

Studi Aliran Daya pada *Container Crane* dengan Suplai Energi Terbarukan Berbasis Simulasi

Dodi Fasha, dan Sardono Sarwito

Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

e-mail: sarsar@its.ac.id

Abstrak—Pelabuhan petikemas tak lepas dari proses bongkar muat barangnya. Proses tersebut menggunakan alat berat berbahan bakar kurang ramah lingkungan. Saat ini pelabuhan petikemas di dunia tengah menerapkan konsep pelabuhan hijau ramah lingkungan (*green port*). Pengoperasian segala alat industri maupun produksi diusahakan dapat mengurangi jumlah polusi. Maka muncul konsep bahan bakar yang dapat diperbarui, seperti matahari, angin, dan sumber daya alam lain yang dapat menunjang terciptanya konsep pelabuhan ramah lingkungan. *Container crane* di pelabuhan menjadi alat berat utama dalam proses bongkar muat. *Crane* umumnya disuplai listrik dari PLN dan generator diesel, namun pada penelitian ini dicoba dengan suplai sumber daya energi terbarukan, seperti panel surya, dengan memodelkan *one-line diagram container crane* menuju pemodelan berbasis aplikasi simulasi ETAP. Kondisi panel surya yang berkarakteristik tegangan, frekuensi *output* yang berbeda dengan energi listrik dari PLN dan generator diesel, perbandingannya dicoba untuk dianalisa. Penelitian kali ini hanya fokus pada aliran daya yang terdapat dalam sistem kelistrikan *container crane*. Baik itu efisiensi tiap motor, rugi daya, hingga tegangan jatuh yang terjadi. Setelah pemodelan dan simulasi, didapatkan hasil bahwa suplai panel surya (PV) cukup bisa digunakan sebagai sumber daya untuk suplai sistem kelistrikan *container crane*. Pada suplai PV kali ini menggunakan *output* tegangan *inverter* sebesar 0,38 kV. Simulasi suplai PV 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 standar IEC dan IEEE. Contohnya 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.

I. PENDAHULUAN

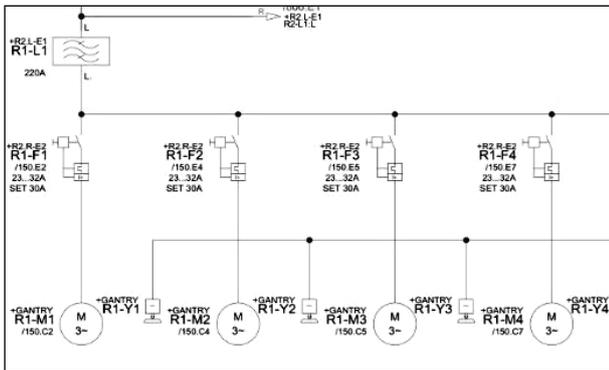
PELABUHAN adalah wilayah industri yang identik dengan aktivitas bongkar muatnya, baik itu muatan curah, dalam kemasan, hingga peti kemas. Aktivitas yang rutin berlangsung setiap harinya itu membuat pelabuhan seperti tidak pernah henti melakukan aktivitas perdagangan dan transportasi muatan dari kapal ke dermaga, dan sebagainya. Hal itu membuat pelabuhan sangat berperan dalam melakukan pencemaran laut dan polusi udara [1]. Berdasar polusi dan pencemaran yang diakibatkannya tersebut, muncullah konsep baru, yaitu konsep *Green Port*. Konsep ‘Pelabuhan Hijau’ *green port* adalah konsep yang menjadi bagian dari komitmen pelabuhan di dunia untuk mengurangi emisi karbon [2].

