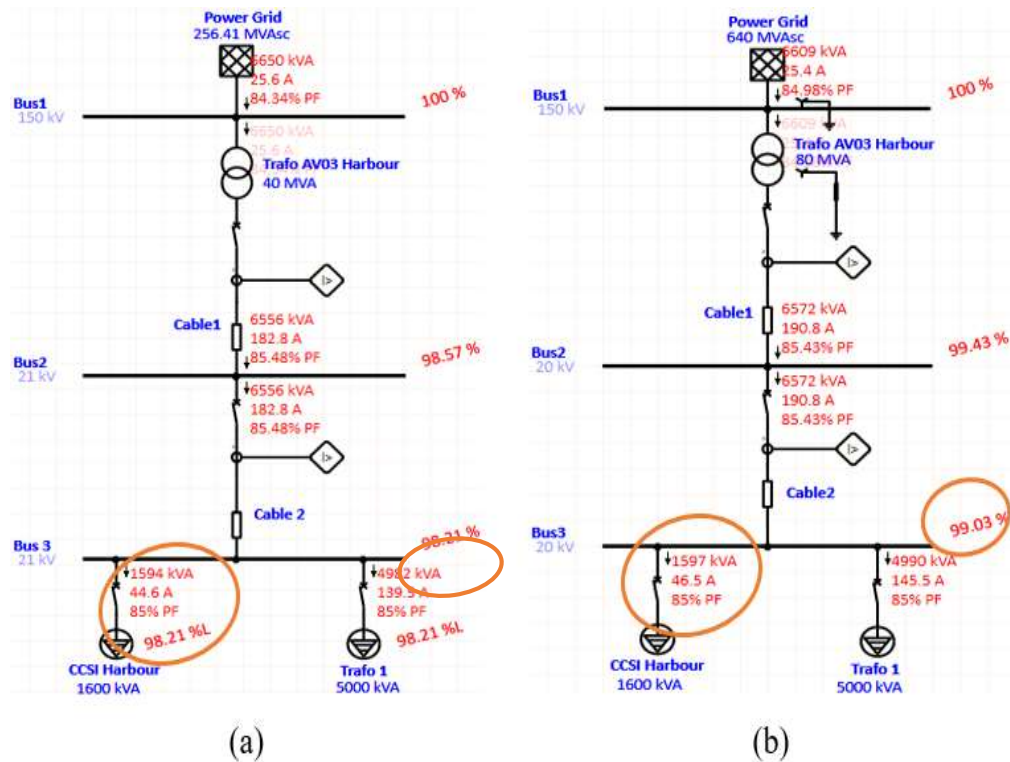


BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis *load flow*

Sebelum dilakukannya simulasi hubung singkat perlu dilakukan analisis aliran daya dengan tujuan membantu dalam menentukan tegangan dan arus pada setiap bus dalam jaringan listrik, dengan memperhitungkan beban yang ada dan mengidentifikasi bus-bus yang memiliki beban berlebihan, analisis ini dapat membantu dalam penentuan penyebaran beban yang optimal dan pencegahan *overload* pada sistem. Hasil simulasi aliran daya memakai *software* ETAP 19.0.1 ditunjukkan oleh Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Hasil Simulasi Aliran Daya, (a) Aliran Daya pada Sistem Trafo 40 MVA, (b) Aliran Daya pada Sistem Trafo 80 MVA

Gambar 4.1 merupakan hasil simulasi aliran daya di sistem 20 kV Trafo AV03 *harbour* pada sistem 40 MVA yang ditampilkan pada Gambar 4.1(a) dan 80 MVA yang ditampilkan pada Gambar 4.1(b). Berdasarkan Gambar 4.1(a) di atas ketika simulasi *load flow* dijalankan pada jaringan dengan trafo 40 MVA maka daya yang

sampai ke beban atau dalam hal ini *temporary CCSI harbour* sebagai sampel dalam penelitian ini yaitu sebesar 1594 kVA dan arusnya 44,6 A serta tegangan yang sampai ke bus *outgoing* masih terjaga di 21 kV dengan tingkat efisiensinya sebesar 98,21%.

