

Analisa Tegangan Jatuh pada Sistem Distribusi Listrik di Kapal Penumpang dengan Menggunakan Metode Simulasi

Muhammad F. Wahyudianto, Sardono Sarwito, dan Adi Kurniawan
 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh
 Nopember (ITS)
 Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia
e-mail: sarsan@its.ac.id

Abstrak—Kebutuhan akan listrik di kapal saat ini sangat tinggi, karena hampir semua aktivitas di kapal seperti berlayar, bermanuver, bongkar muat dan lego jangkar membutuhkan konsumsi listrik yang besar. Pada berbagai macam kondisi tersebut perlu diketahui seberapa besar nilai *losses* tegangan atau tegangan jatuh dan cara untuk melakukan perbaikan tegangan jatuh. Pada penulisan tugas akhir akan dikaji secara teknis cara melakukan perhitungan tegangan jatuh secara manual dan membandingkannya dengan simulasi *software*. Pada simulasi *software* digunakan *load flow analysis* dan *motor acceleration analysis* sebagai metode untuk melakukan perhitungan tegangan jatuh secara simulasi. Hasil yang diperoleh terdapat tegangan jatuh terbesar pada kondisi manuever, saat *starting* bow thruster terdapat tegangan jatuh selama 60 detik yang tidak sesuai dengan standar IEC 5% dan tidak direkomendasikan oleh IEEE. Setelah dilakukan perbaikan pada bow thruster dengan cara menaikkan tap transformator sebesar 2,5% dengan tegangan sekunder 400V pada hasil running *load flow analysis* dan memberi kapasitor sebesar 2000 kVAr, tegangan jatuh pada hasil running *motor acceleration analysis* tegangan jatuh dapat diturunkan menjadi 13 detik yang sesuai dengan standar IEC dan rekomendasi IEEE.

Kata Kunci—*load flow analysis, motor acceleration analysis, sistem kelistrikan kapal, tegangan jatuh*

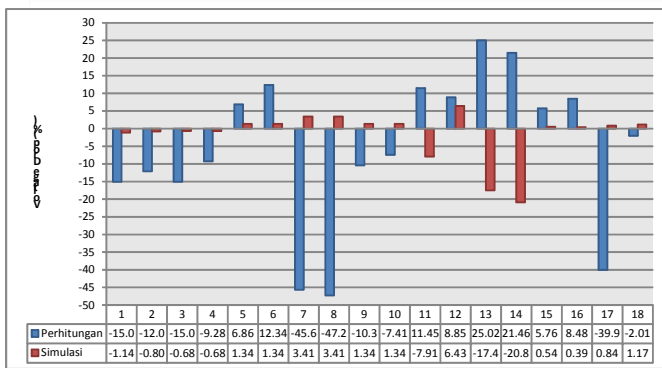
I. PENDAHULUAN

Indonesia adalah salah satu negara maritim terbesar di kawasan Asia Tenggara. Hampir semua kegiatan ekspor dan impor menggunakan media transportasi laut mengingat barang yang akan dibawa merupakan kebutuhan pokok seperti minyak, beras, gandum dan kebutuhan industri yang menunjang lainnya dalam jumlah besar. Saat ini kebutuhan listrik di kapal sangat tinggi, karena hampir semua aktivitas di kapal membutuhkan listrik. Kapal sendiri memiliki beberapa kondisi yaitu berlayar (*sailing*), bermanuver (*maneuvering*), bongkar muat (*cargo handling*) dan lego jangkar (*anchoring*) semua membutuhkan konsumsi listrik yang besar, terutama pada saat kapal dalam kondisi bermanuver (*maneuvering*) dan bongkar muat (*cargo handling*). Berbagai macam kondisi kapal tersebut membuat kualitas energi listrik sangat penting, bahkan telah menjadi salah satu faktor utama. Kualitas tegangan yang buruk dapat menyebabkan kerusakan pada alat-alat listrik yang ada di kapal. Tegangan jatuh atau *drop voltage* ialah suatu kondisi dimana jumlah tegangan yang disalurkan tidak sama dengan tegangan yang diterima persis penerimanya (beban listrik). Kondisi tersebut mengakibatkan

kualitas tegangan menjadi buruk dan mengakibatkan arus listrik menjadi tinggi.

