

# Analisis Kestabilan Transien pada *Container Crane* dengan Suplai Energi Terbarukan Berbasis Simulasi

Syafri Octa Ferdiansyah, Sardono Sarwito

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

*e-mail*: sarsar@its.ac.id

**Abstrak**—Beberapa pelabuhan di negara ASEAN saat ini mulai menerapkan konsep pelabuhan ramah lingkungan atau sering disebut dengan istilah *green port*. Pemanfaatan energi terbarukan seperti contohnya energi surya digunakan untuk menyuplai sistem kelistrikan yang ada di pelabuhan, salah satunya sistem kelistrikan *container crane*. Karena pemanfaatan energi terbarukan sebagai sumber listrik masih minim, sehingga masih belum pasti apakah pemanfaatan energi terbarukan dapat mempengaruhi gangguan stabilitas pada sistem kelistrikan. Selain itu, kondisi di lapangan yang tidak menentu dapat menyebabkan gangguan kestabilan pada sistem kelistrikan. Gangguan ini disebut sebagai gangguan transien. Banyak hal yang dapat mempengaruhi kestabilan transien salah satunya apabila terjadi hubungan arus singkat (*short circuit*) yang dapat menyebabkan gangguan transien. Menggunakan metode simulasi dengan ETAP, dilakukan analisis kestabilan transien dengan menggunakan 2 sumber listrik yang berbeda yaitu PLN & generator dan *photovoltaic* (PV). Didapatkan bahwa penggunaan PV sebagai sumber menghasilkan kestabilan pada sistem kelistrikan *container crane* yang memenuhi standar. Respon tegangan pada setiap skenario menghasilkan hasil yang berbeda-beda. Studi kasus pada simulasi kestabilan transien yaitu dengan memberikan gangguan hubungan singkat di busbar terdekat motor di detik ke-1 hingga detik ke-1.15. Respon tegangan yang dihasilkan pada skenario motor *gantry* yaitu sebesar 94.5%. Sedangkan respon tegangan yang dihasilkan pada skenario motor *boom* yaitu sebesar 94.64%. Lalu pada skenario motor *trolley* respon tegangan yang dihasilkan sebesar 94.48%. Pada skenario motor *hoist* respon tegangan yang dihasilkan sebesar 94.51%. Adapun respon frekuensi yang dihasilkan oleh simulasi PV sebagai sumber listrik yaitu sebesar 100% pada semua skenario yang dibuat.

**Kata Kunci**—Energi Surya, *Container Crane*, Kestabilan Transien.

## I. PENDAHULUAN

INDONESIA membutuhkan sumber energi yang dapat diperbaharui karena saat ini energi tidak dapat diperbaharui di Indonesia sudah mulai menipis seperti contohnya energi minyak bumi yang sering digunakan ketersediaannya mulai sedikit. Terdapat banyak energi alternatif yang dapat digunakan, seperti energi surya, energi angin, arus laut, biodiesel, panas bumi, dan lainnya. Energi surya cocok diterapkan di wilayah Indonesia karena energi surya ramah lingkungan, dapat diperbarui, dan tidak membeli. Energi surya juga salah satu energi terbarukan yang sedang giat dikembangkan oleh pemerintah Indonesia karena Indonesia mempunyai potensi energi surya yang besar. Terdapat 2 tipe dari energi surya, yaitu sinar matahari dan *photovoltaic* (photo=cahaya, voltaic=tegangan). Proses ini menggunakan bahan semi konduktor yang dapat disesuaikan untuk melepas

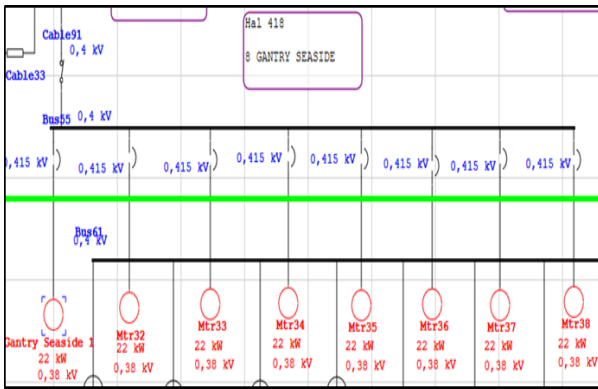
elektron yang membentuk dasar listrik [1].

Aplikasi dari energi terbarukan dapat digunakan sebagai sumber listrik yang akan digunakan untuk menggerakkan *container crane* yang terdapat di pelabuhan. Penggunaan energi terbarukan sebagai penggerak *container crane* sangat potensial untuk digunakan karena energi terbarukan menimbulkan emisi yang rendah. Hal tersebut mendukung pemerintah untuk menciptakan *green port*/pelabuhan ramah lingkungan di Indonesia. Penerapan *green port*/pelabuhan ramah lingkungan merupakan bagian dari upaya negara Indonesia untuk mendukung minimalisir pencemaran laut, polusi udara, dan berbagai kerusakan lingkungan yang disebabkan oleh kegiatan bongkar muat di pelabuhan.