Datuk Abdul Rahim, Ketua *The 32th Asean Port Association Working Committee* (APA WCM), menegaskan

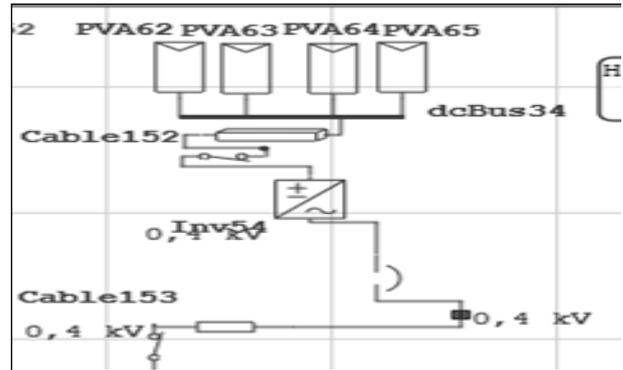
bahwa konsep pelabuhan hijau harus diimplementasikan oleh pelabuhan anggota IMO (*International Maritime Organization*), konsep pelabuhan hijau merupakan salahsatu konsep yang disetujui oleh pelabuhan di dunia dalam mengurangi emisi karbon, serta memberi insentif bagi kapal yang tidak membuang sampah dan mengurangi konsumsi minyak. 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 petikemas 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.

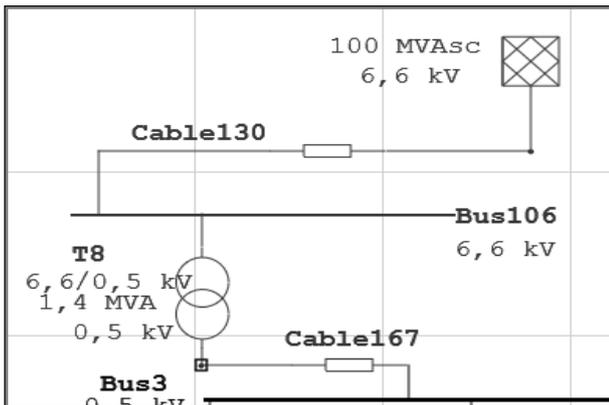
Aliran daya pada tiap motor listrik sistem kelistrikan STS *container crane* harus baik dan sesuai spesifikasi dari alat, agar meminimalisir kemungkinan terjadinya kerusakan pada sistem kelistrikan STS *container crane*. Maka dari itu, pada penelitian kali ini diperlukan adanya studi terkait aliran daya dari suplai daya pembangkit PT. TTL menuju beban yang terdapat pada tiap motor listrik per STS *Container Crane* ini [3]. 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



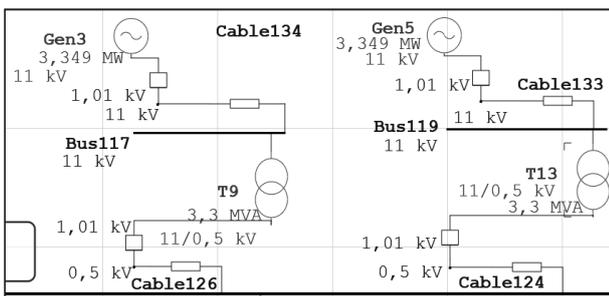
Gambar 1. Contoh single-line diagram STS-crane.



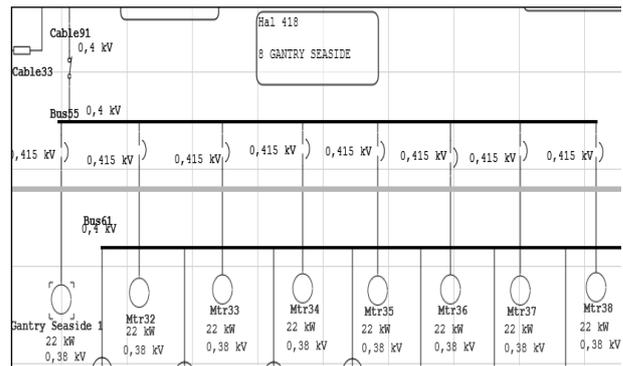
Gambar 4. Contoh tampilan solar-cell ETAP.



