

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

Sardono Sarwito dan Sastri Ade Priyanga

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

e-mail: sarsar@its.ac.id

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

Kata Kunci—*Green port, Container Crane, Short Circuit, Circuit Breaker, ETAP.*

I. PENDAHULUAN

KONSEP pelabuhan ramah lingkungan atau dikenal dengan istilah *green port* kini diterapkan oleh seluruh negara-negara di ASEAN yang bertujuan untuk mengurangi tingkat pencemaran laut, polusi udara serta berbagai dampak kerusakan lingkungan yang ditimbulkan oleh berbagai aktifitas bongkar muat di pelabuhan [1]. Ketua *The 32th Asean Port Association Working Committee* (APA WCM), Datuk Abdul Rahim menjelaskan bahwa konsep pelabuhan hijau harus diterapkan oleh seluruh pelabuhan yang menjadi anggota IMO (*International Maritime Organization*), konsep *Green Port* merupakan salah satu konsep yang diterapkan 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 kebersihan lingkungan terjaga dengan baik. Hal lain yang diutamakan dalam pengembangan pelabuhan hijau yakni kemampuan suatu pelabuhan menguasai teknologi informasi dan komunikasi. Hal ini dilakukan agar pekerjaan di wilayah pelabuhan menjadi lebih efektif dan efisien yang berimbas pada mempersingkat waktu tunggu kapal agar pelayanan semakin baik. Untuk menunjang pergerakan manusia dan barang maka dibutuhkan sarana dan prasarana yang baik. Sarana berupa kapal penumpang maupun kapal barang, sedangkan prasarana yang dibutuhkan berupa pelabuhan. Pengertian pelabuhan adalah suatu tempat di mana kapal berlabuh melakukan aktivitasnya baik menaik turunkan penumpang dan atau bongkar muat barang.[2]. 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.

Dalam sistem kelistrikan, banyak terjadi gangguan yang disebabkan arus berlebih. Arus berlebih dapat terjadi karena hubungan singkat, beban berlebih atau kegagalan *ground*. Menurut IEC 60909, gangguan hubungan singkat merupakan hubungan konduksi secara sengaja maupun tidak sengaja melalui hambatan atau impedansi yang cukup beda potensial. [3]. Beberapa konsekuensi yang ditimbulkan dari hubungan singkat yaitu adanya arus korsleting, yaitu aliran arus yang menjadi besar. Jumlah arus listrik yang mengalir dapat merusak peralatan listrik jika perangkat tidak dilengkapi dengan sistem perlindungan yang tepat.[4]

Sistem koordinasi proteksi bertujuan untuk meminimalkan gangguan pada sistem kelistrikan. Jika daya beban harus berubah, maka yang perlu dilakukan adalah pengaturan ulang sistem koordinasi proteksi untuk mengoptimalkan kerja proteksi. Sistem proteksi harus diatur untuk bekerja secepat mungkin dalam kondisi waktu tertentu sebelum gangguan merusak insulasi listrik dan mempengaruhi kinerja suatu komponen. Perhitungan arus hubung singkat untuk pemilihan *switchgear* dan konsolidasi dilakukan oleh praktik nasional dan internasional yang mumpuni, aturan penting dan akurat adalah Standar IEC dan ANSI/ IEEE. Standar IEC 60909 yang diterapkan dalam makalah ini, yaitu berbagai jaringan, konfigurasi, kondisi serta peralatan pembangkit dan beban[[5][6][7][8]-[9]. Salah satu peralatan untuk melindungi pengaruh tersebut adalah pemutus arus atau *circuit breaker*. Beberapa *circuit breaker* hanya memberikan perlindungan saat terjadi *short circuit*, tetapi sebagian besar

Tabel 1.
Nilai Arus Hubung Singkat Sebelum Penggantian Kabel Pengaman FAULT: Bus Utama dari Motor Penggerak Utama

No	Skenario	Short Circuit Current		Selisih Antara Suplai PLN dengan Suplai Energi Terbarukan
		Suplai PLN (kA)	Suplai Energi Terbarukan (kA)	
1	I (<i>Hoist Operate</i>)	11,678	13,103	1,425
2	II (<i>Boom Operate</i>)	3,019	3,755	0,736
3	III (<i>Trolley Operate</i>)	1,292	1,685	0,393
4	IV (<i>Gantry Operate</i>)	3,620	4,418	0,798

Tabel 2.