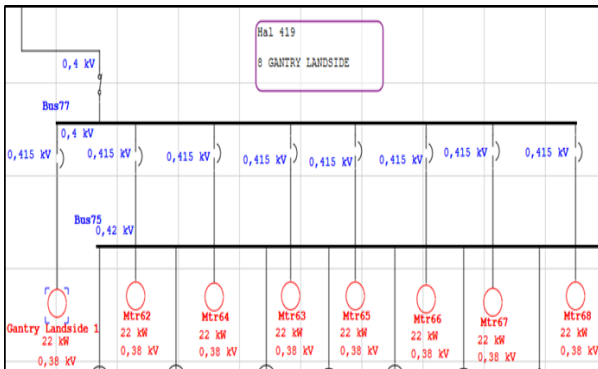
Energi listrik yang dihasilkan oleh energi terbarukan tidak dapat langsung digunakan karena arus listrik yang dihasilkan yaitu arus searah/arus DC. Motor-motor penggerak *container crane* menggunakan sumber tegangan arus bolak-balik/arus AC, sehingga dibutuhkan komponen penyearah arus yaitu *inverter* [2]. Gelombang yang dihasilkan oleh *inverter* akan berbentuk gelombang kotak (*square wave*). Gelombang kotak berbeda dengan gelombang sinusoidal murni yang berasal dari generator namun keduanya merupakan gelombang arus bolak-balik/gelombang AC. Arus keluaran *inverter* tersebut akan digunakan untuk menyuplai listrik untuk menggerakkan motor-motor di *container crane*.

Indonesia mempunyai banyak perusahaan yang bergerak dalam bidang penyediaan fasilitas terminal petikemas, baik untuk perdagangan nasional maupun internasional, yang mana dalam perusahaan tersebut membutuhkan *crane* untuk proses bongkar muat [3]. Pertumbuhan ekonomi dan perdagangan di Indonesia sangat signifikan. Hal tersebut mengakibatkan, jasa pelabuhan yang ditawarkan semakin meningkat. Dampak dari peningkatan permintaan akan jasa pelabuhan yaitu aktivitas di sekitar pelabuhan akan meningkat, sehingga pencemaran laut yang ditimbulkan akan semakin meningkat juga seperti pencemaran air dan udara [4]. Ditinjau dari dampak yang ditimbulkan tersebut, maka diperlukan upaya untuk menerapkan pelabuhan yang ramah lingkungan agar pencemaran air dan udara dapat dikurangi.

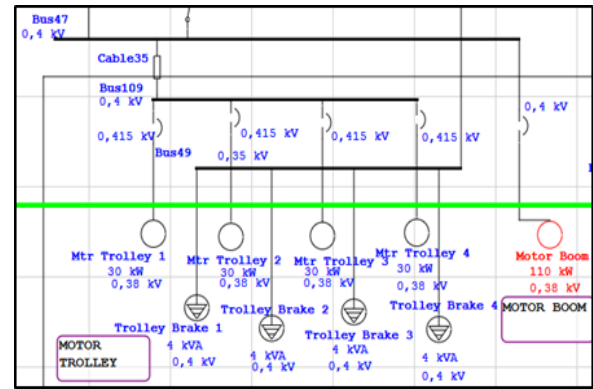
Sebagai langkah mendukung penerapan pelabuhan yang ramah lingkungan, pengaplikasian suplai listrik dari energi terbarukan akan digunakan pada *container crane* untuk mengurangi penggunaan diesel [5]. Penggantian dari suplai diesel ke suplai energi terbarukan tersebut dinamakan elektrifikasi [6]. Elektrifikasi merupakan proses *powering* pada suatu komponen menggunakan listrik. Suplai listrik yang akan digunakan bukan berasal dari PLN, namun berasal dari teknologi *photovoltaic* (PV). Penerapan elektrifikasi pada unit *container crane* yang dilakukan oleh beberapa



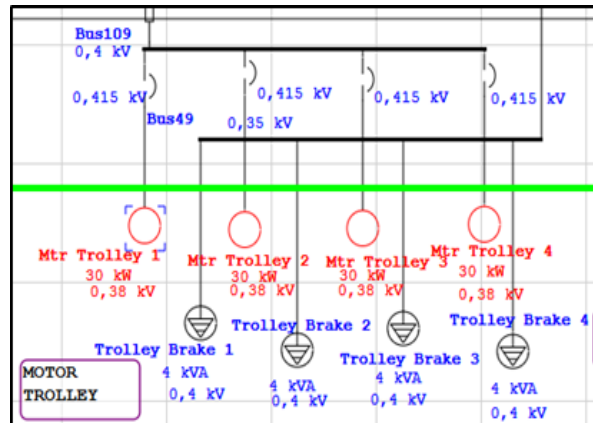
Gambar 1. Tampilan ETAP motor gantry seaside.



Gambar 2. Tampilan ETAP motor gantry landside.



Gambar 3. Tampilan ETAP motor boom.



