

RANCANG BANGUN PERANGKAT LUNAK UNTUK PERHITUNGAN BESAR ARUS HUBUNG SINGKAT PADA SISTEM DISTRIBUSI LISTRIK DI KAPAL

Riyanarto Sarno, Margo Pudjiantara, Bilqis Amaliah

Jurusan Teknik Informatika,

Fakultas Teknologi Informasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Kampus ITS, Jl. Raya ITS, Sukolilo – Surabaya 60111, Tel. + 62 31 5939214, Fax. + 62 31 5913804

Email : riyanarto@its-sby.edu, bilqis@its-sby.edu

ABSTRAK

Salah satu penunjang untuk pengamanan jaringan listrik kapal adalah mengetahui berapa besar arus hubung singkat pada bus-bus tertentu di jaringan listrik kapal. Selama ini PT.PAL dalam hal menghitung hubung arus hubung singkat dilakukan secara manual. Untuk lebih meningkatkan efektifitas dan efisiensi kerja, maka pada penelitian ini penulis akan membuat program komputer untuk menghitung besar arus hubung singkat pada sistem distribusi listrik di kapal.

Untuk ini penulis akan merancang suatu program yang terkenal dengan istilah user friendly yaitu dengan menggunakan program yang dapat menggambarkan diagram satu garis system tenaga listrik. Program ini mendukung interaksi langsung antara pemakai dan diagram satu garis

Metoda yang dipakai dalam perhitungan ini adalah metoda matrik impedansi Z-bus. Dengan mengetahui besar arus hubung singkat 3 fasa maka dapat ditentukan besar breaking capacity dari peralatan pengaman. Manfaat lain yang dapat diperoleh adalah untuk menentukan setting pengaman.

Kata kunci : metoda matrik impedansi Z-bus, breaking capacity

1. PENDAHULUAN

Salah satu penunjang untuk pengamanan jaringan listrik kapal adalah mengetahui berapa besar arus hubung singkat pada bus-bus tertentu di jaringan listrik di kapal. Selama ini PT. PAL dalam hal menghitung besar arus hubung singkat dilakukan secara manual. Untuk lebih meningkatkan efektifitas dan efisiensi kerja, maka pada penelitian ini penulis akan membuat program komputer untuk menghitung besar arus hubung singkat pada sistem distribusi listrik di kapal.

Sistem kelistrikan dalam kapal direncanakan untuk memberikan layanan tenaga listrik kepada semua peralatan listrik (beban), dengan handal dan aman. Perhitungan arus hubung singkat digunakan untuk menghitung arus pada suatu sistem jaringan tenaga listrik selama terjadi gangguan. Arus dari berbagai macam tipe gangguan yang terjadi pada sistem jaringan tenaga listrik harus dihitung karena memegang peranan penting untuk rencana operasi, serta menentukan besar breaking kapasitas dari peralatan pengaman listrik yang ada di seluruh jaringan kelistrikan kapal.

Dalam studi tentang faktor manusia menunjukkan bahwa manusia dapat lebih beradaptasi dengan suatu program bila semua petunjuk ataupun perintah diungkapkan dalam bentuk gambar. Untuk ini penulis akan merancang suatu program yang terkenal dengan istilah user friendly yaitu dengan menggunakan program yang dapat menggambarkan diagram satu

garis sistem tenaga listrik. Program ini mendukung interaksi langsung pemakai dan diagram satu garis.

Saat ini pada PT. PAL untuk mengetahui besar arus hubung singkat pada bus tertentu menggunakan perhitungan manual. Permasalahan yang timbul jika dilakukan perhitungan secara manual adalah waktu perhitungan yang lama and tingkat ketelitian yang kurang, maka perlu dilakukan suatu perhitungan besar arus hubung singkat dengan menggunakan komputer agar waktu perhitungan lebih singkat dan tingkat ketelitian dapat lebih ditingkatkan pula. Metoda matrik impedansi Zbus adalah suatu metoda yang dipakai dalam perhitungan ini.

Tujuan dari analisa gangguan adalah menghitung besar arus gangguan hubung singkat pada bus dalam sistem tenaga listrik karena adanya bermacam-macam gangguan.

