **Kesimpulan dan Saran**

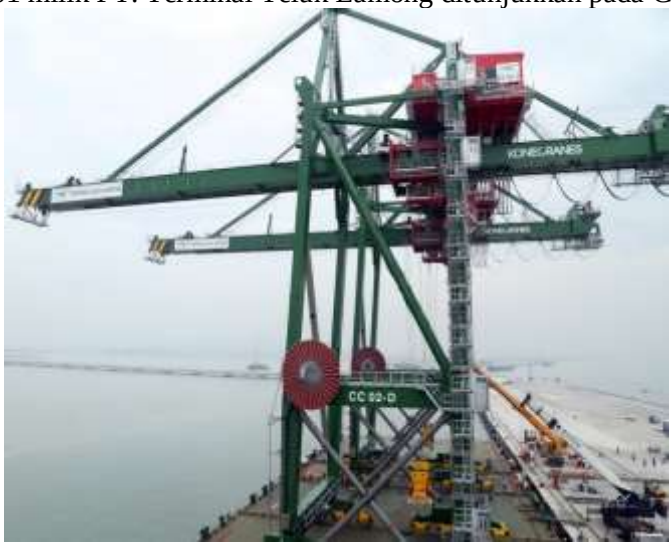
  Pada tahap akhir ini, penelitian tugas akhir telah selesai. Setelah itu, dibuat beberapa kesimpulan dari seluruh pembahasan yang terdapat pada tugas akhir ini, dan juga saran terkait hasil penelitian tugas akhir ini agar nantinya dapat menjadi studi lanjutan yang dapat dikembangkan lagi.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV
ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Pencarian dan Pengumpulan Data

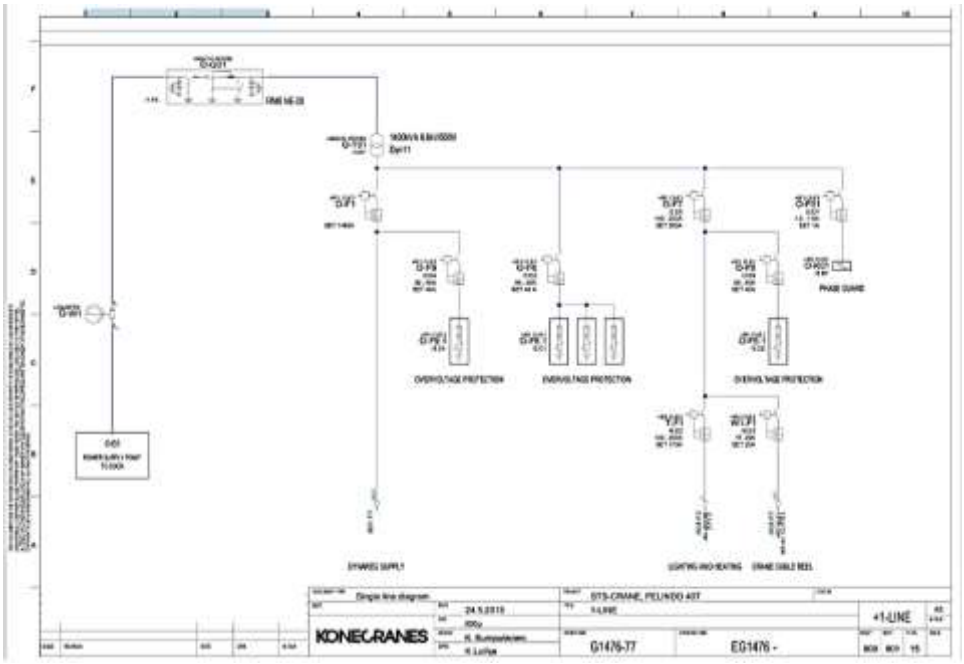
Pada tahap pencarian dan pengumpulan, dilakukan dengan mencari data langsung dari *container crane* STS-01 milik PT. Terminal Teluk Lamong. Data tersebut mencakup spesifikasi dari *container crane* baik dari segi mekanikal maupun elektrikalnya. Data dan spesifikasi terkait bidang elektrikal dari *container crane* terdiri dari spesifikasi elektrikal dari tiap motor listrik gerak utama *container crane* (*gantry*, *boom*, *hoist*, *trolley*), trafo yang menyuplai *container crane*, dan beberapa komponen kelistrikan lainnya serta hingga *single-line* diagram dari satu *container crane* secara keseluruhan. Data tersebut nantinya akan dimodelkan melalui aplikasi simulasi. Adapun tampilan daripada *container crane* STS-01 milik PT. Terminal Teluk Lamong ditunjukkan pada Gambar 4.1.



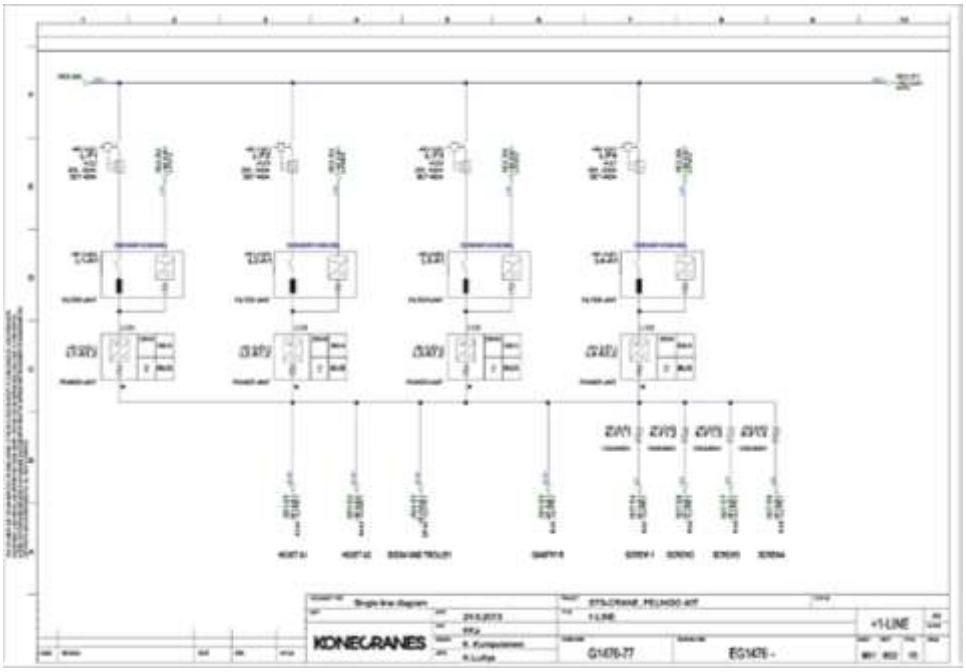
Gambar 4.1. *Container crane ship-to-shore* Terminal Teluk Lamong
(Sumber: majalahdermaga.co.id)

4.2 *Single Line Diagram Container Crane* STS01 Terminal Teluk Lamong

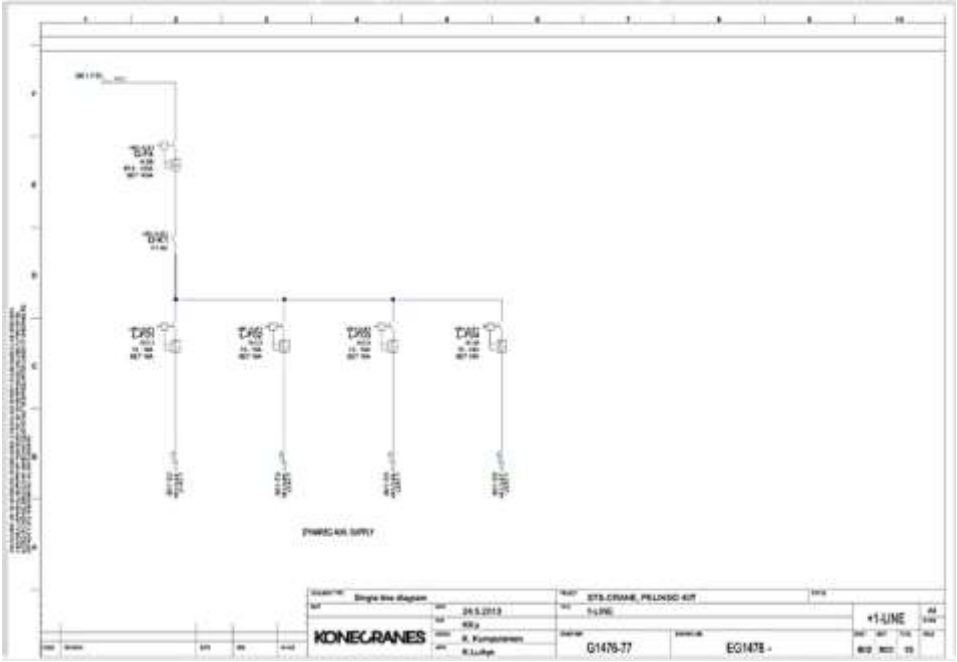
Pada tahapan ini, setelah mendapatkan data dan spesifikasi yang cukup dari objek maka dilanjutkan untuk pembacaan dari *single-line* diagram *container crane* STS-01 milik PT. Terminal Teluk Lamong. Setelah itu, diagram tersebut dimodelkan melalui aplikasi simulasi ETAP. Adapun untuk tampilan rangkaian kelistrikan asli daripada diagram *container crane* STS-01 milik PT. Terminal Teluk Lamong ditunjukkan pada Gambar 4.2 sampai Gambar 4.16.



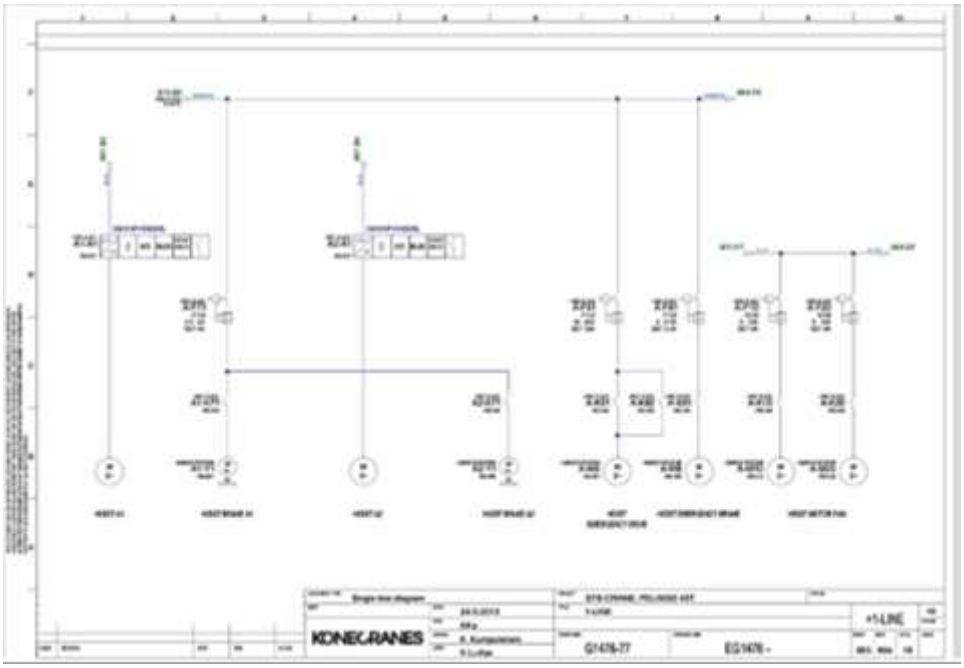
Gambar 4.2. *Single-line diagram* STS-*crane*_halaman 1
(Sumber: *Electrical Documentation* STS-*Crane*, Pelindo 40T G1476-77)



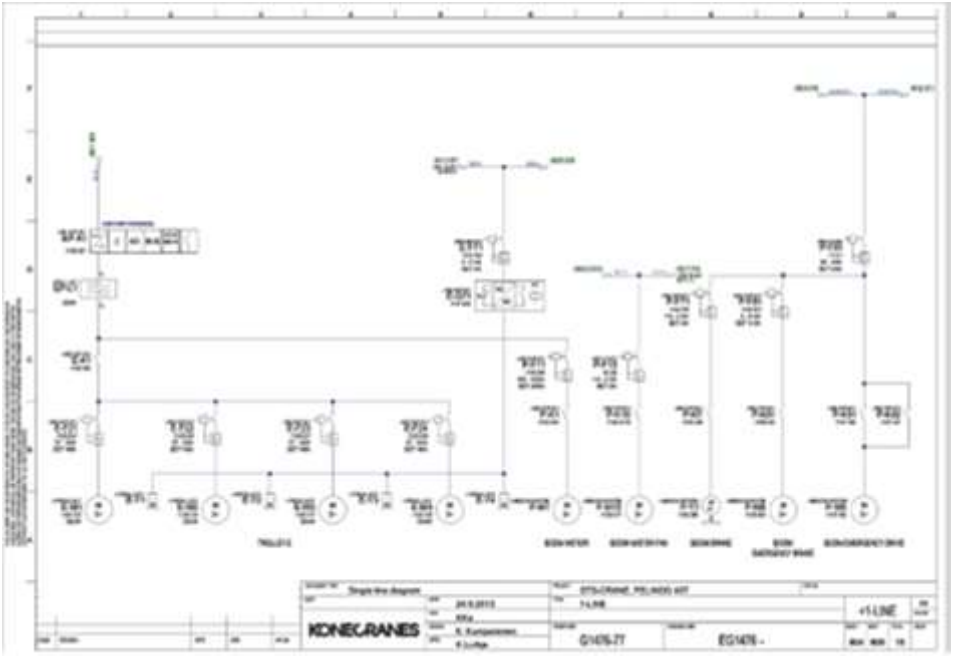
Gambar 4.3. *Single-line diagram* STS-*crane*_halaman 2
(Sumber: *Electrical Documentation* STS-*Crane*, Pelindo 40T G1476-77)



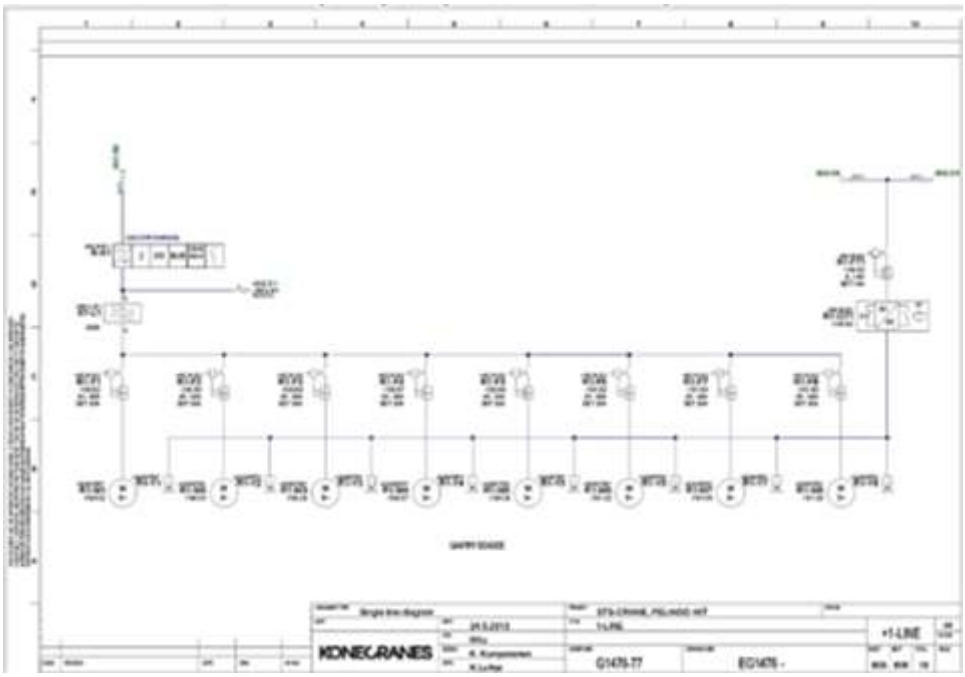
Gambar 4.4. *Single-line diagram* STS-*crane*_halaman 3
(Sumber: *Electrical Documentation* STS-*Crane*, Pelindo 40T G1476-77)



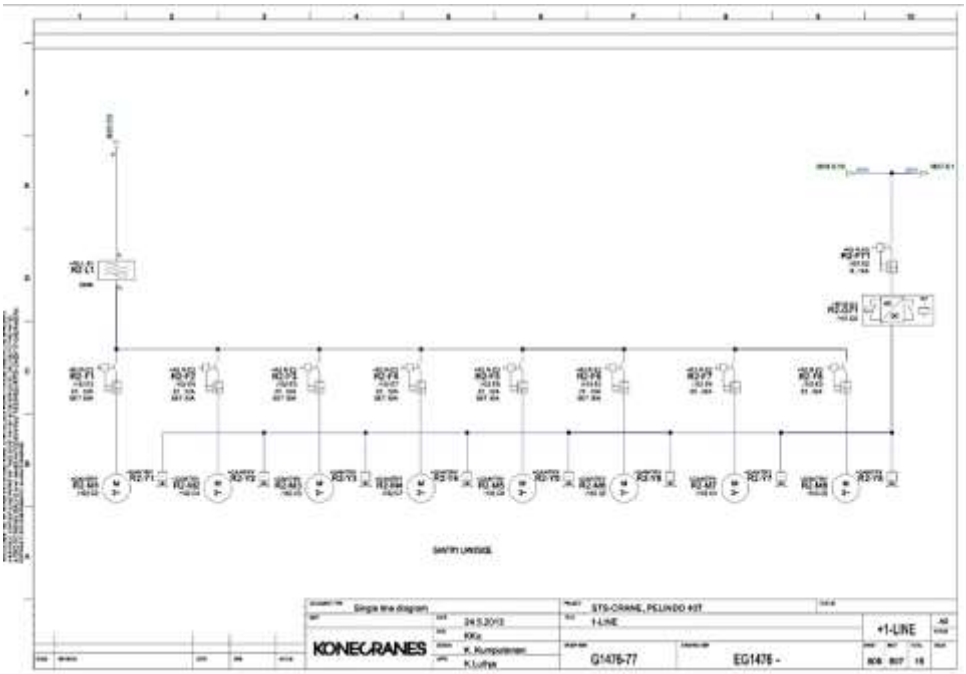
Gambar 4.5. *Single-line diagram* STS-*crane*_halaman 4
(Sumber: *Electrical Documentation* STS-*Crane*, Pelindo 40T, Konecrane G1476-77)



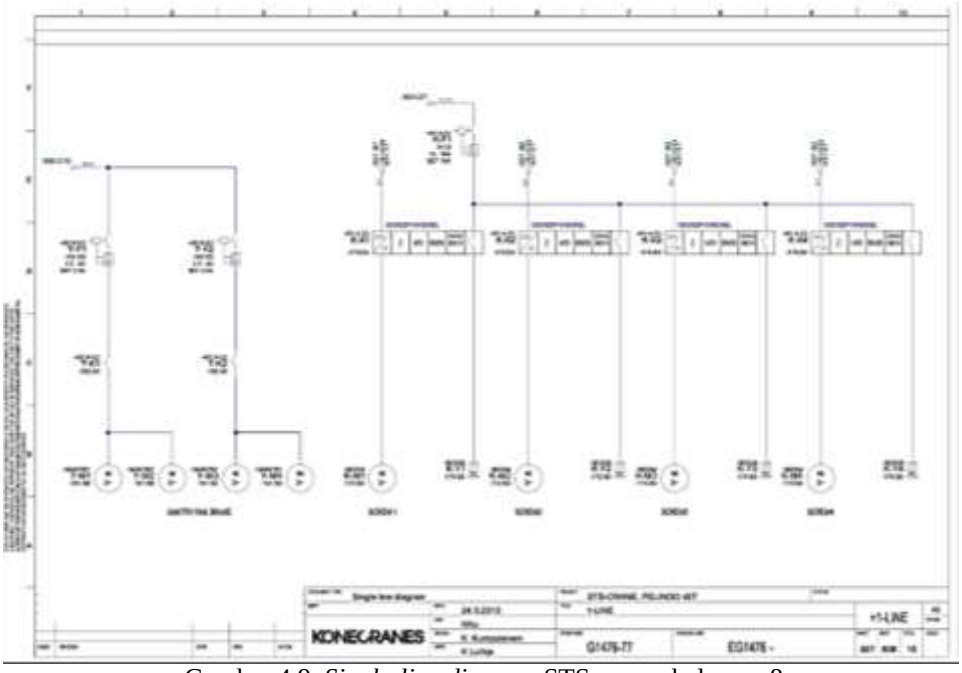
Gambar 4.6. *Single-line diagram* STS-*crane*_halaman 5
(Sumber: *Electrical Documentation* STS-*Crane*, Pelindo 40T G1476-77)



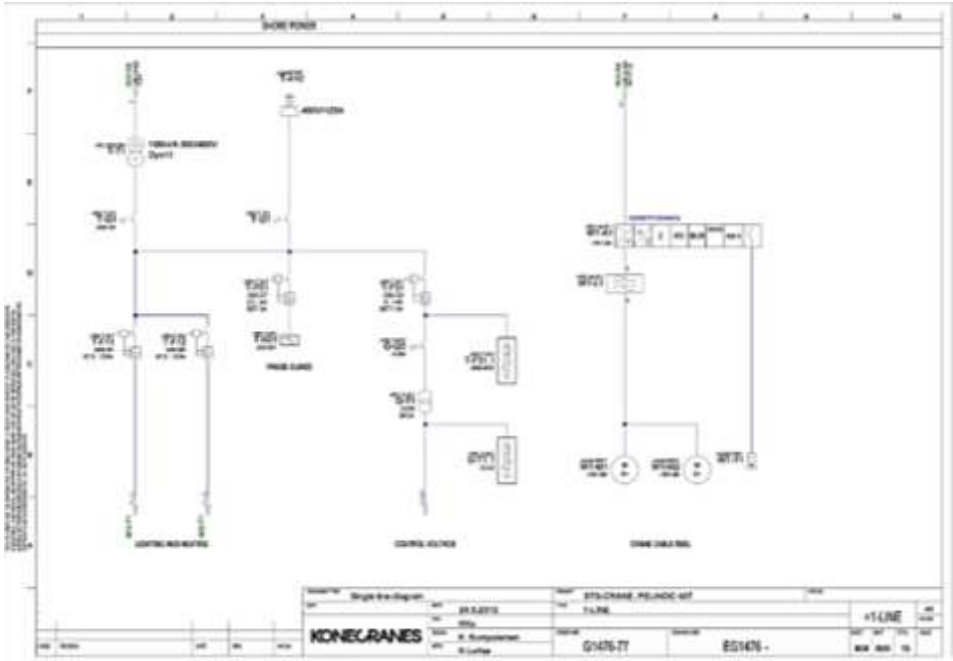
Gambar 4.7. *Single-line diagram* STS-*crane*_halaman 6
(Sumber: *Electrical Documentation* STS-*Crane*, Pelindo 40T G1476-77)



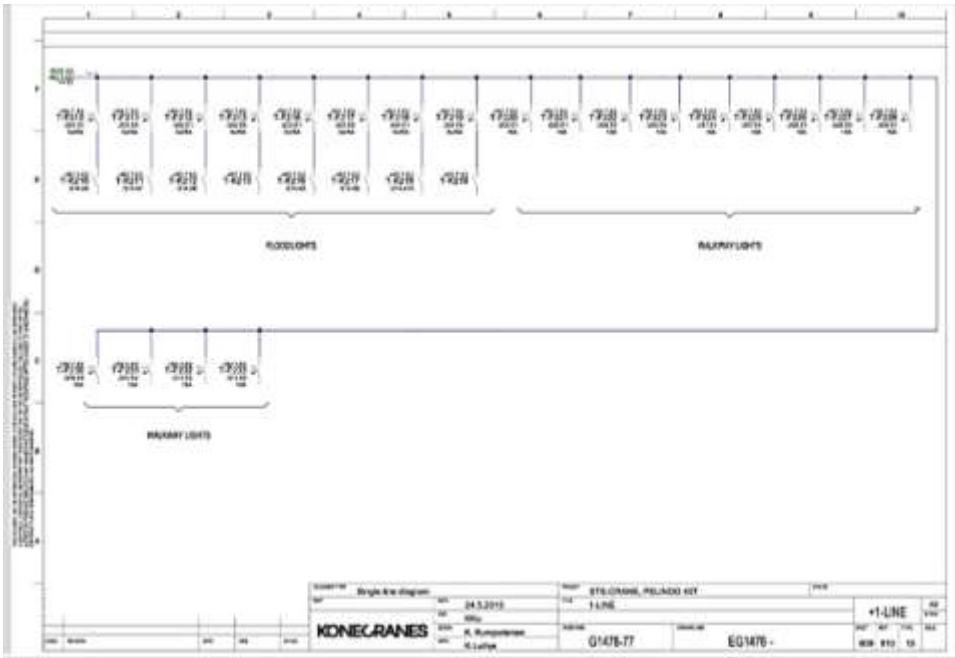
Gambar 4.8. *Single-line diagram* STS-*crane*_halaman 7
(Sumber: *Electrical Documentation* STS-*Crane*, Pelindo 40T G1476-77)



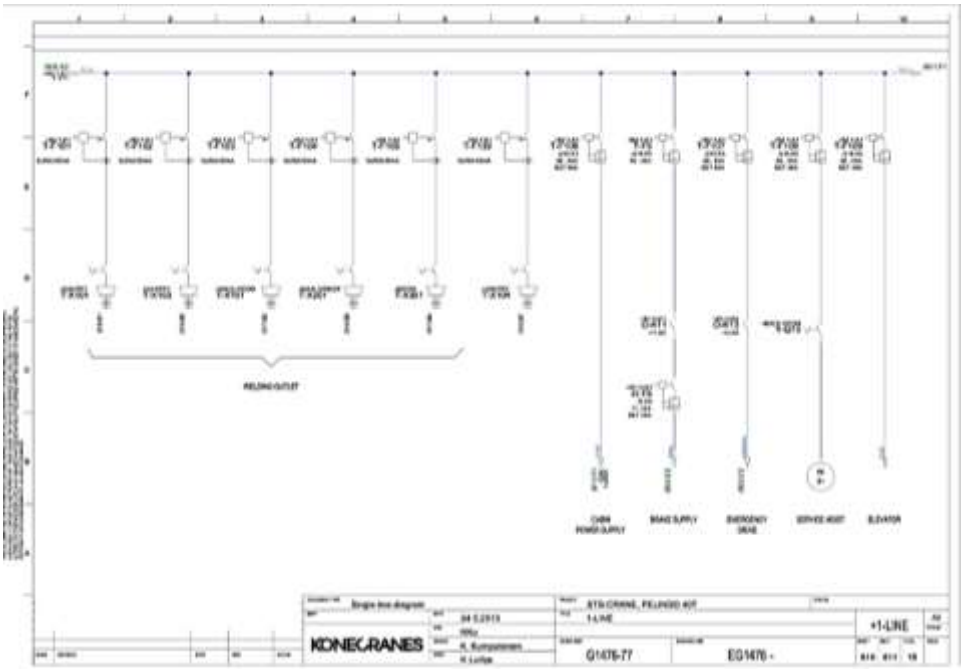
Gambar 4.9. *Single-line diagram* STS-*crane*_halaman 8
(Sumber: *Electrical Documentation* STS-*Crane*, Pelindo 40T G1476-77)