Gambar 4. Tampilan ETAP motor trolley.

pelabuhan di Indonesia merupakan upaya untuk mendukung penerapan pelabuhan ramah lingkungan. Beberapa manfaat dari program elektrifikasi yang dilakukan beberapa pelabuhan di Indonesia, yaitu dapat mengurangi polusi lingkungan, mengurangi frekuensi pemeliharaan, dan mengurangi biaya untuk penggantian *Engine Parts*. Polusi lingkungan yang disebabkan oleh aktivitas bongkar muat dapat dikurangi melalui program elektrifikasi karena emisi gas buang (emisi CO<sub>2</sub>) dari hasil pembakaran motor diesel akan dihilangkan. Selain itu, konversi *power supply* dari diesel menjadi listrik akan mengurangi frekuensi pemeliharaan sehingga dapat menjaga ketersediaan dari *container crane* yang akan berdampak pada meningkatnya aktivitas bongkar muat di pelabuhan [7]

Percobaan penggunaan energi surya pada salah satu *container crane* di beberapa pelabuhan merupakan salah satu penerapan dan pengenalan penggunaan energi terbarukan di Indonesia [8]. Pada penerapan di lapangan program elektrifikasi di beberapa pelabuhan Indonesia tentunya mengalami banyak kendala yang disebabkan oleh faktor lingkungan yang dapat mengakibatkan suatu sistem mengalami gangguan [9]. Suatu sistem kelistrikan rentan mengalami gangguan sehingga sistem tersebut harus memiliki kemampuan untuk mempertahankan kondisi sinkronnya yang dinamakan sebagai kestabilan transien [10]. Gangguan kestabilan transien dapat terjadi apabila terdapat kelebihan pada salah satu sumber listrik, starting pada motor, dan hubungan singkat pada suatu komponen [11].

## II. METODOLOGI PENELITIAN

### A. Identifikasi dan Perumusan Masalah

Rumusan masalah merupakan tahap paling awal dalam pelaksanaan tugas akhir dimana penulis harus merumuskan

masalah apa yang akan dianalisis yang ada pada sistem kelistrikan di operasional bongkar muat *container crane* yang ada di PT. Terminal Teluk Lamong. Pada penelitian ini akan dibahas mengenai analisis kestabilan transien pada *container crane* di PT. Terminal Teluk Lamong dengan suplai PLN & generator serta suplai dengan energi surya. Hal ini akan diukur dengan menggunakan software ETAP.

### B. Studi Literatur

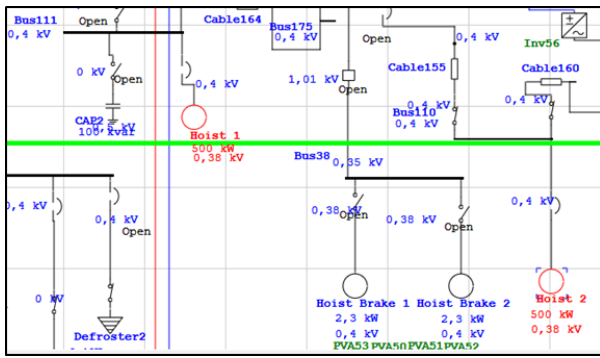
Untuk Studi literatur merupakan tahapan awal suatu penelitian dimana dengan studi literatur seorang penulis melakukan proses pembelajaran terhadap dasar-dasar masalah dan objek yang akan diteliti. Studi literatur dilakukan dengan pengumpulan referensi-referensi mengenai energi surya, sistem kelistrikan pada *container crane*, dan kestabilan transien [12]. Literatur-literatur tersebut didapatkan dari text book, internet, artikel, jurnal, paper dan laporan skripsi.

### C. Pencarian dan Pengumpulan Data

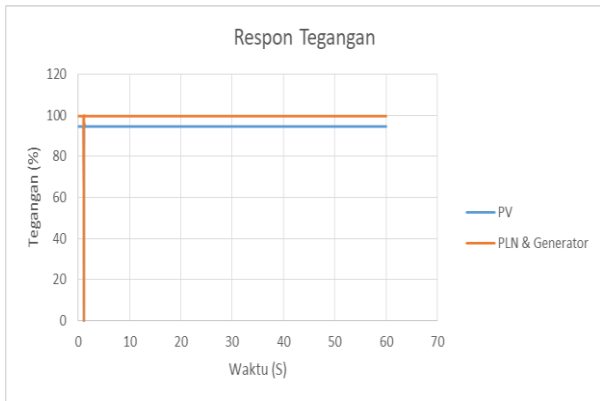
Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data-data yang didapat dari studi literatur. Data yang didapat akan diujikan ke dalam software ETAP antara lain: (1) Data *Container Crane* milik PT. Terminal Teluk Lamong; (2) Data *single line diagram* sistem kelistrikan *Container Crane* di PT. Teluk Lamong.