Tegangan jatuh adalah selisih antara tegangan ujung pengiriman dan tegangan ujung penerima. Akibat jatuh tegangan yang melebihi toleransi mengakibatkan banyak peralatan elektronik yang tidak bisa bekerja secara maksimal bahkan beberapa mengalami kerusakan. Peningkatan beban yang bersifat induktif dapat mengakibatkan pada penurunan faktor daya, peningkatan rugi-rugi jaringan, penurunan tegangan khususnya pada ujung saluran dan regulasi tegangan yang memburuk. [1] Metode perhitungan tegangan jatuh dengan cara *load flow analysis* menggunakan *software* sangatlah membantu dengan hasil yang lebih baik atau lebih presisi daripada melakukannya dengan sistem manual. Dengan mengetahui data aktual *single line diagram* kemudian dapat disimulasikan pada *software* untuk segera dianalisa apakah terjadi *under voltage* pada tiap bus penyulang. *Load flow analysis* yang disimulasikan dengan *software* menggunakan metode Newton-Rapshon. Apabila terjadi suatu kegagalan sistem atau sistem tersebut bermasalah *software* akan memberikan tanda warna merah. *Load flow studies* bisa digunakan juga untuk mengoptimalkan *size* dan lokasi dari kapasitor apabila terjadi *under voltage*. [2]

Load flow studies digunakan untuk mengetahui aliran daya listrik yang ditransfer dari generator kepada beban-beban listrik yang melewati *grid system* dengan stabil, keandalan penuh, dan ekonomis. [3] Perencanaan *single line diagram* pada *software* yang mana juga dapat melihat karakteristik motor induksi. *Software* memiliki dua metode perhitungan *starting* motor induksi yaitu *dynamic motor acceleration* dan *static motor acceleration*. [4] *Power station* adalah *software* untuk *power system* yang bekerja berdasarkan perencanaan (*plant/project*). Setiap *plant* harus menyediakan *modeling* peralatan dan alat – alat pendukung yang berhubungan dengan analisis yang akan dilakukan. *Power station* dapat melakukan penggambaran *single line diagram* secara grafis dan mengadakan beberapa analisis / studi yakni *load flow* (aliran daya), *short circuit* (hubung singkat), *motor starting*, *harmonics power systems*, *transient stability* dan *protective device coordination*. [5] Alternatif yang dapat dilakukan untuk memperbaiki profil tegangan jatuh adalah dengan memasang kapasitor seperti pada gambar 1. [1]



Gambar 2. Grafik Perbandingan Perhitungan dan Simulasi (*sailing*)

II. METODE PENELITIAN

A. Pengambilan Data Lapangan

Sebelum melakukan metode perhitungan dan simulasi

Tabel 1. Spesifikasi Peralatan

Nama Peralatan	P (kW)	V (V)	I (A)
Fan Engine Room (PS Fore)	24,2	400	50
Fan Engine Room (PS After)	24,2	400	50
Fan Engine Room (SB Fore)	24,2	400	50
Fan Engine Room (SB After)	24,2	400	50
Fan A/E (PS)	16,5	400	33
Fan A/E (SB)	16,5	400	33
Fan Separator (Sup)	7,5	400	14,8
Fan Separator (Exh)	7,5	400	14,8
Fan C/R (Sup)	11	400	22,5
Fan C/R (Exh)	11	400	22,5
Fan S/G	2,5	400	2,1
MDO Trans	5,5	400	10,9
MDO Booster	1,1	400	2,65
LO Pump	1,5	400	3,45
CO FW Pump	48	400	92
CO SW Pump	38	400	75
Hydropore	15,5	400	28,5
Steering Gear	48	400	85
Ballast Pump	15,5	400	28,5
Windlass	42	400	73
Bow Thruster	736	400	1345

tegangan jatuh yang ada di kapal, data penelitian harus diperoleh terlebih dahulu melalui pengamatan langsung kondisi sistem distribusi listrik dan peralatan listrik di kapal sebagai objek yang akan diteliti. Data hasil pengamatan lapangan dan spesifikasi peralatan terdapat pada Tabel 1.