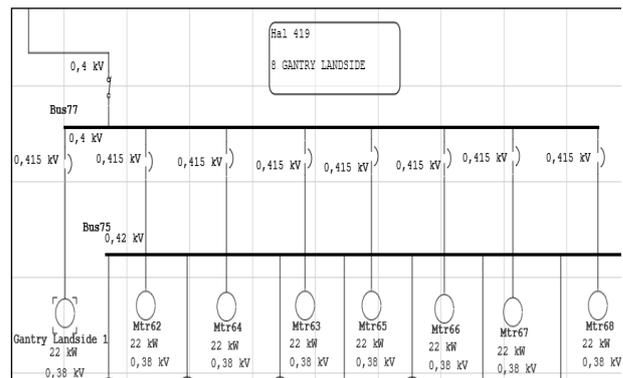
Gambar 2. Tampilan PLN dan trafo utama container crane pada ETAP.



Gambar 3. Tampilan generator (voltage control) container crane pada ETAP.



Gambar 5. Tampilan ETAP motor gantry seaside.



Gambar 6. Tampilan ETAP motor gantry landside.

yang berlaku (IEC dan IEEE) [4]. 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 [5].

II. METODOLOGI PENELITIAN

A. 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*.

B. Studi Literatur

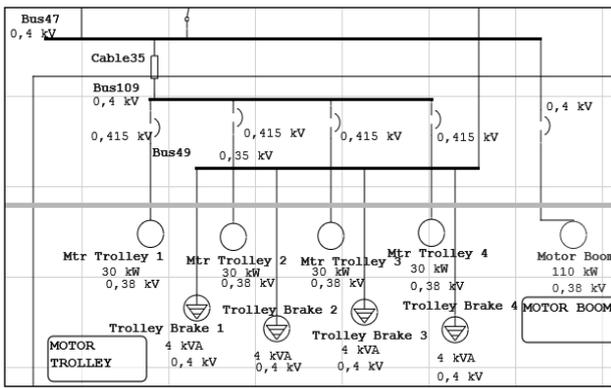
Untuk tahapan studi literatur, dilakukan dengan mencari

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.

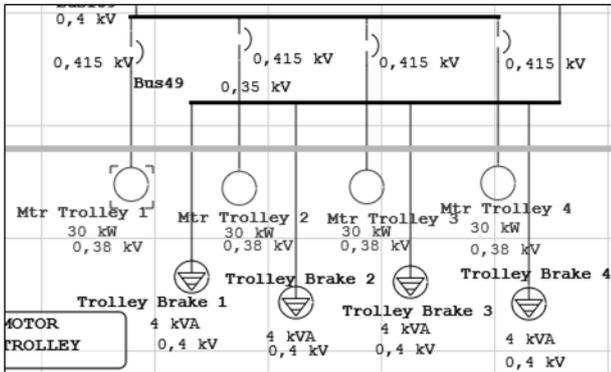
Segala referensi dan literatur seperti jurnal-jurnal maupun buku yang berhubungan dalam pembuatan tugas akhir ini dapat dicari di beberapa tempat seperti: Laboratorium MEAS (*Marine Electrical and Automation System*) milik Departemen Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS, Ruang Baca FTK-ITS, dan Perpustakaan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

C. Pencarian dan Pengumpulan Data

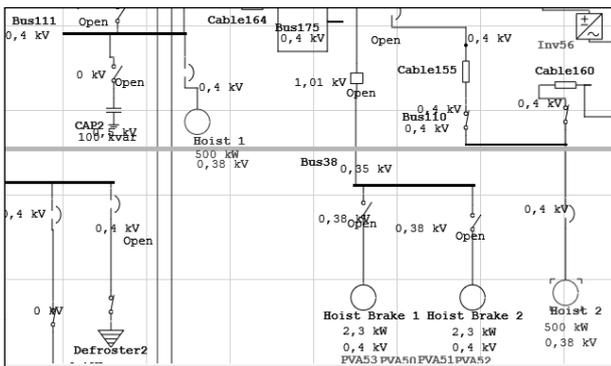
Pada tahap ini, dilakukan beberapa kegiatan yang tujuan utamanya adalah mengumpulkan data primer dari objek penelitian tugas akhir, khususnya pada kasus studi aliran daya pada *container crane* berbasis simulasi ini, beberapa data yang diperoleh antara lain: (1)Data spesifikasi *container crane* STS01 PT. Terminal Teluk Lamong, dan (2)Data *single-line diagram* dari *container crane* STS01.