### D. Pembuatan One-Line Diagram

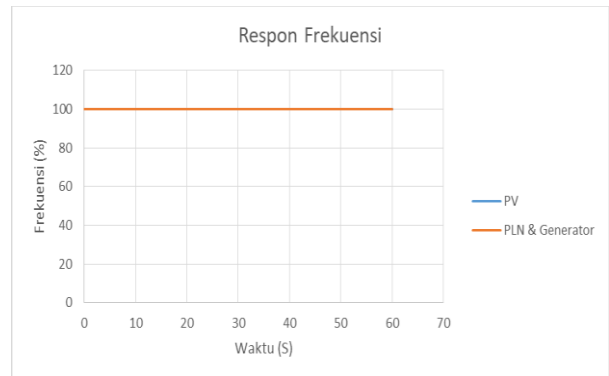
Pada tahap ini, akan dilakukan pemodelan *One Line Diagram* sistem menggunakan aplikasi ETAP. Pemodelan disesuaikan dengan skenario yang telah ditetapkan. Pembuatan model *One Line Diagram* mengikuti data *One Line Diagram* pada *container crane* milik PT. Terminal Teluk Lamong.



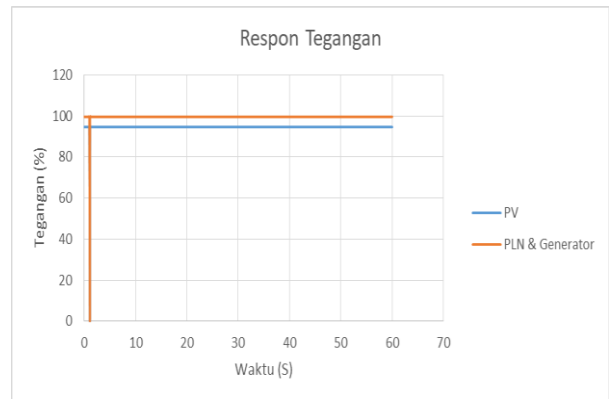
Gambar 5. Tampilan ETAP motor hoist.



Gambar 6. Perbandingan Respon Tegangan Skenario Motor Gantry.



Gambar 7. Perbandingan Respon Frekuensi Skenario Motor Gantry.



Gambar 8. Perbandingan Respon Tegangan Skenario Motor Boom.

**E. Simulasi**

Pada tahap ini, *One Line Diagram* yang telah dibuat di ETAP akan disimulasi analisis kestabilan transien. Simulasi dilakukan dengan menggunakan skenario yang telah ditentukan sebelumnya.

**F. Rekapitulasi Data Simulasi**

Setelah dilakukan tahap simulasi, maka selanjutnya dilakukan pencatatan hasil dari simulasi tiap skenario. Pada tahap ini, akan dicatat respon tegangan dan respon frekuensi yang dihasilkan oleh sistem.

**G. Analisa Hasil dan Pembahasan**

Pada tahapan ini menjelaskan data-data yang telah tervalidasi dan sesuai dengan standar tegangan dan frekuensi (IEEE dan IEC). Serta melakukan pembahasan faktor apa saja yang bisa menyebabkan beberapa data tidak memenuhi standar atau tidak tevalidasi juga membahas upaya apa yang dilakukan untuk memperbaiki data yang tidak memenuhi standar.

**H. Kesimpulan dan Saran**

Setelah dilakukan analisis dan pembahasan terhadap hasil penelitian. Penulis menarik kesimpulan dari analisis dan pembahasan yang telah dihitung serta memperoleh hasil dan memberikan rekomendasi agar permasalahan dapat di atasi sebagai kontribusi pengerjaan tugas akhir.

**III. ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN**

**A. Pencarian dan Pengumpulan Data**

*Container crane* yang digunakan dalam analisis tugas akhir ini adalah *container crane* dari *KONE Cranes* milik perusahaan PT. Terminal Teluk Lamong, Surabaya. Data dan

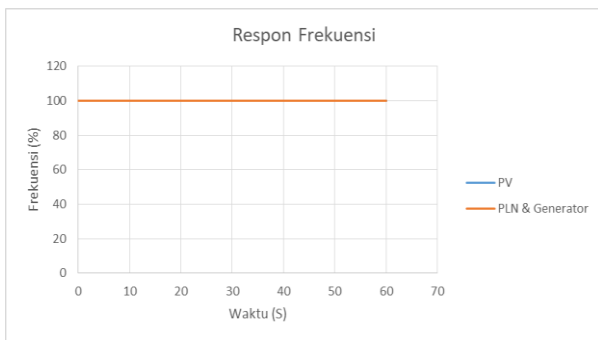
spesifikasi yang akan digunakan yaitu bidang elektrikal pada *container crane* meliputi motor listrik gerak utama *container crane* (*gantry, boom, hoist, trolley*), trafo, dan beberapa komponen kelistrikan lainnya serta hingga *single-line diagram* dari satu *container crane* secara keseluruhan [13]. Data tersebut nantinya akan dimodelkan melalui aplikasi simulasi.