Nilai Arus Hubung Singkat Setelah Penggantian Kabel Pengaman FAULT: Bus Utama dari Motor Penggerak Utama

No	Skenario	Short Circuit Current		Selisih Antara Suplai PLN - Suplai Energi Terbarukan
		Suplai PLN (kA)	Suplai Energi Terbarukan (kA)	
1	I (<i>Hoist Operate</i>)	8,494	9,882	1,388
2	II (<i>Boom Operate</i>)	2,859	3,586	0,727
3	III (<i>Trolley Operate</i>)	1,280	1,683	0,403
4	IV (<i>Gantry Operate</i>)	3,616	4,415	0,799

circuit breaker telah menyediakan perlindungan dari gangguan *short circuit* dan *overload*, dan *circuit breaker* lainnya juga melindungi ketiga jenis arus lebih [10]. Semua jenis *circuit breaker* akan *trip* ketika aliran arus lebih dari pengaturan arus dari *circuit breaker*. *Circuit breaker* akan mendeteksi arus berlebih dan bertindak pada waktu yang telah diatur dengan tepat untuk mencegah kerusakan *circuit breaker* dan konduktor. Sebagai ilustrasi, sebuah motor AC dihubungkan melalui pemutus arus dan menuju ke sumber tegangan. Ketika *circuit breaker* dalam kondisi *closed*, jalur lengkap untuk arus ada antara sumber tegangan dan motor yang memungkinkan motor tersebut untuk beroperasi. Merubah keadaan *circuit breaker* menjadi kondisi *open* akan memutus jalur arus dan motor akan menjadi mati. *Circuit breaker* akan otomatis terbuka saat mendeteksi adanya ketidaknormalan. Setelah ketidaknormalan teratasi, *circuit breaker* dapat diatur menjadi kondisi *closed*, sehingga motor dapat kembali beroperasi [11].

Didalam *circuit breaker* terdapat perangkat yang disebut *trip device* yang berfungsi melakukan pengaturan waktu pengambilan untuk beroperasi dengan cepat dengan tingkat sensitivitas tinggi untuk mendeteksi dan mengisolasi gangguan disekitar peralatan. Hal ini harus dilakukan untuk mencegah terjadinya arus lebih yang mengalir di motor atau peralatan listrik sebelum arus tersebut dapat menyebabkan kenaikan suhu yang mengganggu isolasi, terminasi atau sekitar konduktor [12].

Hasil dari pengaturan *circuit breaker* adalah kurva arus-waktu. Kurva ini menunjukkan indikasi seberapa cepat waktu *trip* dari *circuit breaker* ini dan akan memutus arus yang menyebabkan gangguan. Pada sumbu x (sumbu horizontal) menunjukkan nilai arus nominal untuk pemutusny. Pada sumbu y (sumbu vertical) menunjukkan waktu dalam detik [13].

Kategori dari waktu *trip* di *circuit breaker* adalah *continuous ampere*, *long time pick-up*, dan *short time pick-up*. Untuk pengaturan *long time pick-up* dan *short time pick-up* menunjukkan *delay time* pada *circuit breaker*. Berdasarkan standar British Standard 142, jangkauan untuk