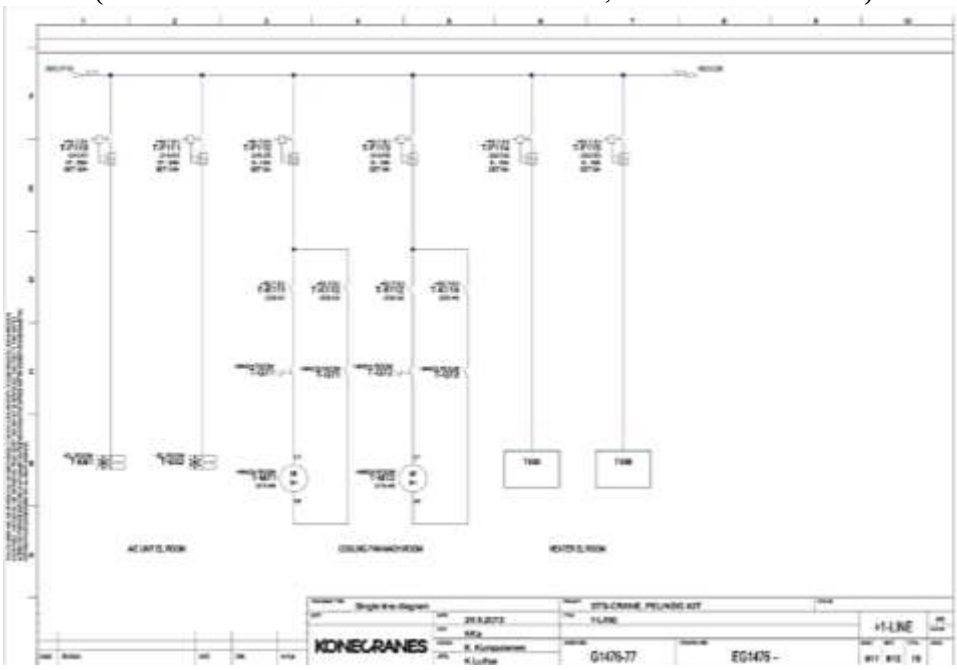
Gambar 4.10. *Single-line diagram* STS-*crane*_halaman 9
(Sumber: *Electrical Documentation* STS-*Crane*, Pelindo 40T G1476-77)



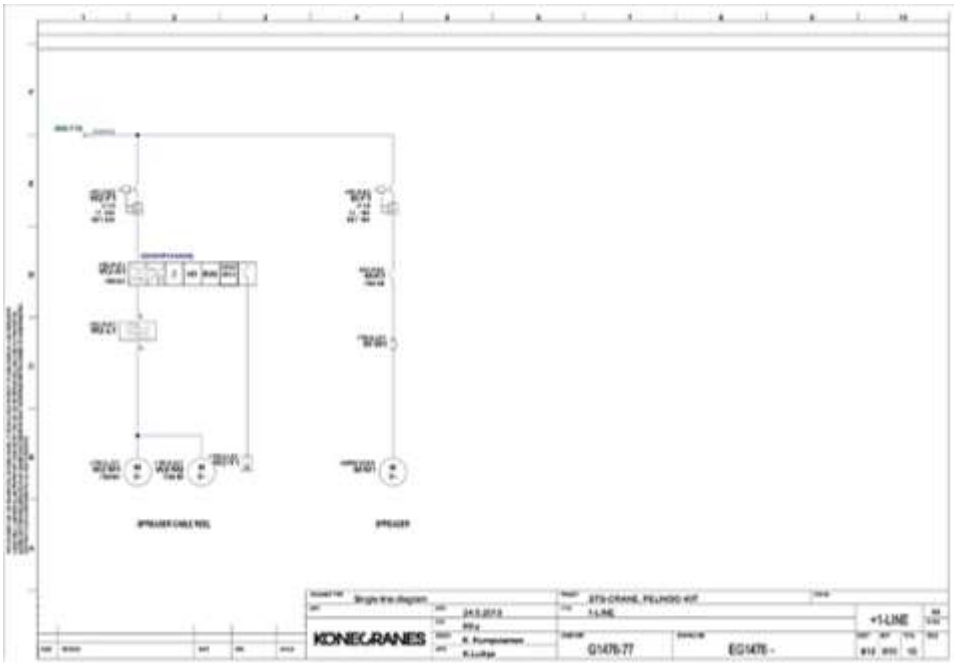
Gambar 4.11. *Single-line diagram* STS-*crane*_halaman 10
(Sumber: *Electrical Documentation* STS-*Crane*, Pelindo 40T G1476-77)



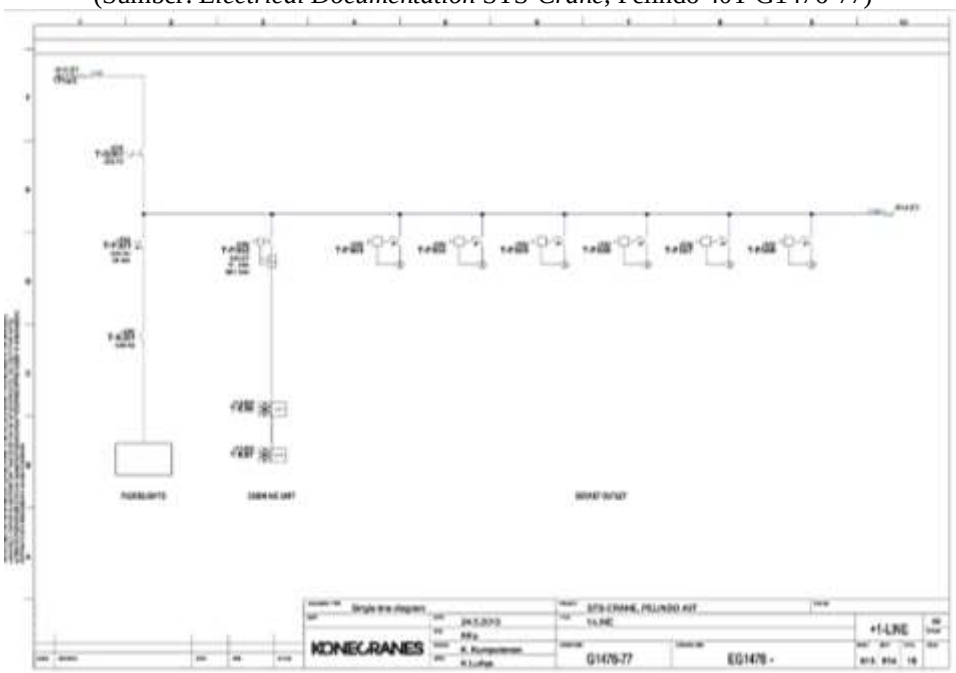
Gambar 4.12. *Single-line diagram* STS-*crane*_halaman 11
(Sumber: *Electrical Documentation* STS-*Crane*, Pelindo 40T G1476-77)



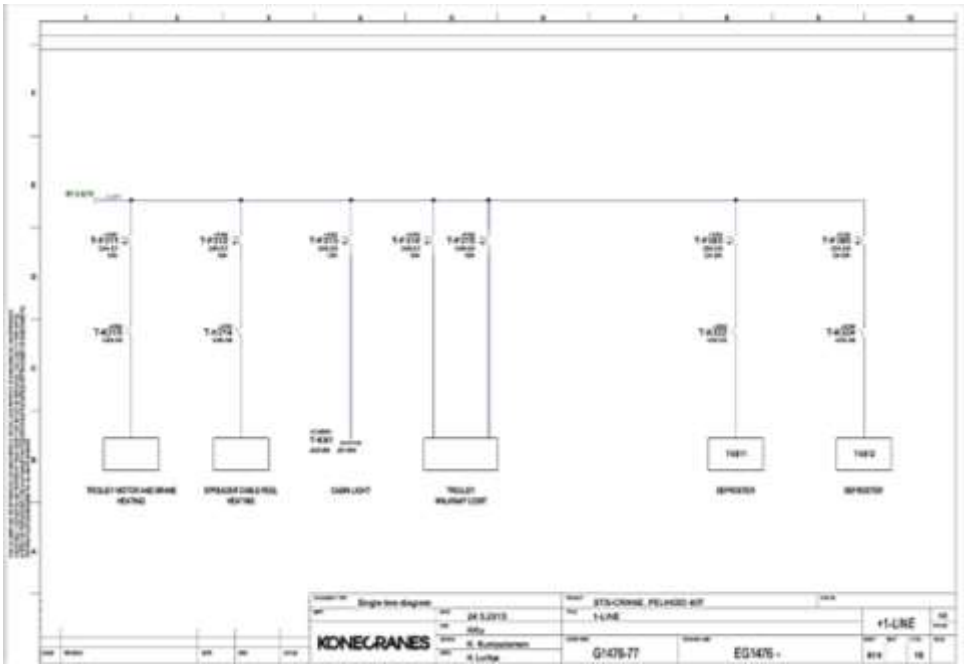
Gambar 4.13. *Single-line diagram* STS-*crane*_halaman 12
(Sumber: *Electrical Documentation* STS-*Crane*, Pelindo 40T G1476-77)



Gambar 4.14. *Single-line diagram* STS-*crane*_halaman 13
(Sumber: *Electrical Documentation* STS-*Crane*, Pelindo 40T G1476-77)



Gambar 4.15. *Single-line diagram* STS-*crane*_halaman 14
(Sumber: *Electrical Documentation* STS-*Crane*, Pelindo 40T G1476-77)

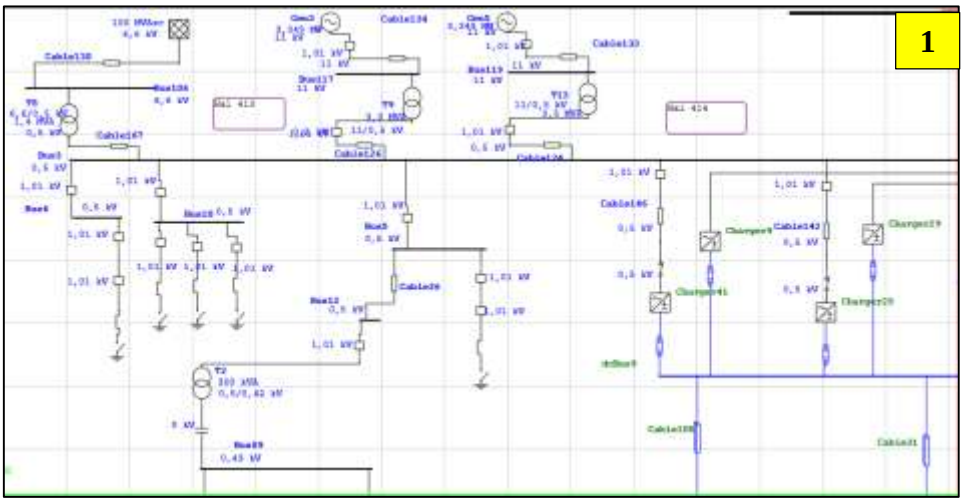


Gambar 4.16. *Single-line diagram* STS-*crane*_halaman 15
(Sumber: *Electrical Documentation* STS-*Crane*, Pelindo 40T G1476-77)

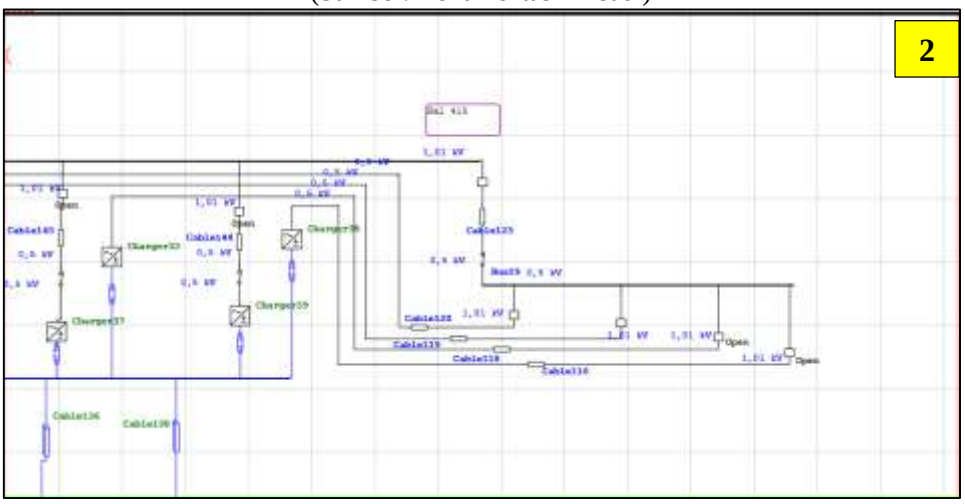
Setelah mendapatkan data diagram *single-line* dari *container* crane, maka dilakukan dengan membuat pemodelan rangkaian kelistrikan tersebut menggunakan aplikasi simulasi ETAP. Berikut ini, pada Gambar 4.17 terdapat gambar panduan dalam membaca dan menyatukan rangkaian yang telah dimodelkan pada ETAP. Adapun untuk Gambar 4.18 hingga 4.27 ditunjukkan tampilan dari sistem kelistrikan *container crane* setelah dimodelkan pada ETAP.

1	2	
3	4	5
6	7	8
9	10	

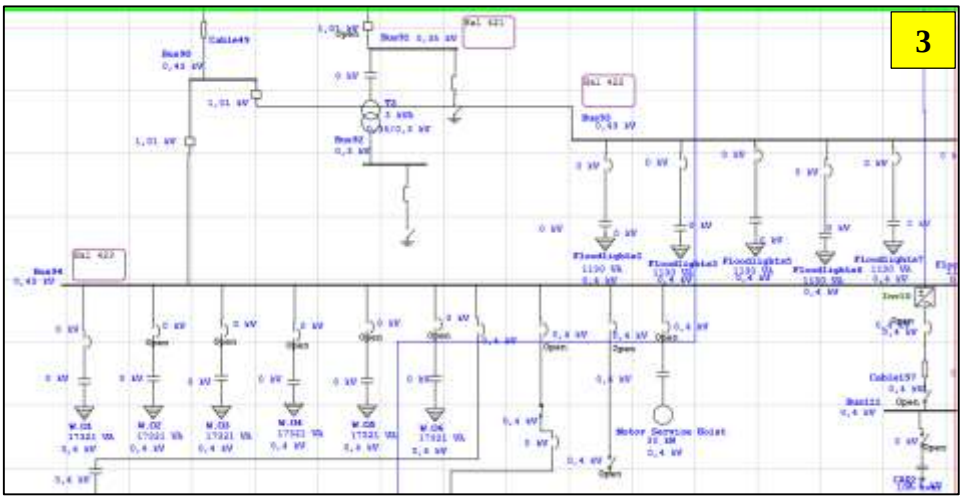
Gambar 4.17. Petunjuk penggabungan kode gambar rangkaian pada ETAP
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)



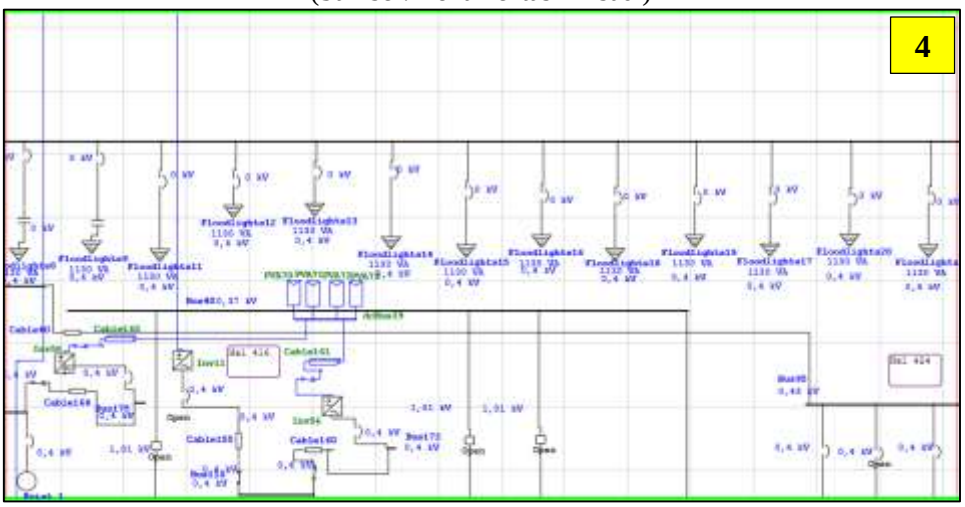
Gambar 4.18. *Single-line diagram* STS-*crane* pada ETAP_bagian 1
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)



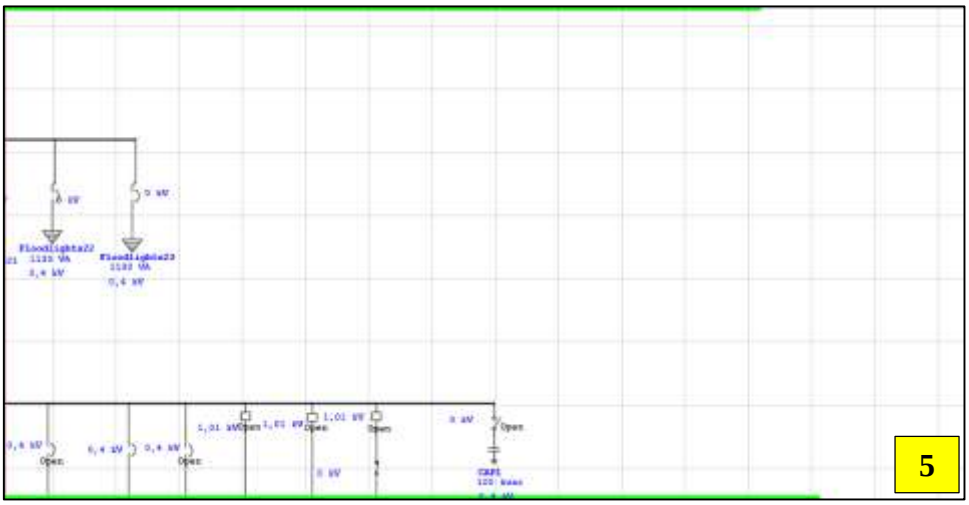
Gambar 4.19. *Single-line diagram* STS-*crane* pada ETAP_bagian 2
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)



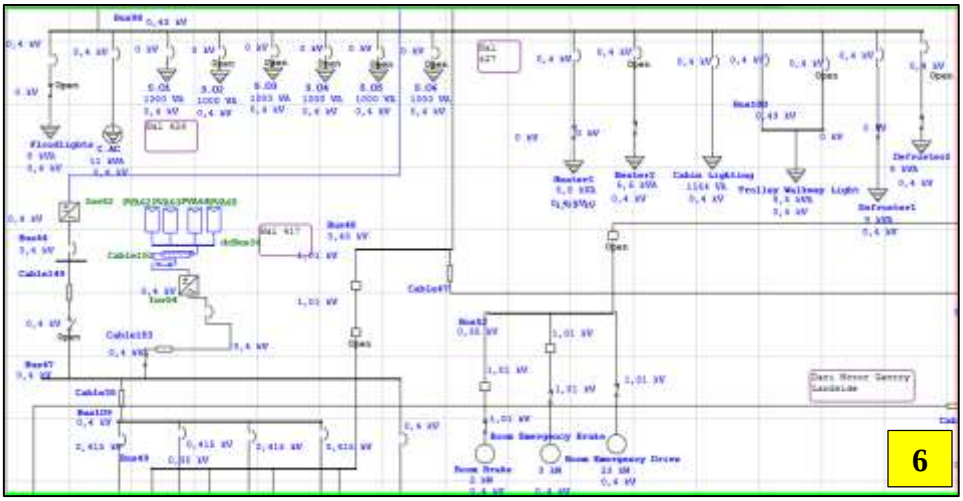
Gambar 4.20. *Single-line diagram* STS-*crane* pada ETAP_bagian 3
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)



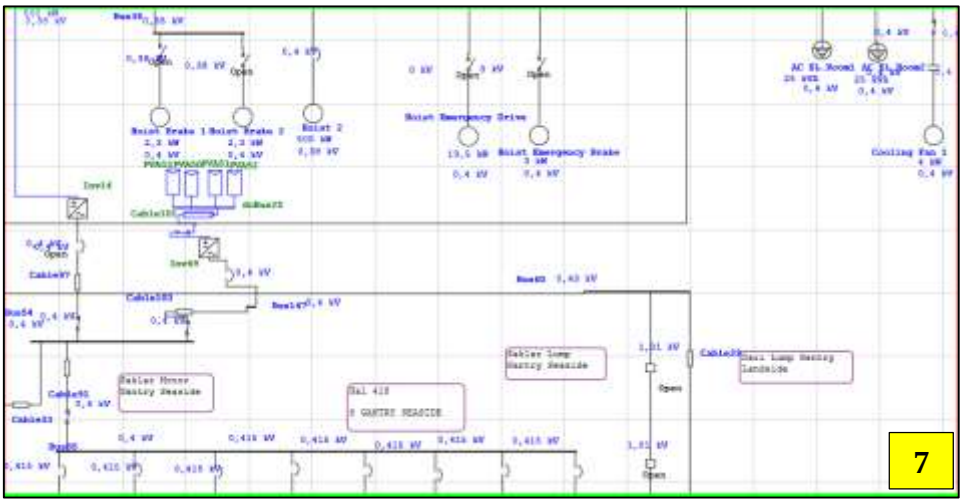
Gambar 4.21. *Single-line diagram* STS-*crane* pada ETAP_bagian 4
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)



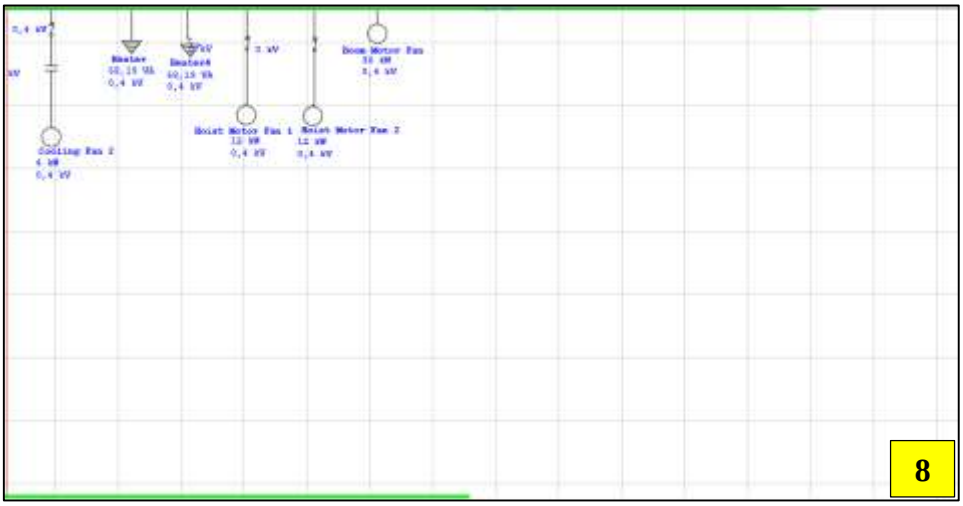
Gambar 4.22. *Single-line diagram* STS-*crane* pada ETAP_bagian 5
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)



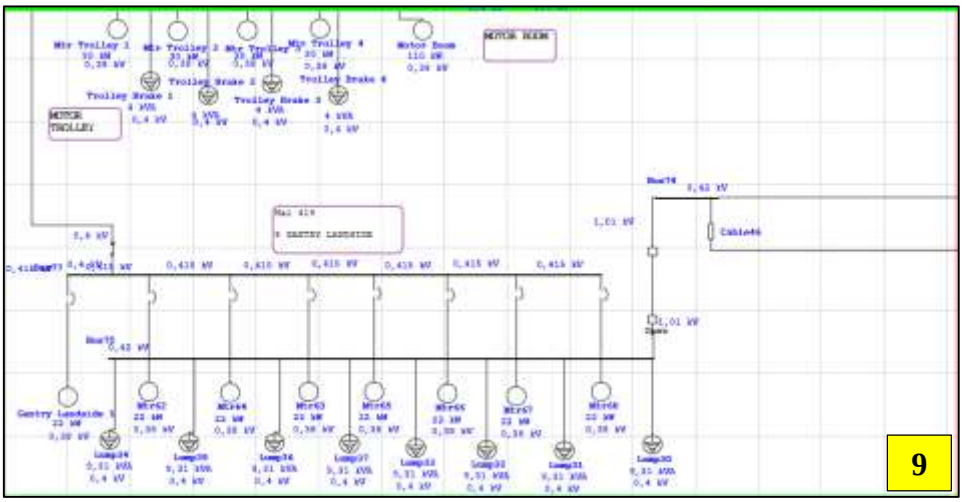
Gambar 4.23. *Single-line diagram* STS-*crane* pada ETAP_bagian 6
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)



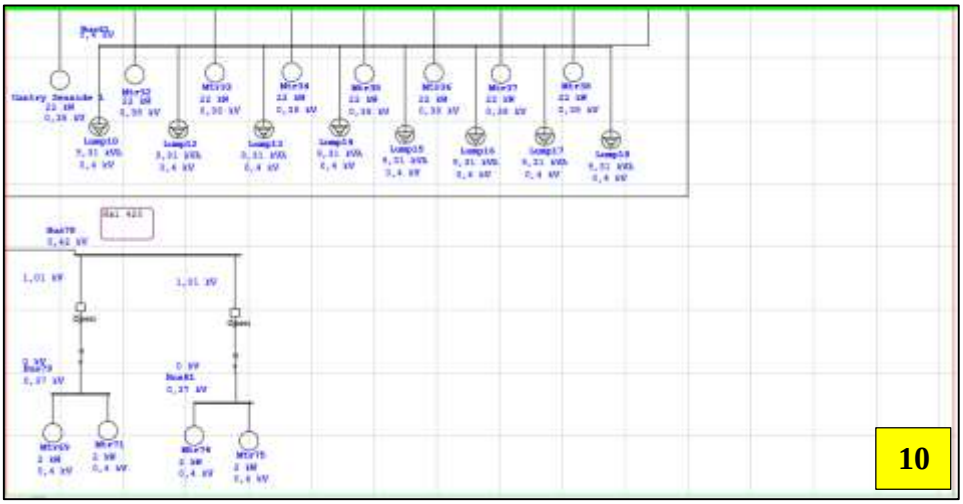
Gambar 4.24. *Single-line diagram* STS-*crane* pada ETAP_bagian 7
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)



Gambar 4. 25. *Single-line diagram* STS-*crane* pada ETAP_bagian 8
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)



Gambar 4.26. *Single-line diagram* STS-*crane* pada ETAP_bagian 9
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)



Gambar 4.27. *Single-line diagram* STS-*crane* pada ETAP_bagian 10
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

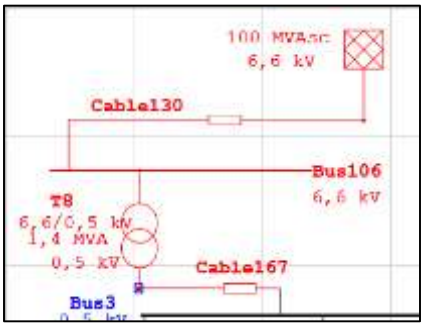
4.3 Perencanaan Skenario Simulasi STS *Container Crane*

Pada tahap perencanaan skenario simulasi, setelah rangkaian dimodelkan di ETAP, terdapat bagian suplai dan bagian beban listrik yang akan dijadikan pemodelan dengan beberapa skenario.