**B. Single Line Diagram Container Crane**

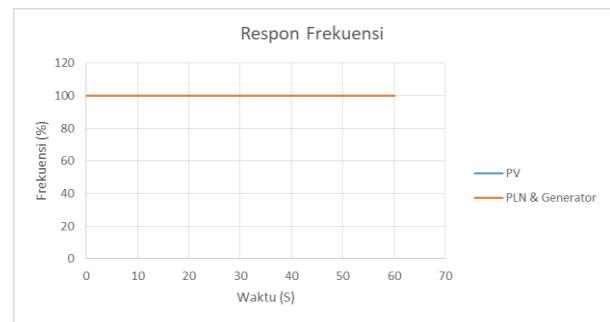
*Single line diagram* merupakan diagram satu garis yang menjelaskan alur persebaran arus listrik mulai dari pembangkitan sampai ke beban dalam suatu rangkaian kelistrikan. *Single line diagram* merupakan elemen penting untuk melakukan simulasi rangkaian dengan *software ETAP 16.0*. Pada *software ETAP 16.0*, penulis melakukan penggambaran ulang dari data *single line diagram crane* yang diberi oleh PT. Terminal Teluk Lamong. Penggambaran ulang ini dilakukan karena penulis akan menganalisis kestabilan transien pada sistem *container crane* menggunakan *software ETAP 16.0*. Simulasi yang dapat dilakukan di *software ETAP* antara lain *load flow analysis, transient stability analysis, short circuit analysis, harmonic analysis*, dan *motor starting analysis* [14]. Pada tugas akhir ini, penulis akan melakukan simulasi *transient stability analysis* guna mengetahui kestabilan transien pada sistem *container crane* dengan membandingkan dari 2 suplai, yaitu PLN & generator dan PV.

**C. Perencanaan Skenario dan Studi Kasus Simulasi Kestabilan Transien**

Beberapa skenario dibuat untuk menganalisis kestabilan transien pada sistem kelistrikan *container crane*. Skenario dibuat berdasarkan kemungkinan pola pengoperasian *container crane* pada saat di lapangan. Nantinya, beberapa



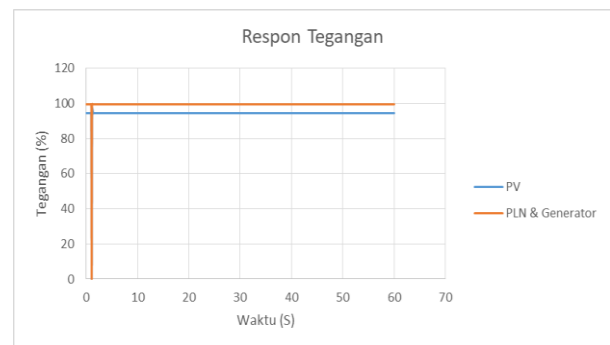
Gambar 9. Perbandingan Respon Frekuensi Skenario Motor Boom.



Gambar 11. Perbandingan Respon Frekuensi Skenario Motor Trolley.



Gambar 10. Perbandingan Respon Tegangan Skenario Motor Trolley



Gambar 12. Perbandingan Respon Tegangan Motor Hoist

skenario tersebut akan di analisis dan dibandingkan kestabilan transiennya ketika menggunakan suplai daya dari generator dan suplai daya dari PV. Perencanaan studi kasus juga dilakukan untuk menguji kestabilan transien pada sistem kelistrikan *container crane*. Studi kasus yang dilakukan yaitu memberi gangguan pada busbar utama dan busbar yang terdekat dengan motor yang sedang bekerja. Gangguan yang diberikan di busbar yaitu *3-phase fault*. Gangguan tersebut dimulai dari detik ke-1 hingga detik 1.15. Setelah itu akan dilakukan analisis pada sistem apakah sistem dapat kembali stabil seperti sebelum terjadi gangguan atau tidak sesuai dengan aturan-aturan yang telah ditentukan. Terdapat 5 skenario yang dibuat yaitu:

1) *Motor Gantry*

Motor *gantry* berfungsi untuk menggerakkan *container crane* lurus ke depan dan ke belakang, dan tampilannya dapat dilihat pada Gambar 1 dan Gambar 2.

2) *Motor Boom*

Motor *boom* berfungsi untuk memperpanjang jangkauan *crane* pada saat proses *loading-unloading*, dapat dilihat pada Gambar 3.

3) *Motor Trolley*

Motor *trolley* berfungsi untuk menggerakkan *spreader* ke atas dan ke bawah, maupun ke depan dan ke belakang, dan dapat dilihat pada Gambar 4.

4) *Motor Hoist*

Motor *hoist* berfungsi untuk mengangkat ataupun menurunkan peti kemas. Tampilan ETAP motor hoist dapat dilihat pada Gambar 5.

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

Skenario ini dibuat karena pada saat pengoperasian *crane* di lapangan, gerakan mengangkat peti kemas dan menggerakkan peti kemas ke depan ataupun belakang sering kali terjadi dilakukan secara bersamaan.