Merancang dan mengimplementasikan program komputer yang interaktif terhadap jaringan kelistrikan kapal untuk mengetahui besar arus hubung singkat pada banyak bus. Membantu mempercepat proses desain sistem kelistrikan kapal, khususnya pemilihan pengaman.

Dengan mengetahui besar arus hubung singkat 3 fasa maka dapat ditentukan besar breaking capacity dari peralatan pengaman listrik yang ada diseluruh jaringan kelistrikan kapal.

2. SISTEM DISTRIBUSI LISTRIK DI KAPAL

Instalasi tenaga listrik dalam suatu kapak harus memenuhi standar dan peraturan khusus yang dipakai, baik yang bersifat nasional maupun internasional. Di Indonesia, semua kapal yang dibuat harus mengikuti standar yang dikeluarkan oleh BKI (Biro Klasifikasi Indonesia). BKI menyesuaikan dengan standar internasional dan peraturan pelabuhan setempat.

Kebutuhan tenaga listrik di kapa, seperti tercantum dalam BKI section 3.B ditentukan berbagai kondisi berikut :

- Navigasi di laut
- Navigasi dekat pelabuhan
- Sumber daya darurat

Setiap kapal harus dilengkapi dengan sumber tenaga listrik utama dengan kapasitas yang dapat memenuhi persyaratan BKI, section 1.A.3. sumber daya listrik ini harus terdiri paling sedikit dua set generator yang terpisah. Kapasitas dari masing-masing generator harus sedemikian rupa, sehingga bila salah satu generator gagal atau rusak, generator satunya harus sanggup menyediakan daya cukup bnyak untuk mengoperasikan kapal secara normal dan menjaga keamanan kapal.

Sistem distribusi adalah suatu sistem dimana tenaga listrik yang dibangkitkan oleh generator didistribusikan ke beban-beban seperti motor listrik, ac, penerangan, galery services, peralatan navigasi, dll

Energy listrik disalurkan melalui pembagi utama (main switchboard), kemudian didistribusikan memalalui kabel ke panel distribusi, kemudian akhirnya ke masing-masing beban

Circuit breaker dan switch adalah peralatan untuk mengontrol aliran daya, dan fuse serta rele melindungi sistem distribusi dari kerusakan yang ditimbulkan oleh arus gangguan yang besar.

Sistem ini disebut sistem radial, yang merupakan suatu bentuk yang sederhana. Tiap macam beban sesuai dengan tegangannya melalui suatu kabel dengan ukuran yang sesuai dan diamankan oleh suatu peralatan pengaman yang sesuai pula.

Kebanyakan kapal mempunyai sistem tiga fasa, tiga kawat, 400 volt dengan titik netral mengambang. Ini berarti bahwa titik netral dari kumparan jangkar dari generator yang erhubung bintang tidak dihubungkan ke lambung kapal.

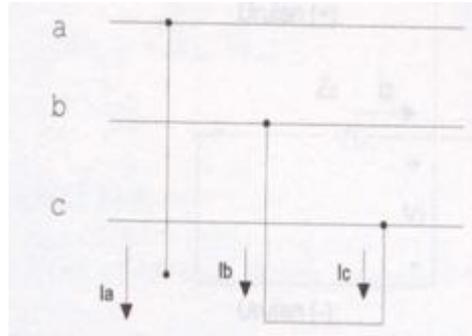
Kebal listrik yang digunakan dalam kapal harus tahan terhadap kondisi lingkungan yang “keras”, misalnya harus tahan terhadap atmosfir, temperatur, humadity dan kadar garam yang cukup tinggi. Material dengan kuailtas yang terbaik, yang memenuhi untuk standar kelistrikan kapal.

3. GANGGUAN HUBUNG SINGKAT PADA KAPAL

3.1. Gangguan Hubung Singkat pada Sistem Mengambang

Hubung singkat 2 fasa

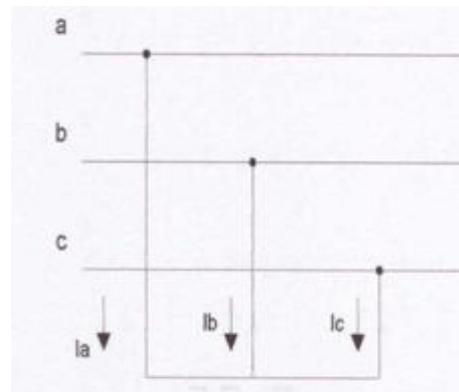
Secara umum gangguan antar fasa atau gangguan fasa-fasa terjadi bila konduktor dihubung singka. Gambar ini menunjukkan sistem yang mengalami gangguan 2 fasa.