Dalam sistem, suplai daya utama adalah listrik dari *grid* PLN dalam mode *swing* dan terdapat 2 buah generator dalam mode *standby voltage control*. Sebelum menuju beban, sistem dipasang trafo *step-down* guna sesuai dengan beban-beban listriknya. Adapun untuk spesifikasi dan detail skema pemodelan pada bagian suplai ini dapat ditunjukkan pada gambar 4.28 hingga 4.32**.**

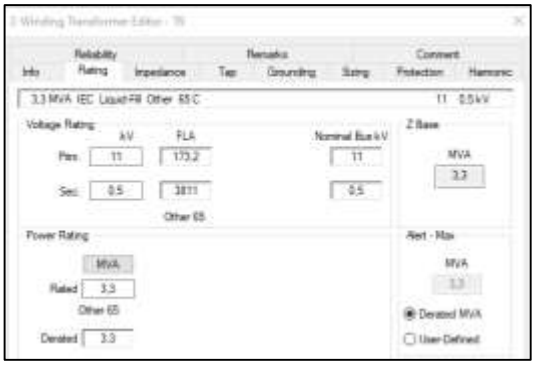
Electrical Supplies	
Main Power Supply	
Main Supply Feed (3 Phase + PE)	6.6 kV, 50 Hz
Main Supply Transformer (3 Phase)	1400 kVA, 6.6 kV/500V

Gambar 4.28. Data spesifikasi kelistrikan suplai PLN dan trafo *step-down* utama
(Sumber: G1476M010100en/REV.A/02.10.2014/Konecrane *Manual*)

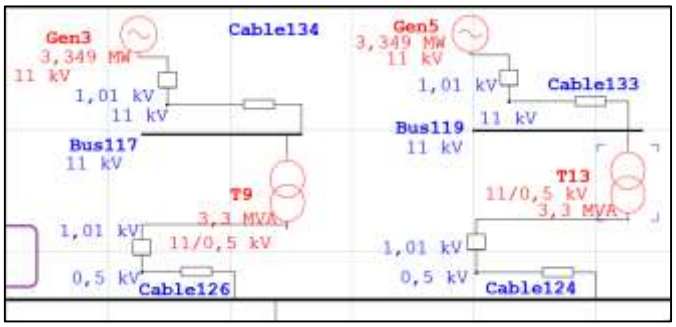


Gambar 4.29. Tampilan suplai PLN dan trafo utama STS-*container crane* pada ETAP
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Gambar 4.30. Data spesifikasi kelistrikan Generator 3,3MW 11kV
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

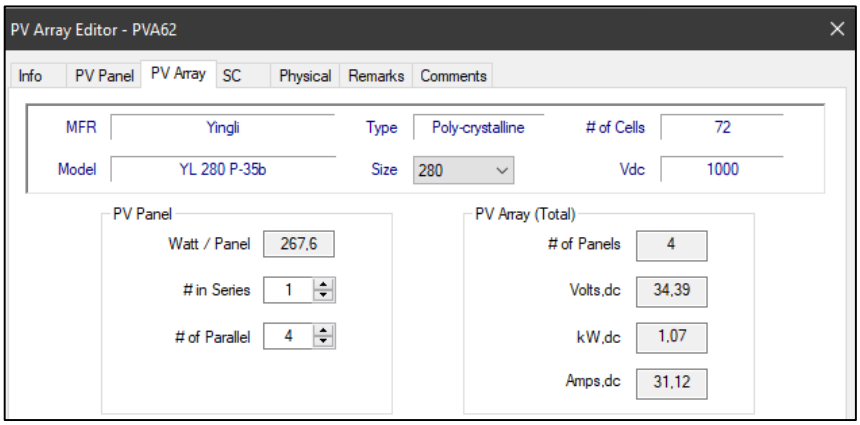


Gambar 4.31. Data spesifikasi kelistrikan Trafo *step-down* dari Generator 3,3MW
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

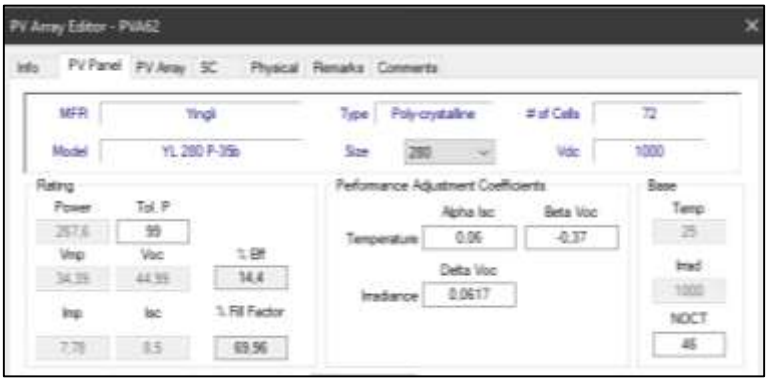


Gambar 4.32. Tampilan generator mode *voltage control* STS-*container crane* pada ETAP
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

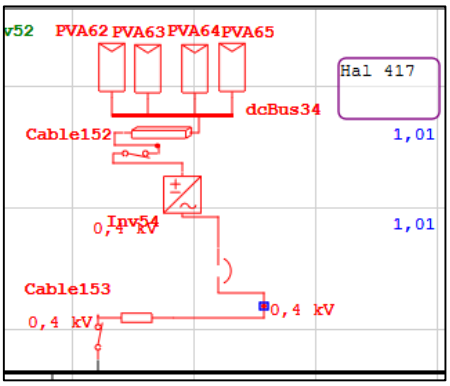
Dalam menjalankan simulasi per skenario, pencatatan data hasil simulasi ditambahkan dengan percobaan menggunakan suplai arus tegangan DC. Untuk suplai tegangan DC disuplai oleh *solar-cell* yang dimodelkan sedemikian rupa sehingga menyerupai kebutuhan daya saat disuplai menggunakan suplai tegangan AC dari PLN. Adapun untuk spesifikasi *solar-cell* dapat ditunjukkan pada Gambar 4.33 dan 4.34, tampilannya pada ETAP ditunjukkan pada Gambar 4.35.



Gambar 4.33. Spesifikasi data kelistrikan *solar-cell*_bagian 1
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)



Gambar 4.34. Spesifikasi data kelistrikan *solar-cell*_bagian 2
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)



Gambar 4.35. Tampilan *solar-cell* pada ETAP (untuk suplai motor *trolley* dan *boom*)
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Total kapasitas daya pada sistem suplai menggunakan PV dapat dihitung melalui spesifikasi yang dimasukkan ke dalam *software* simulasi ETAP (Gambar 4.33 dan 4.34). Pada aplikasi simulasi, 1 PV *Array* memiliki 4 Panel. Dimana 1 Panel PV *Array* menyuplai daya DC sebesar 267,6 W. Dengan catatan, perhitungan jumlah panel didapat dari panel PV secara seri berjumlah 1 dan secara paralel berjumlah 4. Jika dalam pemodelan ETAP terdapat 4 panel PV *Array*, maka suplai daya DC per 1 PV Array menjadi 267,6 W × 4 = 1,07 kW.

Terakhir, 1 blok PV di dalam pemodelan ETAP terdapat 4 PV *Array*. Maka perhitungan **total kapasitas daya suplai DC** di tiap motor langkah utama container crane menjadi 1,07 kW × 4 = **4,28 kW**.

Pada tahapan selanjutnya, pengujian simulasi pada penelitian tugas akhir ini dibuat dengan beberapa skenario beban motor listrik gerak utama *container crane* yang berbeda-beda. Skenario simulasi tersebut antara lain: *gantry*, *boom*, *trolley*, *hoist*, dan *trolley+hoist*.

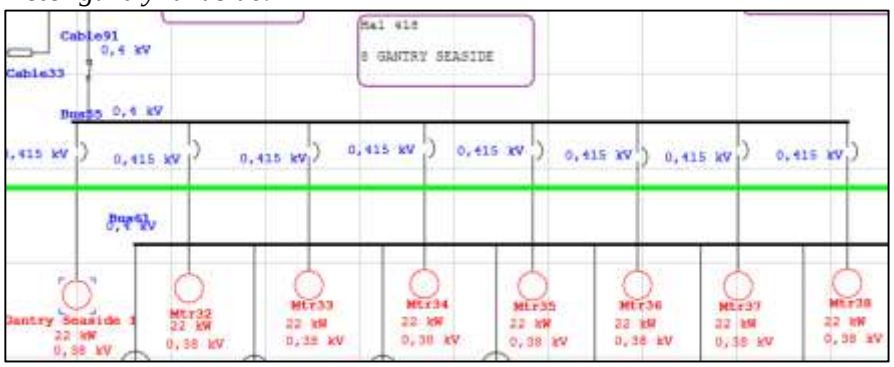
4.3.1 Simulasi Motor *Gantry* (16 motor AC 3-fase)

Motor *gantry* pada STS-*container crane* berjumlah 16 buah dan identik satu sama lain, terdiri dari 8 motor *gantry landside* dan 8 motor *gantry seaside*. Pada Gambar 4.36 ditunjukkan mengenai spesifikasi dari salah satu motor *gantry*.

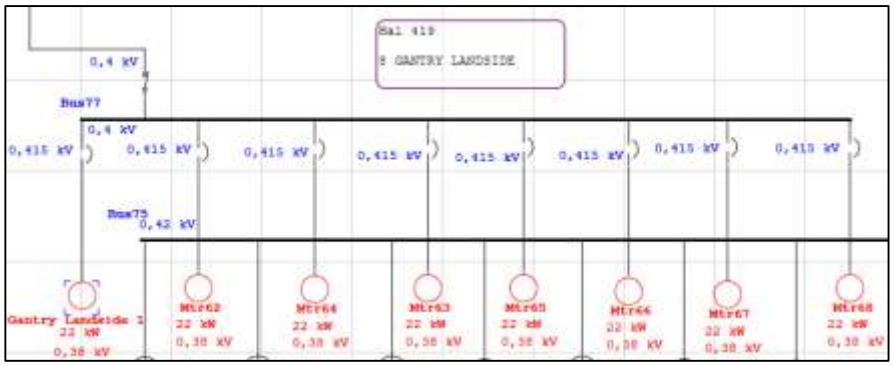
Gantry Travel	
AC Motor Power	S3-40% 22kW
Motor Speed	1695 rpm
Reduction Gearbox Ratio	i = 74.41
Brake Torque (max)	160 Nm
Rail Wheel Diameter	630 mm
Total Number of Wheels - Water Side	16 pieces
Number of Wheels - Land Side	16 pieces
Number of Driven Wheels - Water Side	8 pieces
Number of Driven Wheels - Land Side	8 pieces
Site Rail Type	A100

Gambar 4.36. Data spesifikasi kelistrikan motor *gantry* STS-*container crane*
(Sumber: G1476M010100en/REV.A/02.10.2014/Konecrane *Manual*)

Adapun ntuk penggambaran lokasi motor *gantry* pada ETAP, ditunjukkan pada Gambar 4.37 untuk motor *gantry seaside* dan 4.38 untuk motor *gantry landside*.



Gambar 4.37. Tampilan motor *gantry seaside* STS-*container crane* pada ETAP
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)



Gambar 4.38. Tampilan motor *gantry landside* STS-*container crane* pada ETAP
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

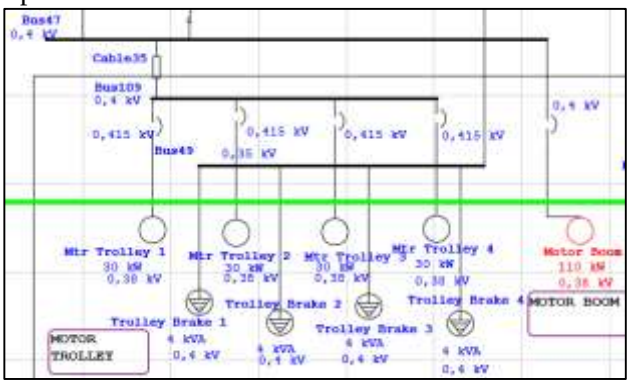
4.3.2 Simulasi Motor *Boom* (1 motor AC 3-fase)

Motor *boom* pada STS-*container crane* berjumlah 1 buah. Pada Gambar 4.39 ditunjukkan spesifikasi dari motor *boom*.

Boom Hoist	
AC Motor Power	S3-40% 110 kW
Motor Speed	1720 rpm
Brake Torque Adjusted	1400 Nm
Drum Brake Torque	216 kNm
Reduction Gearbox Ratio	i = 178.75
Boom Hoist Drum Diameter	900 mm
Wire Rope Diameter	30 mm
Travelling Length of Tackle	25.8 m

Gambar 4.39. Data spesifikasi kelistrikan motor *boom* STS-*container crane*
(Sumber: G1476M010100en/REV.A/02.10.2014/Konecrane *Manual*)

Adapun untuk penggambaran lokasi motor *boom* pada ETAP, ditunjukkan pada Gambar 4.40 di bawah ini.



Gambar 4.40. Tampilan motor *boom* STS-*container crane* pada ETAP
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

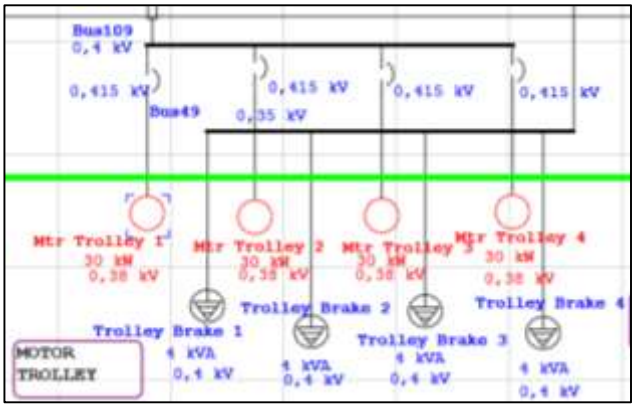
4.3.3 Simulasi Motor *Trolley* (4 motor AC 3-fase)

Motor *trolley* pada STS-*container crane* berjumlah 4 buah dan identik satu sama lain. Pada Gambar 4.41 ditunjukkan mengenai spesifikasi dari salah satu motor *trolley*.

Adapun, untuk tampilan termasuk letak dari motor *trolley* setelah dimodelkan pada ETAP, ditunjukkan melalui Gambar 4.42.

Trolley Traverse	
AC Motors Power	S3-60% 30 kW
Motor Speed	1521 rpm
Reduction Gearbox Ratio	i = 22.61
Brake Torque	400 Nm
Trolley Wheel Diameter	710 mm

Gambar 4.41. Data spesifikasi kelistrikan motor *trolley* STS-*container crane*
(Sumber: G1476M010100en/REV.A/02.10.2014/Konecrane *Manual*)



Gambar 4.42. Tampilan motor *trolley* STS-*container crane* pada ETAP
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

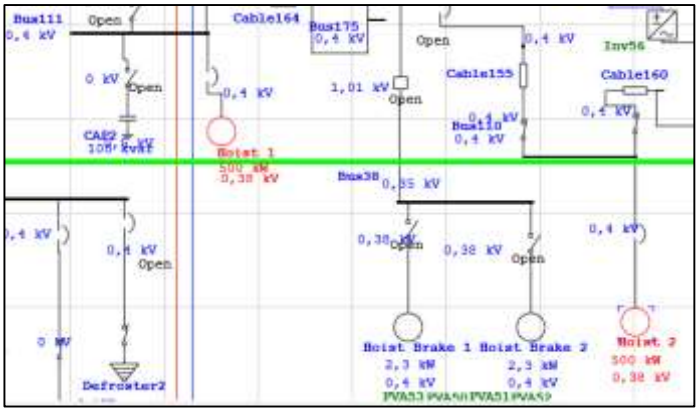
4.3.4 Simulasi Motor *Hoist* (2 motor AC 3-fase)

Motor *Hoist* pada STS-*container crane* berjumlah 2 buah dan identik satu sama lain. Pada Gambar 4.43 ditunjukkan mengenai spesifikasi dari salah satu motor *hoist*.

Adapun, untuk tampilan termasuk letak dari motor *hoist* setelah dimodelkan pada ETAP, ditunjukkan melalui Gambar 4.44.

Main Hoist	
AC Motor Power	2 X 500 kW S3-60%
Motor Speed	1215 rpm / 2430 rpm
Brake Torque Adjusted	9500 Nm
Safety Brake Torque	2 x 151680 Nm
Reduction Gearbox Ratio	i = 31.76
Main Hoist Drum Diameter	1000 mm
Wire Rope Diameter	30 mm

Gambar 4.43. Data spesifikasi kelistrikan motor *hoist* STS-*container crane*
(Sumber: G1476M010100en/REV.A/02.10.2014/Konecrane *Manual*)



Gambar 4.44. Tampilan motor *hoist* STS-*container crane* pada ETAP
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

4.3.5 Simulasi Motor *Trolley* + Motor *Hoist* (4 motor + 2 motor AC 3-fase)

Pada simulasi yang kelima ini, dibuat skenario dengan langkah motor *trolley* dan motor *hoist* dijalankan bersamaan. Langkah ini dibuat sebagai mencari data yang dihasilkan apabila kedua langkah motor gerak utama tersebut dijalankan bersamaan.

Adapun untuk data spesifikasi motor *trolley* dan motor *hoist* telah disebutkan pada poin-poin skenario di atas sebelumnya. Tampilan motor *trolley* dan motor *hoist* pada ETAP telah ditampilkan pada gambar di skenario sebelumnya.

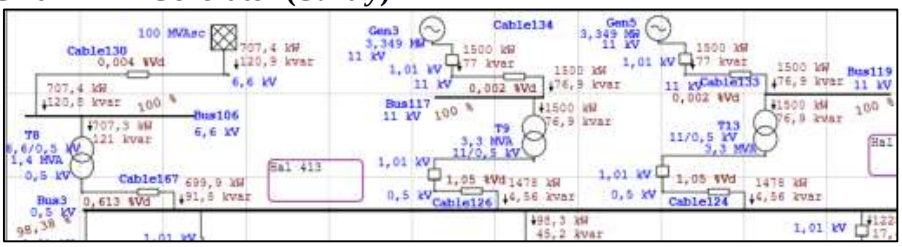
4.4 Analisa Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan simulasi per skenario yang telah dilakukan, lalu direkap semua aliran daya yang terbaca pada sistem di aplikasi ETAP, selanjutnya dibandingkan antara suplai tegangan AC dari PLN dan tegangan DC dari *solar-cell*. Data suplai daya hasil simulasi juga harus memenuhi standar IEEE dan IEC terkait faktor daya minimal dan batas maksimal dari tegangan jatuh pada sistem.

Pada aliran daya di ETAP terdapat 2 batasan yang harus diperhatikan dalam simulasi, yaitu ***alert critical*** dan ***alert marginal***. *Alert critical* (ditampilkan dengan warna merah) adalah kondisi bahaya yang tinggi pada sistem kelistrikan karena operasi sistem melebihi standar dari spesifikasi alat/komponen, serta dapat menyebabkan kegagalan sistem operasi sehingga diharuskan adanya perbaikan pada sistem. *Alert marginal* (ditampilkan dengan warna ungu) adalah kondisi dimana komponen pada sistem kelistrikan beroperasi pada kondisi yang masih mendekati ambang batas standar dari spesifikasi alat/komponen kelistrikan, namun untuk perbaikan sistem dapat dipertimbangkan apakah perlu diganti atau tidak (Fathia F. A., 2017). Pada Bab 4.4.1 – 4.4.5 di bawah ini ditampilkan pembahasan dari tiap simulasi per motor utama pada sistem kelistrikan STS-*container crane*.

4.4.1 Skenario 1 (Motor *Gantry*)

- Grid PLN + Generator (*Gantry*)



Gambar 4.45. Tampilan *loadflow* suplai PLN + generator pada ETAP (sisi pembangkitan) (Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Tabel 4.1. Nilai aliran daya pada sisi suplai *grid* PLN + generator (skenario 1)

Sisi Pembangkitan								
Gantry Motor								
Branch	From	To	P (kW)	Q (kVAr)	S (kVA)	I (A)	PF (%)	Keterangan
21	Grid U1	Bus 159	707,4	120,9	717,7	62,8	98,57	Dari Sumber PLN 6,6 kV
22	Bus 159	Bus 106	707,4	120,8	717,6	62,8	98,57	Dari 159 menuju 106
23	Bus 106	Bus 176	707,3	121	717,6	62,8	98,57	Dari 106 menuju 176
24	Bus 176	Bus 3	699,9	91,8	705,9	828,5	99,15	Dari 176 menuju Bus Utama
25	Gen3	Bus 161	1500	77	1502	78,8	99,87	Dari Generator 11kV
26	Bus 161	Bus 117	1500	76,9	1502	78,8	99,87	Dari 161 menuju 117
27	Bus 117	Bus 157	1500	76,9	1502	78,8	99,87	Dari 117 menuju 157
28	Bus 157	Bus 3	1478	4,56	1478	1734	100	Dari 157 menuju Bus Utama
29	Gen5	Bus 160	1500	77	1502	78,8	99,87	Dari Generator 11kV
30	Bus 160	Bus 119	1500	76,9	1502	78,8	99,87	Dari 160 menuju 119
31	Bus 119	Bus 156	1500	76,9	1502	78,8	99,87	Dari 119 menuju 156
32	Bus 156	Bus 3	1478	4,56	1478	1734	100	Dari 156 menuju Bus Utama

Pada tabel 4.1, nilai aliran daya pada sisi pembangkitan terdiri dari 1 *grid* 6,6kV 0,707MW dari PLN dengan mode *swing* dan 2 Generator dalam mode *voltage control* 1,5MW.

Adapun untuk **suplai *grid* PLN**, nilai dari daya aktif (P) menunjukkan angka 707,4 kW, daya reaktif (Q) sebesar 120,9 kVAR, daya semu (S) 717,7 kVA, dan

arus (I) sebesar 62,8 Ampere. Adapun untuk nilai rugi daya pada suplai *grid* PLN dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

P_{loss} = $P_{output} - P_{input}$
P_{loss_PLN} = 707,4 kW – 707 kW
$\mathbf{P_{loss_PLN\ awal}}$ **= 0,4 kW**

Sedangkan untuk nilai efisiensi suplai PLN menjadi:

Efisiensi $= \frac{P_output}{P_input}$ x 100%
Efisiensi $= \frac{707}{707,4}$ x 100%
Efisiensi$_{PLN}$ = 99,943%

Selain itu, untuk suplai *grid* PLN hingga menuju Bus Utama (Bus3) mengalami adanya *loss power* akibat adanya Trafo *step-down* 6,6/0,5 kV (T8) dan kabel-kabelnya. Maka nilai **rugi daya suplai *grid* PLN** menjadi:

P_{loss} = $P_{input} - P_{output}$
P_{loss_PLN} = 707,4 kW – 699,9 kW
$\mathbf{P_{loss_PLN\ akhir}}$ **= 7,5 kW**

Sedangkan untuk nilai **efisiensi suplai *grid* PLN** menjadi:

Efisiensi $= \frac{P_output}{P_input}$ x 100%
Efisiensi $= \frac{699,9}{707,4}$ x 100%
Efisiensi$_{PLN}$ = 98,939%

Adapun untuk **Generator (Gen3)** mode *voltage control*, nilai dari daya aktif (P) menunjukkan angka 1500 kW, daya reaktif (Q) 77 kVAR, daya semu (S) 1502 kVA, dan arus (I) sebesar 78,8 Ampere. Adapun untuk nilai rugi daya Generator3 dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

P_{loss} = $P_{output} - P_{input}$
$P_{loss_Generator3}$ = 1500 kW – 1500 kW
$\mathbf{P_{loss_Generator3}}$ **= 0 kW**

Sedangkan untuk nilai efisiensi suplai PLN menjadi:

Efisiensi $= \frac{P_output}{P_input}$ x 100%
Efisiensi $= \frac{1500}{1500}$ x 100%
Efisiensi$_{PLN}$ = 100%

Selain itu, untuk suplai Generator3 hingga menuju Bus Utama (Bus3) mengalami adanya *loss power* akibat adanya Trafo *step-down* 11/0.5 kV (T9) dan kabel-kabelnya. Maka **nilai rugi daya Generator3** menjadi:

P_{loss} = $P_{input} - P_{output}$
$P_{loss_Generator3}$ = 1500 kW – 1478 kW
$\mathbf{P_{loss_Generator3}}$ **= 22 kW**

Sedangkan untuk nilai **efisiensi suplai Generator3** menjadi:

Efisiensi $= \frac{P_output}{P_input}$ x 100%

Efisiensi $= \frac{1478}{1500}$ x 100%

Efisiensi$_{Generator3}$ = 98,533%

Adapun untuk **Generator (Gen5)** mode *voltage control*, nilai dari daya aktif (P) menunjukkan angka 1500 kW, daya reaktif (Q) 77 kVAR, daya semu (S) 1502 kVA, dan arus (I) sebesar 78,8 Ampere. Adapun untuk nilai rugi daya Generator5 dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

P_{loss} = $P_{output} - P_{input}$

$P_{loss_Generator3}$ = 1500 kW – 1500 kW

$P_{loss_Generator3}$ = 0 kW

Sedangkan untuk nilai efisiensi suplai PLN menjadi:

Efisiensi $= \frac{P_output}{P_input}$ x 100%

Efisiensi $= \frac{1500}{1500}$ x 100%

Efisiensi$_{PLN}$ = 100%

Selain itu, untuk suplai Generator5 hingga menuju Bus Utama (Bus3) mengalami adanya *loss power* akibat adanya Trafo *step-down* 11/0.5 kV (T13) dan kabel-kabelnya. Maka **nilai rugi daya Generator5** menjadi:

P_{loss} = $P_{input} - P_{output}$

$P_{loss_Generator3}$ = 1500 kW – 1478 kW

$P_{loss_Generator3}$ = 22 kW

Sedangkan untuk nilai **efisiensi suplai Generator5** menjadi:

Efisiensi $= \frac{P_output}{P_input}$ x 100%

Efisiensi $= \frac{1478}{1500}$ x 100%

Efisiensi$_{Generator3}$ = 98,533%

Nilai efisiensi daya pada sisi pembangkitan, baik itu dari *Grid* PLN atau dari suplai *voltage control* pada kedua Generator setelah disimulasikan beroperasi menghasilkan nilai efisiensi daya yang masih dalam batas standar IEEE, yaitu ≥50%. Sistem dalam keadaan yang aman, stabil dan masih sangat baik apabila dijalankan, ditunjukkan dengan tidak adanya komponen yang berubah warna merah/ungu, hal tersebut menunjukkan bahwa tidak adanya *alert*, baik *marginal* maupun *critical.*

Tabel 4.2. Nilai tegangan jatuh pada sisi suplai *grid* PLN + generator (skenario 1)

DROP TEGANGAN (Grid + Generator)									
Drop Tegangan									
Sisi Pembangkitan									
Branch	**From**	**V nominal (kV)**	**%**	**to**	**V nominal (kV)**	**%**	**Vd (kV)**	**% Vd**	**Keterangan**
21	Grid U1	6,6	100	Bus 159	6,6	100	0	0	**Dari suplai PLN + Generator**
22	Bus 159	6,6	100	Bus 106	6,6	100	0	0,004	melalui Cable130
23	Bus 106	6,6	100	Bus 176	0,5	98,99	-	1	melalui Trafo Step Down T8
24	Bus 176	0,5	98,99	Bus 3	0,492	98,38	0,003	0,613	melalui Cable167
25	Gen3	11	100	Bus 161	11	100	0	0	Dari Generator 11kV
26	Bus 161	11	100	Bus 117	11	100	0	0,002	melalui Cable134
27	Bus 117	11	100	Bus 157	0,5	99,43	-	0,568	melalui Trafo Step Down T9
28	Bus 157	0,5	99,43	Bus 3	0,492	98,38	0,005	1,05	melalui Cable126
29	Gen5	11	100	Bus 160	11	100	0	0	Dari Generator 11kV
30	Bus 160	11	100	Bus 119	11	100	0	0,002	melalui Cable133
31	Bus 119	11	100	Bus 156	0,5	99,43	-	0,568	melalui Trafo Step Down T13
32	Bus 156	0,5	99,43	Bus 3	0,492	98,38	0,005	1,05	melalui Cable124

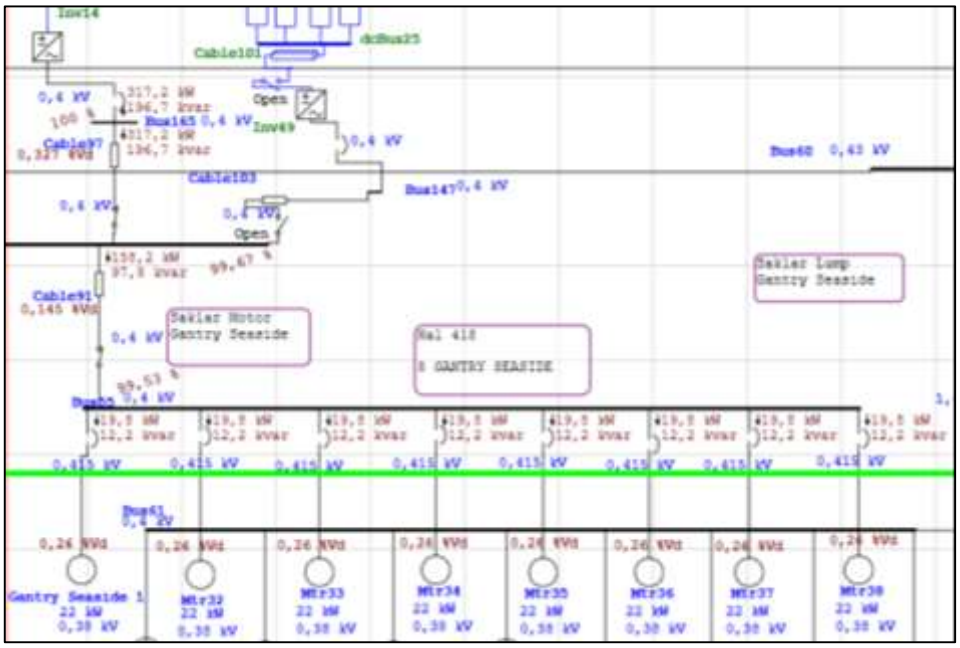
Pada tabel 4.2 di atas, terdapat nilai dari adanya tegangan jatuh sepanjang sistem kelistrikan untuk sisi pembangkitan saat simulasi motor *gantry*.