B. Metode Perhitungan

Data hasil pengamatan langsung di lapangan kemudian diolah melalui metode perhitungan dengan cara melihat tegangan pada sisi kirim atau sumber listrik di kapal dan membandingkannya dengan tegangan dari sisi terima. Rugi tegangan dapat dinyatakan dengan:

$$\Delta V = V_s - V_r \tag{1}$$

Dimana,

ΔV : Tegangan jatuh (V)

V_s : Tegangan kirim (V)

V_r : Tegangan terima (V)

Maka besar nilai presentase (%) tegangan jatuh adalah :

$$\Delta V(\%) = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% \tag{2}$$

Dimana,

$\Delta V(\%)$: Tegangan jatuh dalam (%)

ΔV : Tegangan jatuh (V)

V : Tegangan kerja (V)

C. Metode Simulasi Load Flow Analysis

Voltage drop itu terjadi pada sistem distribusi, dengan cara menganalisa daya 3 phase beserta perhitungannya menggunakan media digital komputer. Memberikan rekomendasi kepada praktisi *engineer* untuk dapat memilih beberapa metode analisis untuk menganalisa terjadinya *voltage drop* dengan baik. [6] Proses pengolahan data dengan simulasi dilakukan dengan cara melakukan penggambaran *one line diagram* pada *software*. Kemudian hasil dapat diambil dan dilakukan analisa data sebagai penunjang untuk melakukan perbandingan dengan hasil yang diperoleh dari perhitungan.

D. Metode Simulasi Starting Analysis

Metode simulasi dengan menggunakan *motor acceleration analysis* digunakan untuk menganalisa performa motor induksi pada saat *starting* maupun saat *running*. Bertujuan untuk mengetahui starting motor induksi yang digunakan di kapal, merujuk pada standar IEC 5% [7] dan sesuai rekomendasi IEEE. [8] Tegangan jatuh menurut rekomendasi IEEE selama operasional 60 detik pertama tidak boleh melebihi 5% sesuai standar IEC. [9]

III. HASIL DAN ANALISA

Pada sub-seksi ini, dilakukan perhitungan dan simulasi dari data yang telah didapat sesuai dengan kondisi kapal, kemudian melakukan analisa performa motor-motor listrik yang digunakan dalam objek penelitian sesuai data yang telah didapatkan.

A. Kondisi Sailing

Pada saat kapal dalam kondisi *sailing* beban listrik disuplai oleh dua unit generator dengan daya masing – masing sebesar 800 kW dan satu unit transformator dengan daya 2400 kVA. Pada saat kapal dalam kondisi *sailing* beban tertinggi ada pada steering gear, sea water cooling pump dan fresh water cooling pump dengan masing – masing daya 48 kW, 48 kW dan 38 kW. Perbandingan hasil prosentase tegangan jatuh untuk mengetahui apakah nilai tegangan jatuh yang dihitung secara manual dengan simulasi *software* mengalami perbedaan yang signifikan, pada Gambar 2 dan Tabel 2 kondisi *sailing* ditunjukkan hasil perhitungan lebih banyak memiliki nilai tegangan jatuh kurang dari standar IEC 5% [7] dibandingkan dengan hasil simulasi, dikarenakan berbagai faktor eksternal yang mempengaruhi kondisi lapangan sedangkan pada hasil simulasi dipengaruhi oleh faktor kurangnya input data yang sesuai kondisi riil di lapangan, sehingga membuat hasil simulasi *software* kurang maksimal.