Gambar 3.1 Hubungan singkat 2 fasa

Hubung singkat 3 fasa

Gangguan 3 fasa adalah sama dengan gangguan 3 fasa ke tanah, secara umum gangguan 3 fasa adalah seimbang seperti gambar 3.2. berikut.

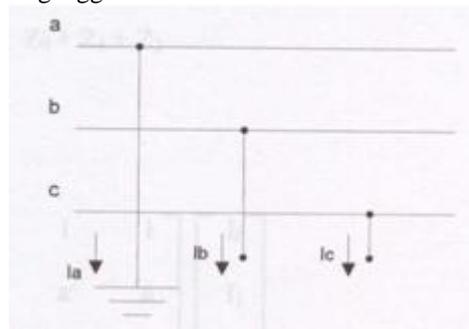


Gambar 3.2 Hubungan singkat 3 fasa

3.2. Gangguan Hubung singkat pada Sistem yang Diketanahkan

Hubung singkat 1 fasa ke tanah

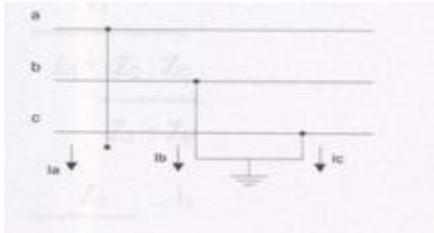
Gambar 3.3 menunjukkan sistem yang mengalami gangguan 1 fasa ke tanah :



Gambar 3.3 Hubungan singkat 1 fasa ke tanah

Hubung singkat 2 fasa ke tanah

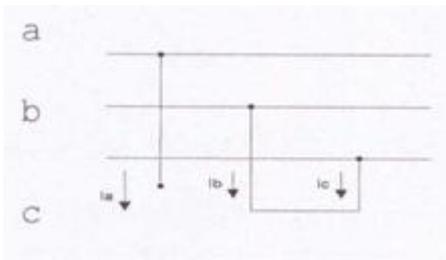
Gangguan 2 fasa ke tanah dapat terjadi bila 2 konduktor jatuh dan terhubung melalui tanah, atau bila dua konduktor kontak dengan kawat tanah dari sistem yang diketanahkan. Gambar berikut ini menunjukkan sistem yang mengalami gangguan 2 fasa ke tanah :



Gambar 3.4 Hubungan singkat 2 fasa ke tanah

Hubung singkat 2 fasa

Secara umum gangguan antar fasa atau gangguan fasa-fasa terjadi bila konduktor dihubungkan singkat. Gambar 3.9 menunjukkan sistem yang mengalami gangguan 2 fasa :

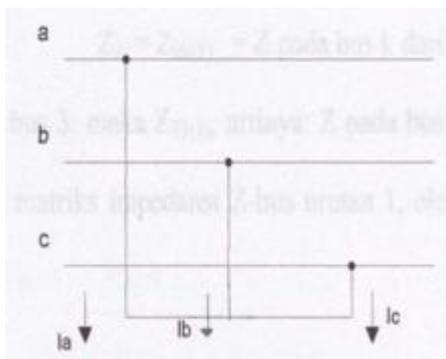


Gambar 3.5 Hubungan singkat 2 fasa

Hubung singkat 3 fasa

Gangguan 3 fasa adalah sama dengan gangguan 3 fasa ke tanah, secara umum gangguan 3 fasa adalah seimbang seperti gambar dibawah ini.