Gambar 7. Tampilan ETAP motor boom.



Gambar 8. Tampilan ETAP motor trolley.



Gambar 9. Tampilan ETAP motor hoist.

D. 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 ETAP.

E. Simulasi

Pada tahap simulasi, *one-line diagram* sistem kelistrikan *container crane* ETAP dijalankan sesuai skenario tiap beban motor listrik, serta tiap suplai tegangan arus AC dan DC, pada *container crane* yang telah ditentukan sebelumnya [6].

F. Rekapitulasi Data Simulasi

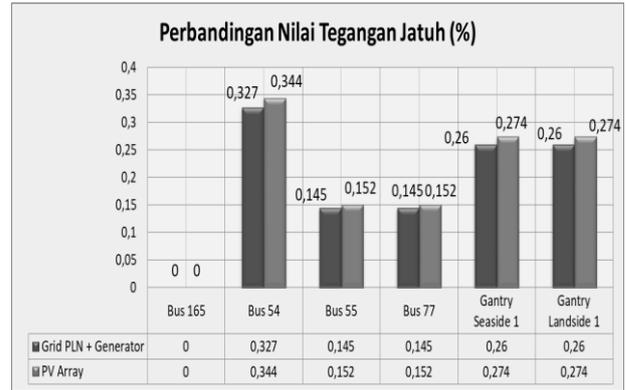
Tahap simulasi telah selesai dilakukan, maka dilanjutkan dengan pencatatan tiap aliran daya, seperti: nilai daya aktif, daya reaktif, daya semu, arus listrik, hingga faktor daya yang ditampilkan pada ETAP.

G. Analisa Hasil dan Pembahasan

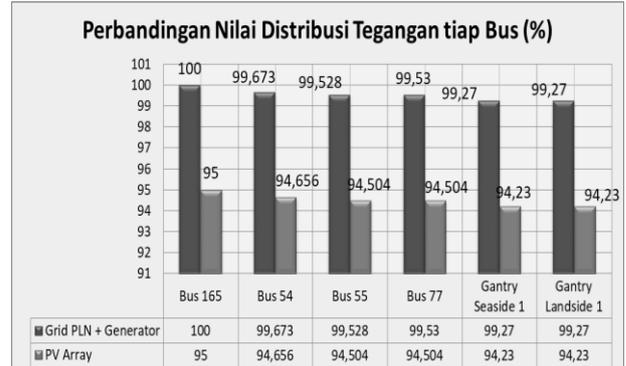
Pada tahap ini, setelah data tiap simulasi dicatat, maka dilakukan pencocokan atau validasi data simulasi dengan aturan atau standar yang berlaku (standar IEEE dan IEC).



Gambar 10. Perbandingan nilai aliran daya motor gantry.



Gambar 11. Perbandingan nilai tegangan jatuh motor gantry.



Gambar 12. Perbandingan nilai distribusi tegangan motor gantry.

Selain itu, apabila di dalam sistem kelistrikan yang telah disimulasikan terdapat yang tidak memenuhi maka akan dilakukan upaya perbaikan [7], yang nanti juga dibahas pada tahapan ini..