Untuk suplai dari *Grid* PLN menunjukkan adanya tegangan jatuh sebesar 0,004% yang diakibatkan adanya komponen kabel (*Cable* 130) dan saat menuju ke Bus Utama (Bus3) sistem mengalami perubahan tegangan dan juga tegangan jatuh. Tegangan awal 6,6 kV dilewatkan melalui Trafo *step-down* (T8) dan diturunkan menjadi 0,5 kV. Setelah menjadi 0,5 kV, terdapat tegangan jatuh yang diakibatkan oleh pemasangan kabel (*Cable* 167) sebesar 0,613%.

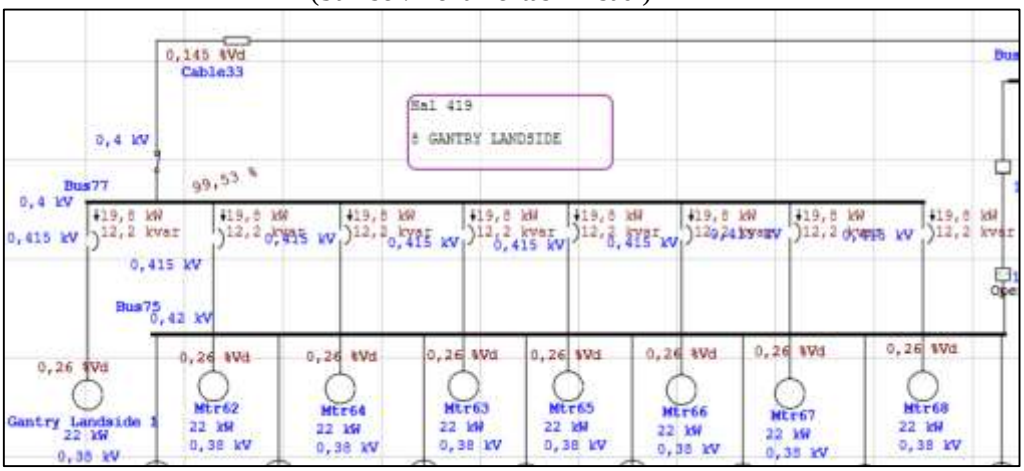
Untuk suplai dari Generator3 *voltage control* menunjukkan adanya tegangan jatuh sebesar 0,002% yang diakibatkan adanya komponen kabel (*Cable* 134) dan saat menuju ke Bus Utama (Bus3) sistem mengalami perubahan tegangan dan juga tegangan jatuh. Tegangan awal 11 kV dilewatkan melalui Trafo *step-down* (T9) dan diturunkan menjadi 0,5 kV. Setelah menjadi 0,5kV, terdapat tegangan jatuh yang diakibatkan oleh pemasangan kabel (*Cable* 126) sebesar 1,05%.

Untuk suplai dari Generator5 *voltage control* menunjukkan adanya tegangan jatuh sebesar 0,002% yang diakibatkan adanya komponen kabel (*Cable* 133) dan saat menuju ke Bus Utama (Bus3) sistem mengalami perubahan tegangan dan juga tegangan jatuh. Tegangan awal 11 kV dilewatkan melalui Trafo *step-down* (T13) dan diturunkan menjadi 0,5 kV. Setelah menjadi 0,5kV, terdapat tegangan jatuh yang diakibatkan oleh pemasangan kabel (*Cable* 124) sebesar 1,05%.

Dapat diambil kesimpulan bahwa tegangan jatuh yang terjadi dalam sistem suplai sisi pembangkitan masih dalam keadaan yang baik karena masih dalam batas standar IEC yaitu sebesar ≤5%.



Gambar 4.46. Tampilan *loadflow* suplai PLN + generator pada ETAP (*gantry seaside*)
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)



Gambar 4.47. Tampilan *loadflow* suplai PLN + generator pada ETAP (*gantry landside*)
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Tabel 4.3. Nilai aliran daya skenario 1 (motor *gantry*) suplai *grid* PLN + generator

PLN (Sinyal Sinusoidal AC)								
ANALISA DAYA (Grid+Generator)								
Simulasi 1 (GANTRY)								
Data Besaran Daya								
Branch	**From**	**To**	**P (kW)**	**Q (kVAr)**	**S (kVA)**	**I (A)**	**PF (%)**	**Keterangan**
1	Bus 55	Gantry Seaside 1	19,8	12,2	23,2	33,7	85,09	Dari Bus 54 **menuju Motor Gantry** Seaside 1
2	Bus 55	Mtr 32	19,8	12,2	23,2	33,7	85,09	Dari Bus 54 **menuju Motor Gantry** Seaside 2
3	Bus 55	Mtr 33	19,8	12,2	23,2	33,7	85,09	Dari Bus 54 **menuju Motor Gantry** Seaside 3
4	Bus 55	Mtr 34	19,8	12,2	23,2	33,7	85,09	Dari Bus 54 **menuju Motor Gantry** Seaside 4
5	Bus 55	Mtr 35	19,8	12,2	23,2	33,7	85,09	Dari Bus 54 **menuju Motor Gantry** Seaside 5
6	Bus 55	Mtr 36	19,8	12,2	23,2	33,7	85,09	Dari Bus 54 **menuju Motor Gantry** Seaside 6
7	Bus 55	Mtr 37	19,8	12,2	23,2	33,7	85,09	Dari Bus 54 **menuju Motor Gantry** Seaside 7
8	Bus 55	Mtr 38	19,8	12,2	23,2	33,7	85,09	Dari Bus 54 **menuju Motor Gantry** Seaside 8
9	Bus 77	Gantry Landside 1	19,8	12,2	23,2	33,7	85,09	Dari Bus 77 **menuju Motor Gantry** Landside 1
10	Bus 77	Mtr 62	19,8	12,2	23,2	33,7	85,09	Dari Bus 77 **menuju Motor Gantry** Landside 2
11	Bus 77	Mtr 64	19,8	12,2	23,2	33,7	85,09	Dari Bus 77 **menuju Motor Gantry** Landside 3
12	Bus 77	Mtr 63	19,8	12,2	23,2	33,7	85,09	Dari Bus 77 **menuju Motor Gantry** Landside 4
13	Bus 77	Mtr 65	19,8	12,2	23,2	33,7	85,09	Dari Bus 77 **menuju Motor Gantry** Landside 5
14	Bus 77	Mtr 66	19,8	12,2	23,2	33,7	85,09	Dari Bus 77 **menuju Motor Gantry** Landside 6
15	Bus 77	Mtr 67	19,8	12,2	23,2	33,7	85,09	Dari Bus 77 **menuju Motor Gantry** Landside 7
16	Bus 77	Mtr 68	19,8	12,2	23,2	33,7	85,09	Dari Bus 77 **menuju Motor Gantry** Landside 8
17	Bus 54	Bus 55	158,2	97,8	186	269,4	85,07	menuju Bus dari 8 Motor Gantry Seaside
18	Bus 54	Bus 77	158,2	97,8	186	269,4	85,07	menuju Bus dari 8 Motor Gantry Landside
19	Bus 165	Bus 54	317,2	196,7	373,2	538,7	84,99	menuju Bus All Motor Gantry
20	Inv14	Bus 165	317,2	196,7	373,2	538,7	84,99	menuju Bus 165

Pada tabel 4.3, nilai aliran daya pada sisi suplai (*Branch* 20) merupakan nilai daya keluaran dari Inv14 (Inverter arus DC ke AC). Adapun nilai dari daya aktif (P) menunjukkan angka 317,2 kW, untuk daya reaktif (Q) sebesar 196,7 kVAR, daya semu (S) 373,2 kVA, arus (I) 538,7 Ampere, dan pada tegangan 0,4 kV.

Pada cabang transmisi sistem sisi menuju beban (*Branch* 17 untuk *gantry seaside*, dan *Branch 18* untuk *gantry landside*) menunjukkan nilai aliran daya yang terbagi 8 masing-masing dengan nilai yang sama sesuai dengan jumlah motor listrik pada tiap sisi. Pada dua cabang *gantry* memiliki nilai daya yang identik, yaitu dengan daya aktif (P) senilai 19,8 kW, untuk daya reaktif (Q) 12,2 kVAR, daya semu (S) 23,2 kVA, dan arus (I) sebesar 33,7 Ampere.

Adapun untuk nilai rugi daya pada aplikasi simulasi ETAP tidak dapat dimunculkan, Maka, nilai rugi daya pada tiap motor *gantry* dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$\mathbf{P_{output}} = \mathbf{P_{nameplate\ spek}} = 22$ kW

$\mathbf{P_{input}} = \mathbf{P_{tampilan\ ETAP}} = 19{,}8$ kW

Sebagai catatan, pada saat simulasi, diambil nilai *demand factor* sebesar 85% sebagai bahan penelitian tambahan pada tugas akhir kali ini. Sehingga setiap daya yang terbaca pada *nameplate* spesifikasi motor dikalikan dengan nilai sebesar 85%. Maka daya *output* yang dihasilkan oleh motor *gantry* adalah:

$P_{output} = P_{spek} \times 85\%$

$P_{output_gantry} = 22\ \text{kW} \times 0{,}85$

$\mathbf{P_{output_gantry}} = 18{,}7$ kW

Sehingga **rugi daya pada motor *gantry*** menjadi:

$P_{loss} = P_{input} - P_{output}$

P_{loss_gantry} = 19,8 kW - 18,7 kW

$\mathbf{P_{loss_gantry}}$ **= 1,1 kW**

Sedangkan untuk nilai **efisiensi motor *gantry*-nya** menjadi:

Efisiensi $= \frac{P_output}{P_input}$ x 100%

Efisiensi $= \frac{18,7}{19,8}$ x 100%

Efisiensi$_{Gantry}$ = 94,44%

Nilai efisiensi daya pada skenario 1 suplai tegangan AC (motor *gantry*) masih dalam batas standar IEEE, yaitu ≥50%. Sistem dalam keadaan yang aman, stabil dan masih sangat baik apabila dijalankan, ditunjukkan dengan tidak adanya komponen yang berubah warna merah/ungu, hal tersebut menunjukkan bahwa tidak adanya *alert*, baik *marginal* maupun *critical*.

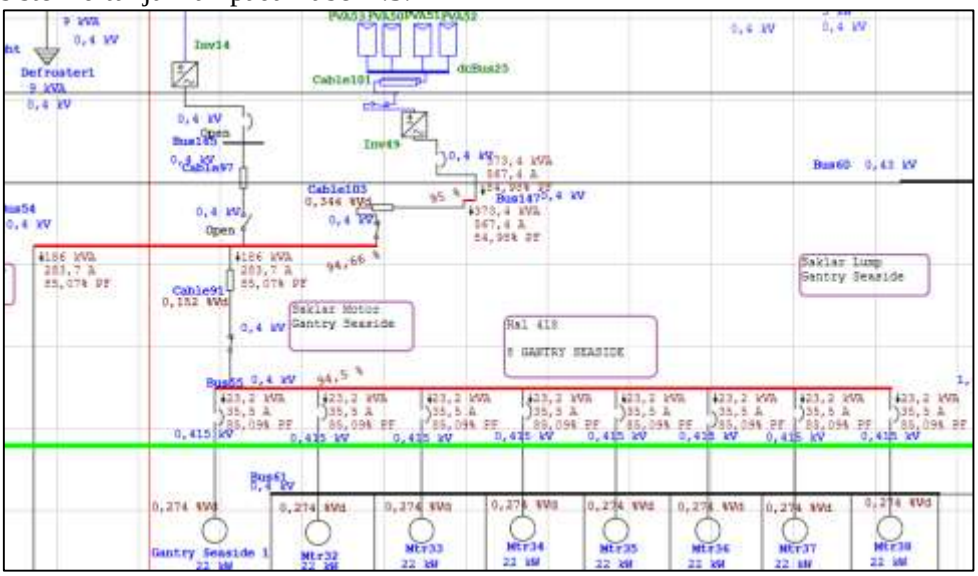
Tabel 4.4. Nilai tegangan jatuh skenario 1 (motor *gantry*) suplai grid PLN + generator

DROP TEGANGAN (Grid + Generator)									
Drop Tegangan									
Gantry Motor									
Branch	**From**	**V nominal (kV)**	**%**	**to**	**V nominal (kV)**	**%**	**Vd (kV)**	**% Vd**	**Keterangan**
1	Inv14	0,4	100	Bus 165	0,4	100	0	0	**Dari suplai PLN + Generator**
2	Bus 165	0,4	100	Bus 54	0,399	99,67	0,001	0,327	melalui Cable97
3	Bus 54	0,399	99,67	Bus 55	0,398	99,53	0,001	0,145	melalui Cable91
4	Bus 54	0,399	99,67	Bus 77	0,398	99,53	0,001	0,145	melalui Cable33
5	Bus 55	0,398	99,53	Gantry Seaside 1	0,397	99,27	0,001	0,26	drop voltage pada Gantry Seaside 1
6	Bus 55	0,398	99,53	Mtr 32	0,397	99,27	0,001	0,26	drop voltage pada Mtr 32
7	Bus 55	0,398	99,53	Mtr 33	0,397	99,27	0,001	0,26	drop voltage pada Mtr 33
8	Bus 55	0,398	99,53	Mtr 34	0,397	99,27	0,001	0,26	drop voltage pada Mtr 34
9	Bus 55	0,398	99,53	Mtr 35	0,397	99,27	0,001	0,26	drop voltage pada Mtr 35
10	Bus 55	0,398	99,53	Mtr 36	0,397	99,27	0,001	0,26	drop voltage pada Mtr 36
11	Bus 55	0,398	99,53	Mtr 37	0,397	99,27	0,001	0,26	drop voltage pada Mtr 37
12	Bus 55	0,398	99,53	Mtr 38	0,397	99,27	0,001	0,26	drop voltage pada Mtr 38
13	Bus 77	0,398	99,53	Gantry Landside 1	0,397	99,27	0,001	0,26	drop voltage pada Gantry Landside
14	Bus 77	0,398	99,53	Mtr 62	0,397	99,27	0,001	0,26	drop voltage pada Mtr 62
15	Bus 77	0,398	99,53	Mtr 64	0,397	99,27	0,001	0,26	drop voltage pada Mtr 64
16	Bus 77	0,398	99,53	Mtr 63	0,397	99,27	0,001	0,26	drop voltage pada Mtr 63
17	Bus 77	0,398	99,53	Mtr 65	0,397	99,27	0,001	0,26	drop voltage pada Mtr 65
18	Bus 77	0,398	99,53	Mtr 66	0,397	99,27	0,001	0,26	drop voltage pada Mtr 66
19	Bus 77	0,398	99,53	Mtr 67	0,397	99,27	0,001	0,26	drop voltage pada Mtr 67
20	Bus 77	0,398	99,53	Mtr 68	0,397	99,27	0,001	0,26	drop voltage pada Mtr 68

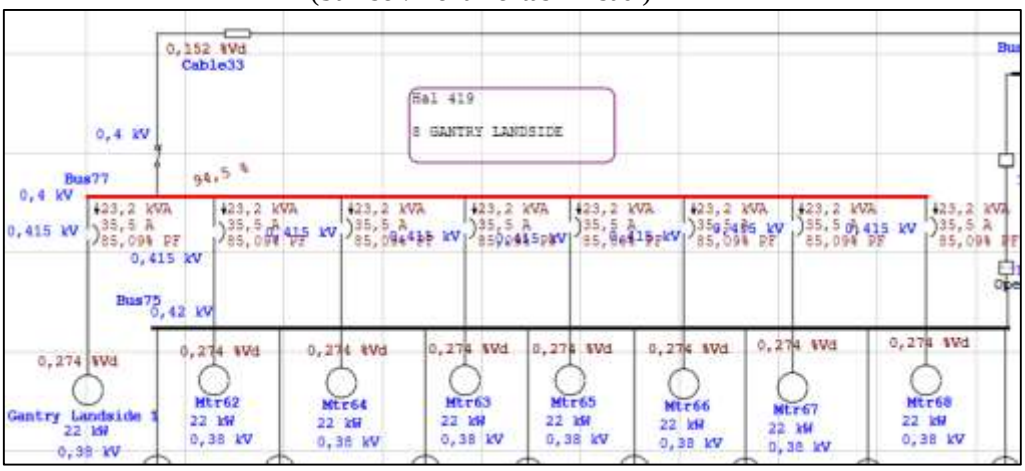
Pada Tabel 4.4 di atas, terdapat nilai dari adanya tegangan jatuh sepanjang sistem kelistrikan untuk langkah motor *gantry*. Pada suplai keluaran dari Inv14 (Inverter arus DC ke AC) memiliki keluaran tegangan sebesar 400 Volt. Selama transmisi daya dan tegangan dalam sistem, terdapat tegangan jatuh hingga menuju beban motor listrik. Output tegangan yang terjadi pada Bus 54, Bus 55 dan Bus 77, serta bus tiap motor listrik memiliki besaran tegangan jatuh masing masing sebesar 0,327%, 0,145%, 0,145%, dan 0,26%, dapat diambil kesimpulan bahwa tegangan jatuh yang terjadi dalam sistem masih dalam keadaan yang baik karena masih dalam batas standar IEC yaitu sebesar ≤5%.

- **PV Array (Gantry)**

Pada penelitian tugas akhir kali ini dilakukan pemodelan menggunakan suplai arus tegangan DC. Arus dan tegangan DC tersebut diubah kembali menjadi arus dan tegangan AC melalui Inverter. Maka rincian aliran daya yang terjadi pada sistem ditunjukkan pada Tabel 4.5.



Gambar 4.48. Tampilan *loadflow* suplai PV pada ETAP (motor *gantry landside*)
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)



Gambar 4.49. Tampilan *loadflow* suplai PV pada ETAP (motor *gantry landside*)
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Tabel 4.5. Nilai aliran daya skenario 1 (motor *gantry*) suplai PV *Array*

PV (Sinyal Kotak DC)								
ANALISA DAYA (PV)								
Simulasi 1 (GANTRY)								
Data Besaran Daya								
Branch	**From**	**To**	**P (kW)**	**Q (kVAr)**	**S (kVA)**	**I (A)**	**PF (%)**	**Keterangan**
1	Bus 55	Gantry Seaside 1	19,8	12,2	23,2	35,5	85,09	Dari Bus 54 **menuju Motor Gantry** Seaside 1
2	Bus 55	Mtr 32	19,8	12,2	23,2	35,5	85,09	Dari Bus 54 **menuju Motor Gantry** Seaside 2
3	Bus 55	Mtr 33	19,8	12,2	23,2	35,5	85,09	Dari Bus 54 **menuju Motor Gantry** Seaside 3
4	Bus 55	Mtr 34	19,8	12,2	23,2	35,5	85,09	Dari Bus 54 **menuju Motor Gantry** Seaside 4
5	Bus 55	Mtr 35	19,8	12,2	23,2	35,5	85,09	Dari Bus 54 **menuju Motor Gantry** Seaside 5
6	Bus 55	Mtr 36	19,8	12,2	23,2	35,5	85,09	Dari Bus 54 **menuju Motor Gantry** Seaside 6
7	Bus 55	Mtr 37	19,8	12,2	23,2	35,5	85,09	Dari Bus 54 **menuju Motor Gantry** Seaside 7
8	Bus 55	Mtr 38	19,8	12,2	23,2	35,5	85,09	Dari Bus 54 **menuju Motor Gantry** Seaside 8
9	Bus 77	Gantry Landside 1	19,8	12,2	23,2	35,5	85,09	Dari Bus 77 **menuju Motor Gantry** Landside 1
10	Bus 77	Mtr 62	19,8	12,2	23,2	35,5	85,09	Dari Bus 77 **menuju Motor Gantry** Landside 2
11	Bus 77	Mtr 64	19,8	12,2	23,2	35,5	85,09	Dari Bus 77 **menuju Motor Gantry** Landside 3
12	Bus 77	Mtr 63	19,8	12,2	23,2	35,5	85,09	Dari Bus 77 **menuju Motor Gantry** Landside 4
13	Bus 77	Mtr 65	19,8	12,2	23,2	35,5	85,09	Dari Bus 77 **menuju Motor Gantry** Landside 5
14	Bus 77	Mtr 66	19,8	12,2	23,2	35,5	85,09	Dari Bus 77 **menuju Motor Gantry** Landside 6
15	Bus 77	Mtr 67	19,8	12,2	23,2	35,5	85,09	Dari Bus 77 **menuju Motor Gantry** Landside 7
16	Bus 77	Mtr 68	19,8	12,2	23,2	35,5	85,09	Dari Bus 77 **menuju Motor Gantry** Landside 8
17	Bus 54	Bus 55	158,3	97,8	186	283,7	85,07	menuju Bus dari 8 Motor Gantry Seaside
18	Bus 54	Bus 77	158,3	97,8	186	283,7	85,07	menuju Bus dari 8 Motor Gantry Landside
19	Bus 147	Bus 54	317,3	196,9	373,4	567,4	84,98	menuju Bus All Motor Gantry
20	Inv49	Bus 147	317,3	196,9	373,4	567,4	84,98	menuju Bus 147

Pada Tabel 4.5, nilai aliran daya pada sisi suplai (*Branch* 20) merupakan nilai daya keluaran dari Inv49 (Inverter arus DC ke AC). Adapun nilai dari daya aktif (P) menunjukkan angka 317,3 kW, daya reaktif (Q) 196,9 kVAR, daya semu (S) 373,4 kVA, arus (I) 567,4 Ampere, dan pada tegangan 0,4 kV.

Pada cabang transmisi sistem sisi menuju beban (*Branch* 17 untuk *gantry seaside*, dan *Branch 18* untuk *gantry landside*) menunjukkan nilai aliran daya yang terbagi 8 masing-masing dengan nilai yang sama sesuai dengan jumlah motor listrik pada tiap sisi. Pada dua cabang *gantry* ini memiliki nilai aliran daya yang relatif identik, yaitu dengan daya aktif (P) senilai 19,8 kW, untuk daya reaktif (Q) 12,2 kVAR, daya semu (S) 23,2 kVA, dan arus (I) 35,5 Ampere.

Nilai aliran daya pada suplai arus DC tidak berbeda jauh dengan arus AC, hanya pada arus tiap motor memiliki selisih sebesar 1,8 Ampere.

Adapun untuk nilai rugi daya pada aplikasi simulasi ETAP tidak dapat dimunculkan, Maka, nilai rugi daya pada tiap motor *gantry* dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$\mathbf{P_{output}} = \mathbf{P_{nameplate\ spek}} = 22$ kW

$\mathbf{P_{input}} = \mathbf{P_{tampilan\ ETAP}} = 19{,}8$ kW

Sebagai catatan, pada saat simulasi, diambil nilai *demand factor* sebesar 85% sebagai bahan penelitian tambahan pada tugas akhir kali ini. Sehingga setiap daya yang terbaca pada *nameplate* spesifikasi motor dikalikan dengan nilai sebesar 85%. Maka daya *output* yang dihasilkan oleh motor *gantry* adalah:

$P_{output} = P_{spek} \times 85\%$

$P_{output_gantry} = 22\ \text{kW} \times 0{,}85$

$\mathbf{P_{output_gantry}} = 18{,}7$ kW

Sehingga rugi daya pada motor menjadi:

$P_{loss} = P_{input} - P_{output}$

P_{loss_gantry} = 19,8 kW - 18,7 kW

P_{loss_gantry} = 1,1 kW

Sedangkan untuk nilai efisiensi motor *gantry*-nya menjadi:

Efisiensi $= \frac{P_output}{P_input}$ x 100%

Efisiensi $= \frac{18,7}{19,8}$ x 100%

$Efisiensi_{Gantry}$ = 94,44%

Nilai efisiensi daya pada skenario 1 suplai tegangan DC (motor *gantry*) masih dalam batas standar IEEE, yaitu ≥50%.

Tabel 4.6. Nilai tegangan jatuh skenario 1 (motor *gantry*) suplai PV *Array*

DROP TEGANGAN (PV)									
Drop Tegangan									
Gantry Motor									
Branch	**From**	**V nominal (kV)**	**%**	**to**	**V nominal (kV)**	**%**	**Vd (kV)**	**% Vd**	**Keterangan**
1	Inv49	0,38	95	Bus 147	0,38	95	0	0	**Dari suplai PV Array**
2	Bus 147	0,38	95	Bus 54	0,379	94,656	0,001	0,344	melalui Cable103
3	Bus 54	0,379	94,656	Bus 55	0,378	94,504	0,001	0,152	melalui Cable91
4	Bus 54	0,379	94,656	Bus 77	0,378	94,504	0,001	0,152	melalui Cable33
5	Bus 55	0,378	94,504	Gantry Seaside 1	0,377	94,23	0,001	0,274	drop voltage pada Gantry Seaside 1
6	Bus 55	0,378	94,504	Mtr 32	0,377	94,23	0,001	0,274	drop voltage pada Mtr 32
7	Bus 55	0,378	94,504	Mtr 33	0,377	94,23	0,001	0,274	drop voltage pada Mtr 33
8	Bus 55	0,378	94,504	Mtr 34	0,377	94,23	0,001	0,274	drop voltage pada Mtr 34
9	Bus 55	0,378	94,504	Mtr 35	0,377	94,23	0,001	0,274	drop voltage pada Mtr 35
10	Bus 55	0,378	94,504	Mtr 36	0,377	94,23	0,001	0,274	drop voltage pada Mtr 36
11	Bus 55	0,378	94,504	Mtr 37	0,377	94,23	0,001	0,274	drop voltage pada Mtr 37
12	Bus 55	0,378	94,504	Mtr 38	0,377	94,23	0,001	0,274	drop voltage pada Mtr 38
13	Bus 77	0,378	94,504	Gantry Landside 1	0,377	94,23	0,001	0,274	drop voltage pada Gantry Landside
14	Bus 77	0,378	94,504	Mtr 62	0,377	94,23	0,001	0,274	drop voltage pada Mtr 62
15	Bus 77	0,378	94,504	Mtr 64	0,377	94,23	0,001	0,274	drop voltage pada Mtr 64
16	Bus 77	0,378	94,504	Mtr 63	0,377	94,23	0,001	0,274	drop voltage pada Mtr 63
17	Bus 77	0,378	94,504	Mtr 65	0,377	94,23	0,001	0,274	drop voltage pada Mtr 65
18	Bus 77	0,378	94,504	Mtr 66	0,377	94,23	0,001	0,274	drop voltage pada Mtr 66
19	Bus 77	0,378	94,504	Mtr 67	0,377	94,23	0,001	0,274	drop voltage pada Mtr 67
20	Bus 77	0,378	94,504	Mtr 68	0,377	94,23	0,001	0,274	drop voltage pada Mtr 68

Pada Tabel 4.6 di atas, terdapat nilai dari adanya tegangan jatuh sepanjang sistem kelistrikan untuk langkah motor *gantry*. Pada suplai keluaran dari Inv49 (Inverter arus DC ke AC) memiliki keluaran tegangan sebesar 380 Volt. Selama transmisi tegangan dalam sistem, terdapat tegangan jatuh hingga menuju beban motor listrik. Output tegangan yang terjadi pada Bus 54, Bus 55 dan Bus 77, serta bus tiap motor listrik memiliki besaran tegangan jatuh masing masing sebesar 0,344%, 0,152%, 0,152%, dan 0,274%. Sehingga, tegangan jatuh yang terjadi dalam sistem masih dalam batas standar IEC yaitu sebesar ≤5%.

Namun, sistem suplai motor *gantry* dalam keadaan yang kurang optimal apabila dijalankan, ditunjukkan dengan adanya komponen bus yang berwarna merah (*alert critical*) yang menandakan adanya kondisi *under-voltage* pada tiap bus selama suplai PV *Array*. Hal tersebut disebabkan oleh keluaran tegangan inverter berada pada tegangan 0,38 kV, sedangkan sistem distribusi tegangan diharuskan menuju bus yang sama seperti suplai *grid* + generator (0,4 kV).