Tabel 3.
Nilai Pengaturan *Long Time Pick-up* pada Motor *Hoist*

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

Tabel 4.
Nilai Pengaturan *Short Time Pick-up* pada Motor *Hoist*

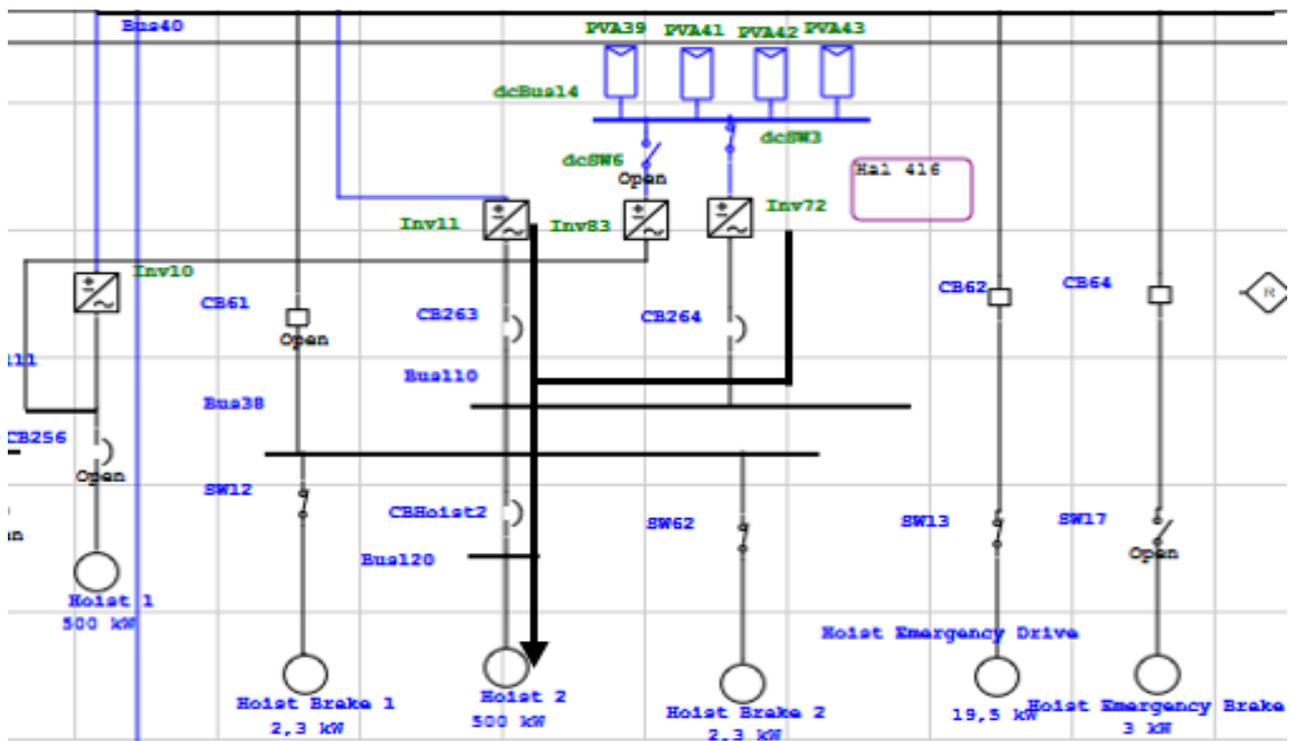
No	CB Code	FLA (A)	Isc Min. (A)	1,6 FLA (A)	Iset (A)	0,8Isc min(A)
1	CB 263	721,7	9882	1154,72	7600	7905,6
2	CB 264	721,7	9882	1154,72	7800	7905,6
3	CB Hoist 2	882,4	9882	1411,84	6000	7905,6

long time pick-up antara 1,05FLA – 1,4 FLA dan jangkauan untuk *short time pick-up* antara 1,6FLA – 0,8Iscmin [14]. Pengaturan *long time pick-up* digunakan untuk melindungi gangguan kelebihan beban atau *overload*, dan pengaturan *short time pick-up* digunakan untuk melindungi gangguan hubung singkat atau *short circuit* [15].

Dalam penelitian ini terkait dengan permasalahan tersebut, maka akan dilakukan analisa bagaimana cara menghitung arus hubung singkat dan pengaturan koordinasi proteksi *circuit breaker* dengan cara melakukan perhitungan dan dengan cara simulasi *software*. Metode penelitian yang dilakukan adalah metode survey dan perencanaan dengan menggunakan perancangan dan simulasi dari *software* ETAP sebagai cara untuk mendeteksi dan melakukan perhitungan [16].

II. URAIAN PENELITIAN

Pembahasan utama dari makalah ini adalah untuk menjelaskan dari pengaturan koordinasi proteksi dari *circuit breaker*. Semua simulasi akan dilakukan dengan sistem simulasi perangkat lunak. Hal ini akan ditemukan nilai arus



Gambar 1. One-line Diagram Skenario I Motor Hoist.

short circuit di zona yang mengalami gangguan, dan memfasilitasi untuk mensimulasikan pengaturan koordinasi proteksi dari *circuit breaker*.

A. Mencari Data dan Literatur

Langkah awal yang diambil dalam melakukan penelitian untuk tugas akhir ini mencari data yang akan digunakan. Dalam penelitian ini data yang diambil adalah *container crane* dari perusahaan pelabuhan peti kemas milik PT. Pelindo III, PT. Terminal Teluk Lamong. Data yang dibutuhkan antara lain spesifikasi dari motor penggerak utama dari *container crane*, *one-line diagram*, dan data distribusi daya

B. Pembuatan One-Line Diagram

Pada tahap ini, dilakukan pembuatan ulang rangkaian *one-line diagram container crane* dalam *software* simulasi dan memasukkan daya spesifikasi motor utama sesuai dengan data yang diperoleh. *One-line diagram* adalah lembar kerja untuk semua simulasi dalam *software* simulasi, dalam penelitian ini digunakan *software* simulasi ETAP.

C. Simulasi Load-Flow Analysis

Simulasi *load-flow analysis* digunakan untuk mengetahui kondisi awal dari sistem kelistrikan. Simulasi ini juga digunakan untuk mengetahui nilai setiap tegangan, untuk memastikan tegangan tidak dalam kondisi *overvoltage* atau *undervoltage*.