Gambar 3.6. ini menunjukkan sistem yang mengalami gangguan 3 fasa :



Gambar 3.6 Hubungan singkat 3 fasa

3.3. Sistem Per Unit

Untuk memudahkan perhitungan-perhitungan dalam sistem tenaga listrik digunakan sistem per unit (p.u) yang didefinisikan sebagai perbandingan antara nilai sebenarnya dengan nilai dasar. Sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\text{Per Unit} = \text{nilai sebenarnya} / \text{nilai dasar}$$

3.4. Sumber-sumber Arus Gangguan Hubung Singkat pada Kapal

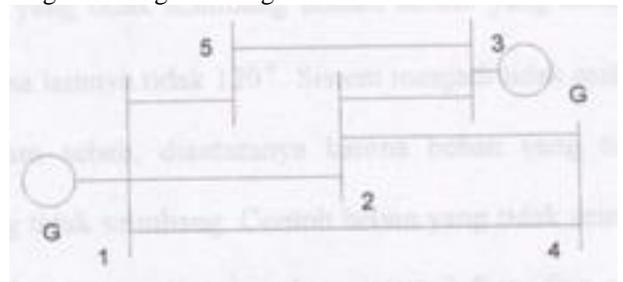
Arus yang mengalir selama gangguan berasal dari mesin-mesin listrik yang berputar. Ada tiga sumber hubung singkat yang penting yaitu : generator, motor serempak dan motor induksi

3.5. Diagram Satu garis

Cara yang paling sederhana untuk menggambarkan suatu jaringan secara grafik adalah dengan membuat diagram satu garis. Pembuatan diagram satu garis ini dimaksudkan untuk memberikan gambaran ringkas dari suatu sistem tenaga.

Sistem-sistem suplai tenaga listrik modern hampir selalu tiga fasa. Rancangan jaringan-jaringan distribusi dibuat sedemikian rupa agar operasi normal cukup mendekati kerja tiga fasa yang seimbang.

Dalam penelitian ini, penulis hanya ingin menentukan berapa besar arus gangguan hubung singkat pada beberapa titik, sehingga dalam diagram satu garis nanti tidak akan ada beberapa peralatan seperti fuses, CB, yang ada hanya agenerator, motor, trafo dan impedansi kabel. Jadi nantinya dalam penampilan pada program, gambar akan tampak lebih sederhana. Contoh gambar diagram satu garis sebagai berikut :



Gambar 3.7 Diagram satu garis dengan 2 generator dan 5 bus

Pada gambar tersebut dapat ditentukan besar arus gangguan hubung singkat pada bus 1,2,3,4 dan 5

4. PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI

Perancangan sistem merupakan suatu tahapan yang dilakukan sebelum tahap implementasi. Pada tahap ini dirancang suatu konsep yang baik agar

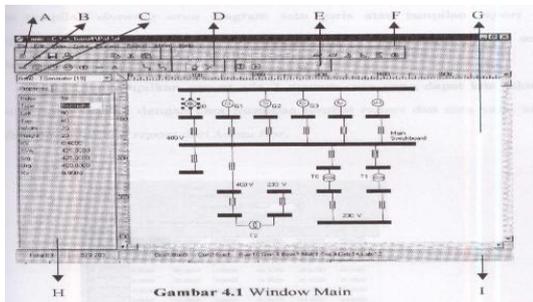
tingkat kesalahan pada tahap implementasi menjadi minimum.

Langkah pertama adalah merancang diagram satu garis. Diagram satu garis yang telah dirancang dapat dicetak pada printer. Setelah diagram satu garis selesai, maka langkah selanjutnya adalah menganalisa diagram satu garis. Pada analisa ini, akan diperiksa apakah gambar diagram satu garis telah benar, selanjutnya adalah mengolah data yang ada pada diagram satu garis. Hasil dari pengolahan diagram satu garis adalah arus gangguan hubung singkat tiga fasa, arus gangguan hubung singkat dua fasa, arus gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah dan arus hubung singkat satu fasa ke tanah.

Langkah terakhir adalah membuat report. Report dapat dalam satuan p.u atau dalam satuan real. Hasil report dapat di print. Printer akan mencetak hasil perhitungan arus hubung singkat saat itu, misal yang tampak di layar adalah hasil hubung singkat tiga fasa, maka printer akan mencetak hasil hubung singkat tiga fasa.

4.1. Diagram Satu Garis

Window main adalah window utama, berisi diagram satu garis. Pada window ini kita melakukan input, proses dan output.