B. Kondisi Loading Unloading

Pada saat kapal dalam kondisi *loading unloading* beban listrik disuplai oleh dua unit generator dengan daya masing – masing 800 kW dan satu unit transformator dengan daya 2400 kVA. Pada saat kapal dalam kondisi *loading unloading* beban tertinggi ada pada ballast pump, sea water cooling pump dan fresh water cooling pump dengan masing – masing daya 15,5 kW, 48 kW dan 38 kW. Kondisi *loading unloading* kapal penumpang berbeda dari kapal niaga lainnya yang beban puncak konsumsi listrik terbesar di kapal terletak pada kondisi *loading unloading* yang biasanya digunakan untuk peralatan permesinan geladak seperti crane dan permesinan bongkar muat pada kapal tanker, sedangkan pada kapal penumpang

Tabel 2. Nilai Error Perhitungan dan Simulasi (*sailing*)

Nama Peralatan	ΔV Perhitungan	ΔV Simulasi	Error (%)
Fan Engine Room (PS Fore)	-60,15	-4,56	55,59

Tabel 4. Nilai Error Perhitungan dan Simulasi (*anchoring*)

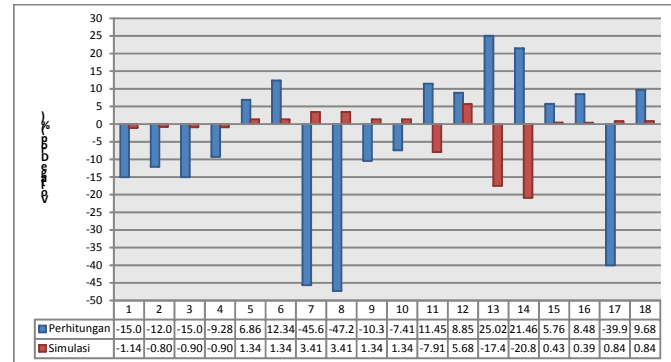
Nama Peralatan	ΔV Perhitungan	ΔV Simulasi	Error (%)
Fan Engine Room (PS Fore)	-60,15	-4,56	55,59
Fan Engine Room (PS After)	-48,35	-3,21	45,14
Fan Engine Room (SB Fore)	-60,15	-2,73	57,42
Fan Engine Room (SB After)	-37,14	-2,73	34,41
Fan A/E (PS)	27,44	5,37	22,07
Fan A/E (SB)	49,35	5,37	43,98
Fan Separator (Sup)	-182,70	13,65	196,34
Fan Separator (Exh)	-189,03	13,65	202,68
Fan C/R (Sup)	-41,55	5,37	46,92
Fan C/R (Exh)	-29,62	5,37	34,99
Fan S/G	45,81	-31,63	77,44
MDO Trans	35,41	22,73	12,69
MDO Booster	100,08	-69,95	170,02
LO Pump	85,85	-83,47	169,32
CO FW Pump	23,02	2,15	20,87
CO SW Pump	33,91	1,58	32,34
Hydropore	-159,97	3,37	163,34
Windlass	-18,58	3,16	21,74

Perbandingan hasil perhitungan tegangan jatuh didapatkan dari data yang diperoleh dari pengamatan langsung di kapal penumpang yang digunakan sebagai objek penelitian dan hasil simulasi *load flow analysis* sesuai pada gambar 4. Perbandingan hasil perolehan prosentase tegangan jatuh ini

C. Kondisi Anchoring

Pada saat kapal dalam kondisi *anchoring* disuplai oleh dua unit generator dengan daya masing – masing 800 kW dan satu unit transformator dengan daya 2400 kVA. Pada saat kapal dalam kondisi *anchoring* beban tertinggi ada pada windlass, sea water cooling pump dan fresh water cooling pump dengan masing – masing daya 42 kW, 48 kW dan 38 kW. Perbandingan hasil perhitungan tegangan jatuh didapatkan dari data yang diperoleh dari pengamatan langsung di kapal penumpang yang digunakan sebagai objek penelitian dan hasil simulasi *load flow analysis* sesuai pada gambar 4. Perbandingan hasil perolehan prosentase tegangan jatuh ini

bertujuan untuk mengetahui apakah nilai tegangan jatuh kondisi *anchoring* kapal penumpang yang dihitung secara



Gambar 3. Grafik Perbandingan Perhitungan dan Simulasi (*loading unloading*)

manual dan dengan menggunakan simulasi *software*

Tabel 3. Nilai Error Perhitungan dan Simulasi (*loading unloading*)