Gambar 4.1(b) di atas yaitu jaringan dengan trafo 80 MVA maka daya yang sampai ke beban atau dalam hal ini *temporary CCSI harbour* sebagai sampel dalam penelitian ini yaitu sebesar 1597 kVA dan arusnya 46,5 A serta tegangan yang sampai ke bus *outgoing* masih terjaga di 20 kV dengan tingkat efisiensinya sebesar 99,03%. Perbedaan tingkat efisiensi tersebut terjadi karena adanya perbedaan impedansi pada trafo AV03 *harbour* dan untuk trafo 40MVA impedansinya sebesar 15,6% sedangkan trafo 80 MVA impedansinya 12,5%.

4.2 Studi Kelayakan NGR

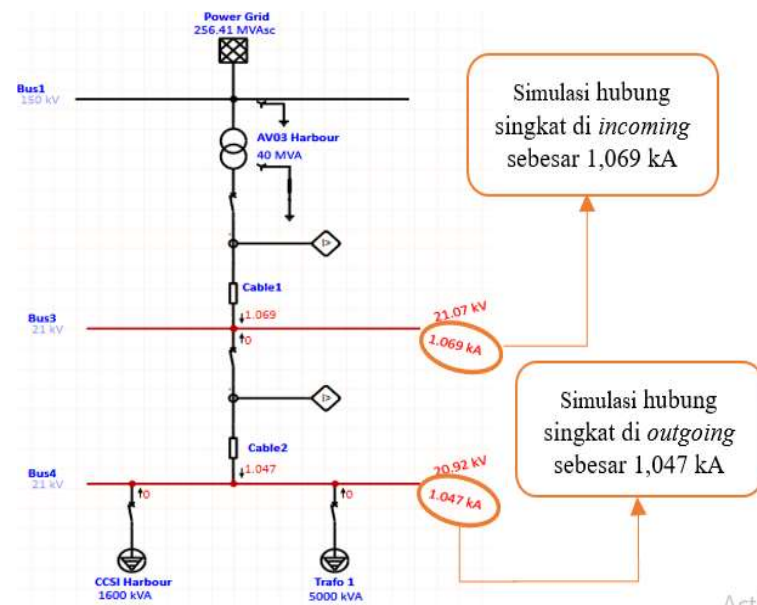
Studi kelayakan NGR menggunakan analisis gangguan hubung singkat sebagai metode untuk mengevaluasi kemampuan NGR dalam menghadapi gangguan hubung singkat pada sistem kelistrikan, termasuk pembangkit, transmisi, dan distribusi daya listrik. Analisis ini fokus pada pengujian NGR terhadap gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah, untuk menentukan apakah NGR dapat membatasi arus gangguan tersebut.

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi besar nilai arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah, baik pada sisi *incoming* maupun *outgoing* dari *feeder shipunloader I AK04* Trafo AV03 di *harbour substation*. Tujuannya juga untuk memverifikasi bahwa NGR dengan resistansi 12 Ω , seperti yang direkomendasikan oleh PT KCE untuk *uprating* sistem, dapat menangani arus gangguan tersebut secara efektif.

4.2.1 Simulasi ETAP hubung singkat satu fasa ke tanah pada sistem 40 MVA

Simulasi hubung singkat satu fasa ke tanah yang diterapkan dengan ETAP 19.0.1 mencakup penggunaan data teknis dan spesifikasi peralatan yang disesuaikan dengan kondisi lapangan. Hasil simulasi ini menunjukkan kondisi hubung singkat satu fasa ke tanah baik di sisi *incoming* maupun *outgoing* pada

feeder shipunloader I AK04 Trafo 40 MVA AV03 di *harbour*, sebagaimana yang terlihat dalam Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Hasil Simulasi Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah 40 MVA

Gambar 4.2 di atas adalah hasil simulasi hubung singkat satu fasa ke tanah untuk sistem 40 MVA, pada sisi *incoming* nilai arus hubung singkatnya sebesar 1069 A sedangkan pada sisi *outgoing* nilai arus hubung singkatnya 1047 A. Hasil arus gangguan hubung singkat tersebut didapatkan dari hasil perhitungan hubung singkat dengan standar IEC di dalam pemrograman ETAP. Perhitungan yang dilakukan ETAP berdasarkan data-data yang dimasukkan ke dalam pemrograman seperti data *power grid*, data spesifikasi trafo, data NGR, data CB *incoming* dan *outgoing*, data CT *incoming* dan *outgoing*, data penghantar dan data beban.