- Keterangan :**
- A : Standar ToolBar
 - B : Objek ToolBar
 - C : ComboBox AllItems
 - D : Modify ToolBar
 - E : Additional ToolBar

Gambar 3.8 Diagram satu garis

Untuk menampilkan report adan 2 macam cara yang dapat kita lakukan . Cara pertama adalah dengan cara menekan tombol report dan cara kedua adalah dengan mengaktifkan report dari menu bar.

Window base berisi KVA base dan KV base dari suatu sistem distribusi listrik di kapal. Default untuk

KVA base adalah 100.000 KVA dan default untuk KV base adalah 0,4 KV.

Objek Diagram Satu Garis

Tabel 4.1 Objek pada diagram satu garis

Objek	Nama Objek	Keterangan
—	ImgBus0	Bus pada posisi default
⊙	ImgGen0	Generator pada posisi default
⊙	ImgBow0	Bow Thruster pada posisi default

Data Objek Item

Data-data yang diperlukan dalam program hubung singkat adalah data-data dari peralatan yang ada dalam sistem. Data-data tersebut diperoleh dari spesifikasi dari masing-masing komponen dalam sistem , misal : generator, bow thruster, motor, trafo dan kabel.

Setelah data-data sistem ada, maka data tersebut dimasukkan ke dalam program untuk dihitung menggunakan komputer. Hasil keluaran dari program hubung singkat tersebut dapat digunakan untuk menghitung arus hubung singkat pada tiap-tiap bus sesia kebutuhan. Data yang diperlukan dari bus adalah data tegangan bus (V)

Gambar 3.9 Data Generator

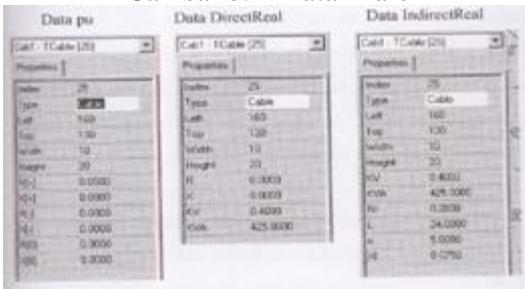
Gambar 3.10 Data Bow Thruster



Gambar 3.11 Data Motor



Gambar 3.12 Data Trafo

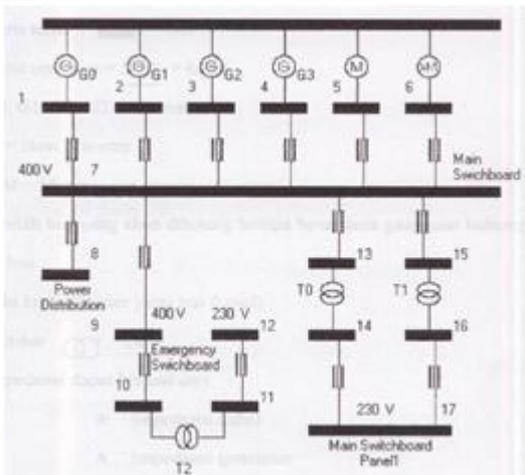


Gambar 3.13 Data Kabel

5. HASIL UJI COBA DAN ANALISA DATA

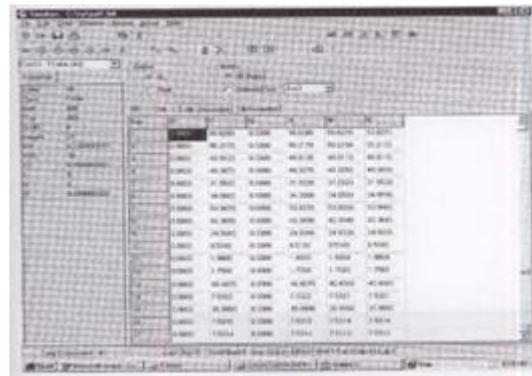
Diagram satu garis

Diagram satu garis adalah cara paling sederhana untuk menggambarkan suatu jaringan listrik secara grafik