Nama Peralatan	ΔV Perhitungan	ΔV Simulasi	Error (%)
Fan Engine Room (PS Fore)	-60,15	-4,56	55,59
Fan Engine Room (PS After)	-48,35	-3,21	45,14
Fan Engine Room (SB Fore)	-60,15	-3,60	56,55
Fan Engine Room (SB After)	-37,14	-3,60	33,54
Fan A/E (PS)	27,44	5,37	22,07
Fan A/E (SB)	49,35	5,37	43,98
Fan Separator (Sup)	-182,70	13,65	196,34
Fan Separator (Exh)	-189,03	13,65	202,68
Fan C/R (Sup)	-41,55	5,37	46,92
Fan C/R (Exh)	-29,62	5,37	34,99
Fan S/G	45,81	-31,63	77,44
MDO Trans	35,41	22,73	12,69
MDO Booster	100,08	-69,95	170,02
LO Pump	85,85	-83,47	169,32
CO FW Pump	23,02	2,15	20,87
CO SW Pump	33,91	1,58	32,34
Hydropore	-159,97	3,37	163,34
Windlass	-18,58	3,16	21,74
Bow Thruster	20,15	22,11	1,96

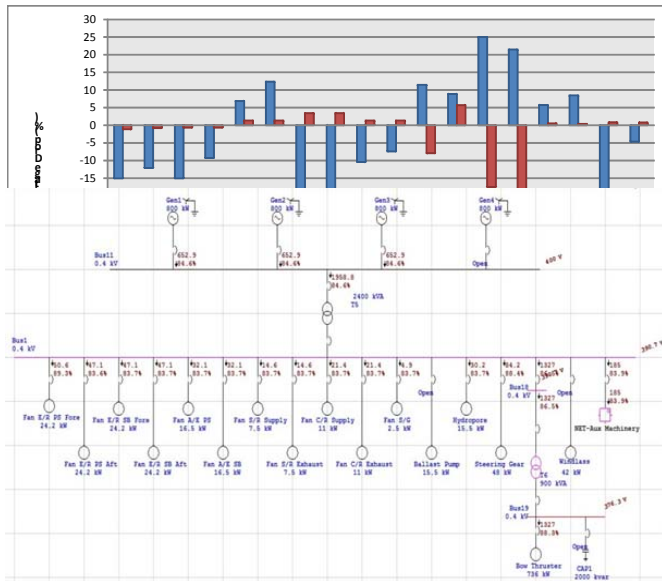
Tabel 5. Nilai Error Perhitungan dan Simulasi (*manuevering*)

Nama Peralatan	ΔV Perhitungan	ΔV Simulasi	Error (%)
Fan Engine Room (PS Fore)	-60,15	-4,56	55,59
Fan Engine Room (PS After)	-48,35	-3,21	45,14
Fan Engine Room (SB Fore)	-60,15	-2,73	57,42
Fan Engine Room (SB After)	-37,14	-2,73	34,41
Fan A/E (PS)	27,44	5,37	22,07
Fan A/E (SB)	49,35	5,37	43,98
Fan Separator (Sup)	-182,70	13,65	196,34
Fan Separator (Exh)	-189,03	13,65	202,68
Fan C/R (Sup)	-41,55	5,37	46,92
Fan C/R (Exh)	-29,62	5,37	34,99
Fan S/G	45,81	-31,63	77,44
MDO Trans	35,41	22,73	12,69
MDO Booster	100,08	-69,95	170,02
LO Pump	85,85	-83,47	169,32
CO FW Pump	23,02	2,15	20,87
CO SW Pump	33,91	1,58	32,34
Hydropore	-159,97	3,37	163,34
Windlass	-18,58	3,16	21,74
Bow Thruster	20,15	22,11	1,96

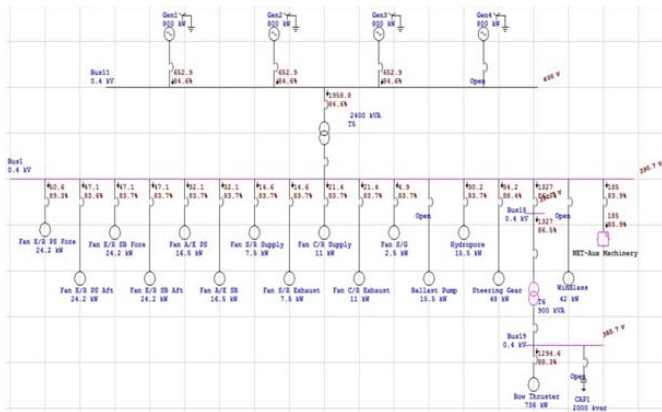
lapangan sedangkan pada hasil simulasi dipengaruhi oleh faktor kurangnya input data sesuai seperti kondisi di kapal, sehingga membuat hasil simulasi *software* kurang maksimal dan tidak mendekati nilai perhitungan.