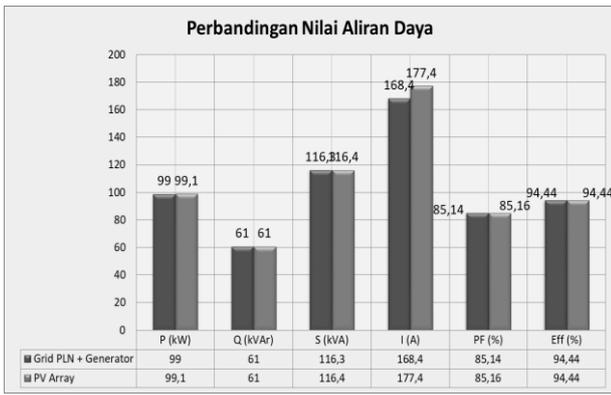
H. Kesimpulan dan Saran

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

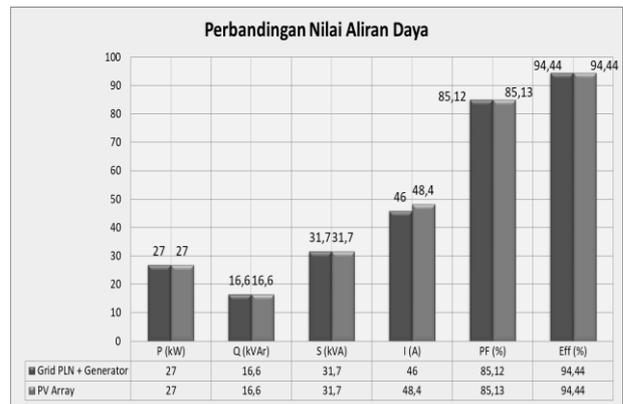
III. ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

A. Pencarian dan Pengumpulan Data

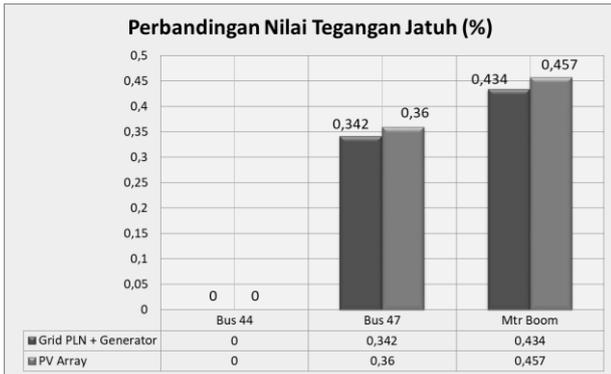
Pada tahap pencarian dan pengumpulan, dilakukan dengan mencari data langsung dari *container crane* STS-01 milik PT. Terminal Teluk Lamong. Data tersebut mencakup spesifikasi dari *container crane* baik dari segi mekanikal maupun elektrikalnya. Data dan spesifikasi terkait bidang elektrikal dari *container crane* terdiri dari spesifikasi elektrikal dari tiap



Gambar 13. Perbandingan nilai aliran daya motor boom.



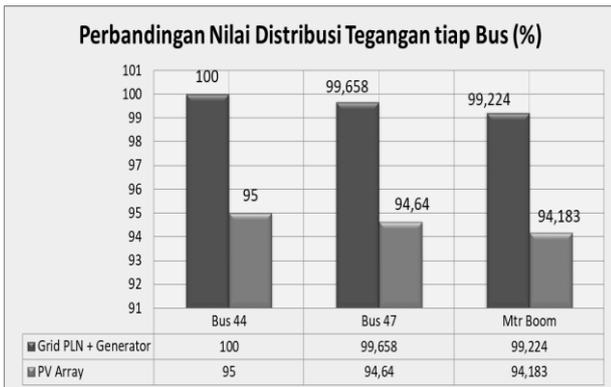
Gambar 16. Perbandingan nilai aliran daya motor trolley.



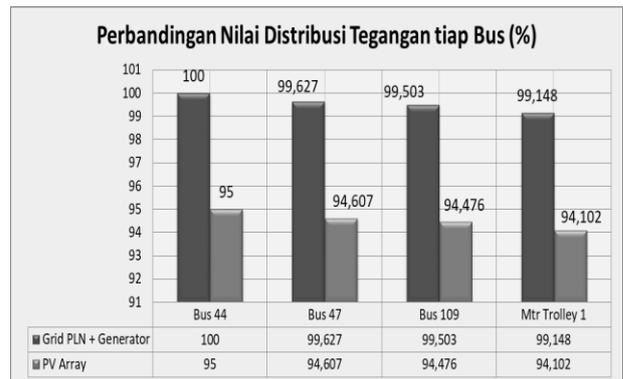
Gambar 14. Perbandingan nilai tegangan jatuh motor boom.



Gambar 17. Perbandingan nilai tegangan jatuh motor trolley.