D. Mengetahui Nilai Arus Singkat

Nilai dari arus singkat diperoleh dari hasil simulasi pada lima skenario yang telah direncanakan, pada saat motor *hoist* beroperasi, motor *boom* beroperasi, motor *trolley* beroperasi, motor *gantry* beroperasi dan motor *hoist* dan *trolley* beroperasi bersamaan. Hasil simulasi *3-phase short circuit* disebut nilai *Isc maximum* karena kebutuhan arus terbesar dalam sistem kelistrikan adalah pada hubungan tiga fasa dan

simulasi arus singkat antar fasa dinamakan nilai *Isc minimum* karena kebutuhan arus terkecil dalam rangkaian sistem kelistrikan yang ada dalam hubungan antar fasa. Nilai *Isc maximum* digunakan untuk mengetahui studi kasus dan nilai *Isc minimum* digunakan untuk menghitung pengaturan dari *circuit breaker*.

E. Koordinasi Proteksi dari Circuit Breaker

Dalam koordinasi *circuit breaker*, waktu *trip device* mendukung semua jenis dari *circuit breaker*. Tujuannya untuk melindungi elemen atau sistem dari gangguan arus berlebih yang mengalir. Untuk meminimalisir area yang terdampak karena adanya gangguan pada peralatan atau sistem lainnya, pengaturan tersebut mengandalkan pada hubungan singkat yang terjadi pada bus dengan gangguan tersebut. Hal ini adalah sebagai referensi untuk pengaturan *circuit breaker*.

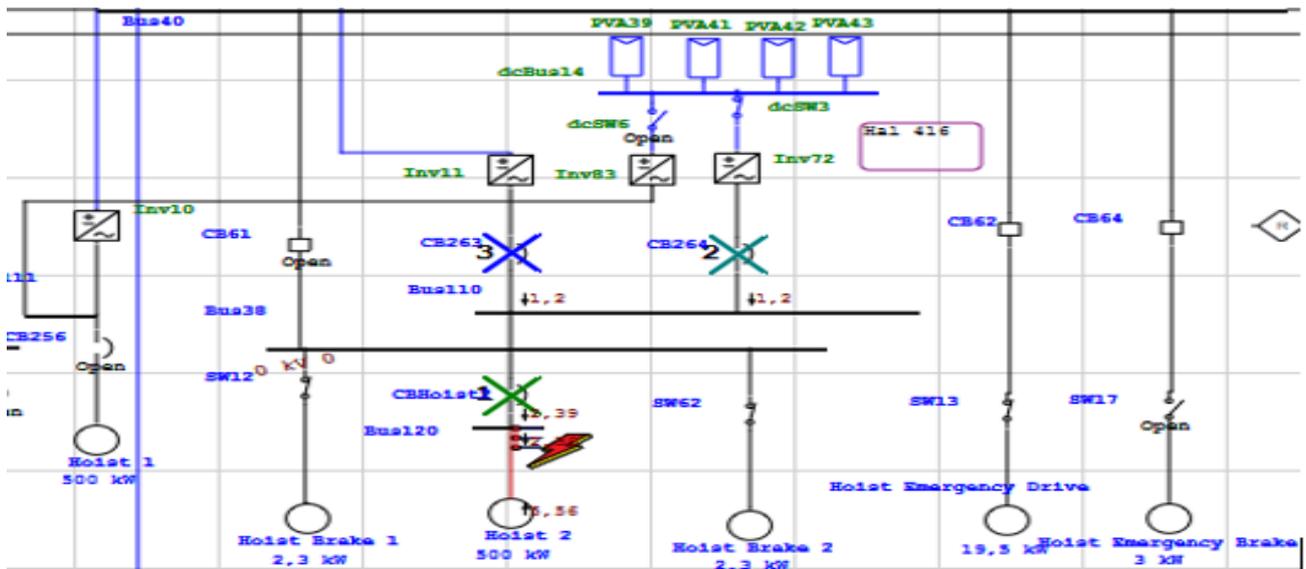
F. Analisa Kurva Arus Waktu

Fungsi kurva arus waktu untuk mengetahui nilai kurva motor pada saat melakukan *starting*, dan kurva operasi *circuit breaker*. Jika terdapat gangguan pada elemen atau komponen lain, *circuit breaker* dapat meminimalisir gangguan elemen atau komponen yang beroperasi pada kondisi normal.