D. Kondisi Manuevering

Pada saat kapal dalam kondisi *anchoring* disuplai oleh dua unit generator dengan daya masing – masing 800 kW, dua unit transformator dengan daya 2400 kVA dan 900 kVA transformator khusus untuk beban bow thruster. Pada saat

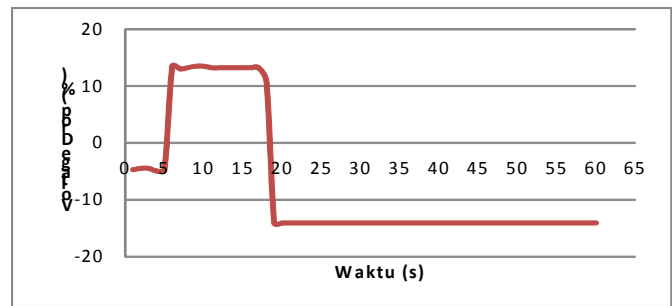


Gambar 6. Kondisi Bow Thruster Sebelum Perbaikan

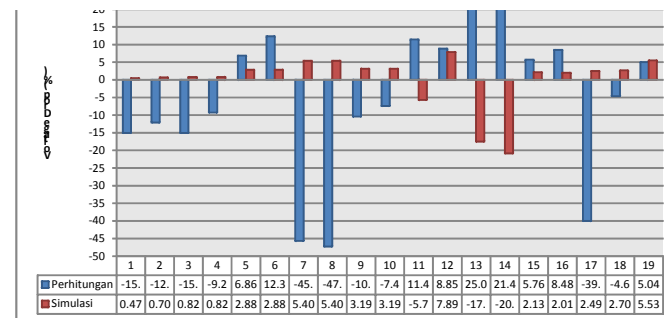


Gambar 7. Kondisi Bow Thruster Setelah Perbaikan

kapal dalam kondisi *maneuvering* beban tertinggi ada pada bow thruster, steering gear dan fresh water cooling pump dengan masing – masing daya 736 kW, 48 kW dan 48 kW. Pada gambar 6 dan tabel 5 kondisi sailing ditunjukkan hasil perhitungan lebih banyak memiliki nilai tegangan jatuh kurang dari standar IEC 5% [7] dibandingkan dengan hasil simulasi, dikarenakan berbagai faktor eksternal yang mempengaruhi kondisi lapangan. Kondisi *maneuvering* di kapal penumpang merupakan kondisi dengan beban terbesar saat beroperasi yaitu bow thruster, dimana kondisi ini kapal penumpang memerlukan tambahan generator agar dapat menggunakan bow thruster. Perbandingan hasil perolehan prosentase tegangan jatuh ini bertujuan untuk mengetahui apakah nilai tegangan jatuh kondisi *maneuvering* kapal penumpang yang dihitung secara manual dan dengan menggunakan simulasi *software* mengalami perbedaan yang signifikan. Pada Gambar 5 dan Tabel 5 kondisi *maneuvering* ditunjukkan hasil perhitungan lebih banyak memiliki nilai



Gambar 9. Grafik Kondisi Bow Thruster Setelah Penambahan Kapasitor



Gambar 5. Grafik Perbandingan Perhitungan dan Simulasi (*maneuvering*)

tegangan jatuh kurang dari standar IEC 5% [7] dibandingkan dengan hasil simulasi, dikarenakan berbagai faktor eksternal yang mempengaruhi kondisi lapangan sedangkan pada hasil simulasi dipengaruhi oleh faktor kurangnya input data sesuai seperti kondisi di kapal, sehingga membuat hasil simulasi *software* kurang maksimal dan tidak mendekati nilai perhitungan.