Gambar 15. Perbandingan nilai distribusi tegangan motor boom.



Gambar 18. Perbandingan nilai distribusi tegangan motor trolley.

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.

B. Single Line Diagram 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 contoh tampilan rangkaian kelistrikan asli daripada diagram *container crane* STS-01 milik PT. Terminal Teluk Lamong ditunjukkan pada Gambar 1.

C. 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. Lalu, untuk suplai PV juga terdiri dari 4 PV Array (1 PV Array berisi 4 panel) [8]. Adapun untuk contoh spesifikasi dan detail skema pemodelan pada bagian suplai ini dapat ditunjukkan pada Gambar 2–4.

1) Motor Gantry

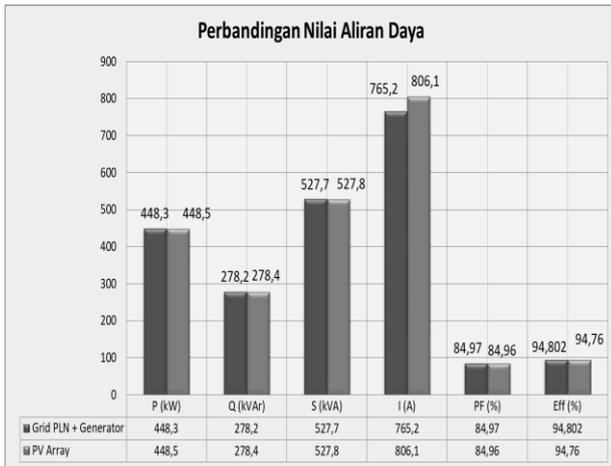
Adapun untuk penggambaran lokasi motor *gantry* pada ETAP, ditunjukkan pada Gambar 5 untuk motor *gantry seaside* dan 6 untuk motor *gantry landside*.

2) Motor Boom

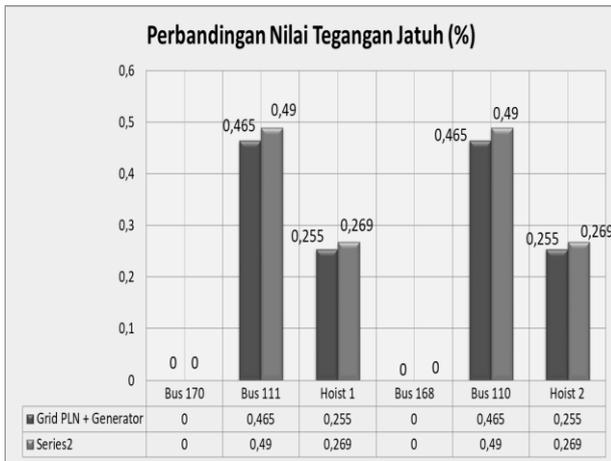
Adapun untuk penggambaran lokasi motor *boom* pada ETAP, ditunjukkan pada Gambar 7.

3) Motor Trolley

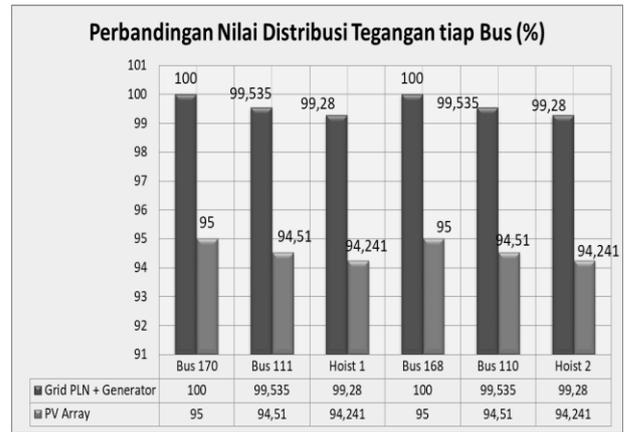
Adapun, untuk tampilan termasuk letak motor *trolley* setelah dimodelkan pada ETAP, ditunjukkan pada Gambar 8.