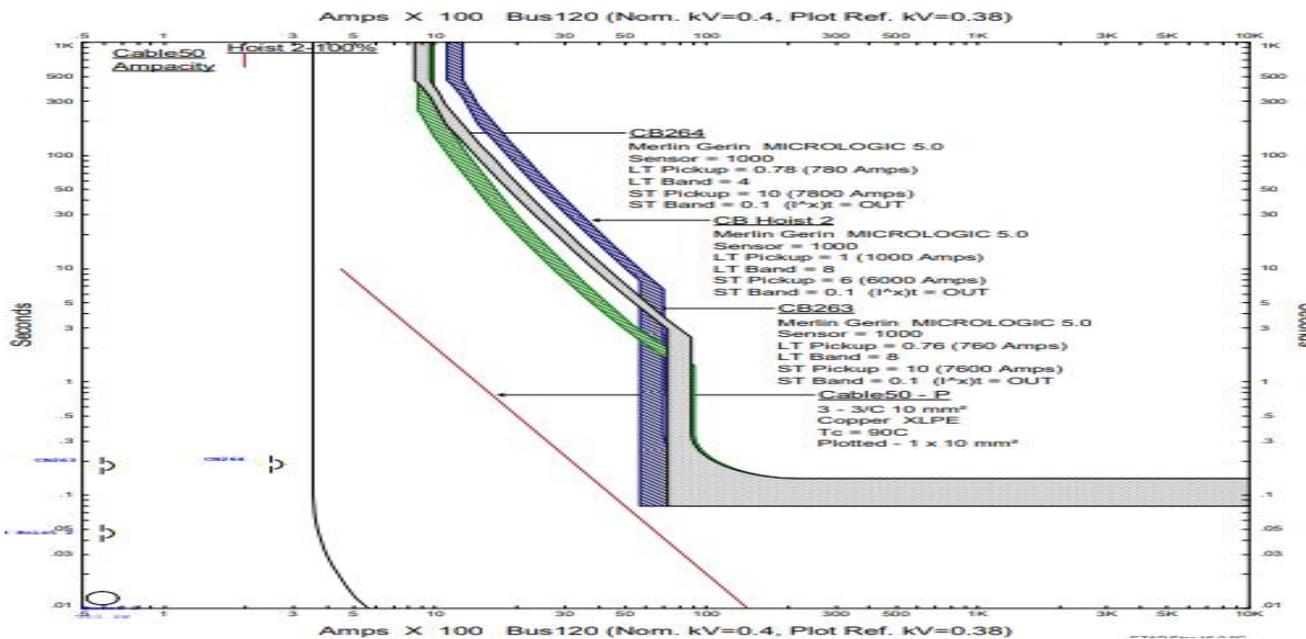
III. ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

A. Nilai Arus Hubungan Singkat

Berdasarkan simulasi *short circuit* pada *software* simulasi, nilai arus hubung singkat diperoleh dari lima kondisi didalam operasi *container crane*, yaitu motor *hoist* beroperasi, motor *boom* beroperasi, motor *trolley* beroperasi, motor *gantry* beroperasi, dan motor *hoist* dan *trolley* beroperasi bersamaan. Gangguan timbul pada bus utama yang terhubung dengan motor utama sehingga nilai arus hubung singkat dari kelima kondisi didalam operasi *container crane* dapat dibandingkan. Namun, arus hubung singkat terbesar terjadi saat kondisi



Gambar 2. Urutan Pemutusan Kontak *Circuit Breaker* Skenario I.



Gambar 3. Kurva Arus Waktu *Circuit Breaker* Skenario I.

motor *hoist* beroperasi. Berdasarkan hasil simulasi, untuk mengurangi arus hubung singkat yang terjadi dapat dilakukan dengan cara memperbesar kabel pengaman yang digunakan. Tabel 1 dan Tabel 2 hasil simulasi sebelum dan setelah dilakukan penggantian kabel pengaman.

Nilai maksimum arus hubung singkat diperoleh dari simulasi *3-phase short circuit*, dan oleh karena itu nilai minimum diperoleh dari simulasi *1-phase short circuit*. Nilai ini akan digunakan untuk menentukan arus pengaturan *circuit breaker*.

Berdasarkan tabel 1 dan 2 didapatkan nilai arus hubung singkat pada kelima skenario pada *container crane* sebesar 9,882 kA pada motor *hoist*, 3,586 kA pada motor *boom*, 1,683 kA pada motor *trolley*, 4,415 kA pada motor *gantry*, dan nilai yang sama pada skenario motor *hoist* dan *trolley* beroperasi bersamaan dengan skenario I dan III yang keseluruhan skenario disuplai dengan energi terbarukan. Nilai arus hubung singkat terbesar pada pengoperasian motor *hoist*, dan nilai arus terkecil pada pengoperasian motor *trolley*.