- Analisa Perbandingan Nilai Aliran Daya Tiap Jenis Suplai (*Gantry*)

Grafik 4.1. Perbandingan Nilai Aliran Daya pada Simulasi Motor *Gantry* (Skenario 1)

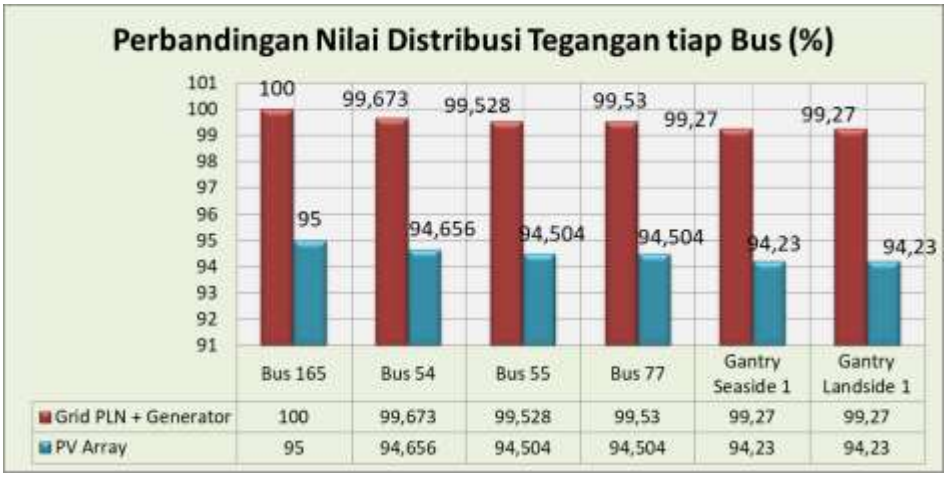
Pada Grafik 4.1, terlihat bahwa baik menggunakan suplai dari *grid* PLN+Generator, maupun suplai dari PV *Array* menampilkan data nilai aliran daya yang tidak jauh berbeda. Hal tersebut disebabkan oleh keluaran inverter dari masing-masing tipe jenis suplai (Inv14 dan Inv49).

Untuk suplai *grid* PLN+Generator, dimasukkan data keluaran tegangan 400 V (sesuai spesifikasi dan bus distribusi tiap motor). Sedangkan untuk suplai PV *Array*, diinput data keluaran tegangan 380 V (sesuai spesifikasi Inverter).

Jadi, meskipun output daya keduanya sama, namun hal tersebut mengakibatkan selisih pada arus yang mengalir ke motor pada tiap jenis suplai. Untuk suplai *grid* PLN + Generator memiliki arus (I) sebesar 33,7 Ampere, dan untuk suplai PV *Array* memiliki arus (I) sebesar 35,5. Selisih arus keduanya mencapai 1,8 Ampere, yang mengakibatkan pada saat suplai PV *Array* dan dengan kabel yang sama dapat membuat kabel menjadi sedikit lebih cepat panas.

- Analisa Perbandingan Nilai Distribusi Tegangan dan Tegangan Jatuh (*Gantry*)

Grafik 4.2. Perbandingan Nilai Tegangan Jatuh pada Simulasi Motor *Gantry* (Skenario 1)



Grafik 4.3. Perbandingan Nilai Distribusi Tegangan pada Simulasi Motor *Gantry* (Skenario 1)

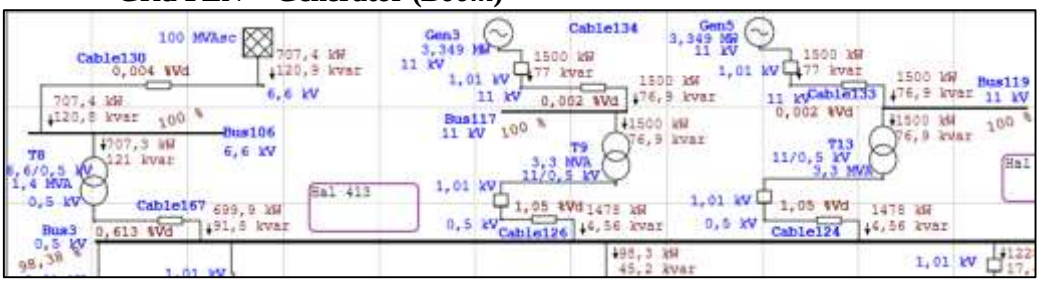
Pada Grafik 4.2, ditampilkan nilai tegangan jatuh atau *drop voltage* yang terjadi selama distribusi menuju beban motor *gantry*. Bus yang ditampilkan pada grafik hanya beberapa saja karena yang lainnya memiliki nilai identik.

Tegangan jatuh disebabkan oleh adanya pemasangan kabel pada setiap jalur transmisi. Dengan luas penampang dan jenis kabel yang sama. nilai persentase tegangan jatuh dari suplai *grid* PLN+Generator memiliki nilai yang lebih kecil daripada persentase tegangan jatuh dari PV *Array*. Hal tersebut disebabkan oleh arus yang mengalir pada sistem PV juga lebih besar dari PLN+Generator. Dengan daya yang sama, maka besarnya tegangan yang didistribusikan berbanding lurus dengan arus yang mengalir pada kabel.

Pada Grafik 4.3, nilai distribusi tegangan tiap bus pada suplai PV *Array* memiliki selisih 5% daripada tegangan dari suplai *grid* PLN+Generator. Hal tersebut dikarenakan oleh keluaran tegangan pada inverter PV *Array* lebih rendah dari keluaran tegangan suplai *grid* PLN+Generator. Penurunan jumlah distribusi voltase pada masing-masing jenis suplai terjadi akibat adanya pemasangan kabel pada sepanjang jalur distribusi menuju beban motor *gantry*.

4.4.2 Skenario 2 (Motor *Boom*)

- **Grid PLN + Generator (*Boom*)**



Gambar 4.50. Tampilan *loadflow* suplai PLN + generator pada ETAP (sisi pembangkitan) (Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Tabel 4.7. Nilai aliran daya pada sisi suplai *grid* PLN + generator (skenario 2)

Sisi Pembangkitan								
Boom Motor								
Branch	From	To	P (kW)	Q (kVAr)	S (kVA)	I (A)	PF (%)	Keterangan
4	Grid U1	Bus 159	707,4	120,9	717,7	62,8	98,57	Dari Sumber PLN 6,6 kV
5	Bus 159	Bus 106	707,4	120,8	717,6	62,8	98,57	Dari 159 menuju 106
6	Bus 106	Bus 176	707,3	121	717,6	62,8	98,57	Dari 106 menuju 176
7	Bus 176	Bus 3	699,9	91,8	705,9	828,5	99,15	Dari 176 menuju Bus Utama
8	Gen3	Bus 161	1500	77	1502	78,8	99,87	Dari Generator 11kV
9	Bus 161	Bus 117	1500	76,9	1502	78,8	99,87	Dari 161 menuju 117
10	Bus 117	Bus 157	1500	76,9	1502	78,8	99,87	Dari 117 menuju 157
11	Bus 157	Bus 3	1478	4,56	1478	1734	100	Dari 157 menuju Bus Utama
12	Gen5	Bus 160	1500	77	1502	78,8	99,87	Dari Generator 11kV
13	Bus 160	Bus 119	1500	76,9	1502	78,8	99,87	Dari 160 menuju 119
14	Bus 119	Bus 156	1500	76,9	1502	78,8	99,87	Dari 119 menuju 156
15	Bus 156	Bus 3	1478	4,56	1478	1734	100	Dari 156 menuju Bus Utama

Pada tabel 4.7, nilai aliran daya pada sisi pembangkitan terdiri dari 1 *grid* 6,6kV 0,707MW dari PLN dengan mode *swing* dan 2 Generator dalam mode *voltage control* 1,5MW. Dengan spesifikasi *grid* PLN dan generator yang sama, menghasilkan output aliran daya yang sama pada tiap langkah motor utama *container crane*. Maka, untuk rugi daya pada sisi pembangkitan dan efisiensi juga menunjukkan hasil yang sama pada tiap simulasi per skenario.

Nilai rugi daya akhir pada *grid* PLN sebesar 7,5 kW, dengan efisiensi sebesar 98,939%. Sedangkan untuk Generator 3 dan Generator 5, masing-masing memiliki nilai rugi daya dan efisiensi yang sama, yaitu 22 kW dan 98,533%.

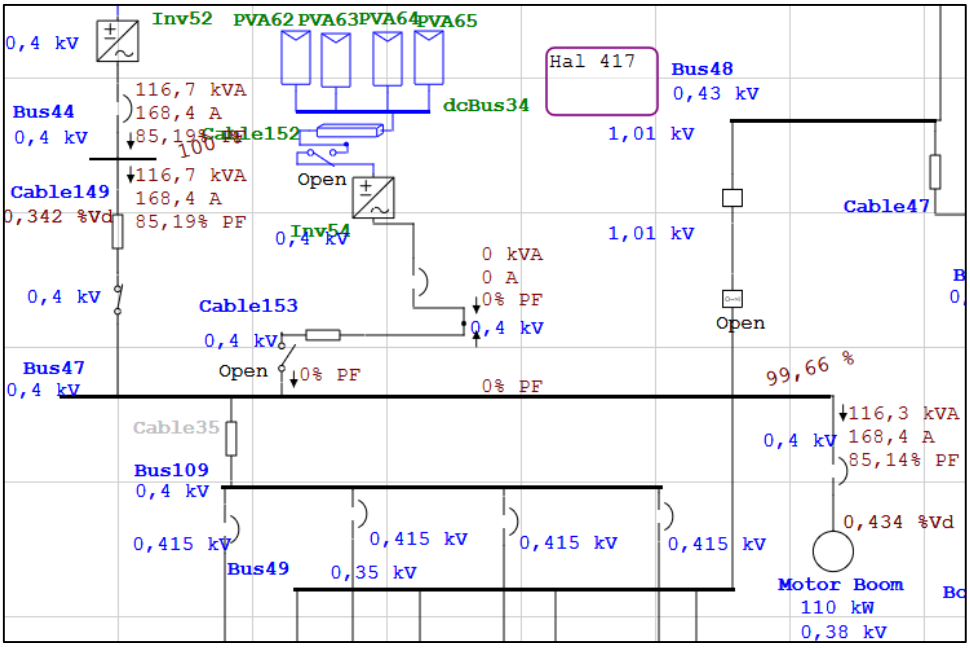
Maka dari itu, nilai efisiensi daya pada sisi pembangkitan, baik itu dari *Grid* PLN atau dari suplai *voltage control* pada kedua Generator setelah disimulasikan beroperasi sesuai skenario 2 (motor *Boom*) menghasilkan nilai efisiensi daya yang masih dalam batas standar IEEE, yaitu ≥50%. Sistem dalam keadaan yang aman, stabil dan masih sangat baik apabila dijalankan, ditunjukkan dengan tidak adanya komponen yang berubah warna merah/ungu, hal tersebut menunjukkan bahwa tidak adanya *alert*, baik *marginal* maupun *critical*.

Tabel 4.8. Nilai tegangan jatuh pada sisi suplai *grid* PLN + generator (skenario 2)

DROP TEGANGAN (Grid + Generator)									
Drop Tegangan									
Sisi Pembangkitan									
Branch	From	V nominal (kV)	%	to	V nominal (kV)	%	Vd (kV)	% Vd	Keterangan
21	Grid U1	6,6	100	Bus 159	6,6	100	0	0	**Dari suplai PLN + Generator**
22	Bus 159	6,6	100	Bus 106	6,6	100	0	0,004	melalui Cable130
23	Bus 106	6,6	100	Bus 176	0,5	98,99	-	1	melalui Trafo Step Down T8
24	Bus 176	0,5	98,99	Bus 3	0,492	98,38	0,003	0,613	melalui Cable167
25	Gen3	11	100	Bus 161	11	100	0	0	Dari Generator 11kV
26	Bus 161	11	100	Bus 117	11	100	0	0,002	melalui Cable134
27	Bus 117	11	100	Bus 157	0,5	99,43	-	0,568	melalui Trafo Step Down T9
28	Bus 157	0,5	99,43	Bus 3	0,492	98,38	0,005	1,05	melalui Cable126
29	Gen5	11	100	Bus 160	11	100	0	0	Dari Generator 11kV
30	Bus 160	11	100	Bus 119	11	100	0	0,002	melalui Cable133
31	Bus 119	11	100	Bus 156	0,5	99,43	-	0,568	melalui Trafo Step Down T13
32	Bus 156	0,5	99,43	Bus 3	0,492	98,38	0,005	1,05	melalui Cable124

Pada tabel 4.8 di atas, terdapat nilai dari adanya tegangan jatuh sepanjang sistem kelistrikan untuk sisi pembangkitan saat simulasi motor *boom*. Rincian dari adanya tegangan jatuh pada *grid* PLN dan kedua generator memiliki nilai yang sama dengan simulasi skenario sebelumnya. Tegangan jatuh pada PLN 6,6kV terjadi sebesar 0,004% dan 0,613%, dan untuk generator 11kV masing-masingnya terjadi tegangan jatuh sebesar 0,002% dan 1,05%.

Dapat diambil kesimpulan bahwa tegangan jatuh yang terjadi dalam sistem suplai sisi pembangkitan untuk skenario 2 masih dalam keadaan yang baik karena masih dalam batas standar IEC yaitu sebesar ≤5%.



Gambar 4.51. Tampilan *loadflow* suplai PLN + generator pada ETAP (motor *Boom*)
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Tabel 4.9. Nilai aliran daya skenario 2 (motor *boom*) suplai *grid* PLN + generator

PLN (Sinyal Sinusoidal AC)								
ANALISA DAYA (Grid+Generator)								
Simulasi 2 (BOOM)								
Data Besaran Daya								
Branch	**From**	**To**	**P (kW)**	**Q (kVAr)**	**S (kVA)**	**I (A)**	**PF (%)**	**Keterangan**
1	Bus 47	Mtr Boom	99	61	116,3	168,4	85,14	Dari Bus 47 **menuju Motor Boom**
2	Bus 44	Bus 47	99,4	61,1	116,7	168,4	85,19	Dari Bus 44 menuju Bus 47
3	Inv 52	Bus 44	99,4	61,1	116,7	168,4	85,19	Dari Inverter 52 menuju Bus 44

Pada tabel 4.9, nilai aliran daya pada sisi suplai (*Branch* 3) merupakan nilai daya keluaran dari Inv 52 (Inverter arus DC ke AC). Adapun nilai dari daya aktif (P) menunjukkan angka 99,4 kW, untuk daya reaktif (Q) sebesar 61,1 kVAR, daya semu (S) 116,7 kVA, arus (I) 168,4 Ampere, dan pada tegangan 0,4 kV.

Pada cabang transmisi sistem sisi menuju beban (*Branch* 1) menunjukkan nilai aliran daya aktif (P) senilai 99 kW, untuk daya reaktif (Q) 61 kVAR, daya semu (S) 116,3 kVA, dan arus (I) sebesar 168,4 Ampere.

Adapun untuk nilai rugi daya pada aplikasi simulasi ETAP tidak dapat dimunculkan, Maka, nilai rugi daya pada motor *Boom* dapat dihitung dengan rumus:

$\mathbf{P_{output}} = \mathbf{P_{nameplate\ spek}} = 110$ kW

$\mathbf{P_{input}} = \mathbf{P_{tampilan\ ETAP}} = 99$ kW

Sebagai catatan, pada saat simulasi, diambil nilai *demand factor* sebesar 85% sebagai bahan penelitian tambahan pada tugas akhir kali ini. Sehingga setiap daya yang terbaca pada *nameplate* spesifikasi motor dikalikan dengan nilai sebesar 85%. Maka daya *output* yang dihasilkan oleh motor *Boom* adalah:

$P_{output} = P_{spek} \times 85\%$

$P_{output_Boom} = 110\ kW \times 0{,}85$

$\mathbf{P_{output_Boom}} = 93{,}5$ kW

Sehingga **rugi daya pada motor *Boom*** menjadi:

$P_{loss} = P_{input} - P_{output}$

$P_{loss_Boom} = 99\ kW - 93{,}5\ kW$

$\mathbf{P_{loss_Boom} = 5{,}5\ kW}$

Sedangkan untuk nilai **efisiensi motor *Boom*** menjadi:

$\text{Efisiensi} = \frac{P_output}{P_input} \times 100\%$

$\text{Efisiensi} = \frac{93{,}5}{99} \times 100\%$

$\mathbf{Efisiensi_{Boom} = 94{,}44\%}$

Nilai efisiensi daya pada skenario 2 suplai tegangan AC (motor *Boom*) masih dalam batas standar IEEE, yaitu ≥50%. Sistem dalam keadaan yang aman, stabil dan masih sangat baik apabila dijalankan, ditunjukkan dengan tidak adanya komponen yang berubah warna merah/ungu, hal tersebut menunjukkan bahwa tidak adanya *alert*, baik *marginal* maupun *critical*.

Tabel 4.10. Nilai tegangan jatuh skenario 2 (motor *Boom*) suplai grid PLN + generator

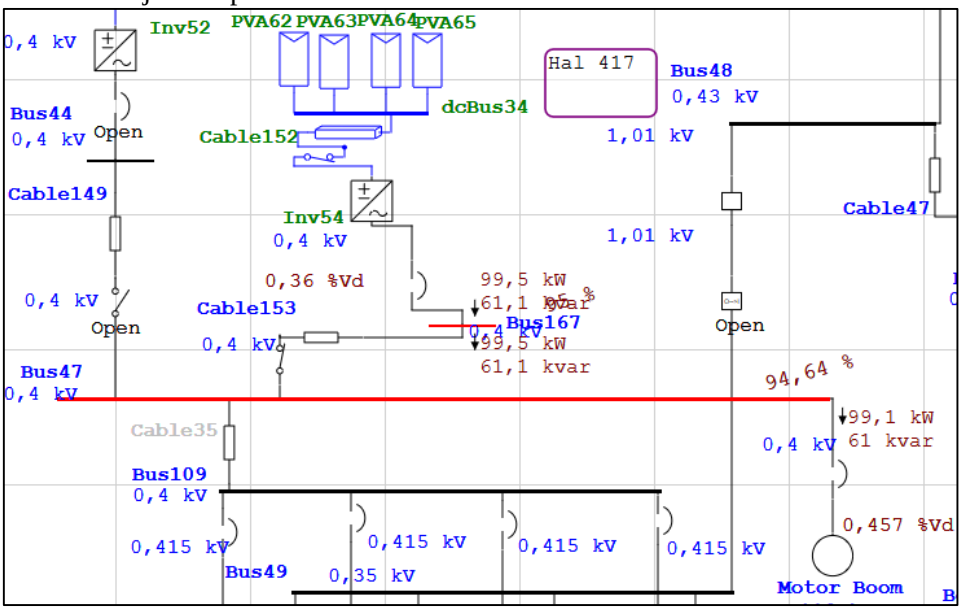
DROP TEGANGAN (Grid + Generator)									
Drop Tegangan									
Boom Motor									
Branch	**From**	**V nominal (kV)**	**%**	**to**	**V nominal (kV)**	**%**	**Vd (kV)**	**% Vd**	**Keterangan**
1	Inv 52	0,4	100	Bus 44	0,4	100	0	0	**Dari suplai PLN + Generator**
2	Bus 44	0,4	100	Bus 47	0,399	99,658	0,001	0,342	melalui Cable 149
3	Bus 47	0,399	99,66	Mtr Boom	0,397	99,224	0,002	0,434	drop voltage pada Motor Boom

Pada Tabel 4.10 di atas, terdapat nilai dari adanya tegangan jatuh sepanjang sistem kelistrikan untuk langkah motor *Boom*. Pada suplai keluaran dari Inv 52 (Inverter arus DC ke AC) memiliki keluaran tegangan sebesar 400 Volt. Selama transmisi daya dan tegangan dalam sistem, terdapat tegangan jatuh hingga menuju beban motor listrik. Output tegangan yang melalui Bus 47 dan motor

listrik memiliki besaran tegangan jatuh masing masing sebesar 0,342% dan 0,434%. Sehingga, dapat diambil kesimpulan bahwa tegangan jatuh yang terjadi dalam sistem suplai *grid* PLN+Generator masih dalam keadaan yang baik karena masih dalam batas standar IEC yaitu sebesar ≤5%.

- **PV Array (Boom)**

Pada penelitian tugas akhir kali ini dilakukan pemodelan menggunakan suplai arus tegangan DC. Arus dan tegangan DC tersebut diubah kembali menjadi arus dan tegangan AC melalui Inverter. Maka rincian aliran daya yang terjadi pada sistem ditunjukkan pada Tabel 4.11.



Gambar 4. 52. Tampilan *loadflow* suplai PV pada ETAP (motor *Boom*)
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Tabel 4.11. Nilai aliran daya skenario 2 (motor *Boom*) suplai PV *Array*

PV (Sinyal Kotak DC)								
ANALISA DAYA (PV)								
Simulasi 2 (BOOM)								
Data Besaran Daya								
Branch	**From**	**To**	**P (kW)**	**Q (kVAr)**	**S (kVA)**	**I (A)**	**PF (%)**	**Keterangan**
1	Bus 47	Mtr Boom	99,1	61	116,4	177,4	85,16	Dari Bus 47 **menuju Motor Boom**
2	Bus 167	Bus 47	99	61	116,3	177,4	85,14	Dari Bus 44 menuju Bus 47
3	Inv 54	Bus 44	99,5	61,1	116,7	177,4	85,19	Dari Inverter 52 menuju Bus 44

Pada Tabel 4.11, nilai aliran daya pada sisi suplai (*Branch* 3) merupakan nilai daya keluaran dari Inv54 (Inverter arus DC ke AC). Adapun nilai dari daya aktif (P) sebesar 99,5 kW, daya reaktif (Q) 61,1 kVAR, daya semu (S) 116,7 kVA, arus (I) 177,4 Ampere, namun pada tegangan 0,38 kV.

Pada cabang transmisi sistem sisi menuju beban (*Branch* 1) menunjukkan nilai aliran daya aktif (P) senilai 99,1 kW, untuk daya reaktif (Q) 61 kVAR, daya semu (S) 116,4 kVA, dan arus (I) sebesar 177,4 Ampere.

Nilai aliran daya pada suplai arus DC tidak berbeda jauh dengan arus AC, hanya pada arus listrik motor memiliki selisih sebesar 9 Ampere.

Adapun untuk nilai rugi daya pada aplikasi simulasi ETAP tidak dapat dimunculkan, Maka, nilai rugi daya pada motor *boom* dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$\mathbf{P_{output}} = \mathbf{P_{nameplate\ spek}} = 110$ kW

$\mathbf{P_{input}} = \mathbf{P_{tampilan\ ETAP}} = 99{,}1$ kW

Sebagai catatan, pada saat simulasi, diambil nilai *demand factor* sebesar 85% sebagai bahan penelitian tambahan pada tugas akhir kali ini. Sehingga setiap daya yang terbaca pada *nameplate* spesifikasi motor dikalikan dengan nilai sebesar 85%. Maka daya *output* yang dihasilkan oleh motor *Boom* adalah:

$P_{output} = P_{spek} \times 85\%$

$P_{output_boom} = 110\ kW \times 0{,}85$

$\mathbf{P_{output_boom}} = 93{,}5$ kW

Sehingga rugi daya pada motor menjadi:

$P_{loss} = P_{input} - P_{output}$

$P_{loss_boom} = 99{,}1\ kW - 93{,}5\ kW$

$\mathbf{P_{loss_boom} = 5{,}6\ kW}$

Sedangkan untuk nilai efisiensi motor *Boom*-nya menjadi:

$\text{Efisiensi} = \frac{P_output}{P_input} \times 100\%$

$\text{Efisiensi} = \frac{93{,}5}{99{,}1} \times 100\%$

$\mathbf{Efisiensi_{Boom} = 94{,}43\%}$

Nilai efisiensi daya pada skenario 2 suplai tegangan DC (motor *Boom*) masih dalam batas standar IEEE, yaitu ≥50%.

Tabel 4.12. Nilai tegangan jatuh skenario 2 (motor *Boom*) suplai PV *Array*

DROP TEGANGAN (PV)									
Drop Tegangan									
Boom Motor									
Branch	**From**	**V nominal (kV)**	**%**	**to**	**V nominal (kV)**	**%**	**Vd (kV)**	**% Vd**	**Keterangan**
1	Inv 54	0,38	95	Bus 167	0,38	95	0	0	**Dari Suplai PV Array**
2	Bus 167	0,38	95	Bus 47	0,379	94,64	0,001	0,36	melalui Cable 153
3	Bus 47	0,379	94,64	Mtr Boom	0,378	94,183	0,002	0,457	drop voltage pada Motor Boom

Pada Tabel 4.12 di atas, terdapat nilai dari adanya tegangan jatuh sepanjang sistem kelistrikan untuk langkah motor *boom*. Pada suplai keluaran dari Inv 52 (Inverter arus DC ke AC) memiliki keluaran tegangan sebesar 380 Volt. Selama transmisi daya dan tegangan dalam sistem, terdapat tegangan jatuh hingga menuju beban motor listrik. Output tegangan yang melalui Bus 47 dan motor listrik memiliki besaran tegangan jatuh masing masing sebesar 0,36% dan 0,457%. Sehingga, tegangan jatuh yang terjadi dalam sistem masih dalam batas standar IEC yaitu sebesar ≤5%.

Namun, sistem suplai motor *Boom* dalam keadaan yang kurang optimal apabila dijalankan, ditunjukkan dengan adanya komponen bus yang berwarna

merah (*alert critical*) yang menandakan adanya kondisi *under-voltage* pada tiap bus selama suplai PV *Array*. Hal tersebut disebabkan oleh keluaran tegangan inverter berada pada tegangan 0,38 kV, sedangkan sistem distribusi tegangan diharuskan menuju bus yang sama seperti suplai *grid* + generator (0,4 kV).

- Analisa Perbandingan Nilai Aliran Daya Tiap Jenis Suplai (*Boom*)

Grafik 4.4. Perbandingan Nilai Aliran Daya pada Simulasi Motor *Boom* (Skenario 2)

Pada Grafik 4.4, terlihat bahwa baik menggunakan suplai dari *grid* PLN+Generator, maupun suplai dari PV *Array* menampilkan data nilai aliran daya yang tidak jauh berbeda. Hal tersebut disebabkan oleh keluaran inverter dari masing-masing tipe jenis suplai (Inv52 dan Inv54).

Untuk suplai *grid* PLN+Generator, dimasukkan data keluaran tegangan 400 V (sesuai spesifikasi dan bus distribusi tiap motor). Sedangkan untuk suplai PV *Array*, diinput data keluaran tegangan 380 V (sesuai spesifikasi Inverter).

Jadi, walau output daya keduanya sama, namun hal tersebut mengakibatkan selisih pada arus yang mengalir ke motor pada tiap jenis suplai. Pada simulasi motor *Boom*, suplai *grid* PLN+Generator memiliki arus (I) sebesar 168,4 Ampere, dan untuk suplai PV *Array* memiliki arus (I) sebesar 177,4. Selisih arusnya mencapai 9 Ampere, yang mengakibatkan pada saat suplai PV *Array* dan dengan kabel yang sama dapat membuat kabel menjadi sedikit lebih cepat panas.

- Analisa Perbandingan Nilai Distribusi Tegangan dan Tegangan Jatuh (*Boom)*

Grafik 4.5. Perbandingan Nilai Tegangan Jatuh pada Simulasi Motor *Boom* (Skenario 2)

Grafik 4.6. Perbandingan Nilai Distribusi Tegangan pada Simulasi Motor Boom (Skenario 2)

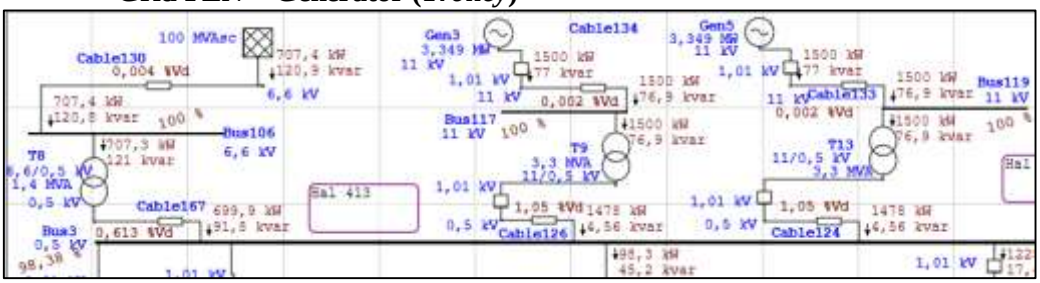
Pada Grafik 4.5, ditampilkan nilai tegangan jatuh atau *drop voltage* yang terjadi selama distribusi menuju beban motor *Boom*.