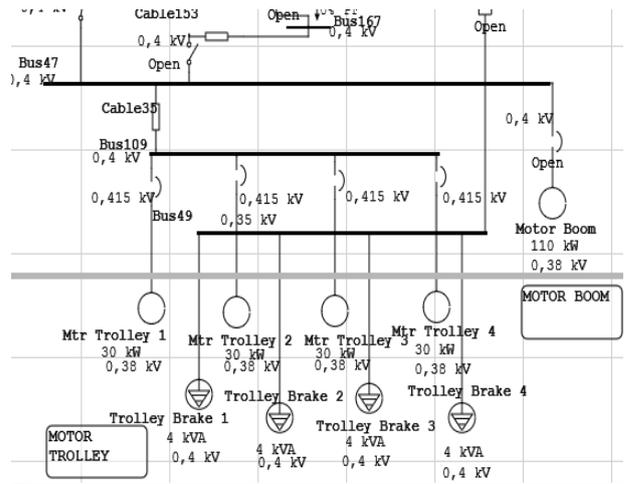
Gambar 19. Perbandingan nilai aliran daya motor hoist.



Gambar 20. Perbandingan nilai tegangan jatuh motor hoist.



Gambar 21. Perbandingan nilai distribusi tegangan motor hoist.



Gambar 22. Letak motor trolley dan motor hoist tidak terletak pada bus yang sama

4) Motor Hoist

Adapun, untuk tampilan termasuk letak motor hoist setelah dimodelkan pada ETAP, ditunjukkan melalui Gambar 9.

5) Motor Trolley dan Motor Hoist (Beroperasi Bersamaan)

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 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.

D. Analisa Hasil dan Pembahasan

1) Skenario 1 (Motor Gantry)

a. Perbandingan Nilai Aliran Daya

Pada Gambar 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 (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 Ampere. 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 [9].

b. Perbandingan Nilai Tegangan Jatuh

Pada Gambar 11, ditampilkan nilai tegangan jatuh (drop voltage) selama distribusi menuju beban motor gantry. 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.

c. Perbandingan Nilai Distribusi Tegangan tiap Bus

Pada Gambar 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 terjadi akibat adanya pemasangan kabel pada sepanjang jalur distribusi menuju beban motor gantry

2) Skenario 2 (Motor Boom)

a. Perbandingan Nilai Aliran Daya

Pada Gambar 13, 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 Ampere. 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.

b. Perbandingan Nilai Tegangan Jatuh

Pada Gambar 14, ditampilkan nilai tegangan jatuh atau *drop voltage* 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.

c. Perbandingan Nilai Distribusi Tegangan tiap Bus

Pada Gambar 15, 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 seperti yang ditampilkan pada gambar (99,224% dan 94,183%), terjadi akibat adanya pemasangan kabel di sepanjang jalur distribusi menuju beban motor *Boom*.

3) Skenario 3 (Motor Trolley)

a. Perbandingan Nilai Aliran Daya

Pada Gambar 16, 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 9 Ampere, yang

mengakibatkan pada saat suplai PV *Array* dan dengan kabel yang sama dapat membuat kabel menjadi sedikit lebih cepat panas.

b. Perbandingan Nilai Tegangan Jatuh

Pada Gambar 17, ditampilkan nilai tegangan jatuh atau *drop voltage* 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.

c. Perbandingan Nilai Distribusi Tegangan tiap Bus

Pada Gambar 18, 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 sepanjang jalur distribusi menuju beban motor *Trolley*.

4) Skenario 4 (Motor Hoist)

a. Perbandingan Nilai Aliran Daya

Pada Gambar 19, 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 Ampere. 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.

b. Perbandingan Nilai Tegangan Jatuh

Pada Gambar 20, ditampilkan nilai tegangan jatuh atau *drop voltage* 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.

c. Perbandingan Nilai Distribusi Tegangan tiap Bus

Pada Gambar 21, 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 di sepanjang jalur distribusi menuju beban motor *Hoist*.