Berdasarkan nilai arus ini digunakan untuk mengatur arus *trip* pada *circuit breaker* di setiap motor utama.

B. Pemilihan *Circuit Breaker*

Berdasarkan tabel 1 dan 2, terdapat empat motor utama yang memiliki arus hubung singkat terbesar. Peralatan yang dipilih sebagai skenario adalah komponen yang memberikan kontribusi arus hubung singkat terbesar secara signifikan ke bus di dekat motor utama.

Pengaturan pertama dalam *circuit breaker* adalah menentukan jenis perangkat *trip device* didalam *circuit breaker*. Dalam penelitian ini digunakan jenis *solid-state trip device*. Yang kedua adalah menentukan spesifikasi dari *circuit breaker* (pabrikan, model, tegangan minimum). Selanjutnya adalah menentukan nilai rating arus berdasarkan beban peralatan atau elemen. Kemudian, pengaturan *trip device* berdasarkan beban dan nilai minimum dari peralatan atau elemen tersebut. Spesifikasi dari *circuit breaker* harus memiliki pengaturan *long time pick-up* yang digunakan untuk

melindungi peralatan dari gangguan kelebihan beban dan pengaturan *short time pick-up* digunakan untuk melindungi peralatan dari gangguan hubungan singkat. Langkah terakhir adalah membuat gangguan pada peralatan atau elemen yang digunakan untuk studi kasus atau skenario yang telah direncanakan.

Langkah selanjutnya adalah mengkoordinasikan *circuit breaker* pada gangguan setiap motor utama. Gambar 2 menunjukkan alur pemutusan *circuit breaker* menjadi keadaan *open*. Gangguan tersebut diakibatkan oleh motor *hoist*. Oleh karena itu, koordinasi *circuit breaker* harus diterapkan untuk meminimalisir zona yang dekat dengan gangguan.

Pengaturan dari *circuit breaker* menggunakan standar British Standard 142. Berdasarkan tabel 3 diatas, untuk skenario I yaitu CB Hoist 2 yang melindungi motor utama *hoist* akan mulai menunda waktu operasi dari arus ketika beban motor mencapai 105% dan akan *trip* jika arus yang masuk ke beban telah mencapai 1000 A dikarenakan beban yang berlebih.

Berdasarkan tabel 4 diatas, untuk skenario I yaitu CB Hoist 2 yang melindungi motor utama *hoist* akan *trip* jika arus yang diserap oleh motor *hoist* mencapai 6000 A dimana arus lebih tidak disebabkan oleh gangguan beban berlebih.

Dari *one-line diagram* diatas, motor *hoist* sengaja diberikan gangguan dengan menggunakan *star-protection device coordination* di *software* simulasi. Dengan demikian, *circuit breaker* yang akan dilakukan pengaturan koordinasi proteksi adalah CB Hoist 2, CB 263, dan CB 264.

CB Hoist 2 merupakan pengaman pertama yang berfungsi untuk mengamankan motor *hoist* jika terjadi gangguan pada bus 110 0,4kV. CB 263 merupakan pengaman kedua pada bus 110 sekaligus pengaman cadangan jika CB Hoist 2 mengalami kegagalan saat mengamankan motor *hoist*. CB 264 merupakan pengaman untuk motor *hoist* sekaligus pengaman cadangan ketiga jika CB Hoist 2 dan CB 263 mengalami kegagalan. Output dari simulasi skenario 1 menghasilkan kurva kerja pada gambar 4.16 yang menjelaskan kerja *circuit breaker* CB Hoist 2, CB263, CB264, dan kurva arus motor *hoist* sebagai berikut : (1) Kurva motor *hoist* 2 dari bawah keatas adalah nilai arus start motor *hoist* 2 yang kemudian kembali pada arus FLA nya dalam waktu 3 detik; (2) Kurva CB Hoist 2 yang berwarna biru adalah kurva *circuit breaker* yang melindungi motor *hoist*. *Circuit breaker* ini memiliki karakteristik kecepatan *long-time pickup* 1 detik pada arus 1000 A. Artinya, ketika motor *hoist* terjadi gangguan beban lebih yang menyebabkan nilai arus FLA mencapai 1000 A, maka *circuit breaker* akan mendeteksi arus tersebut dalam 1 detik dengan *delay* waktu *trip* 5 - 400 detik. Sehingga, 45 ketika terjadi beban lebih, maka *circuit breaker* tidak langsung memutuskan arus kecuali apabila dalam waktu 5 - 400 detik nilai arus tidak segera turun; (3) Kurva CB Hoist 2 juga memiliki karakteristik kecepatan *short-time pickup* 6 detik pada arus 6000 A. Artinya, ketika aliran arus pada motor *hoist* mencapai 6000 A, maka *circuit breaker* akan mendeteksi arus tersebut dalam waktu 6 detik dan langsung terjadi *trip* saat itu juga; (4) Kurva CB264 yang berwarna hijau adalah kurva *circuit breaker* yang melindungi inverter *output* dari PV (photovoltaic) sekaligus sebagai pengaman *backup* jika CB Hoist 2 mengalami kegagalan dalam memproteksi motor