Tegangan jatuh disebabkan oleh adanya pemasangan kabel pada setiap jalur transmisi. Dengan luas penampang dan jenis kabel yang sama. nilai persentase tegangan jatuh dari suplai *grid* PLN+Generator memiliki nilai yang lebih kecil daripada persentase tegangan jatuh dari PV *Array*. Hal tersebut disebabkan oleh arus yang mengalir pada sistem PV juga lebih besar dari PLN+Generator (0,434% dengan 0,457%). Dengan daya yang sama, maka besarnya tegangan yang didistribusikan berbanding lurus dengan arus yang mengalir pada kabel.

Pada Grafik 4.6, nilai distribusi tegangan tiap bus pada suplai PV *Array* memiliki selisih 5% daripada tegangan dari suplai *grid* PLN+Generator. Hal tersebut dikarenakan oleh keluaran tegangan pada inverter PV *Array* lebih rendah dari keluaran tegangan suplai *grid* PLN+Generator. Penurunan jumlah distribusi voltase pada masing-masing jenis suplai, hingga menjadi sebesar apa yang ditampilkan pada grafik (99,224% dan 94,183%), terjadi akibat adanya pemasangan kabel pada sepanjang jalur distribusi menuju beban motor *Boom*.

4.4.3 Skenario 3 (Motor *Trolley*)

- **Grid PLN + Generator (*Trolley*)**



Gambar 4.53. Tampilan *loadflow* suplai PLN + generator pada ETAP (sisi pembangkitan)
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Tabel 4.13. Nilai aliran daya pada sisi suplai *grid* PLN + generator (skenario 3)

Sisi Pembangkitan								
Trolley Motor								
Branch	From	To	P (kW)	Q (kVAr)	S (kVA)	I (A)	PF (%)	Keterangan
8	Grid U1	Bus 159	707,4	120,9	717,7	62,8	98,57	Dari Sumber PLN 6,6 kV
9	Bus 159	Bus 106	707,4	120,8	717,6	62,8	98,57	Dari 159 menuju 106
10	Bus 106	Bus 176	707,3	121	717,6	62,8	98,57	Dari 106 menuju 176
11	Bus 176	Bus 3	699,9	91,8	705,9	828,5	99,15	Dari 176 menuju Bus Utama
12	Gen3	Bus 161	1500	77	1502	78,8	99,87	Dari Generator 11kV
13	Bus 161	Bus 117	1500	76,9	1502	78,8	99,87	Dari 161 menuju 117
14	Bus 117	Bus 157	1500	76,9	1502	78,8	99,87	Dari 117 menuju 157
15	Bus 157	Bus 3	1478	4,56	1478	1734	100	Dari 157 menuju Bus Utama
16	Gen5	Bus 160	1500	77	1502	78,8	99,87	Dari Generator 11kV
17	Bus 160	Bus 119	1500	76,9	1502	78,8	99,87	Dari 160 menuju 119
18	Bus 119	Bus 156	1500	76,9	1502	78,8	99,87	Dari 119 menuju 156
19	Bus 156	Bus 3	1478	4,56	1478	1734	100	Dari 156 menuju Bus Utama

Pada tabel 4.13, nilai aliran daya pada sisi pembangkitan terdiri dari 1 *grid* 6,6kV 0,707MW dari PLN dengan mode *swing* dan 2 Generator dalam mode *voltage control* 1,5MW. Dengan spesifikasi *grid* PLN dan generator yang sama, menghasilkan output aliran daya yang sama pada tiap langkah motor utama *container crane*. Maka, untuk rugi daya pada sisi pembangkitan dan efisiensi juga menunjukkan hasil yang sama pada tiap simulasi per skenario.

Nilai rugi daya akhir pada *grid* PLN sebesar 7,5 kW, dengan efisiensi sebesar 98,939%. Sedangkan untuk Generator 3 dan Generator 5, masing-masing memiliki nilai rugi daya dan efisiensi yang sama, yaitu 22 kW dan 98,533%.

Maka dari itu, nilai efisiensi daya pada sisi pembangkitan, baik itu dari *Grid* PLN atau dari suplai *voltage control* pada kedua Generator setelah disimulasikan

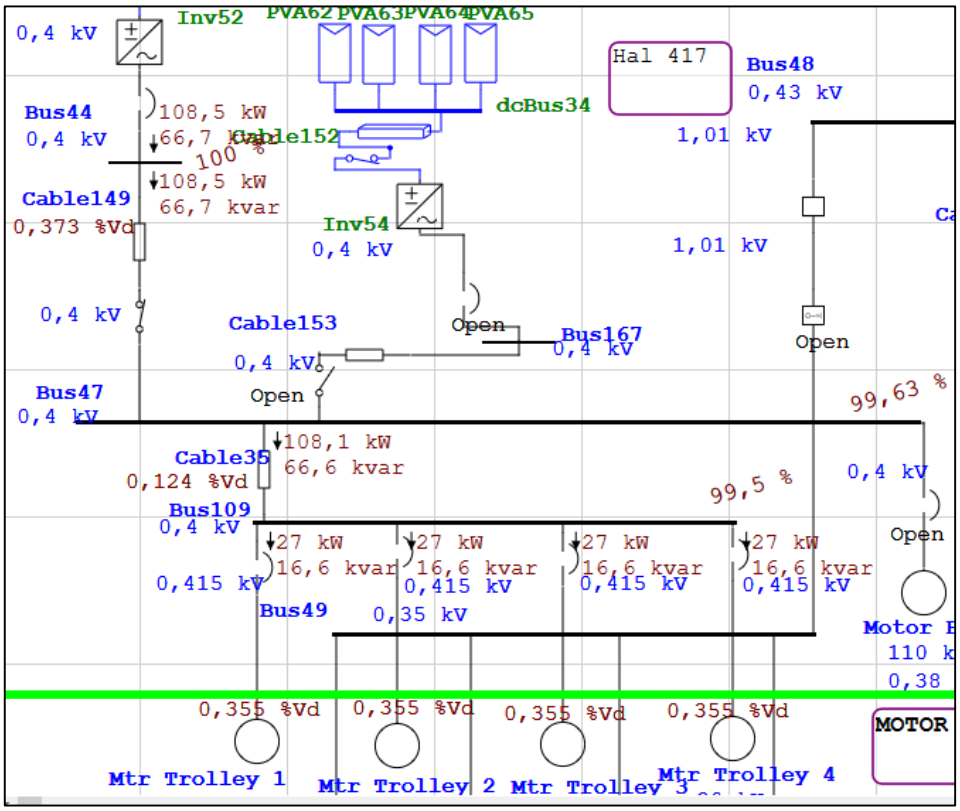
beroperasi sesuai skenario 3 (motor *Trolley*) menghasilkan nilai efisiensi daya yang masih dalam batas standar IEEE, yaitu ≥50%. Sistem dalam keadaan yang aman, stabil dan masih sangat baik apabila dijalankan, ditunjukkan dengan tidak adanya komponen yang berubah warna merah/ungu, hal tersebut menunjukkan bahwa tidak adanya *alert*, baik *marginal* maupun *critical*.

Tabel 4.14. Nilai tegangan jatuh pada sisi suplai *grid* PLN + generator (skenario 3)

DROP TEGANGAN (Grid + Generator)									
Drop Tegangan									
Sisi Pembangkitan									
Branch	**From**	**V nominal (kV)**	**%**	**to**	**V nominal (kV)**	**%**	**Vd (kV)**	**% Vd**	**Keterangan**
8	Grid U1	6,6	100	Bus 159	6,6	100	0	0	**Dari suplai PLN + Generator**
9	Bus 159	6,6	100	Bus 106	6,6	100	0	0,004	melalui Cable130
10	Bus 106	6,6	100	Bus 176	0,5	98,99	-	1	melalui Trafo Step Down T8
11	Bus 176	0,5	98,99	Bus 3	0,492	98,38	0,003	0,613	melalui Cable167
12	Gen3	11	100	Bus 161	11	100	0	0	Dari Generator 11kV
13	Bus 161	11	100	Bus 117	11	100	0	0,002	melalui Cable134
14	Bus 117	11	100	Bus 157	0,5	99,43	-	0,568	melalui Trafo Step Down T9
15	Bus 157	0,5	99,43	Bus 3	0,492	98,38	0,005	1,05	melalui Cable126
16	Gen5	11	100	Bus 160	11	100	0	0	Dari Generator 11kV
17	Bus 160	11	100	Bus 119	11	100	0	0,002	melalui Cable133
18	Bus 119	11	100	Bus 156	0,5	99,43	-	0,568	melalui Trafo Step Down T13
19	Bus 156	0,5	99,43	Bus 3	0,492	98,38	0,005	1,05	melalui Cable124

Pada tabel 4.14 di atas, terdapat nilai dari adanya tegangan jatuh sepanjang sistem kelistrikan untuk sisi pembangkitan saat simulasi motor *trolley*. Rincian dari adanya tegangan jatuh pada *grid* PLN dan kedua generator memiliki nilai yang sama dengan simulasi skenario sebelumnya. Tegangan jatuh pada PLN 6,6kV terjadi sebesar 0,004% dan 0,613%, dan untuk generator 11kV masing-masingnya terjadi tegangan jatuh sebesar 0,002% dan 1,05%.

Dapat diambil kesimpulan bahwa tegangan jatuh yang terjadi dalam sistem suplai sisi pembangkitan untuk skenario 3 masih dalam keadaan yang baik karena masih dalam batas standar IEC yaitu sebesar ≤5%.



Gambar 4.54. Tampilan *loadflow* suplai PLN + generator pada ETAP (motor *Trolley*)
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Tabel 4.15. Nilai aliran daya skenario 3 (motor *trolley*) suplai *grid* PLN + generator

PLN (Sinyal Sinusoidal AC)								
ANALISA DAYA (Grid+Generator)								
Simulasi 3 (TROLLEY)								
Data Besaran Daya								
Branch	**From**	**To**	**P (kW)**	**Q (kVAr)**	**S (kVA)**	**I (A)**	**PF (%)**	**Keterangan**
1	Bus 109	Mtr Trolley 1	27	16,6	31,7	46	85,12	Dari Bus 109 **menuju Motor Trolley 1**
2	Bus 109	Mtr Trolley 2	27	16,6	31,7	46	85,12	Dari Bus 109 **menuju Motor Trolley 2**
3	Bus 109	Mtr Trolley 3	27	16,6	31,7	46	85,12	Dari Bus 109 **menuju Motor Trolley 3**
4	Bus 109	Mtr Trolley 4	27	16,6	31,7	46	85,12	Dari Bus 109 **menuju Motor Trolley 4**
5	Bus 47	Bus 109	108,1	66,6	126,9	183,9	85,13	Dari Bus 47 menuju Bus 109
6	Bus 44	Bus 47	108,5	66,7	127,4	183,9	85,19	Dari Bus 44 menuju Bus 47
7	Inv 52	Bus 44	108,5	66,7	127,4	183,9	85,19	Dari Inverter 52 menuju Bus 44

Pada tabel 4.15, nilai aliran daya pada sisi suplai (*Branch* 7) merupakan nilai daya keluaran dari Inv 52 (Inverter arus DC ke AC). Adapun nilai dari daya aktif (P) menunjukkan angka 108,5 kW, daya reaktif (Q) 66,7 kVAR, daya semu (S) 127,4 kVA, arus (I) 183,9 Ampere, dan pada tegangan 0,4 kV.

Pada cabang transmisi sistem sisi menuju beban (*Branch* 1) menunjukkan nilai aliran daya aktif (P) senilai 27 kW, untuk daya reaktif (Q) 16,6 kVAR, daya semu (S) 31,7 kVA, dan arus (I) sebesar 46 Ampere.

Adapun untuk nilai rugi daya pada aplikasi simulasi ETAP tidak dapat dimunculkan, Maka, nilai rugi daya pada motor *Trolley* dapat dihitung dengan rumus:

$\mathbf{P_{output}} = \mathbf{P_{nameplate\ spek}} = 30$ kW

$\mathbf{P_{input}} = \mathbf{P_{tampilan\ ETAP}} = 27$ kW

Sebagai catatan, pada saat simulasi, diambil nilai *demand factor* sebesar 85% sebagai bahan penelitian tambahan pada tugas akhir kali ini. Sehingga setiap daya yang terbaca pada *nameplate* spesifikasi motor dikalikan dengan nilai sebesar 85%. Maka daya *output* yang dihasilkan oleh motor *Boom* adalah:

$P_{output} = P_{spek}$ x 85%

P_{output_Boom} = 30kW x 0,85

$\mathbf{P_{output_Boom}}$ = 25,5 kW

Sehingga **rugi daya pada motor *Boom*** menjadi:

$P_{loss} = P_{input} - P_{output}$

P_{loss_Boom} = 27 kW – 25,5 kW

$\mathbf{P_{loss_Boom}}$ **= 2,5 kW**

Sedangkan untuk nilai **efisiensi motor *Boom*** menjadi:

Efisiensi $= \frac{P_output}{P_input}$ x 100%

Efisiensi $= \frac{25,5}{27}$ x 100%

Efisiensi$_{Boom}$ = 94,44%

Nilai efisiensi daya pada skenario 3 suplai tegangan AC (motor *Trolley*) masih dalam batas standar IEEE, yaitu ≥50%. Sistem dalam keadaan yang aman, stabil dan masih sangat baik apabila dijalankan, ditunjukkan dengan tidak adanya komponen yang berubah warna merah/ungu, hal tersebut menunjukkan bahwa tidak adanya *alert*, baik *marginal* maupun *critical*.

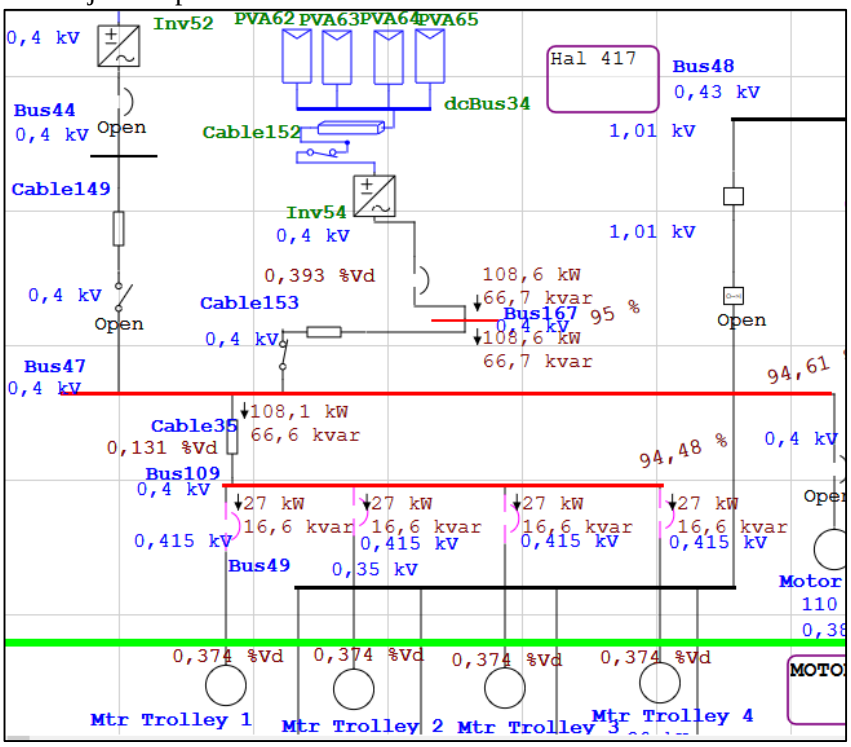
Tabel 4.16. Nilai tegangan jatuh skenario 3 (motor *Trolley*) suplai grid PLN + generator

DROP TEGANGAN (Grid + Generator)									
Drop Tegangan									
Trolley Motor									
Branch	**From**	**V nominal (kV)**	**%**	**to**	**V nominal (kV)**	**%**	**Vd (kV)**	**% Vd**	**Keterangan**
1	Inv 52	0,4	100	Bus 44	0,4	100	0	0	**Dari suplai PLN + Generator**
2	Bus 44	0,4	100	Bus 47	0,399	99,63	0,001	0,373	melalui Cable 149
3	Bus 47	0,399	99,63	Bus 109	0,398	99,5	0,002	0,124	melalui Cable 35
4	Bus 109	0,398	99,5	Mtr Trolley 1	0,397	99,15	0,001	0,355	drop voltage pada Motor Trolley

Pada Tabel 4.16 di atas, terdapat nilai dari adanya tegangan jatuh sepanjang sistem kelistrikan untuk langkah motor *Trolley*. Pada suplai keluaran dari Inv 52 (Inverter arus DC ke AC) memiliki keluaran tegangan sebesar 400 Volt. Selama transmisi daya dan tegangan dalam sistem, terdapat tegangan jatuh hingga menuju beban motor listrik. Output tegangan yang melalui Bus 47, Bus 109 dan motor listrik memiliki besaran tegangan jatuh masing masing sebesar 0,373% , 0,124% dan 0,355%. Sehingga, dapat diambil kesimpulan bahwa tegangan jatuh yang terjadi dalam sistem suplai *grid* PLN+Generator masih dalam keadaan yang baik karena masih dalam batas standar IEC yaitu sebesar ≤5%.

- **PV *Array* (*Trolley*)**

Pada penelitian tugas akhir kali ini dilakukan pemodelan menggunakan suplai arus tegangan DC. Arus dan tegangan DC tersebut diubah kembali menjadi arus dan tegangan AC melalui Inverter. Maka rincian aliran daya yang terjadi pada sistem ditunjukkan pada Tabel 4.5.



Gambar 4.55. Tampilan *loadflow* suplai PV pada ETAP (motor *Trolley*)
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Tabel 4.17. Nilai aliran daya skenario 3 (motor Trolley) suplai PV *Array*

PV (Sinyal Kotak DC)								
ANALISA DAYA (PV)								
Simulasi 3 (TROLLEY)								
Data Besaran Daya								
Branch	**From**	**To**	**P (kW)**	**Q (kVAr)**	**S (kVA)**	**I (A)**	**PF (%)**	**Keterangan**
1	Bus 109	Mtr Trolley 1	27	16,6	31,7	48,4	85,13	Dari Bus 109 **menuju Motor Trolley**
2	Bus 109	Mtr Trolley 2	27	16,6	31,7	48,4	85,13	Dari Bus 109 **menuju Motor Trolley**
3	Bus 109	Mtr Trolley 3	27	16,6	31,7	48,4	85,13	Dari Bus 109 **menuju Motor Trolley**
4	Bus 109	Mtr Trolley 4	27	16,6	31,7	48,4	85,13	Dari Bus 109 **menuju Motor Trolley**
5	Bus 47	Bus 109	108,1	66,6	126,9	193,7	85,14	Dari Bus 47 menuju Bus 109
6	Bus 167	Bus 47	108,6	66,7	127,5	193,7	85,19	Dari Bus 44 menuju Bus 47
7	Inv 54	Bus 167	108,6	66,7	127,5	193,7	85,19	Dari Inverter 52 menuju Bus 44

Pada Tabel 4.17, nilai aliran daya pada sisi suplai (*Branch* 7) merupakan nilai daya keluaran dari Inv54 (Inverter arus DC ke AC). Adapun nilai dari daya aktif (P) sebesar 108,6 kW, daya reaktif (Q) 66,7 kVAR, daya semu (S) 127,5 kVA, arus (I) 193,7 Ampere, namun pada tegangan 0,38 kV.

Pada cabang transmisi sistem sisi menuju beban (*Branch* 1) menunjukkan nilai aliran daya aktif (P) senilai 27 kW, untuk daya reaktif (Q) 16,6 kVAR, daya semu (S) 31,7 kVA, dan arus (I) sebesar 48,4 Ampere.

Nilai aliran daya pada suplai arus DC tidak berbeda jauh dengan arus AC, hanya pada arus listrik motor memiliki selisih sebesar 2,4 Ampere.

Adapun untuk nilai rugi daya pada aplikasi simulasi ETAP tidak dapat dimunculkan, Maka, nilai rugi daya pada motor *trolley* dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$\mathbf{P_{output}} = \mathbf{P_{nameplate\ spek}} = 30$ kW

$\mathbf{P_{input}} = \mathbf{P_{tampilan\ ETAP}} = 27$ kW

Sebagai catatan, pada saat simulasi, diambil nilai *demand factor* sebesar 85% sebagai bahan penelitian tambahan pada tugas akhir kali ini. Sehingga setiap daya yang terbaca pada *nameplate* spesifikasi motor dikalikan dengan nilai sebesar 85%. Maka daya *output* yang dihasilkan oleh motor *Boom* adalah:

$P_{output} = P_{spek} \times 85\%$

$P_{output_trolley} = 30\ kW \times 0{,}85$

$\mathbf{P_{output_trolley}} = 25{,}5$ kW

Sehingga **rugi daya pada motor *trolley*** menjadi:

$P_{loss} = P_{input} - P_{output}$

$P_{loss_trolley} = 27\ kW - 25{,}5\ kW$

$\mathbf{P_{loss_trolley} = 2{,}5\ kW}$

Sedangkan untuk **nilai efisiensi motor *trolley*** menjadi:

$\text{Efisiensi} = \frac{P_output}{P_input} \times 100\%$

$\text{Efisiensi} = \frac{25{,}5}{27} \times 100\%$

$\mathbf{Efisiensi_{trolley} = 94{,}44\%}$

Nilai efisiensi daya pada skenario 3 suplai tegangan DC (motor *Trolley*) masih dalam batas standar IEEE, yaitu ≥50%.

Tabel 4.18. Nilai tegangan jatuh skenario 3 (motor *Trolley*) suplai PV *Array*

DROP TEGANGAN (PV)									
Drop Tegangan									
Trolley Motor									
Branch	**From**	**V nominal (kV)**	**%**	**to**	**V nominal (kV)**	**%**	**Vd (kV)**	**% Vd**	**Keterangan**
1	Inv 54	0,38	95	Bus 167	0,38	95	0	0	**Dari suplai PV**
2	Bus 167	0,38	95	Bus 47	0,378	94,607	0,002	0,393	melalui Cable 53
3	Bus 47	0,378	94,607	Bus 109	0,378	94,476	0,001	0,131	melalui Cable 35
4	Bus 109	0,378	94,476	Mtr Trolley 1	0,377	94,102	0,001	0,374	drop voltage pada Motor Trolley

Pada Tabel 4.18 di atas, terdapat nilai dari adanya tegangan jatuh sepanjang sistem kelistrikan untuk langkah motor *Trolley*. Pada suplai keluaran dari Inv 54 (Inverter arus DC ke AC) memiliki keluaran tegangan sebesar 380 Volt. Selama transmisi daya dan tegangan dalam sistem, terdapat tegangan jatuh hingga menuju beban motor listrik. Output tegangan yang melalui Bus 47, Bus 109 dan motor listrik memiliki besaran tegangan jatuh masing masing sebesar 0,393%,

0,131% dan 0,374%. Sehingga, tegangan jatuh yang terjadi dalam sistem masih dalam batas standar IEC yaitu sebesar ≤5%.

Namun, sistem suplai motor *Trolley* dalam keadaan yang kurang optimal apabila dijalankan, ditunjukkan dengan adanya komponen bus yang berwarna merah (*alert critical*) yang menandakan adanya kondisi *under-voltage* pada tiap bus selama suplai PV *Array*. Hal tersebut disebabkan oleh keluaran tegangan inverter berada pada tegangan 0,38 kV, sedangkan sistem distribusi tegangan diharuskan menuju bus yang sama seperti suplai *grid* + generator (0,4 kV).

- Analisa Perbandingan Nilai Aliran Daya Tiap Jenis Suplai (*Trolley*)

Grafik 4.7. Perbandingan Nilai Aliran Daya pada Simulasi Motor *Trolley* (Skenario 3)

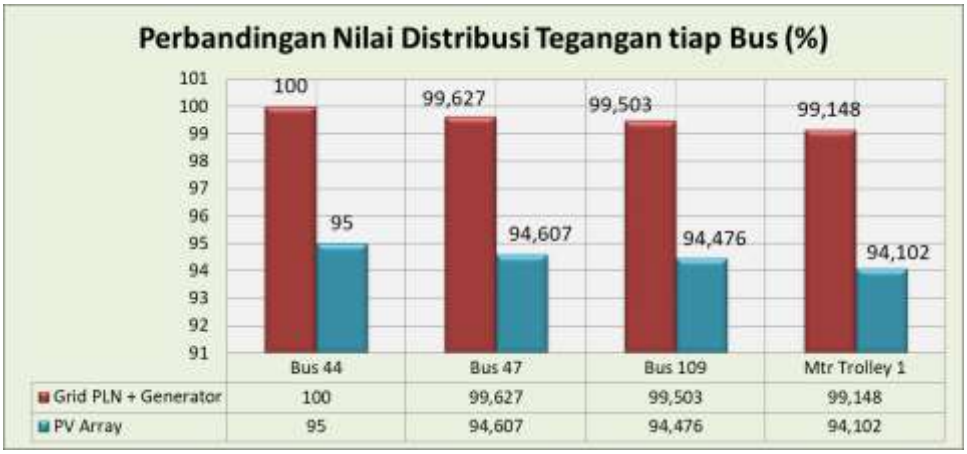
Pada Grafik 4.7, terlihat bahwa baik menggunakan suplai dari *grid* PLN+Generator, maupun suplai dari PV *Array* menampilkan data nilai aliran daya yang tidak jauh berbeda. Hal tersebut disebabkan oleh keluaran inverter dari masing-masing tipe jenis suplai (Inv52 dan Inv54).

Untuk suplai *grid* PLN+Generator, dimasukkan data keluaran tegangan 400 V (sesuai spesifikasi dan bus distribusi tiap motor). Sedangkan untuk suplai PV *Array*, diinput data keluaran tegangan 380 V (sesuai spesifikasi Inverter).

Jadi, walau output daya keduanya sama, namun hal tersebut mengakibatkan selisih pada arus yang mengalir ke motor pada tiap jenis suplai. Pada simulasi motor *Trolley*, suplai *grid* PLN+Generator memiliki arus (I) sebesar 46 Ampere, dan untuk suplai PV *Array* memiliki arus (I) sebesar 48,4 Ampere. Selisih arusnya mencapai 2,4 Ampere, yang mengakibatkan pada saat suplai PV *Array* dan dengan kabel yang sama dapat membuat kabel menjadi sedikit lebih cepat panas.

- Analisa Perbandingan Nilai Distribusi Tegangan dan Tegangan Jatuh (*Trolley*)

Grafik 4.8. Perbandingan Nilai Tegangan Jatuh pada Simulasi Motor *Trolley* (Skenario 3)



Grafik 4.9. Perbandingan Nilai Distribusi Tegangan pada Simulasi Motor *Trolley* (Skenario 3)

Pada Grafik 4.8, ditampilkan nilai tegangan jatuh atau *drop voltage* yang terjadi selama distribusi menuju beban motor *Trolley*.