5) Skenario 5 (Motor Trolley dan Hoist Beroperasi Bersamaan)

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, 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. Pada Gambar 22, 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* bersamaan. Sehingga bisa dianalisa pada Bus 47 apa saja yang terjadi jika keduanya dioperasikan.

E. 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, $18,7 \text{ kW} \times 16 = 352 \text{ kW}$. Sedangkan, pada Tabel 4.3, tiap motor *gantry* memiliki daya input motor sebesar 19,8 kW. **Sehingga total suplai daya input menjadi $19,8 \times 16 = 317,2 \text{ kW}$.**

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, $25,5 \text{ kW} \times 4 = 102 \text{ kW}$. Sedangkan, pada Tabel 4.15, tiap motor *trolley* memiliki daya input motor sebesar 27 kW. **Sehingga total suplai daya input menjadi $27 \times 4 = 108 \text{ kW}$.**

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.**

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

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 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 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 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 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%. Simulasi menggunakan suplai PV Array menghasilkan output, baik daya maupun tegangan, yang selalu lebih rendah nilainya dibandingkan suplai 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 $\geq 50\%$, sesuai batas minimal dari IEEE. Sedangkan suplai PV untuk tegangan jatuh juga masih masuk standar IEC $\leq 5\%$. Perbandingan antara PV Array dan PLN+Generator menghasilkan aliran daya yang tidak jauh berbeda. Perbedaan lebih besar ada di arus yang mengalir dalam sistem. Pada rangkaian suplai PV, dengan kabel yang sama, menghasilkan arus yang lebih besar pada tiap skenario. Hal ini disebabkan karena tegangan PV lebih rendah sedangkan daya yang dibutuhkan motor tetap. 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*.

B. 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, antara lain: (1) Pada saat ingin melanjutkan penelitian aliran daya pada objek *container crane* ini, sebaiknya dicoba menggunakan aplikasi simulasi yang lain apabila memungkinkan; (2) Sebaiknya 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

- [1] B. R. Hutagalung, "Dampak aktivitas pelabuhan dan sebaran pencemaran lingkungan pelabuhan tanjung emas semarang dan kawasan sekitarnya," Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia, 2004.
- [2] F. F. Asshanti, "Analisa kebutuhan daya listrik container crane dalam rangka elektrifikasi container crane untuk mengoptimalkan proses bongkar muat di terminal petikemas surabaya," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia, 2017.
- [3] S. Sarwito, S. Semin, B. Zaman, S. Soediby, E. S. Koenhardono, and C. R. Fitriawan, "Studi aliran daya pada kapal dynamic positioning dalam berbasis skala laboratorium," in *Seminar Nasional Kelautan XIV*, 2019, pp. C423–C428.
- [4] IEEE, *IEEE Standards Association (IEEE-SA)*, no. August. Piscataway, New Jersey: IEEE Standards Association, 2012.
- [5] M. Iqbal, S. Sarwito, and I. R. Kusuma, "Analisa kapasitas daya listrik container crane untuk optimalisasi proses bongkar muat," ITS Digital Repository, 2012.
- [6] R. Salman, "Simulasi dan analisis aliran daya pada sistem tenaga listrik menggunakan perangkat lunak Electrical Transient Analyser Trancient (ETAP) versi 4.0," *J. Pendidik. Teknol. DAN Kejuru.*, vol. 15, no. 1, 2014, doi: 10.24114/jptk.v15i1.1510.
- [7] W. D. Stevenson, *Analisis Sistem Tenaga Listrik*. Jakarta, Indonesia: Erlangga, 2000.
- [8] Y. S. Wijoyo and A. F. Halim, "Analisis pemasangan Rooftop Photovoltaic System pada sistem elektrikal bangunan," in *The 8th National Conference on Information Technology and Electrical Engineering*, 2018, pp. 24–26.
- [9] B. Adhiguna, Yandri, and K. H. Khwee, "Analisis tekno ekonomi perbandingan Quay Container Crane (QCC) No. 03 dengan sumber energi dari genset dan No. 04 dengan sumber energi listrik PLN," *J. Tek. Elektro Univ. Tanjungpura*, vol. 2, no. 1, 2020.