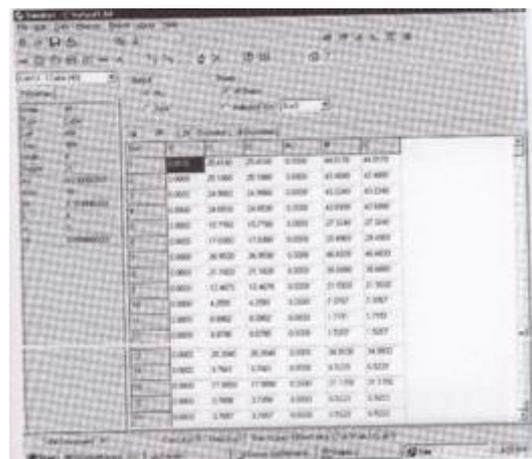


Gambar 3.14 Diagram satu garis dari sebuah kapal penumpang di PT. PAL

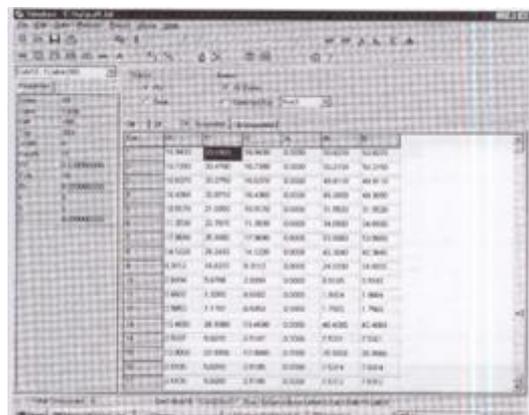
Hasil perhitungan arus hubung singkat 3 fasa



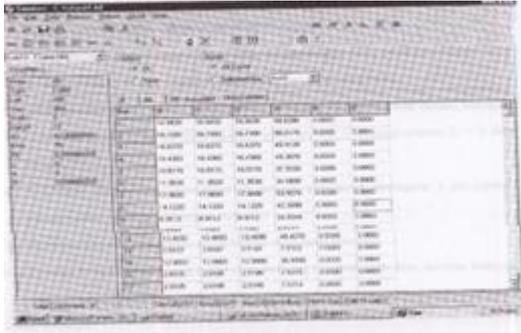
Gambar 3.15 Hasil Perhitungan arus hubungan singkat 3 fasa



Gambar 3.16 Hasil perhitungan arus hubung singkat 2 fasa



Gambar 3.17 Hasil perhitungan arus hubung singkat 2 fasa ke tanah



Gambar 3.18 Hasil perhitungan arus hubung singkat 1 fasa ke tanah

Analisa hasil perhitungan arus hubung singkat

Analisa arus gangguan hubung singkat dengan hasil terbesar :

- Hasil I0 yang terbesar adalah hubung singkat 1 fasa ke tanah dan hubung singkat 2 fasa ke tanah
- Hasil I1 yang terbesar adalah hubung singkat 3 fasa
- Hasil I2 yang terbesar adalah hubung singkat 2 fasa
- Hasil Ia, Ib, Ic yang terbesar adalah hubung singkat 3 fasa.

Analisa arus gangguan hubung singkat dengan hasil terkecil

- Hasil I0 yang terkecil adalah hubung singkat 2 fasa dan hubung singkat 3 fasa ke tanah yaitu : 0
- Hasil I1 yang terkecil adalah hubung singkat 1 fasa ke tanah
- Hasil I2 yang terkecil adalah hubung singkat 3 fasa yaitu : 0
- Hasil Ia yang terkecil adalah hubung singkat 2 fasa dan hubung singkat 2 fasa ke tanah yaitu : 0
- Hasil Ib yang terkecil adalah hubung singkat 1 fasa ke tanah yaitu : 0
- Hasil Ic yang terkecil adalah hubung singkat 1 fasa ke tanah, yaitu : 0

Dapat dilihat bahwa hubung singkat 3 fasa adalah hasil hubung singkat yang terbesar, maka hasil hubung singkat 3 fasa inilah yang akan mempengaruhi pemilihan berapa besar kapasitas breaking capacity.