4.2.2 Perhitungan hubung singkat satu fasa ke tanah pada sistem 40 MVA

Perhitungan ini bertujuan untuk menggunakan data simulasi ETAP dalam menentukan keakuratan nilai arus hubung singkat satu fasa ke tanah. Hasil analisis menunjukkan arus hubung singkat satu fasa ke tanah pada kedua sisi *incoming* dan *outgoing* di *feeder shipunloader I AK04* Trafo 40 MVA AV03 *harbour*. Data ini dihasilkan dari perhitungan berdasarkan rumus IEC-60909, sebagaimana tercantum dalam Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Perhitungan Hubung Singkat pada Sistem 40 MVA

Sistem 40 MVA	
<i>Incoming</i>	<i>Outgoing</i>
1,06856 kA	1,04680856 kA

Hasil perhitungan dalam Tabel 4.1 menunjukkan bahwa gangguan hubung singkat pada sisi *incoming* menghasilkan arus hubung singkat sebesar 1,06856 kA, sedangkan pada sisi *outgoing* menghasilkan arus hubung singkat sebesar 1,04680856 kA. Perbedaan ini terjadi karena arus hubung singkat di sisi *incoming* lebih besar dibandingkan dengan di sisi *outgoing*. Hal ini disebabkan oleh fenomena bahwa semakin dekat jarak titik gangguan dengan trafo, nilai arus gangguannya akan semakin besar, sedangkan semakin jauh jaraknya dari trafo, nilai arus gangguannya akan semakin kecil.

Proses perhitungan tersebut melibatkan Impedansi urutan positif ($Z_{(1)}$) dan impedansi urutan negatif ($Z_{(2)}$). Dalam simulasi dan perhitungan ini, diasumsikan bahwa sistem tenaga tiga fasa bersifat simetris. Hal ini berarti bahwa nilai impedansi urutan positif dan negatif memiliki nilai yang sama. Sistem tenaga tiga fasa yang simetris menunjukkan bahwa setiap fase dan komponen sistem (seperti trafo, saluran distribusi, dan beban yang seimbang) berperilaku secara seragam dan terdistribusi merata. Tabel 4.2 menampilkan hasil simulasi dan perhitungan untuk hubung singkat satu fasa ke tanah.

Tabel 4.2 Perbandingan Hasil Simulasi dengan Perhitungan (40MVA)

Bus	Simulasi ETAP 19.0.1	Perhitungan IEC 60909	%Kesalahan
<i>Incoming</i>	1069	1068,56	0,041%
<i>Outgoing</i>	1047	1046,80856	0,018%

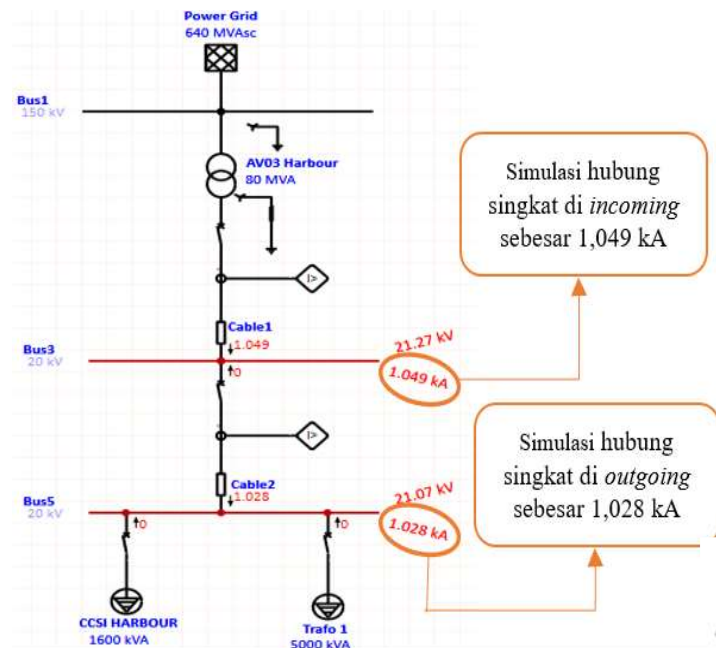
Perbandingan dalam Tabel 4.2 menggambarkan hasil dari simulasi arus hubung singkat satu fasa ke tanah pada trafo 40 MVA yang terpasang, dilakukan dengan dua metode, yakni menggunakan ETAP 19.0.1 dan mengikuti standar IEC-60909. Hasil simulasi menunjukkan bahwa arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah pada sisi *incoming* adalah 1069 A, sedangkan perhitungan menunjukkan 1068,56 A, dengan tingkat kesalahan sekitar 0,041%.