E. Perbaikan Tegangan Jatuh dengan Metode Simulasi

Hasil analisa tegangan jatuh yang telah dilakukan, didapatkan tegangan jatuh terbesar pada pada kondisi kapal *maneuvering* dengan beban motor listrik bow thruster. Hasil perbaikan tegangan jatuh melalui hasil simulasi load flow analysis ditunjukkan pada Gambar 7 dan sebelum melakukan perbaikan ditunjukkan pada Gambar 6. Perbaikan tegangan jatuh melalui simulasi *load flow analysis* pada kondisi *maneuvering* pada beban terbesar Bow Thruster dengan cara merubah nilai tap transformator 2 dengan daya 900 kVA, nilai tap transformator dinaikkan 2,5% dari nilai tegangan transformator pada sisi sekunder yaitu 400V. Pada awalnya ketika belum merubah tap transformator beban Bow Thruster memiliki tegangan terima sebesar 376,3V yang membuat bus dari Beban Bow Thruster berwarna merah yang berarti kondisi tersebut tidak aman, sedangkan setelah tap transformator dinaikkan 2,5% beban Bow Thruster memiliki tegangan terima sebesar 385,7V yang membuat bus dari beban Bow Thruster berwarna ungu yang artinya kondisi tersebut aman dan masih bisa ditoleransi oleh standar IEC. [7]

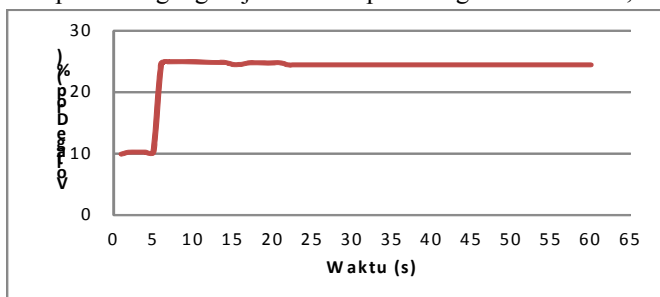
Perbaikan tegangan jatuh juga dilakukan melalui simulasi motor acceleration analysis yang hasilnya ditunjukkan pada Gambar 9 dan hasil sebelum perbaikan ditunjukkan pada Gambar 8.

Perbaikan tegangan jatuh melalui simulasi *motor acceleration analysis* pada kondisi *maneuvering* pada beban

terbesar Bow Thruster dengan cara memberikan beban tambahan yang bersifat kapasitif (kapasitor) dengan nilai tertentu agar dapat mengurangi arus dan memberikan tambahan nilai kepada tegangan serta kapasitor juga dapat meningkatkan nilai faktor daya. Pada Gambar 10 tegangan jatuh hanya terjadi selama 13 detik, kondisi tersebut telah memenuhi standar IEC [7] dan rekomendasi dari IEEE [8] bahwa tegangan jatuh tidak boleh lebih dari 60 detik saat awal operasional motor listrik. [9] Tegangan jatuh terjadi pada detik ke 6 – 18. Kondisi tersebut terjadi karena penambahan kapasitor dengan nilai 2000 kVAr. Terjadinya tegangan jatuh terbesar pada titik beban Bow Thruster karena lonjakan arus *start* yang tidak dapat diminimalisir oleh sklar wye-delta, oleh sebab itu diberi tambahan kapasitor untuk menaikkan nilai tegangan dan faktor daya. Dapat diketahui adanya tambahan beban reaktif dengan satuan VAR dapat memperkecil sudut ϕ sehingga memperbesar nilai faktor daya serta tegangan.