Arus gangguan hubung singkat yang terkecil adalah arus gangguan hubung singkat 2 fasa, maka hasil perhitungan gangguan 2 fasa ini dapat dimanfaatkan untuk menentukan berapa besar setting rele

Bus 7 adalah bus yang paling dekat dengan sumber arus hubung singkat, maka semakin dekat suatu bus dengan sumber arus hubung singkat, maka semakin besar arus hubung singkat yang terjadi pada bus tersebut. Ini dikarenakan hambatan yang ada semakin

kecil. Jadi pada setiap perhitungan arus hubung singkat terlihat bahwa arus yang terbesar adalah pada bus 7

Bus 12 adalah bus yang mempunyai perhitungan arus gangguan hubung singkat yang terkecil. Baik pada perhitungan 3 fasa, 1 fasa ke tanah, 2 fasa maupun 2 fasa ke tanah. Ini disebabkan semakin jauh suatu bus dari sumber arus hubung singkat, maka semakin kecil arus hubung singkat yang terjadi pada bus tersebut, karena hambatannya semakin besar.

Pada analisa kali ini, kita membandingkan antara hasil program Tanic (Program yang dibuat oleh penulis) dengan program husing(program yang sudah ada dan berbasis DOS). Hasil yang dibandingkan adalah hasil dalam satuan pu, kaerna hasil husing hanya dalam satuan pu. Hasi lyang dibandingkan adalah hasil I0, I1 dan I2.

Tabel 1
Perbandingan antara Tanic dan Hesing untuk Hubungan singkat 3 fasa

BUS	TANIC II	HUSING II	ERROR(%)
1	50.8280	50.813	0.03
2	50.2170	50.131	0.17
3	49.9120	49.926	0.03
4	49.3070	49.265	0.09
5	31.5520	31.544	0.03
6	34.0600	34.044	0.05
7	53.9070	53.907	0.00
8	42.3650	42.278	0.21
9	24.9340	24.929	0.02
10	8.5182	8.511	0.08
11	1.9805	1.991	0.53
12	1.7560	1.765	0.51
13	40.4070	40.402	0.01
14	7.5322	7.626	1.23
15	35.9990	35.92	0.22
16	7.5315	7.626	1.24
17	7.5314	7.627	1.25

Tabel 2
Perbandingan antara Tanic dan Helsing untuk Hubungan singkat 3 fasa

BUS	TANIC I0	HUSING I0	ERROR(%)
1	16.9430	16.938	0.03
2	16.7390	16.71	0.17
3	16.6370	16.642	0.03
4	16.4360	16.422	0.09
5	10.5170	10.515	0.02
6	11.3530	11.348	0.04
7	17.9690	17.969	0.00
8	14.1220	14.093	0.21
9	8.3112	8.31	0.01
10	2.8394	2.837	0.08
11	0.6602	0.664	0.57
12	0.5853	0.588	0.46
13	13.4690	13.467	0.01
14	2.5107	2.542	1.23
15	12.0000	11.973	0.23
16	2.5105	2.542	1.24
17	2.5105	2.542	1.24

Tabel 3
Perbandingan antara Tanic dan Helsing untuk Hubungan singkat 2 fasa

BUS	TANIC II	HUSING II	ERROR(%)
1	25.4140	25.407	0.03
2	25.1080	25.066	0.17
3	24.9560	24.963	0.03
4	24.6530	24.632	0.09
5	15.7760	15.772	0.03
6	17.0300	17.022	0.05
7	26.9530	26.954	0.00
8	21.1820	21.139	0.20
9	12.4670	12.465	0.02
10	4.2591	4.255	0.10
11	0.9902	0.995	0.48
12	0.8780	0.882	0.45
13	20.2040	20.201	0.01
14	3.7661	3.813	1.23
15	17.9990	17.96	0.22
16	3.7658	3.813	1.24
17	3.7657	3.813	1.24

Tabel 4
Perbandingan antara Tanic dan Helsing untuk Hubungan singkat 2 fasa ke Tanah

BUS	TANIC II	HUSING II	ERROR(%)
1	33.8860	33.876	0.03
2	33.4780	33.421	0.17
3	33.2750	33.284	0.03
4	32.8710	32.843	0.09
5	21.0350	21.029	0.03
6	22.7070	22.696	0.05
7	35.9380	35.938	0.00
8	28.2430	28.186	0.20
9	16.6220	16.619	0.02
10	5.6788	5.674	0.08
11	1.3203	1.327	0.50
12	1.1707	1.177	0.54
13	26.9380	26.935	0.01
14	5.0210	5.084	1.24
15	23.9990	23.947	0.22
16	5.0210	5.084	1.24
17	5.0209	5.084	1.24