Sementara itu, arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah pada sisi *outgoing* dari hasil simulasi adalah 1047 A, sedangkan dari perhitungan diperoleh sebesar 1046,80856 A, dengan tingkat kesalahan sebesar 0,018%. Tingkat

kesalahan yang kecil yang diperoleh dari simulasi dan perhitungan dianggap akurat dan bisa menjadi acuan dalam menentukan kelayakan NGR.

4.2.3 Simulasi ETAP hubung singkat satu fasa ke tanah pada sistem 80 MVA

Penelitian untuk mengetahui kelayakan NGR terhadap *uprating* trafo dari 40 MVA menjadi 80 MVA, dilakukan simulasi hubung singkat satu fasa ke tanah menggunakan ETAP 19.0.1 yang memuat data teknis yang digunakan disesuaikan dengan rencana *uprating* yang dibuat dan kondisi yang ada di lapangan seperti data *power grid*, data spesifikasi trafo 80 MVA, data NGR, data *CB incoming* dan *outgoing*, data *CT incoming* dan *outgoing*, data penghantar dan data beban. Berikut pada Gambar 4.3 hasil simulasi hubung singkat satu fasa ke tanah menggunakan ETAP 19.0.1.



Gambar 4.3 Hasil Simulasi Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah 80 MVA

Hasil pada Gambar 4.3 di atas merupakan hasil simulasi hubung singkat satu fasa ke tanah dengan trafo 80 MVA, dan pada sisi *incoming* nilai arus hubung singkatnya sebesar 1049 A sedangkan pada sisi *outgoing* nilai arus hubung singkatnya 1028 A.

4.2.4 Perhitungan hubung singkat satu fasa ke tanah pada sistem 80 MVA

Perhitungan ini bertujuan untuk menyediakan bukti tambahan yang membandingkan hasil simulasi menggunakan ETAP dengan hasil perhitungan. Dalam hasil analisis, disajikan perbandingan antara arus hubung singkat satu fasa ke tanah pada kedua sisi *incoming* dan *outgoing* dari *feeder shipunloader I AK04*, yang terhubung dengan Trafo 80 MVA AV03 *harbour*, dihitung dengan menggunakan rumus standar IEC-60909 seperti yang tercantum dalam Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Hubung Singkat pada Sistem 80 MVA

Sistem 40 MVA	
<i>Incoming</i>	<i>Outgoing</i>
1,04930428 kA	1,0281061 kA

Perhitungan yang ditampilkan dalam Tabel 4.3 menunjukkan hasil analisis gangguan hubung singkat pada sisi *incoming*. Dari analisis tersebut, didapatkan bahwa arus hubung singkat di sisi *incoming* sebesar 1,04930428 kA, sementara di sisi *outgoing*, arus hubung singkatnya sebesar 1,0281061 kA. Perbedaan ini terjadi karena arus hubung singkat di sisi *incoming* lebih besar daripada di sisi *outgoing*. Hal ini disebabkan oleh jarak titik gangguan terhadap trafo; semakin dekat titik gangguan dengan trafo, semakin besar arus gangguannya, dan sebaliknya, semakin jauh jarak titik gangguan dengan trafo, semakin kecil arus gangguannya.