D. Analisa Hasil dan Pembahasan

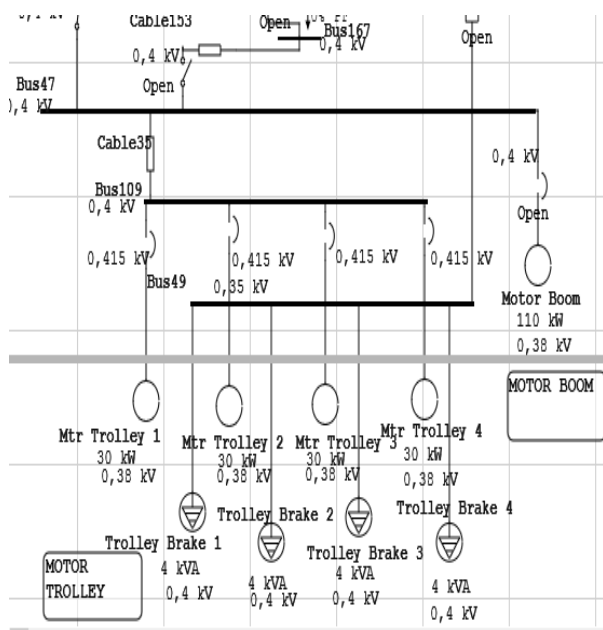
1) *Skenario 1 (Motor Gantry)*

Pada Gambar 6, dilihat bahwa kedua simulasi dengan sumber listrik yang berbeda mendapatkan respon yang berbeda. Dengan memberi studi kasus hubungan singkat pada busbar 55 (terdekat motor *gantry*), didapatkan hasil respon tegangan yang berbeda. Pada simulasi dengan sumber PLN & generator, saat awal beroperasi tegangannya sebesar 99.53% dan setelah gangguan hubungan singkat, tegangannya naik menjadi 99.77% dan kembali stabil pada 99.53%. Pada simulasi dengan sumber PV, saat awal beroperasi tegangannya sebesar 94.5% dan setelah gangguan hubungan singkat, tegangannya naik menjadi 96.1% dan kembali stabil pada 94.5%. Pada hal ini, kedua respon tegangan telah memenuhi standar tegangan normal yang ditetapkan oleh IEEE yaitu sebesar 90%-110%

Pada Gambar 7, dilihat bahwa kedua simulasi dengan sumber listrik yang berbeda mendapatkan respon yang sama. Dengan memberi studi kasus hubungan singkat pada busbar 55 (terdekat motor *gantry*), didapatkan hasil respon frekuensi yang sama yaitu sebesar 100%. Pada hal ini, respon frekuensi telah memenuhi standar frekuensi normal yang ditetapkan oleh IEEE yaitu sebesar 97%-101.67%.

2) *Skenario 2 (Motor Boom)*

Pada Gambar 8, dilihat bahwa kedua simulasi dengan sumber listrik yang berbeda mendapatkan respon yang berbeda. Dengan memberi studi kasus hubungan singkat pada busbar 47 (terdekat motor *boom*), didapatkan hasil respon tegangan yang berbeda. Pada simulasi dengan sumber PLN & generator, saat awal beroperasi tegangannya sebesar 99.66% dan setelah gangguan hubungan singkat, tegangannya naik menjadi 99.72% dan kembali stabil pada 99.66%. Pada simulasi dengan sumber PV, saat awal beroperasi tegangannya sebesar 94.64% dan setelah gangguan hubungan singkat, tegangannya naik menjadi



Gambar 14. Letak motor trolley dan motor hoist tidak terletak pada bus yang sama.

94.86% dan kembali stabil pada 94.64%. Pada hal ini, kedua respon tegangan telah memenuhi standar tegangan normal yang ditetapkan oleh IEEE yaitu sebesar 90%-110%.

Pada Gambar 9, dilihat bahwa kedua simulasi dengan sumber listrik yang berbeda mendapatkan respon yang sama. Dengan memberi studi kasus hubungan singkat pada busbar 55 (terdekat motor gantry), didapatkan hasil respon frekuensi yang sama yaitu sebesar 100%. Pada hal ini, respon frekuensi telah memenuhi standar frekuensi normal yang ditetapkan oleh IEEE yaitu sebesar 97%-101.67%.

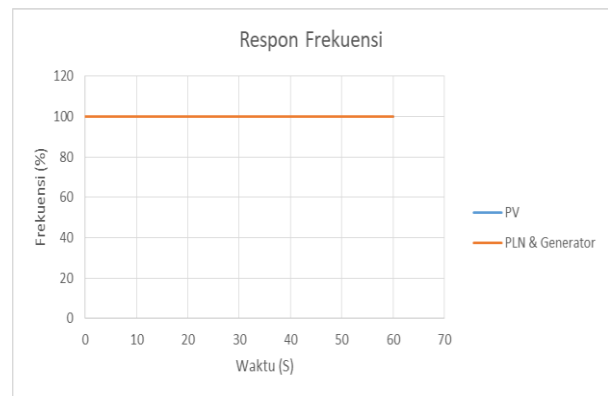
3) Skenario 3 (Motor Trolley)

Pada Gambar 10, dilihat bahwa kedua simulasi dengan sumber listrik yang berbeda mendapatkan respon yang berbeda. Dengan memberi studi kasus hubungan singkat pada busbar 109 (terdekat motor trolley), didapatkan hasil respon tegangan yang berbeda. Pada simulasi dengan sumber PLN & generator, saat awal beroperasi tegangannya sebesar 99.5% dan setelah gangguan hubungan singkat, tegangannya naik menjadi 99.6% dan kembali stabil pada 99.5%. Pada simulasi dengan sumber PV, saat awal beroperasi tegangannya sebesar 94.48% dan setelah gangguan hubungan singkat, tegangannya naik menjadi 94.74% dan kembali stabil pada 94.48%. Pada hal ini, kedua respon tegangan telah memenuhi standar tegangan normal yang ditetapkan oleh IEEE yaitu sebesar 90%-110%.