hoist 2. *Circuit breaker* akan *trip* dalam waktu 0,15 detik jika arus yang mengalir melewati batas *setting* arus *circuit breaker* CB264 yaitu 7800 A. Ketika PV terjadi terjadi *overload* yang menyebabkan nilai arus FLA mencapai 780 A, maka *circuit breaker* PV akan mendeteksi arus tersebut dalam waktu 10 detik, dan akan *trip* dalam waktu 1 - 300 detik; (5) CB263 yang berada di belakang kurva CB Hoist 2 adalah kurva *circuit breaker* yang melindungi inverter suplai tegangan PLN sekaligus sebagai pengaman *backup* jika CB Hoist 2 mengalami kegagalan dalam memproteksi motor *hoist*. *Circuit breaker* akan *trip* dalam waktu 0,15 detik jika arus yang mengalir melewati batas *setting* arus *circuit breaker* CB263 yaitu 7600 A. Ketika PV terjadi terjadi *overload* yang menyebabkan nilai arus FLA mencapai 760 A, maka *circuit breaker* PV akan mendeteksi arus tersebut dalam waktu 10 detik, dan akan *trip* dalam waktu 2 - 300 detik; (6) Kurva kerja *circuit breaker* berada di sebelah kanan kurva arus *starting* dari motor *hoist*, artinya pada saat motor *hoist* melakukan *starting*, jika terjadi lonjakan arus start, masih dapat diamankan oleh ketiga *circuit breaker* tersebut. Jika kurva kerja *circuit breaker* bersinggungan dengan kurva arus *starting* motor, maka akan dianggap sebagai gangguan oleh *circuit breaker* yang sebenarnya adalah lonjakan arus *starting* dari motor. Sehingga *circuit breaker* akan selalu *trip* setiap motor melakukan *starting*.

Berdasarkan simulasi ini didapatkan hasil setelah motor *hoist* beroperasi dengan 882,4 FLA atau setara 500 kW maka tambahan arus akan terlindungi. Namun, jika motor harus bekerja dengan beban penuh karena suatu kondisi, maka koordinasi proteksi perlu diatur ulang karena perubahan arus nominal terhadap motor. Jika tidak dilakukan pengaturan ulang, maka setelah motor beroperasi dengan koordinasi proteksi awal, maka *trip* akan terus terjadi selama kondisi operasional.

IV. KESIMPULAN/RINGKASAN

A. Kesimpulan

Kesimpulan diperoleh antara lain: (1) Besarnya arus hubungan singkat (*short circuit*) dipengaruhi oleh jumlah beban dari setiap peralatan pada setiap kondisi operasional *container crane*. Hasil simulasi pada kondisi suplai tegangan PLN dan suplai tegangan inverter dari PV dengan *backup* tegangan PLN di 5 skenario operasional *container crane* menunjukkan komponen yang memiliki nilai *short circuit* terbesar dengan suplai PLN yaitu motor *hoist* sebesar 11,678 kA dan *short circuit* terbesar dengan suplai inverter PV yaitu 13,103 kA. Setelah dilakukan penggantian kabel pengaman dengan spesifikasi yang sama di semua motor utama, nilai arus *short circuit* terbesar dengan suplai PLN yaitu motor *hoist* sebesar 8,494 kA dan dengan suplai inverter PV sebesar 9,882 kA; (2) Pengaturan *circuit breaker* yang berfungsi sebagai pelindung utama pada motor penggerak utama. Untuk motor *hoist* memiliki karakteristik *short time pick up* sebesar 6000 A sedangkan untuk nilai 0,8Isc min motor *hoist* sebesar 9882 A agar dapat langsung *trip* ketika ada arus lebih yang sangat besar untuk melindungi komponen dengan cepat tanpa waktu *delay*. Oleh karena itu pemilihan *circuit breaker* untuk motor *hoist* harus memiliki *setting short time pick up* 6000 A yang sekaligus berfungsi sebagai pengaman *back up* untuk komponen – komponen yang terhubung, dimana dapat