Dalam proses perhitungan ini, impedansi urutan positif (Z_1) dan impedansi urutan negatif (Z_2) memiliki nilai yang sama. Hal ini karena perhitungan dan simulasi dilakukan dengan asumsi bahwa sistem tenaga adalah sistem tiga fasa simetris. Sistem tiga fasa simetris memiliki sifat simetri di mana setiap fasa dan elemen sistem seperti trafo, saluran distribusi, dan beban berperilaku seimbang dan terdistribusi secara merata. Hasil perhitungan dan simulasi untuk hubung singkat satu fasa ke tanah dapat ditemukan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Perbandingan Hasil Simulasi dengan Perhitungan (80 MVA)

Bus	Simulasi ETAP 19.0	Perhitungan IEC 60909	%Kesalahan
<i>Incoming</i>	1049	1049,30428	0,028%
<i>Outgoing</i>	1028	1028,1061	0,01%

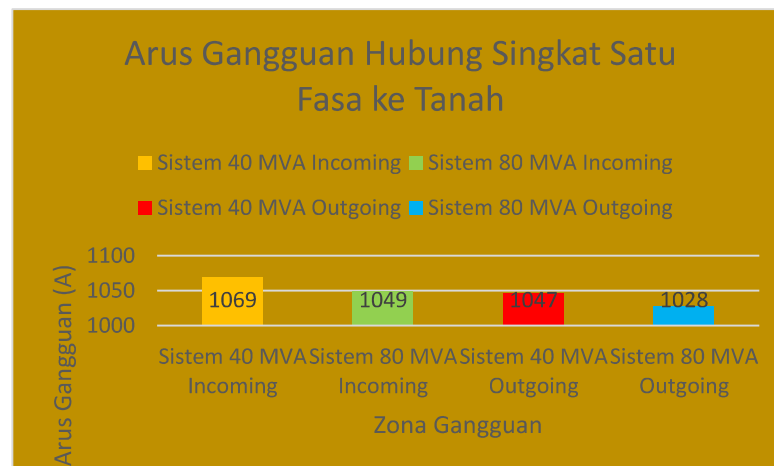
Hasil simulasi dan perhitungan pada Tabel 4.4 di atas menunjukkan hasil dari arus hubung singkat satu fasa ke tanah dengan trafo 40 MVA yang terpasang

diperoleh dengan 2 cara yaitu dengan simulasi menggunakan ETAP 19.0.1 dan perhitungan dengan standar IEC-60909. Arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah pada sisi *incoming* yang diperoleh dengan keadaan trafo sudah *uprating* menjadi 80 MVA maka, hasil yang diperoleh dari simulasi sebesar 1049 A sedangkan dari hasil perhitungan diperoleh arus gangguan sebesar 1049,30428 A dengan tingkat kesalahan sebesar 0,028%.

Arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah pada sisi *outgoing* yang diperoleh dari hasil simulasi sebesar 1028 A sedangkan dari hasil perhitungan diperoleh arus gangguan sebesar 1028,1061 A dengan tingkat kesalahan sebesar 0,01%. Tingkat kesalahan yang kecil yang diperoleh dari simulasi dan perhitungan dianggap akurat dan bisa menjadi acuan dalam menentukan kelayakan NGR.

4.2.5 Analisis studi kelayakan NGR

Setelah dilakukannya simulasi menggunakan ETAP dan dilakukan perhitungan menggunakan rumus standar IEC 60909 maka diperoleh hasil arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah pada sistem 40 MVA dan 80 MVA yang terdapat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Arus Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah

Berdasarkan hasil simulasi yang ditunjukkan pada Gambar 4.4, ditemukan bahwa nilai arus gangguan tertinggi terjadi di sisi *incoming*. Fenomena ini menunjukkan bahwa semakin dekat jarak titik gangguan dengan transformator, semakin besar nilai arus gangguan yang tercatat. Sebaliknya, semakin jauh jarak titik gangguan dari transformator, nilai arus gangguan akan semakin kecil. Hal ini

menggambarkan pentingnya lokasi titik gangguan dalam menentukan besar kecilnya arus gangguan yang terjadi.