Pada Gambar 11, dilihat bahwa kedua simulasi dengan sumber listrik yang berbeda mendapatkan respon yang sama. Dengan memberi studi kasus hubungan singkat pada busbar 109 (terdekat motor trolley), didapatkan hasil respon frekuensi yang sama yaitu sebesar 100%. Pada hal ini, respon frekuensi telah memenuhi standar frekuensi normal yang ditetapkan oleh IEEE yaitu sebesar 97%-101.67%.

4) Skenario 4 (Motor Hoist)

Pada Gambar 12, dilihat bahwa kedua simulasi dengan sumber listrik yang berbeda mendapatkan respon yang berbeda. Dengan memberi studi kasus hubungan singkat pada busbar 111 (terdekat motor hoist), didapatkan hasil respon



Gambar 13. Perbandingan Respon Frekuensi Motor Hoist.

Tabel 1. Tabel Perbandingan Hasil Simulasi Dari Suplai PLN & Generator dan PV

Skenario	Generator + PLN		PV	
	%V	%Hz	%V	%Hz
Gantry (Busbar 55)	99.53	100	94.5	100
Boom (Busbar 47)	99.6	100	94.64	100
Trolley (Busbar 109)	99.5	100	94.48	100

tegangan yang berbeda. Pada simulasi dengan sumber PLN & generator, saat awal beroperasi tegangannya sebesar 99.53% dan setelah gangguan hubungan singkat, tegangannya naik menjadi 99.78% dan kembali stabil pada 99.53%. Pada simulasi dengan sumber PV, saat awal beroperasi tegangannya sebesar 94.51% dan setelah gangguan hubungan singkat, tegangannya naik menjadi 97.18% dan kembali stabil pada 94.51%. Pada hal ini, kedua respon tegangan telah memenuhi standar tegangan normal yang ditetapkan oleh IEEE yaitu sebesar 90%-110%.

Pada Gambar 13, dilihat bahwa kedua simulasi dengan sumber listrik yang berbeda mendapatkan respon yang sama. Dengan memberi studi kasus hubungan singkat pada busbar 109 (terdekat motor trolley), didapatkan hasil respon frekuensi yang sama yaitu sebesar 100%. Pada hal ini, respon frekuensi telah memenuhi standar frekuensi normal yang ditetapkan oleh IEEE yaitu sebesar 97%-101.67%.

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

Pada simulasi skenario ke-5, disimulasikan pada saat kedua motor tersebut, motor hoist dan motor trolley dioperasikan secara bersamaan. Setelah itu, akan dilakukan analisis kestabilan transien pada sistem dengan memberikan studi kasus hubungan singkat

Namun, respon tegangan dan respon frekuensi yang dihasilkan kedua motor saat dioperasikan bersama, yaitu memiliki nilai yang dengan saat kedua motor tersebut dioperasikan secara sendiri-sendiri. Jadi dapat disimpulkan walaupun dioperasikan secara bersamaan di ETAP, hasil respon tegangan dan respon frekuensi tidak mempengaruhi satu sama lain.

Apabila dianalisis secara rangkaian di ETAP, letak motor hoist dan motor trolley tidak berada dalam busbar distribusi yang sama, sehingga apabila kedua motor dioperasikan

secara bersamaan maka tidak mempengaruhi respon tegangan dan respon frekuensi satu sama lain.

Apabila dianalisis secara rangkaian di ETAP, letak motor *hoist* dan motor *trolley* tidak berada dalam busbar distribusi yang sama, sehingga apabila kedua motor dioperasikan secara bersamaan maka tidak mempengaruhi respon tegangan dan respon frekuensi satu sama lain.

#### E. Perbandingan Hasil Simulasi dari Suplai PLN & Generator dan PV

Perbandingan hasil simulasi dari suplai PLN & Generator dan Pv dapat dilihat pada Tabel 1.