6. PENUTUP

6.1. Kesimpulan

- Hasil perhitungan dapat berupa hasil real dan dapat berupa hasil dalam satuan unit (pu)
- Program ini tidak hanya untuk kapal saja, tapi dapat juga dipergunakan untuk perhitungan arus hubung singkat pada sistem transmisi
- Program ini adalah program yang interaktif antara pemakai dan program. Jadi memenuhi kriteria user friendly karena input berupa gambar dan teks
- Program ini dapat dipergunakan untuk sistem yang mengambang dan sistem yang diketaqnahkan
- Kelebihan program Tanic dibanding dengan program Husing :
 - Setiap orang diharapkan dapat memanfaatkan program ini. Jadi program ini tidak hanya ditujukan pada orang yang ahli dalam perhitungan arus hubung singkat saja, tapi ditujukan untuk semua orang
 - Input tidak hanya dalam satuan pu tapi directreal dan indirectreal. Sehingga pemakai yang tidak ahli tetap dapat memanfaatkan progrsm ini. Pada program husing input harus dalam satuan pu, sehingga program hanya dapat dimanfaatkan oleh orang-orang yang ahli dalam perhitungan arus hubung singkat. Karena biasanya pemakai kesulitan untuk merubah data dari satuan indirectreal menjadi pu.
- Program tanic lebih presisi 0.33% dibanding program husing, karena program tanic menggunakan ketelitian empat angka dibelakang koma, sedangkan program husing ketelitian tiga angka dibelakang koma.

6.2. Saran

- Penelitian ini dapat dikembangkan lebih lanjut untuk Penelitian berikutnya yaitu dengan menentukan setting rele yang sebenarnya.
- Penelitian ini juga dapat dikembangkan lebih lanjut untuk menentukan besar breaking capacity
- Penelitian ini dapat dimanfaatkan oleh teman-teman di teknik elektro untuk pratikum sistem tenaga
- Penelitian ini juga dapat dikembangkan lebih lanjut yaitu untuk menentukan berapa besar arus hubung singkat pada kabel
- Penelitian ini juga dapat dikembangkan lebih lanjut untuk menentukan berapa besar arus hubung singkat pada beberapa bus pada satu saat.

7. DAFTAR PUSTAKA

1. Turan Gonen, "Electric Power Transmission System engineering", John Wiley & Sons, Inc, Canada, 1988.
2. John J. Grainger dan William D. Stevenson, Jr, "Power System Analysis", McGraw-Hill International Edition, Singapura, 1994.
3. David E. Johnson, Johnny R. Johnson dan John L. Hilburn, "Electric Circuit Analysis", Prentice-Hall, Inc, Englewood Cliffs, New Jersey, 1992.
4. Noel M. Morris, "Electric Circuit Analysis and Design", The Macmillan Press LTD, Hongkong, 1993.
5. Andika Muhandi, "Penerapan Sistem Interactive Graphics Interface pada Analisa Hubung Singkat Metode Zbus sparse dalam Bahasa Turbo C++", Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 1994.
6. Geradino A. Pete, "Elektric Power System Manual", Mc Graw-Hill, Inc, United States of America, 1992.
7. Djoko Pramono, "Mudah Menguasai Delphi 3.0", PT. Elex Media Komputindo, Jakarta, 1999.
8. Soebagio, "Perubahan Sistem Distribusi Tenaga Listrik dari sistem Tiga Kawat, 380 Volt, 50 Hz menjadi Sistem Empat Kawat, 380/220 Volt, 50 Hz pada Kapal Caraka Jaya", Kerjasama antara dosen ITS dengan PT.PAL Indonesia, Surabaya, 1995.
9. William D. Stevenson Jr, alih bahasa Ir. Kamal Idris, "Analisa Sistem Tenaga Listrik, penerbit Erlangga", Jakarta, 1990.
10. Steven C. Chapra dan Raymond P. Canale, alih bahasa S. Sardy, "Metoda Numerik untuk Teknik", Penerbit Universitas Indonesia, Jakarta, 1991.