Pada kondisi transformator dengan kapasitas 40 MVA sebelum dilakukan uprating, nilai arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah tertinggi tercatat sebesar 1069 A di sisi *incoming*. Setelah *uprating* dilakukan sehingga kapasitas transformator meningkat menjadi 80 MVA, nilai arus gangguan tertinggi mengalami sedikit penurunan menjadi 1049 A di sisi *incoming*. Data ini penting sebagai referensi untuk menentukan apakah *Neutral Grounding Resistor* (NGR) mampu menangani arus gangguan satu fasa ke tanah. Kemampuan NGR dalam menangani arus gangguan tersebut dapat diverifikasi lebih lanjut melalui hasil perhitungan yang tercantum pada Tabel 4.6.

Tabel 4.5 Hasil Perhitungan Resistansi NGR pada Sistem 40 MVA dan 80 MVA

40 MVA	80 MVA
11,34 Ω	11 Ω

Hasil perhitungan pada Tabel 4.5 hasil perhitungan yaitu pada sistem 40 MVA resistansi NGR yang diperoleh sebesar 11,34 Ω dan pada sistem 80 MVA resistansi NGR diperoleh sebesar 11 Ω . Hasil tersebut masih dalam batas aman dari standar spesifikasi NGR yang digunakan yaitu 12 Ω dengan toleransi +/-10% artinya berkisar 10,8 Ω s.d. 13,2 Ω oleh karena itu, dapat dikatakan bahwa *Netral Grounding Resistance* (NGR) dengan standar spesifikasinya yaitu 12 Ω dengan toleransi +/-10% masih dikatakan layak untuk digunakan.

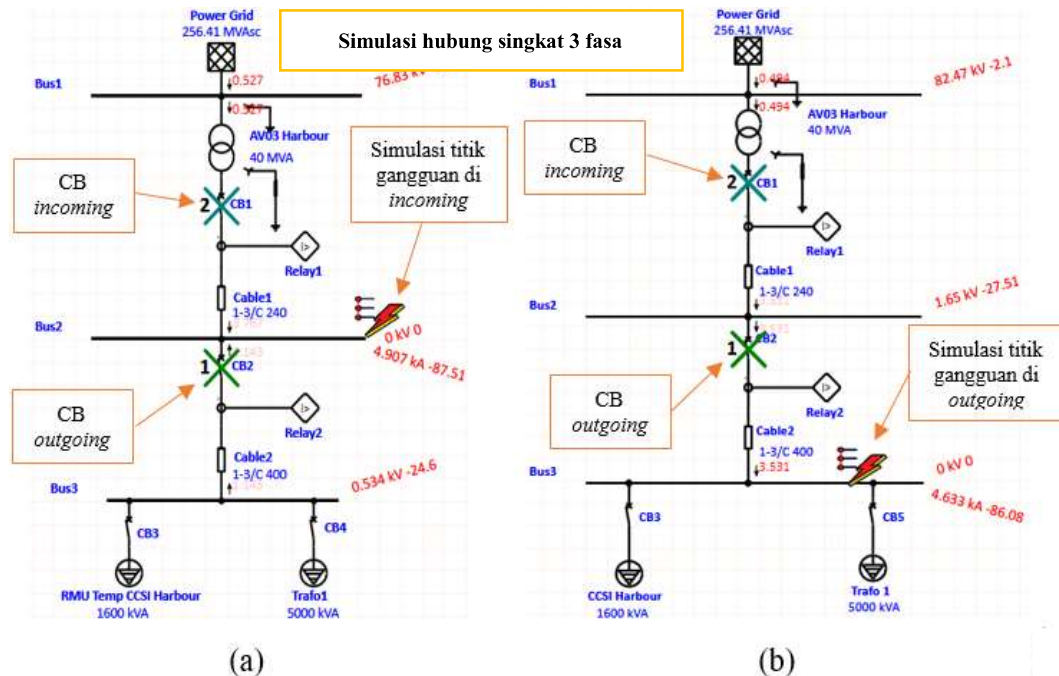
4.3 Analisis koordinasi relai OCR dan GFR

Tahap ini menguji koordinasi relai OCR dan GFR pada Trafo AV03 *harbour* terhadap gangguan hubung singkat tiga fasa untuk relai OCR dan hubung singkat satu fasa ke tanah untuk relai GFR. Pengujian dilakukan dengan menggunakan *software* ETAP untuk menampilkan urutan kerja relai berdasarkan zona gangguannya serta menampilkan kurva kerja relai OCR dan GFR.