IV. KESIMPULAN

Kondisi *sailing* didapatkan tegangan jatuh hasil perhitungan terbesar 25,02% pada beban MDO Booster Pump dan terkecil 5,76% pada beban CO FW Pump yang keduanya tidak memenuhi standar IEC 5%. Pada hasil simulasi terbesar 6,43% pada beban MDO Transfer Pump yang tidak memenuhi standar IEC 5% dan terkecil 0,39% pada beban CO SW Pump. Kondisi loading unloading didapatkan tegangan jatuh hasil perhitungan sebesar 25,02% pada beban MDO Booster Pump dan terkecil 5,76% pada beban CO FW Pump yang keduanya tidak memenuhi standar IEC 5%. Pada hasil simulasi terbesar 5,68% pada beban MDO Transfer Pump yang tidak memenuhi standar IEC 5% dan terkecil 1,58% pada beban CO SW Pump. Kondisi *anchoring* didapatkan tegangan jatuh hasil perhitungan terbesar 25,02% pada beban MDO Booster Pump dan terkecil 5,76% pada beban CO FW Pump yang keduanya tidak memenuhi standar IEC 5%. Pada hasil simulasi terbesar 5,68% pada beban MDO Transfer Pump yang tidak memenuhi standar IEC 5% dan terkecil 0,39% pada beban CO SW Pump. Kondisi *maneuvering* didapatkan tegangan jatuh hasil perhitungan terbesar 25,02%



Gambar 8. Grafik Kondisi Bow Thruster Sebelum Penambahan Kapasitor

pada beban MDO Booster Pump dan terkecil 5,04% pada beban Bow Thruster yang keduanya tidak memenuhi standar IEC 5%. Pada hasil simulasi terbesar 7,89% pada beban MDO Transfer Pump yang tidak memenuhi standar IEC 5% dan terkecil 0,47% pada beban Fan Engine Room (PS Fore).

Perbaikan tegangan jatuh dilakukan dengan menaikkan tap transformator sebesar 2,5% dari tegangan sekunder transformator sebesar 400V. Perbaikan pada saat *starting* Bow Thruster, dengan memberikan kapasitor pada bus penyulang beban Bow Thruster sebesar 2000 kVAr, hasilnya tegangan jatuh hanya terjadi 13 detik dan telah memenuhi rekomendasi IEEE. Hasil perhitungan tegangan jatuh di kapal penumpang lebih besar dibandingkan dengan hasil simulasi sehingga menghasilkan nilai *error* tinggi, disebabkan oleh beberapa faktor antara lain ketidak seimbangan beban listrik, panjang penghantar dari generator ke setiap beban, umur peralatan, kondisi penghantar listrik, sambungan kawat pada titik cabang, kurangnya sistem eksitasi pada generator dan faktor arus *starting* pada setiap beban motor induksi. Dampak tegangan jatuh menyebabkan kerusakan pada peralatan listrik, mengurangi umur peralatan dan berkurangnya efisiensi peralatan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Asy'ari, Hasyim. 2011. "Perbaikan Tegangan Jatuh dan Rekonfigurasi Beban Pada Panel Utama Prambanan". Universitas Muhammadiyah, Surakarta.
- [2] Kapahi, Rohit. 2013. "Load Flow Analysis of 132 kV Substation Using ETAP Software". International Journal of Scientific and Engineering Research, IEEE.
- [3] Dharamjit & Tanti, D.K. 2012. "Load Flow Analysis on IEEE 30 bus System". International Journal of Scientific and Research Publications, India, IEEE.
- [4] Patil, Piyush S. & Porate K.B. 2009. "Starting Analysis of Induction Motor. A Computer Simulation by ETAP Power Station". Second International Conference Emerging Trends in Engineering and Technology, IEEE.
- [5] Tanjung, Abrar. 2010. "Analisis Penentuan Kapasitor Optimum Untuk Memperbaiki Jatuh Tegangan dan Meminimalkan Rugi – Rugi Daya Pada Sistem Distribusi Menggunakan Program Electric Transient Analysis Program". Universitas Lancang Kuning.
- [6] Brice, Charles W. "Voltage-Drop Calculations and Power-Flow Studies for Rural Electric Distribution Lines". University of South Carolina, Columbia, USA.
- [7] IEC 60364-8-1, Annex A. "Maximum Voltage Drop Allowed in The Electrical Installations"
- [8] IEEE std. 1159-1995. "IEEE Standard Voltage Dip". IEEE, New York
- [9] Wahyudy, Firman Rahmat. Sarwito, Sardono. Kurniawan, Adi 2016. "Analisis Arus Starting Transformator Pada Pengoperasian Container Crane di Pelabuhan". Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.