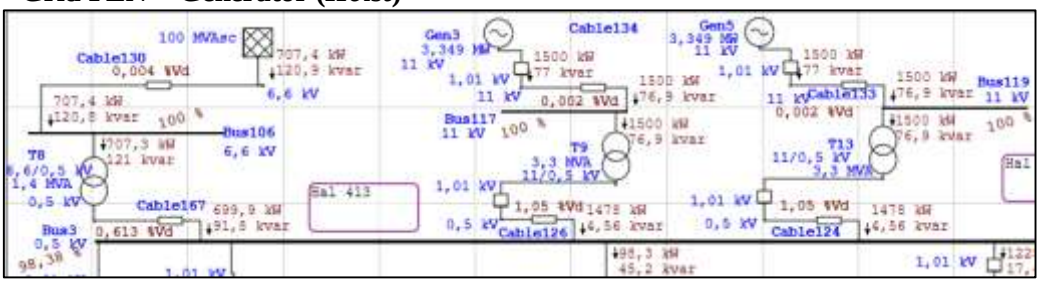
Tegangan jatuh disebabkan oleh adanya pemasangan kabel pada setiap jalur transmisi. Dengan luas penampang dan jenis kabel yang sama. nilai persentase tegangan jatuh dari suplai *grid* PLN+Generator memiliki nilai yang lebih kecil daripada persentase tegangan jatuh dari PV *Array*. Hal tersebut disebabkan oleh arus yang mengalir pada sistem PV juga lebih besar dari PLN+Generator

(0,355% dengan 0,374%). Dengan daya yang sama, maka besarnya tegangan yang didistribusikan berbanding lurus dengan arus yang mengalir pada kabel.

Pada Grafik 4.9, nilai distribusi tegangan tiap bus pada suplai PV *Array* memiliki selisih 5% daripada tegangan dari suplai *grid* PLN+Generator. Hal tersebut dikarenakan oleh keluaran tegangan pada inverter PV *Array* lebih rendah dari keluaran tegangan suplai *grid* PLN+Generator. Penurunan jumlah distribusi voltase pada masing-masing jenis suplai, hingga menjadi sebesar apa yang ditampilkan pada grafik (99,148% dan 94,102%), terjadi akibat adanya pemasangan kabel pada sepanjang jalur distribusi menuju beban motor *Trolley*.

4.4.4 Skenario 4 (Motor *Hoist*)

- Grid PLN + Generator (*Hoist*)



Gambar 4.56. Tampilan *loadflow* suplai PLN + generator pada ETAP (sisi pembangkitan) (Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Tabel 4.19. Nilai aliran daya pada sisi suplai *grid* PLN + generator (skenario 4)

Sisi Pembangkitan								
Hoist Motor								
Branch	From	To	P (kW)	Q (kVAr)	S (kVA)	I (A)	PF (%)	Keterangan
7	Grid U1	Bus 159	707,4	120,9	717,7	62,8	98,57	Dari Sumber PLN 6,6 kV
8	Bus 159	Bus 106	707,4	120,8	717,6	62,8	98,57	Dari 159 menuju 106
9	Bus 106	Bus 176	707,3	121	717,6	62,8	98,57	Dari 106 menuju 176
10	Bus 176	Bus 3	699,9	91,8	705,9	828,5	99,15	Dari 176 menuju Bus Utama
11	Gen3	Bus 161	1500	77	1502	78,8	99,87	Dari Generator 11kV
12	Bus 161	Bus 117	1500	76,9	1502	78,8	99,87	Dari 161 menuju 117
13	Bus 117	Bus 157	1500	76,9	1502	78,8	99,87	Dari 117 menuju 157
14	Bus 157	Bus 3	1478	4,56	1478	1734	100	Dari 157 menuju Bus Utama
15	Gen5	Bus 160	1500	77	1502	78,8	99,87	Dari Generator 11kV
16	Bus 160	Bus 119	1500	76,9	1502	78,8	99,87	Dari 160 menuju 119
17	Bus 119	Bus 156	1500	76,9	1502	78,8	99,87	Dari 119 menuju 156
18	Bus 156	Bus 3	1478	4,56	1478	1734	100	Dari 156 menuju Bus Utama

Pada tabel 4.7, nilai aliran daya pada sisi pembangkitan terdiri dari 1 *grid* 6,6kV 0,707MW dari PLN dengan mode *swing* dan 2 Generator dalam mode *voltage control* 1,5MW. Dengan spesifikasi *grid* PLN dan generator yang sama, menghasilkan output aliran daya yang sama pada tiap langkah motor utama *container crane*. Maka, untuk rugi daya pada sisi pembangkitan dan efisiensi juga menunjukkan hasil yang sama pada tiap simulasi per skenario.

Nilai rugi daya akhir pada *grid* PLN sebesar 7,5 kW, dengan efisiensi sebesar 98,939%. Sedangkan untuk Generator 3 dan Generator 5, masing-masing memiliki nilai rugi daya dan efisiensi yang sama, yaitu 22 kW dan 98,533%.

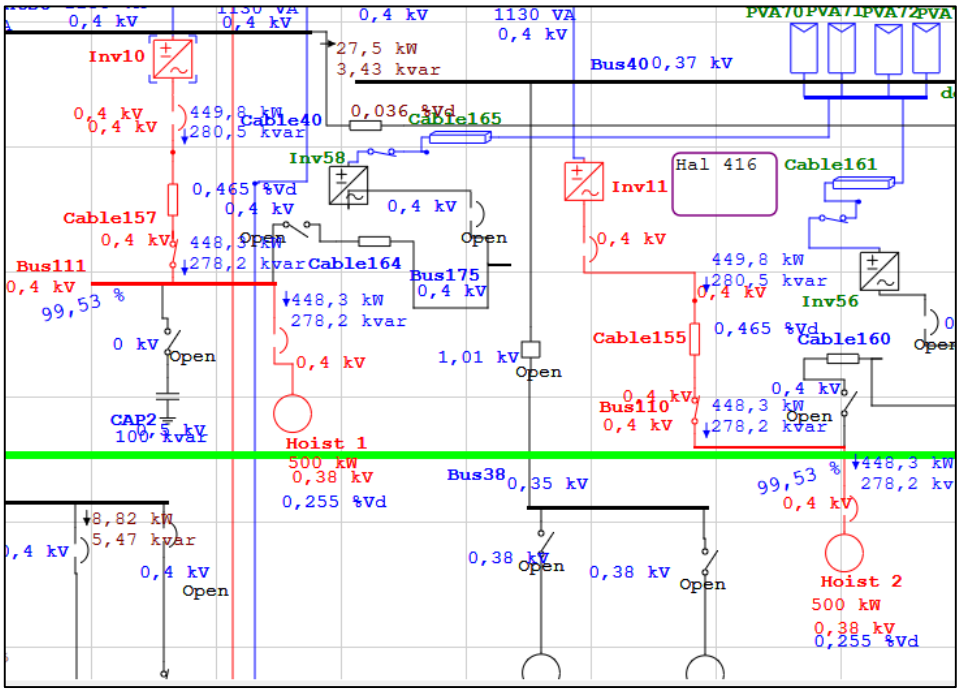
Maka dari itu, nilai efisiensi daya pada sisi pembangkitan, baik itu dari *Grid* PLN atau dari suplai *voltage control* pada kedua Generator setelah disimulasikan beroperasi sesuai skenario 4 (motor *Hoist*) menghasilkan nilai efisiensi daya yang masih dalam batas standar IEEE, yaitu ≥50%. Sistem dalam keadaan yang aman, stabil dan masih sangat baik apabila dijalankan, ditunjukkan dengan tidak adanya komponen yang berubah warna merah/ungu, hal tersebut menunjukkan bahwa tidak adanya *alert,* baik *marginal* maupun *critical*.

Tabel 4.20. Nilai tegangan jatuh pada sisi suplai *grid* PLN + generator (skenario 4)

DROP TEGANGAN (Grid + Generator)									
Drop Tegangan									
Sisi Pembangkitan									
Branch	**From**	**V nominal (kV)**	**%**	**to**	**V nominal (kV)**	**%**	**Vd (kV)**	**% Vd**	**Keterangan**
7	Grid U1	6,6	100	Bus 159	6,6	100	0	0	**Dari suplai PLN + Generator**
8	Bus 159	6,6	100	Bus 106	6,6	100	0	0,004	melalui Cable130
9	Bus 106	6,6	100	Bus 176	0,5	98,99	-	1	melalui Trafo Step Down T8
10	Bus 176	0,5	98,99	Bus 3	0,492	98,38	0,003	0,613	melalui Cable167
11	Gen3	11	100	Bus 161	11	100	0	0	Dari Generator 11kV
12	Bus 161	11	100	Bus 117	11	100	0	0,002	melalui Cable134
13	Bus 117	11	100	Bus 157	0,5	99,43	-	0,568	melalui Trafo Step Down T9
14	Bus 157	0,5	99,43	Bus 3	0,492	98,38	0,005	1,05	melalui Cable126
15	Gen5	11	100	Bus 160	11	100	0	0	Dari Generator 11kV
16	Bus 160	11	100	Bus 119	11	100	0	0,002	melalui Cable133
17	Bus 119	11	100	Bus 156	0,5	99,43	-	0,568	melalui Trafo Step Down T13
18	Bus 156	0,5	99,43	Bus 3	0,492	98,38	0,005	1,05	melalui Cable124

Pada tabel 4.8 di atas, terdapat nilai dari adanya tegangan jatuh sepanjang sistem kelistrikan untuk sisi pembangkitan saat simulasi motor *Hoist*. Rincian dari adanya tegangan jatuh pada *grid* PLN dan kedua generator memiliki nilai yang sama dengan simulasi skenario sebelumnya. Tegangan jatuh pada PLN 6,6kV terjadi sebesar 0,004% dan 0,613%, dan untuk generator 11 kV masing-masingnya terjadi tegangan jatuh sebesar 0,002% dan 1,05%.

Dapat diambil kesimpulan bahwa tegangan jatuh yang terjadi dalam sistem suplai sisi pembangkitan untuk skenario 4 masih dalam keadaan yang baik karena masih dalam batas standar IEC yaitu sebesar ≤5%.



Gambar 4.57. Tampilan *loadflow* suplai PLN + generator pada ETAP (motor *Hoist*)
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Tabel 4.21. Nilai aliran daya skenario 4 (motor *Trolley*) suplai *grid* PLN + generator

PLN (Sinyal Sinusoidal AC)								
ANALISA DAYA (Grid+Generator)								
Simulasi 4 (*HOIST*)								
Data Besaran Daya								
Branch	**From**	**To**	**P (kW)**	**Q (kVAr)**	**S (kVA)**	**I (A)**	**PF (%)**	**Keterangan**
1	Bus 111	Hoist 1	448,3	278,2	527,7	765,2	84,97	Dari Bus 111 **menuju Motor Hoist 1**
2	Bus 170	Bus 111	448,3	278,2	527,7	765,2	84,97	Dari Bus 170 menuju Bus 111
3	Inv10	Bus 170	449,8	280,5	530,1	765,2	84,85	Dari Inverter 10 menuju Bus 170
4	Bus 110	Hoist 2	448,3	278,2	527,7	765,2	84,97	Dari Bus 110 **menuju Motor Hoist 2**
5	Bus 168	Bus 110	448,3	278,2	527,7	765,2	84,97	Dari Bus 168 menuju Bus 110
6	Inv11	Bus 169	449,8	280,5	530,1	765,2	84,85	Dari Inverter 11 menuju Bus 168

Pada Tabel 4.21, nilai aliran daya pada sisi suplai (*Branch* 3 dan 6) merupakan nilai daya keluaran dari masing-masing Inverter (Inv10 dan Inv11). Besaran daya yang dimunculkan memiliki nilai yang sama baik dari motor *Hoist* 1 maupun *Hoist* 2. Adapun nilai dari daya aktif (P) menunjukkan angka 449,8 kW, untuk daya reaktif (Q) 280,5 kVAR, daya semu (S) 530,1 kVA, arus (I) 765,2 Ampere, dan pada tegangan 0,4 kV.

Pada cabang transmisi sistem sisi menuju beban (*Branch* 1 dan 4) menunjukkan nilai aliran daya aktif (P) senilai 448,3 kW, untuk daya reaktif (Q) 278,2 kVAR, daya semu (S) 527,7 kVA, dan arus (I) sebesar 765,2 Ampere.

Adapun untuk nilai rugi daya pada aplikasi simulasi ETAP tidak dapat dimunculkan, Maka, nilai rugi daya per motor *Hoist* dapat dihitung dengan rumus:

$\mathbf{P_{output}} = \mathbf{P_{nameplate\ spek}} = 500$ kW
$\mathbf{P_{input}} = \mathbf{P_{tampilan\ ETAP}} = 448{,}3$ kW

Sebagai catatan, pada saat simulasi, diambil nilai *demand factor* sebesar 85% sebagai bahan penelitian tambahan pada tugas akhir kali ini. Sehingga setiap daya yang terbaca pada *nameplate* spesifikasi motor dikalikan dengan nilai sebesar 85%. Maka daya *output* yang dihasilkan oleh motor *Hoist* adalah:

$P_{output} = P_{spek} \times 85\%$
$P_{output_Hoist} = 500\ kW \times 0{,}85$
$\mathbf{P_{output_Hoist}} = 425$ kW

Sehingga **rugi daya pada motor *Hoist*** menjadi:

$P_{loss} = P_{input} - P_{output}$
$P_{loss_Hoist} = 448{,}3\ kW - 425\ kW$
$\mathbf{P_{loss_Hoist} = 23{,}3\ kW}$

Sedangkan untuk nilai **efisiensi motor *Hoist*** menjadi:

$$\text{Efisiensi} = \frac{P_output}{P_input} \times 100\%$$
$$\text{Efisiensi} = \frac{425}{448{,}3} \times 100\%$$
$$\mathbf{Efisiensi_{Hoist} = 94{,}802\%}$$

Nilai efisiensi daya pada skenario 4 suplai tegangan AC (motor *Hoist*) masih dalam batas standar IEEE, yaitu ≥50%. Sistem dalam keadaan yang aman, stabil dan masih sangat baik apabila dijalankan, ditunjukkan dengan tidak adanya komponen yang berubah warna merah/ungu, hal tersebut menunjukkan bahwa tidak adanya *alert*, baik *marginal* maupun *critical*.

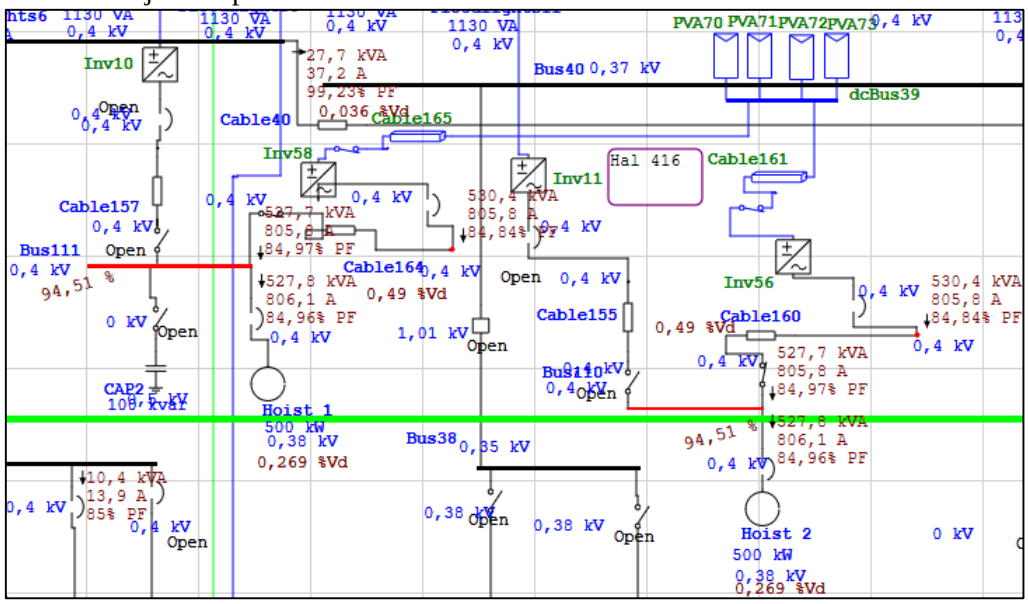
Tabel 4.22. Nilai tegangan jatuh skenario 4 (motor *Hoist*) suplai grid PLN + generator

DROP TEGANGAN (Grid + Generator)									
Drop Tegangan									
Hoist Motor									
Branch	**From**	**V nominal (kV)**	**%**	**to**	**V nominal (kV)**	**%**	**Vd (kV)**	**% Vd**	**Keterangan**
1	Inv 10	0,4	100	Bus 170	0,4	100	0	0	**Dari suplai PLN + Generator**
2	Bus 170	0,4	100	Bus 111	0,398	99,535	0,002	0,465	melalui Cable 157
3	Bus 111	0,398	99,535	Hoist 1	0,397	99,28	0,001	0,255	drop voltage pada Motor Hoist 1
4	Inv 11	0,4	100	Bus 168	0,4	100	0	0	**Dari suplai PLN + Generator**
5	Bus 168	0,4	100	Bus 110	0,398	99,535	0,002	0,465	melalui Cable 155
6	Bus 110	0,398	99,535	Hoist 2	0,397	99,28	0,001	0,255	drop voltage pada Motor Hoist 2

Pada Tabel 4.22 di atas, terdapat nilai dari adanya tegangan jatuh sepanjang sistem kelistrikan untuk langkah motor *Hoist*. Pada suplai keluaran dari Inv 10 dan Inv 11 (Inverter arus DC ke AC) memiliki keluaran tegangan sebesar 400 Volt. Selama transmisi daya dan tegangan dalam sistem, terdapat tegangan jatuh hingga menuju beban motor listrik. Output tegangan jatuh pada Bus 111 dan 110 sebesar 0,465%, lalu pada motor *Hoist* masing-masing sebesar 0,255%. Sehingga, dapat diambil kesimpulan bahwa tegangan jatuh yang terjadi dalam sistem suplai *grid* PLN+Generator masih dalam keadaan yang baik karena masih dalam batas standar IEC yaitu sebesar ≤5%.

- PV Array (*Hoist*)

Pada penelitian tugas akhir kali ini dilakukan pemodelan menggunakan suplai arus tegangan DC. Arus dan tegangan DC tersebut diubah kembali menjadi arus dan tegangan AC melalui Inverter. Maka rincian aliran daya yang terjadi pada sistem ditunjukkan pada Tabel 4.23.



Gambar 4.58. Tampilan *loadflow* suplai PV pada ETAP (motor *Hoist*)
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Tabel 4.23. Nilai aliran daya skenario 4 (motor *Hoist*) suplai PV *Array*

PV (Sinyal Kotak DC)								
ANALISA DAYA (PV)								
Simulasi 4 (*HOIST*)								
Data Besaran Daya								
Branch	**From**	**To**	**P (kW)**	**Q (kVAr**	**S (kVA)**	**I (A)**	**PF (%)**	**Keterangan**
1	Bus 111	Hoist 1	448,5	278,4	527,8	806,1	84,96	Dari Bus 111 **menuju Motor Hoist 1**
2	Bus 175	Bus 111	448,3	278,2	527,7	805,8	84,97	Dari Bus 175 menuju Bus 111
3	Inv58	Bus 175	450	280,8	530,4	805,8	84,84	Dari Inverter 58 menuju Bus 170
4	Bus 110	Hoist 2	448,5	278,4	527,8	806,1	84,96	Dari Bus 110 **menuju Motor Hoist 2**
5	Bus 173	Bus 110	448,3	278,2	527,7	805,8	84,97	Dari Bus 173 menuju Bus 110
6	Inv56	Bus 173	450	280,8	530,4	805,8	84,84	Dari Inverter 56 menuju Bus 173

Pada Tabel 4.23, nilai aliran daya pada sisi suplai (*Branch* 3 dan 6) merupakan nilai daya keluaran dari Inverter (Inv58 dan Inv56). Adapun nilai dari masing-masing output inverter memiliki daya aktif (P) sebesar 450 kW, daya reaktif (Q) 280,8 kVAR, daya semu (S) 530,4 kVA, arus (I) 805,8 Ampere, namun pada tegangan 0,38 kV.

Pada cabang transmisi sistem sisi menuju beban (*Branch* 1 dan 4) menunjukkan nilai aliran daya aktif (P) sebesar 448,5 kW, daya reaktif (Q) 278,4 kVAR, daya semu (S) 527,8 kVA, dan arus (I) sebesar 806,1 Ampere.

Nilai aliran daya pada suplai arus DC tidak berbeda jauh dengan arus AC, hanya pada arus listrik motor memiliki selisih sebesar 40,9 Ampere.

Adapun untuk nilai rugi daya pada aplikasi simulasi ETAP tidak dapat dimunculkan, Maka, nilai rugi daya pada motor *Hoist* dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$\mathbf{P_{output}} = \mathbf{P_{nameplate\ spek}} = 500$ kW

$\mathbf{P_{input}} = \mathbf{P_{tampilan\ ETAP}} = 448{,}5$ kW

Sebagai catatan, pada saat simulasi, diambil nilai *demand factor* sebesar 85% sebagai bahan penelitian tambahan pada tugas akhir kali ini. Sehingga setiap daya yang terbaca pada *nameplate* spesifikasi motor dikalikan dengan nilai sebesar 85%. Maka daya *output* yang dihasilkan oleh motor *Boom* adalah:

$P_{output} = P_{spek} \times 85\%$

$P_{output_Hoist} = 500\ kW \times 0{,}85$

$\mathbf{P_{output_Hoist}} = 425$ kW

Sehingga rugi daya pada motor menjadi:

$P_{loss} = P_{input} - P_{output}$

$P_{loss_Hoist} = 448{,}5\ kW - 425\ kW$

$\mathbf{P_{loss_Hoist} = 23{,}5\ kW}$

Sedangkan untuk nilai efisiensi motor *Boom*-nya menjadi:

$$\text{Efisiensi} = \frac{P_output}{P_input} \times 100\%$$

$$\text{Efisiensi} = \frac{425}{448{,}5} \times 100\%$$

$\mathbf{Efisiensi_{Hoist} = 94{,}76\%}$

Nilai efisiensi daya pada skenario 4 suplai tegangan DC (motor *Hoist*) masih dalam batas standar IEEE, yaitu ≥50%.

Tabel 4.24. Nilai tegangan jatuh skenario 4 (motor *Hoist*) suplai PV *Array*

DROP TEGANGAN (PV)									
Drop Tegangan									
Hoist Motor									
Branch	**From**	**V nominal (kV)**	**%**	**to**	**V nominal (kV)**	**%**	**Vd (kV)**	**% Vd**	**Keterangan**
1	Inv 58	0,38	95	Bus 170	0,38	95	0	0	**Dari suplai PV Array**
2	Bus 170	0,38	95	Bus 111	0,378	94,51	0,002	0,49	melalui Cable 157
3	Bus 111	0,378	94,51	Hoist 1	0,376	94,241	0,002	0,269	drop voltage pada Motor Hoist 1
4	Inv 56	0,38	95	Bus 168	0,38	95	0	0	**Dari suplai PV Array**
5	Bus 168	0,38	95	Bus 110	0,378	94,51	0,002	0,49	melalui Cable 155
6	Bus 110	0,378	94,51	Hoist 2	0,376	94,241	0,002	0,269	drop voltage pada Motor Hoist 2

Pada Tabel 4.24, terdapat nilai dari adanya tegangan jatuh sepanjang sistem kelistrikan untuk langkah motor *Hoist*. Pada suplai keluaran dari Inverter (Inv58 dan Inv56) memiliki keluaran tegangan sebesar 380 Volt. Selama transmisi daya dan tegangan dalam sistem, terdapat tegangan jatuh hingga menuju beban motor listrik. Output tegangan pada Bus 111 dan Bus 110 memiliki nilai tegangan jatuh sebesar 0,49%, dan output tegangan pada yang berada pada masing-masing motor *Hoist* memiliki nilai tegangan jatuh sebesar 0,269%.

Sehingga, tegangan jatuh yang terjadi dalam sistem masih dalam batas standar IEC yaitu sebesar ≤5%.

Namun, sistem suplai motor *Hoist* dalam keadaan yang kurang optimal apabila dijalankan, ditunjukkan dengan adanya komponen bus yang berwarna merah (*alert critical*) yang menandakan adanya kondisi *under-voltage* pada tiap bus selama suplai PV *Array*. Hal tersebut disebabkan oleh keluaran tegangan inverter berada pada tegangan 0,38 kV, sedangkan sistem distribusi tegangan diharuskan menuju bus yang sama seperti suplai *grid* + generator (0,4 kV).

- Analisa Perbandingan Nilai Aliran Daya Tiap Jenis Suplai (*Hoist*)

Grafik 4.10. Perbandingan Nilai Aliran Daya pada Simulasi Motor *Hoist* (Skenario 4)

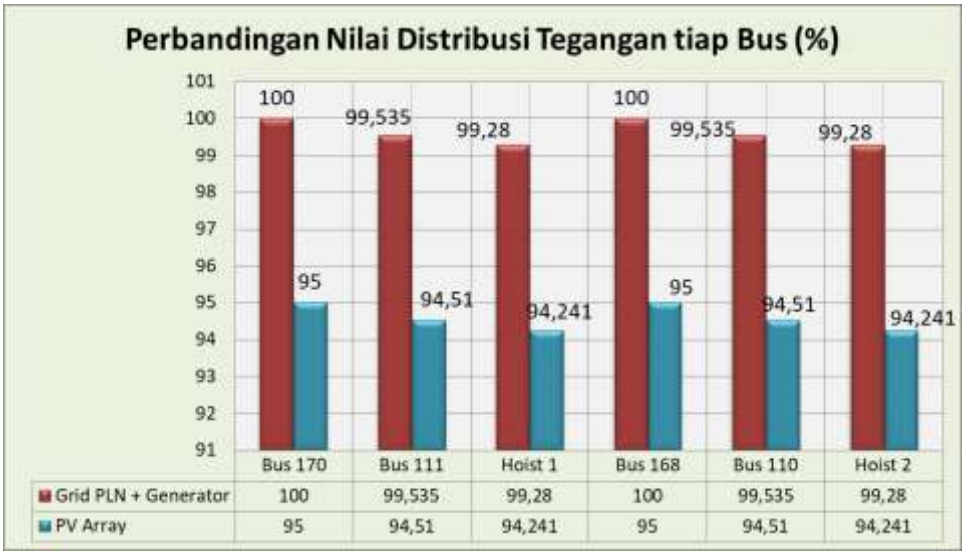
Pada Grafik 4.10, terlihat bahwa baik menggunakan suplai dari *grid* PLN+Generator, maupun suplai dari PV *Array* menampilkan data nilai aliran daya yang tidak jauh berbeda. Hal tersebut disebabkan oleh keluaran inverter dari masing-masing tipe jenis suplai (Inv10 dan Inv11 untuk *grid* PLN+Generator, serta Inv56 dan Inv58 untuk PV *Array*).

Untuk suplai *grid* PLN+Generator, dimasukkan data keluaran tegangan 400 V (sesuai spesifikasi dan bus distribusi tiap motor). Sedangkan untuk suplai PV *Array*, diinput data keluaran tegangan 380 V (sesuai spesifikasi Inverter).

Jadi, walau output daya keduanya sama, namun hal tersebut mengakibatkan selisih pada arus yang mengalir ke motor pada tiap jenis suplai. Pada simulasi motor *Hoist*, suplai *grid* PLN+Generator memiliki arus (I) sebesar 765,2 Ampere, dan untuk suplai PV *Array* memiliki arus (I) sebesar 806,1. Selisih arusnya mencapai 40,9 Ampere, yang mengakibatkan pada saat suplai PV *Array* dan dengan kabel yang sama dapat membuat kabel menjadi sedikit lebih cepat panas.

- Analisa Perbandingan Nilai Distribusi Tegangan dan Tegangan Jatuh (*Hoist)*

Grafik 4.11. Perbandingan Nilai Tegangan Jatuh pada Simulasi Motor Hoist (Skenario 4)



Grafik 4.12. Perbandingan Nilai Distribusi Tegangan pada Simulasi Motor *Hoist* (Skenario 4)

Pada Grafik 4.11, ditampilkan nilai tegangan jatuh atau *drop voltage* yang terjadi selama distribusi menuju beban motor *Hoist*.

Tegangan jatuh disebabkan oleh adanya pemasangan kabel pada setiap jalur transmisi. Dengan luas penampang dan jenis kabel yang sama. nilai persentase tegangan jatuh dari suplai *grid* PLN+Generator memiliki nilai yang lebih kecil daripada persentase tegangan jatuh dari PV *Array*. Hal tersebut disebabkan oleh arus yang mengalir pada sistem PV juga lebih besar dari PLN+Generator (0,255% dengan 0,269%). Dengan daya yang sama, maka besarnya tegangan yang didistribusikan berbanding lurus dengan arus yang mengalir pada kabel.