### IV. KESIMPULAN

#### A. Kesimpulan

Hasil analisis yang didapatkan dari 5 skenario yang dilakukan, kestabilan transien dari rangkaian listrik *container crane* dengan suplai PLN & generator dan suplai PV berbeda. Tetapi baik suplai dengan PLN & generator maupun dengan PV, respon frekuensi dan tegangan keduanya memenuhi standar yang telah ditentukan oleh IEEE. Untuk standar operasi normal tegangan yaitu berkisar antara 90%-110% dan untuk standar operasi normal frekuensi yaitu sekitar 97%-101.67%. Hasil respon tegangan pada simulasi dengan suplai PV berbeda-beda tiap simulasinya. Pada simulasi motor *gantry*, respon tegangannya stabil sebesar 94.5%. Pada simulasi motor *boom*, respon tegangannya stabil sebesar 94.64%. Pada simulasi motor *trolley*, respon tegangannya stabil sebesar 94.48%. Pada simulasi motor *hoist*, respon tegangannya stabil sebesar 94.51%. Adapun untuk respon frekuensi, semua skenario respon frekuensinya sama yaitu stabil sebesar 100%. Dengan catatan untuk suplai dengan PV, pemasangan PVnya hanya terletak di busbar dengan motor-motor utama dan setiap busbar motor-motor utama (*hoist*, *gantry*, dan *trolley-boom*) dipasang 4 PV Array dimana setiap 1 PV Array terdapat PV panel sebanyak 4 panel. Penggunaan suplai PV pada rangkaian kelistrikan *container crane* tidak dapat berdiri sendiri, namun tetap dibantu oleh PLN. PV hanya akan menyuplai listrik untuk motor-motor utama, sedangkan PLN akan menyuplai untuk kebutuhan listrik komponen-komponen kelistrikan lainnya. Simulasi analisis simulasi kestabilan transien dengan suplai PV tidak terjadi gangguan. Hasil kestabilan transien pada rangkaian kelistrikan *container crane* telah memenuhi standar yang telah ditentukan oleh IEEE. Untuk standar operasi normal tegangan yaitu berkisar antara 90%-110% dan untuk standar operasi normal frekuensi yaitu sekitar 97%-101.67%. Walaupun pada percobaan dengan suplai PV respon tegangannya stabil di angka 94%-95%, tetapi hal tersebut sesuai standar IEEE karena tegangannya tidak kurang dari 90% pada saat sistem berjalan. Sedangkan untuk respon frekuensinya, semua skenario sama yaitu sebesar 100%. Dengan catatan untuk suplai dengan PV, pemasangan PVnya

hanya terletak di busbar dengan motor-motor utama dan setiap busbar motor-motor utama (*hoist*, *gantry*, dan *trolley-boom*) dipasang 4 PV Array dimana setiap 1 PV Array terdapat PV panel sebanyak 4 panel. Penggunaan suplai PV pada rangkaian kelistrikan *container crane* tidak dapat berdiri sendiri, namun tetap dibantu oleh PLN. Dapat disimpulkan bahwa PV tidak dapat berdiri sendiri untuk menyuplai kebutuhan listrik dari *container crane* sehingga dibantu oleh PLN.

#### B. Saran

Berdasarkan hasil kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan, penulis dapat memberikan rekomendasi berupa saran sebagai berikut: (1) Perlunya menggunakan *software* lain untuk memvalidasi hasil yang didapatkan; (2) Pengambilan data sebaiknya dilakukan dengan melihat kondisi lapangan dan membandingkannya dengan data dari dokumen perusahaan agar hasil yang didapatkan lebih akurat.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] G. Widayana, "Pemanfaatan energi surya," vol. 9, no. 1, pp. 37-46, 2012.
- [2] F. R. Wahyudy, "Analisa arus starting transformator pada pengoperasian container crane di pelabuhan," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2016.
- [3] 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.
- [4] B. R. Hutagalung, "Dampak aktivitas pelabuhan dan sebaran pencemaran lingkungan pelabuhan tanjung emas semarang dan kawasan sekitarnya," Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia, 2004.
- [5] M. Iqbal, "Analisa kapasitas daya listrik container crane untuk optimasi proses bongkar muat," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2011.
- [6] B. H. Purwoto, "Efisiensi penggunaan panel surya sebagai sumber energi alternatif," *Emit. J. Tek. Elektro*, vol. 18, no. 01, pp. 10-14, 2018, doi: 10.23917/emitor.v18i01.6251.
- [7] S. Sarwito, E. S. Koenhardono, and K. P. T. Martha, "Analysis of transient response and harmonic disturbances on the tanker's electrical system based on simulation," *Int. J. Mar. Eng. Innov. Res.* 3, vol. 3, no. 1, 2018, doi: 10.12962/j25481479.v3i1.4134.
- [8] sri Y. Erlita, "Energy supply solar cell pada sistem pengendali portal parkir otomatis berbasis mikrokontroler At89s52," Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang, 2014.
- [9] S. Sarwito, E. S. Koenhardono, A. . Masroeri, I. R. Kusuma, and M. N. Ichwan, "Transient voltage analysis for dynamic positioning closed bus electrical system on ship in laboratory scale," *Int. J. Mar. Eng. Innov. Res.*, vol. 4, no. 3, pp. 208-215, 2019, doi: 10.12962/j25481479.v4i3.5608.
- [10] P. Kundur, *Power System Stability and Control*. New York: Mc Graw Hill, 1994.
- [11] L. L. J. Mahon, *Diesel Generator*. Boston: Butterworth Heinemann Oxford., 1992.
- [12] S. Sarwito, Semin, M. B. Zaman, and Soedibyo, "Transient stability analysis on AHTS vessel electrical system using dynamic positioning system," *Int. J. Mech. Eng. Technol.*, vol. 10, no. 2, pp. 461-475, 2019.
- [13] M. F. Wahyudianto, "Analisa tegangan jatuh pada sistem distribusi listrik di km. dorolonda dengan menggunakan simulasi electrical transient analysis program (etap)," Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, 2016.
- [14] B. Nima, "Harmonic flow analysis in power distribution networks," University of Windsor, 1999.