memproteksi arus yang lebih besar daripada *circuit breaker* yang melindungi komponen. Dalam pengaturan koordinasi arus lebih, kurva kerja *circuit breaker* harus berada di belakang kurva kerja beban agar selama *starting* motor hingga motor beroperasi tidak terjadi *trip* kecuali pada saat terjadi gangguan arus lebih; (3) Pengaturan ulang *circuit breaker* apabila motor penggerak utama *container crane* harus bekerja pada beban maksimal. Hal ini dikarenakan jika nilai beban suatu komponen berubah, maka arus nominal akan berubah, sehingga pengaturan kembali koordinasi pengaman berfungsi untuk mengoptimalkan kerja dari sistem proteksi dan memastikan bahwa tidak terjadi *trip* saat motor beroperasi

B. Saran

Dalam analisa gangguan *short circuit* serta pengaturan koordinasi proteksi 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 atau pengkajian lebih lanjut, antara lain; (1) Penggunaan photovoltaic (PV) pada tegangan menengah sampai tinggi agar pengaman yang digunakan lebih bervariasi; (2) Proteksi arus lebih pada *container crane* khususnya motor *hoist* dengan variasi beban angkat pada motor *hoist*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] 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.
- [2] F. R. Wahyudy, "Analisa arus starting transformator pada pengoperasian container crane di pelabuhan," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2016.
- [3] I. R. Kusuma, S. Sarwito, S. Sanuri, M. B. Zaman, and Soedibyo, "Analisa drop voltage dan short Circuit pada kapal trimaran," in *Seminar Nasional Kelautan XIV*, 2019, pp. 16–19, [Online]. Available: <http://prosidingseminakel.hangtuah.ac.id/index.php/ps/article/view/31>
- [4] S. Sarwito, Semin, M. B. Zaman, Soedibyo, and T. S. Ramadhan, "Short circuit study on closed circuit electrical system of ship dynamic positioning system based on laboratory scale experiment," in *AIP Conference Proceedings*, Dec. 2019, vol. 2187, no. 1, p. 060004, doi: 10.1063/1.5138365.
- [5] International Electrotechnical Commission, *Short-Circuit Currents in Three-Phase AC System – Part 0: Calculation of Short-Circuit Currents*, 1st ed., vol. 07. Switzerland: International Electrotechnical Commission, 2001.
- [6] I. E. Commission, *Short-Circuit Currents in Three-Phase a.c. Systems— Part 1: Factors for the Calculation of Short-Circuit Currents According to IEC 60909-0*, 2nd ed., vol. 2002. Switzerland: Commission, International Electrotechnical, 2002.
- [7] International, Electrotechnical, and Commission, *Electrical Equipment— Data for Short-Circuit Current Calculations in Accordance with IEC 909 (1988)*, 1st ed. Rue de Verembe: International Electrotechnical Commission, 1992.
- [8] International, Electrotechnical, and Commission, *Short-Circuit Currents in Three-Phase a.c. Systems— Part 3: Currents During Two Separate Simultaneous Line-to-Earth Short Circuits and Partial Short-Circuit Currents Flowing Through Earth*. Geneva, Switzerland: International Electrotechnical Commission, 2003.
- [9] I. E. Commission, *Short-circuit currents in Three-Phase a.c. Systems— Part 4: Examples for the Calculation of Short-Circuit Currents*. Geneva, Switzerland: International Electrotechnical Commission, 2000.
- [10] A. Kumiawan, S. P. Fitri, and M. F. Rahma, "experimental study of thermoelectric generator as electrical source of impressed current cathodic protection for ship hull," *Int. J. Appl. Eng. Res.*, vol. 1, no. 3, pp. 143–148, 2017.
- [11] I. R. Kusuma, "Design and simulation of automatic ballast system on catamaran ship based on programmable logic control," *Int. J. Mar. Eng. Innov. Res.*, vol. 1, no. 3, pp. 161–167, 2017, doi: 10.12962/j25481479.v1i3.2076.
- [12] Schneider Electric, "Circuit breaker characteristic trip curves and coordination class 0600," *Data Bulletin*, no. 0600, Cedar Rapids, IA, USA, p. 18, 2001.
- [13] S. W. Siana, "Pengaturan koordinasi proteksi arus lebih pada sistem Kelistrikan di kapal tanker dengan simulasi," Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, 2018.
- [14] A. R. van C. Warrington, *Protective Relays Volume 1*, 2nd ed. California: Chapman & Hall, 1962.
- [15] C. Preve, *Protection of Electrical Networks*. London: ISTE Ltd, Great Britain and the United States, 2006.
- [16] 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.