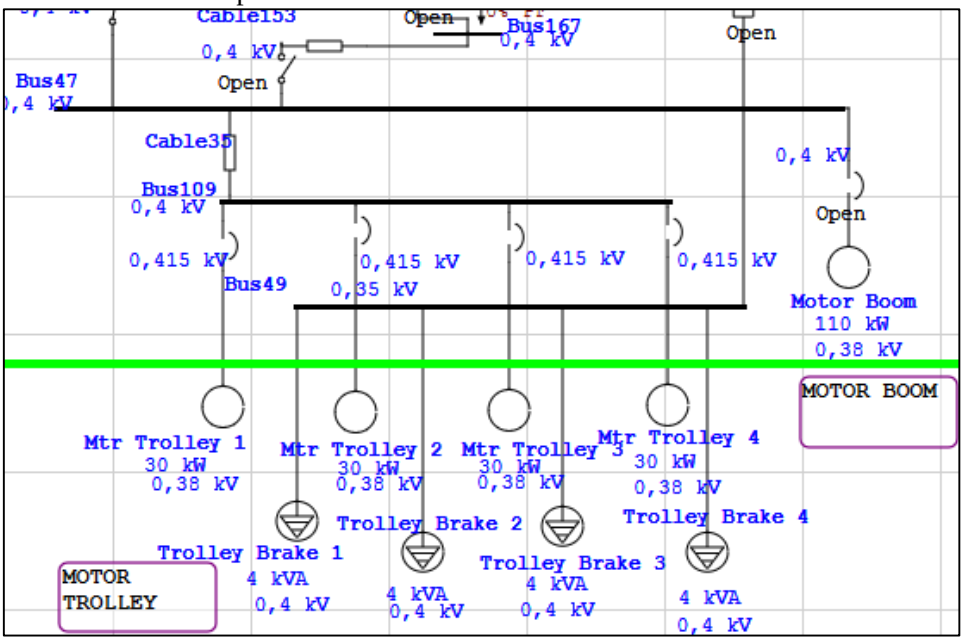
Pada Grafik 4.12, nilai distribusi tegangan tiap bus pada suplai PV *Array* memiliki selisih 5% daripada tegangan dari suplai *grid* PLN+Generator. Hal tersebut dikarenakan oleh keluaran tegangan pada inverter PV *Array* lebih rendah dari keluaran tegangan suplai *grid* PLN+Generator. Penurunan jumlah distribusi voltase pada masing-masing jenis suplai, hingga menjadi sebesar apa yang ditampilkan pada grafik (99,28% dan 94,241%), terjadi akibat adanya pemasangan kabel pada sepanjang jalur distribusi menuju beban motor *Hoist*.

4.4.5 Skenario 5 (Motor *Trolley* + Motor *Hoist*)

Pada simulasi skenario ke-5, diujikan hasil dari kondisi ketika dua motor utama dioperasikan secara bersamaan, yaitu motor *trolley* dan motor *hoist*. Setelah itu dilihat nilai aliran daya yang terjadi pada sistem.

Namun, kedua-duanya menghasilkan nilai aliran daya yang sama dengan saat di-*running* secara masing-masing. Jadi, walaupun dioperasikan secara bersamaan di ETAP, hasil aliran daya maupun distribusi tegangan hingga tegangan jatuh yang ada tidak mempengaruhi satu sama lain.

Apabila dianalisa pada rangkaian dan sistem yang ada di lapangan, hal itu disebabkan oleh lokasi antara motor *trolley* dan motor *hoist* tidak terletak pada bus distribusi yang sama. Jadi kedua motor tersebut masih aman saat dioperasikan bersamaan.



Gambar 4.59. Lokasi bus motor *trolley* pada ETAP
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Pada Gambar 4.59, terlihat bahwa bus motor *trolley* menjadi satu jalur pada Bus 47. Apabila ada analisa tambahan, bisa diujikan kondisi operasi motor *trolley* dan *boom* di-*running* bersamaaan. Sehingga bisa dianalisa pada Bus 47 apa saja yang terjadi jika keduanya dioperasikan.

4.5 Total Kebutuhan Daya

Total kebutuhan daya pada tiap langkah gerak utama motor berbeda-beda, sesuai dengan spesifikasi yang ada untuk setiap motor *container crane*.

Untuk motor ***gantry***, terdapat 8 motor *gantry seaside* dan 8 motor *gantry landside* dengan spesifikasi daya *output* masing-masing sebesar 22 kW. Dengan *demand factor* sebesar 85% maka daya *output* masing-masing hanya 18,7 kW. Maka total kebutuhan daya motor *gantry* sebesar, 18,7 kW × 16 = 352 kW. Sedangkan, pada Tabel 4.3, tiap motor *gantry* memiliki daya input motor sebesar 19,8 kW. **Sehingga total suplai daya *input* menjadi 19,8 × 16 = 317,2 kW**.

Untuk motor ***boom***, terdapat 1 motor *boom* saja, dengan spesifikasi daya *output* sebesar 110 kW. Dengan *demand factor* sebesar 85% maka daya *output* menjadi hanya 93,5 kW. Maka total kebutuhannya sebesar 93,5 kW. Sedangkan, pada Tabel 4.9, motor *boom* memiliki daya *input* motor sebesar 99 kW. **Sehingga total suplai daya *input* = 99 kW.**

Untuk motor ***trolley***, terdapat 4 motor *trolley* dengan spesifikasi daya *output* masing-masing sebesar 30 kW. Dengan *demand factor* sebesar 85% maka daya *output* masing-masing hanya 25,5 kW. Maka total kebutuhan daya motor *gantry* sebesar, 25,5 kW × 4 = 102 kW. Sedangkan, pada Tabel 4.15, tiap motor *trolley* memiliki daya input motor sebesar 27 kW. **Sehingga total suplai daya *input* menjadi 27 × 4 = 108 kW**.

Untuk motor ***hoist***, terdapat 2 motor *hoist* dengan spesifikasi daya *output* masing-masing sebesar 500 kW. Dengan *demand factor* sebesar 85% maka daya *output* masing-masing hanya 425 kW. Namun, karena peletakan antar motor *hoist* pada bus yang berbeda, maka total kebutuhan daya motor *hoist* besarnya sama dengan kebutuhan masing-masing yaitu 425 kW. Sedangkan, pada Tabel 4.21, tiap motor *hoist* memiliki daya input motor sebesar 448,3 kW. **Namun, karena peletakan antar motor *hoist* pada bus yang berbeda, maka total suplai daya *input* menjadi sama dengan 448,3 kW**.

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Setelah tahapan simulasi dan analisa hasil yang didapat, maka dapat diambil beberaa kesimpulan, antara lain:

1. Hasil simulasi dengan suplai panel surya dari PV *Array* ETAP, dari semua skenario yang telah dicoba menghasilkan beberapa nilai aliran daya yang berbeda-beda. Baik itu daya aktif, maupun efisiensi daya, hingga rugi daya yang terdapat dalam sistem. Pada simulasi skenario 1 (motor *gantry*) memiliki nilai rugi daya sebesar 1,1 kW dengan efisiensi daya sebesar 94,44%. Tegangan jatuh pada motor sebesar 0,274%. Pada simulasi skenario 2 (motor *boom*) memiliki nilai rugi daya sebesar 5,6 kW dengan efisiensi daya sebesar 94,4%. Tegangan jatuh pada motor sebesar 0,457%. Pada simulasi skenario 3 (motor *trolley*) memiliki nilai rugi daya sebesar 2,5 kW dengan efisiensi daya sebesar 94,44%. Tegangan jatuh pada motor sebesar 0,374%. Pada simulasi skenario 4 (motor *hoist*) memiliki nilai rugi daya sebesar 23,5 kW dengan efisiensi daya sebesar 94,76%. Tegangan jatuh pada motor sebesar 0,269%.

2. Simulasi menggunakan suplai PV *Array* menghasilkan output, baik daya maupun tegangan, yang selalu lebih rendah nilainya dibandingkan suplay PLN+Generator. Selisihnya selalu di antara 5%, karena PV menghasilkan tegangan 380 Volt, PLN+Generator pada 400 Volt. Walaupun begitu, suplai PV masih masuk standar yang berlaku. Suplai PV untuk efisiensi daya masih ≥50%, sesuai dari batas minimal dari IEEE. Sedangkan suplai PV untuk tegangan jatuh juga masih masuk standar IEC ≤5%. Perbandingan antara PV *Array* dan PLN+Generator menghasilkan aliran daya yang tidak jauh berbeda. Perbedaan yang lebih besar ada di arus yang mengalir dalam sistem. Pada rangkaian suplai PV, dengan kabel yang sama, menghasilkan arus yang lebih besar pada tiap simulasi skenario. Hal ini disebabkan karena tegangan PV lebih rendah sedangkan daya yang dibutuhkan oleh motor tetap.

3. Pada simulasi skenario 5, motor *trolley* dan *hoist*, sudah masuk di analisa seperti langkah bekerja masing-masing motor. Dalam artian, motor dapat bekerja sendiri-sendiri dan tidak saling mempengaruhi satu sama lain karena terletak pada bus distribusi yang berbeda pada ETAP maupun pada *one-line diagram* dari *container crane*.

5.2 Saran

Dalam studi aliran daya pada *container crane* berbasis simulasi ETAP ini terjadi beberapa kendala seperti saat pemodelan, simulasi, dan pengambilan data. Oleh karena itu, berikut terdapat beberapa saran yang dapat dipertimbangkan dan diperhatikan untuk penelitian ini selanjutnya

1. Pada saat ingin melanjutkan penelitian aliran daya pada objek *container crane* ini, sebaiknya dicoba menggunakan aplikasi simulasi yang lain apabila memungkinkan
2. Sebaikya dilakukan pemodelan suplai panel surya untuk motor listrik secara eksperimen. Serta mempertimbangkan aspek ekonomis dan alokasi peletakan PV *Array* di lapangan.
3. Sebelum melakukan simulasi atau praktik eksperimen, sebaiknya melengkapi spesifikasi dari tiap komponen sistem kelistrikan, seperti kabel, motor, *inverter*, *circuit breaker*, *generator*, trafo dan sebagainya, guna mendapatkan data yang lebih akurat
4. Apabila terdapat tambahan, dapat dimasukkan skenario 5 yang pada penelitian ini tidak dapat dianalisa, untuk menjadi topik pembahasan yang baru. Baik itu *trolley+boom* atau langkah motor yang lain yang dijalankan bersamaan.

DAFTAR PUSTAKA

Asshanti, F., Masroeri, A, A.. (2017). *Analisa Kebutuhan Daya Listrik Container Crane Dalam Rangka Elektrifikasi Container Crane Untuk Mengoptimalkan Proses Bongkar Muat Di Terminal Petikemas Surabaya*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Catur, R., Sarwito, S. (2019). *Studi Aliran Daya pada Kapal Dynamic Positioning Dalam Berbasis Skala Laboratorium*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

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

IEEE Standards Associations. The IEEE Standards.

Iqbal, M., Sarwito, S., Kusuma, I. R. (2011). *Analisa Kapasitas Daya Listrik Container Crane untuk Optimalisasi Proses Bongkar Muat*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Multa, L., Aridani. P. R. (2013). *Modul Pelatihan ETAP 7.0.0*. Universitas Gadjah Mada Saragi, S. H., Yuningtyastuti. (2012). *Sistem Operasi Container Crane (CC) di Terminal Peti Kemas Semarang.* Universitas Diponegoro

Salman, R., Mustamam., Sinuraya. A. (2015). *Simulasi dan Analisis Aliran Daya pada Sistem Tenaga Listrik Menggunakan Perangkat Lunak Electrical Transient Analyser Program (ETAP) versi 4.0.*

Stevenson, D. W. (2000). *Analisis Sistem Tenaga Listrik.* Erlangga

Wijoyo, S. Y., Halim. F. A. (2018). *Analisis Pemasangan Rooftop Photovoltaic System pada Sistem Elektrikal Bangunan.* Universitas Gadjah Mada

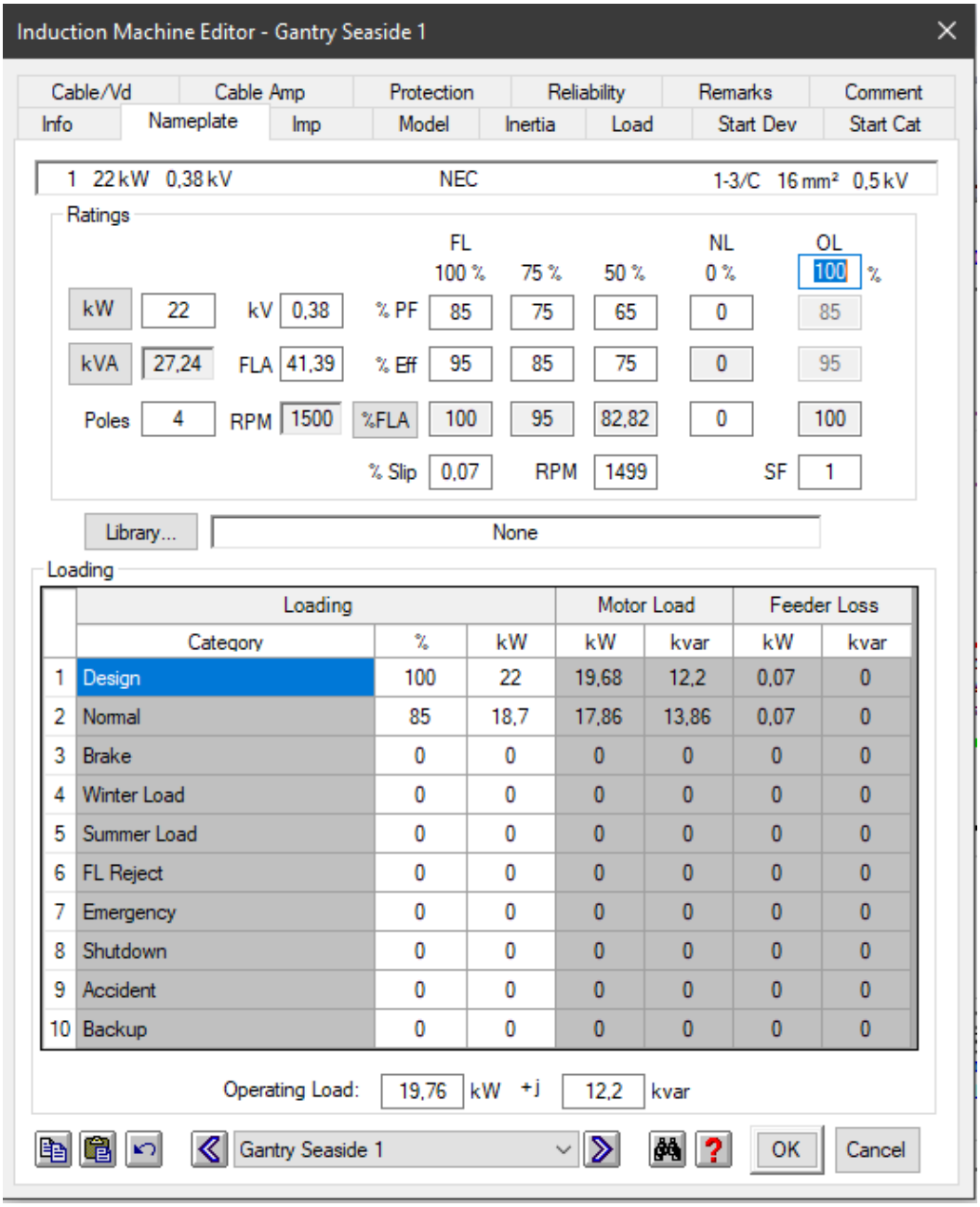
Adhiguna, B., Yandri., Khwee. (2018). *Analisis Tekno Ekonomi Perbandingan Quay Container Crane (QCC) no. 03 dengan Sumber Energi dari Genset dan no. 04 dengan Sumber Energi PLN*.

Elton, S., Sarwito, S., Kurniawan, A. 2017. *Analisa Teknis dan Ekonomis Automatic Stacking Crane di PT. Terminal Teluk Lamong PELINDO III*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

LAMPIRAN

LAMPIRAN 1
INPUT ETAP DATA MOTOR GANTRY



Induction Machine Editor - Gantry Seaside 1

Cable/Vd | Cable Amp | Protection | Reliability | Remarks | Comment
Info | Nameplate | Imp | Model | Inertia | Load | Start Dev | Start Cat

1 22 kW 0,38 kV NEC 1-3/C 16 mm² 0,5 kV

Ratings

				FL 100 %	75 %	50 %	NL 0 %	OL 100 %
kW	22	kV	0,38	% PF	85	75	65	0	85
kVA	27,24	FLA	41,39	% Eff	95	85	75	0	95
Poles	4	RPM	1500	%FLA	100	95	82,82	0	100
				% Slip	0,07	RPM	1499	SF	1

Library... None

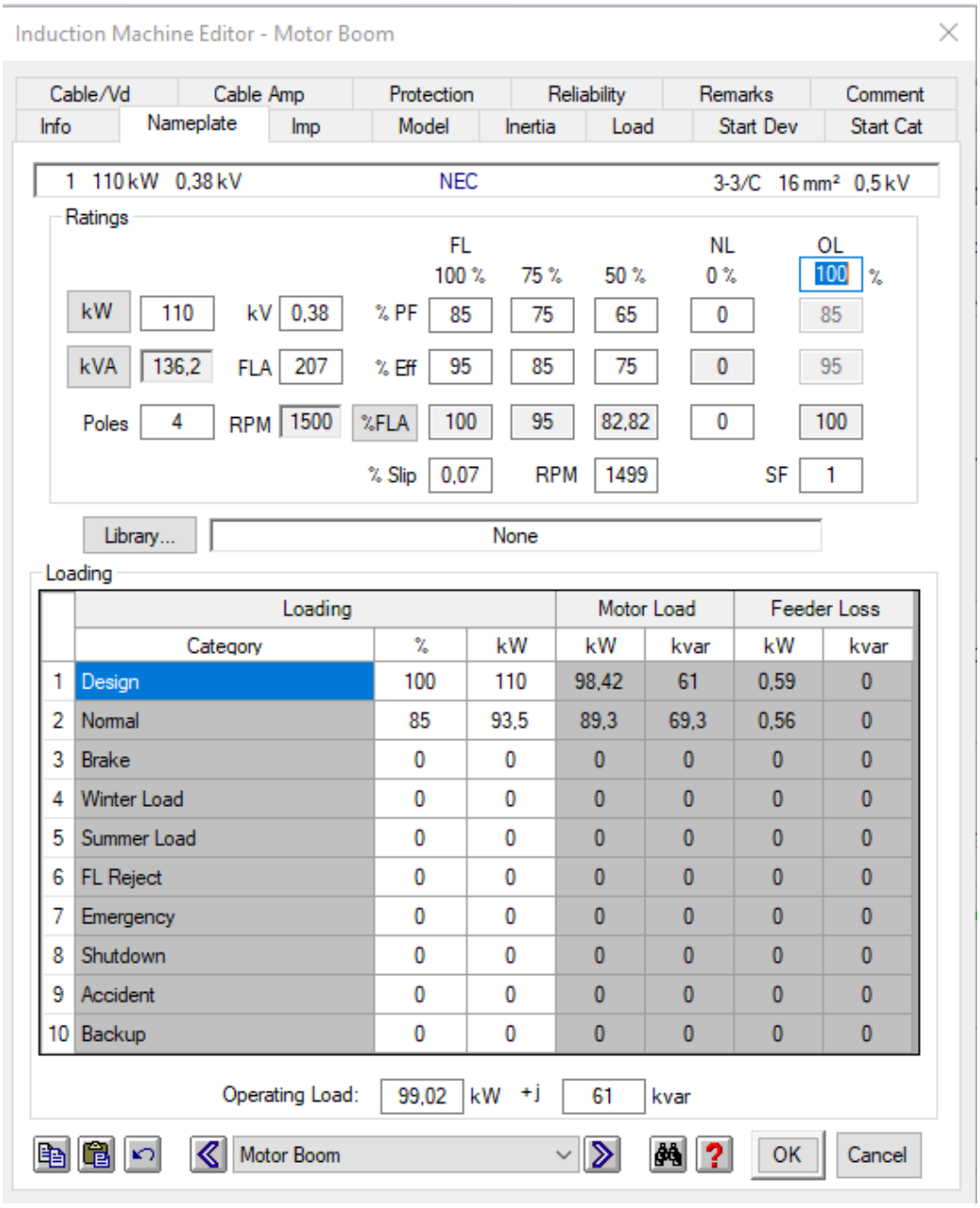
Loading

	Loading			Motor Load		Feeder Loss	
	Category	%	kW	kW	kvar	kW	kvar
1	Design	100	22	19,68	12,2	0,07	0
2	Normal	85	18,7	17,86	13,86	0,07	0
3	Brake	0	0	0	0	0	0
4	Winter Load	0	0	0	0	0	0
5	Summer Load	0	0	0	0	0	0
6	FL Reject	0	0	0	0	0	0
7	Emergency	0	0	0	0	0	0
8	Shutdown	0	0	0	0	0	0
9	Accident	0	0	0	0	0	0
10	Backup	0	0	0	0	0	0

Operating Load: 19,76 kW +j 12,2 kvar

Gantry Seaside 1 OK Cancel

LAMPIRAN 2
INPUT ETAP DATA MOTOR BOOM



Induction Machine Editor - Motor Boom

Cable/Vd | Cable Amp | Protection | Reliability | Remarks | Comment
Info | Nameplate | Imp | Model | Inertia | Load | Start Dev | Start Cat

1 110 kW 0,38 kV NEC 3-3/C 16 mm² 0,5 kV

Ratings

					FL 100 %	75 %	50 %	NL 0 %	OL 100 %
kW	110	kV	0,38	% PF	85	75	65	0	85
kVA	136,2	FLA	207	% Eff	95	85	75	0	95
Poles	4	RPM	1500	%FLA	100	95	82,82	0	100
				% Slip	0,07	RPM	1499	SF	1

Library... None

Loading

	Loading			Motor Load		Feeder Loss	
	Category	%	kW	kW	kvar	kW	kvar
1	Design	100	110	98,42	61	0,59	0
2	Normal	85	93,5	89,3	69,3	0,56	0
3	Brake	0	0	0	0	0	0
4	Winter Load	0	0	0	0	0	0
5	Summer Load	0	0	0	0	0	0
6	FL Reject	0	0	0	0	0	0
7	Emergency	0	0	0	0	0	0
8	Shutdown	0	0	0	0	0	0
9	Accident	0	0	0	0	0	0
10	Backup	0	0	0	0	0	0

Operating Load: 99,02 kW +j 61 kvar

Motor Boom OK Cancel

LAMPIRAN 3

INPUT ETAP DATA MOTOR TROLLEY

Induction Machine Editor - Mtr Trolley 1

Cable/Vd | Cable Amp | Protection | Reliability | Remarks | Comment

Info | Nameplate | Imp | Model | Inertia | Load | Start Dev | Start Cat

1 30 kW 0,38 kV NEC 1-3/C 16 mm² 0,5 kV

Ratings

					FL 100 %	75 %	50 %	NL 0 %	OL 100 %
kW	30	kV	0,38	% PF	85	75	65	0	85
kVA	37,15	FLA	56,45	% Eff	95	85	75	0	95
Poles	4	RPM	1500	%FLA	100	95	82,82	0	100
				% Slip	0,07	RPM	1499	SF	1

Library... None

Loading

	Loading			Motor Load		Feeder Loss	
	Category	%	kW	kW	kvar	kW	kvar
1	Design	100	30	26,84	16,64	0,13	0
2	Normal	85	25,5	24,35	18,9	0,13	0
3	Brake	0	0	0	0	0	0
4	Winter Load	0	0	0	0	0	0
5	Summer Load	0	0	0	0	0	0
6	FL Reject	0	0	0	0	0	0
7	Emergency	0	0	0	0	0	0
8	Shutdown	0	0	0	0	0	0
9	Accident	0	0	0	0	0	0
10	Backup	0	0	0	0	0	0

Operating Load: 26,98 kW +j 16,64 kvar

Mtr Trolley 1 OK Cancel

LAMPIRAN 4
INPUT ETAP DATA MOTOR HOIST

Induction Machine Editor - Hoist 1

Cable/Vd | Cable Amp | Protection | Reliability | Remarks | Comment
Info | Nameplate | Imp | Model | Inertia | Load | Start Dev | Start Cat

1 500 kW 0,38 kV 2-3/C 300 mm² 0,6 kV

Ratings

					FL 100 %	75 %	50 %	NL 0 %	OL 100 %
kW	500	kV	0,38	% PF	85	75	65	0	85
kVA	619,2	FLA	940,8	% Eff	95	85	75	0	95
Poles	4	RPM	1500	%FLA	100	95	82,82	0	100
				% Slip	0,07	RPM	1499	SF	1

Library... None

Loading

	Loading			Motor Load		Feeder Loss	
	Category	%	kW	kW	kvar	kW	kvar
1	Design	100	500	447,4	277,3	0,97	0,98
2	Normal	85	425	405,9	315	0,92	0,94
3	Brake	0	0	0	0	0	0
4	Winter Load	0	0	0	0	0	0
5	Summer Load	0	0	0	0	0	0
6	FL Reject	0	0	0	0	0	0
7	Emergency	0	0	0	0	0	0
8	Shutdown	0	0	0	0	0	0
9	Accident	0	0	0	0	0	0
10	Backup	0	0	0	0	0	0

Operating Load: 448,3 kW +j 278,2 kvar

Hoist 1 OK Cancel

BIODATA PENULIS

Penulis dengan nama lengkap Dodi Fasha, lahir di Surabaya, pada tanggal 1 Februari 1999. Lahir di Surabaya namun penulis pernah menempuh pendidikan kanak-kanak di TK Pertiwi Tegal pada 2002–2003. Setelah itu baru dilanjutkan di TK RA Al-Hidayah Surabaya pada 2003–2004. Lalu, menempuh pendidikan dasar di SD Negeri Beringin 477 Surabaya pada 2004–2010, pendidikan menengah pertama di SMP Negeri 26 Surabaya pada 2010–2013, dan pendidikan menengah atas di SMA Negeri 5 Surabaya pada tahun 2013–2016. Penulis melanjutkan studinya di Departemen Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS pada tahun 2016.

Di bangku perkuliahan penulis aktif berorganisasi dan berkepanitiaan di dalam lingkup kampus. Pada tahun pertama perkuliahan, penulis aktif di kaderisasi institut, fakultas, hingga jurusan. Pada tahun kedua, penulis resmi menjadi Pemandu ITS Samudera X, setelah mengikuti Pelatihan Pemandu LKMM 2017 di tingkat fakultas. Tahun kedua dan tahun ketida perkuliahan penulis pernah mengikuti beberapa kepanitiaan seperti staff Perlengkapan Marine Icon, *big event* departemen, pada 2017 dan 2018, staff Sekolah Budaya ITS EXPO 2017, hingga Pemandu Integralistik Gerigi ITS 2018. Selain kepanitiaan, penulis juga aktif menjadi peserta pelatihan manajerial seperti LKMM Pra-TD 2016, LKMM TD 2017, PP LKMM 2017, hingga LKMM TM 2018. Untuk organisasi, penulis berkesempatan menjadi staff Gardapana Himasiskal 2017-2018 dan Ketua Biro Kepemanduan Fakultas di BEM FTK-ITS 2019.

Tahun ketiga hingga tahun terakhir penulis banyak dihabiskan di LKMM TM ITS. Tahun 2019. Penulis masuk ke dalam tim Pemandu LKMM TM ITS 2019 ‘Aksara’ sebagai fasilitator, dan lanjut di tahun 2020 menjadi Pemandu untuk LKMM TM ITS 2020 ‘Peradaban’. Untuk kegiatan laboratorium, penulis mulai bergabung dengan Laboratorium *Marine Electrical and Automation System* (Lab MEAS) pada tahun keempat, dan menjalani beberapa aktivitas asisten lab untuk praktikum pada umumnya. Hingga akhirnya, *Alhamdulillah*, penulis berhasil menyelesaikan studi strata 1 dalam waktu 8 semester di bidang *Marine Electrical and Automation System*.

Dodi Fasha
fashadodi@gmail.com / Instagram: dodi7fasha/ 085156318977