4.3.1 Simulasi ETAP relai OCR terpasang

Tujuan simulasi ini untuk mengetahui dengan tidak adanya GFR seperti kondisi dilapangan, apakah jika hanya memanfaatkan OCR mampu menangani arus

gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah. Simulasi ini menggunakan ETAP dengan memasukkan data-data yang sama seperti di lapangan, lalu didapatkan hasil simulasi seperti pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Hasil Simulasi Koordinasi Relai OCR, (a) Gangguan Tiga Fasa di *Incoming*, (b) Gangguan Tiga Fasa di *Outgoing*

Hasil yang ditunjukkan Gambar 4.5 merupakan hasil simulasi koordinasi relai dengan gangguan tiga fasa di atas saat terjadi gangguan di sisi *outgoing* yang ditunjukkan Gambar 4.5(b) urutan kerja relai OCR bekerja sesuai urutan saat terjadi hubung singkat tiga fasa di *outgoing* maka relai OCR di sisi *outgoing* akan merintahkan CB di zona *outgoing* akan *trip*, jika CB *outgoing* gagal melakukan *trip* maka CB *incoming* akan *trip*.

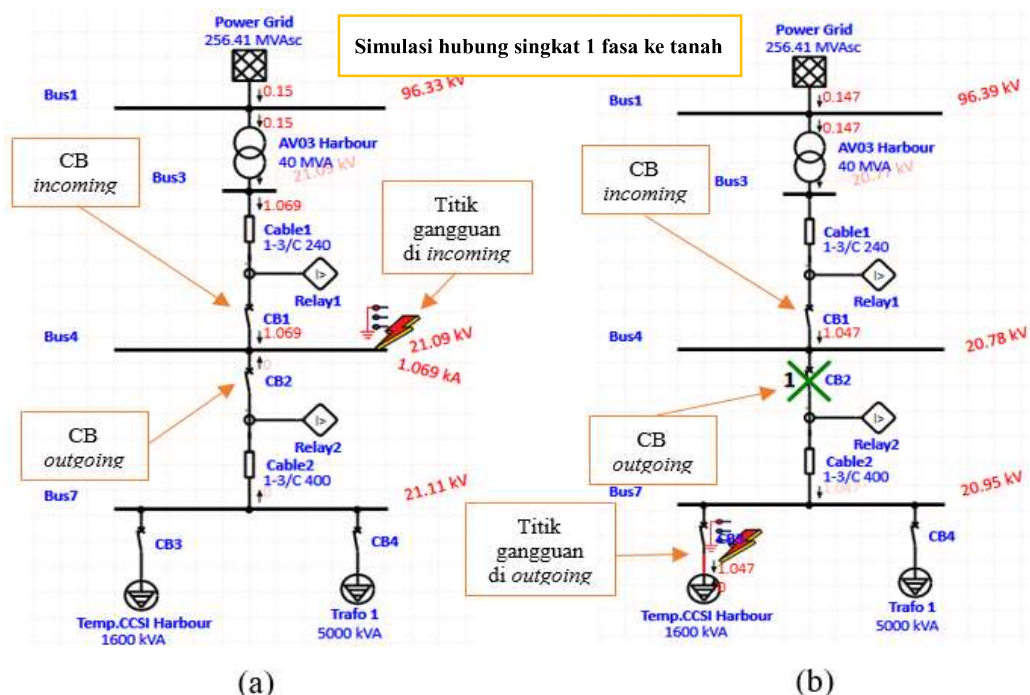
Hasil simulasi pada Gambar 4.5(a) saat terjadi gangguan di sisi *incoming*, relai bekerja tidak sesuai urutan atau sesuai zona gangguannya hal ini diakibatkan *setting* waktu yang diterapkan yaitu di sisi *incoming* 0.8 detik sedangkan di sisi *outgoing* 1 detik selisih waktu yang terjadi hanya sebesar 0,2 detik, hal tersebut tidak sesuai dengan standar IEC 60255 yaitu selisih waktu yang diperbolehkan adalah 0,3 s.d. 0,5 detik.

Pengaturan waktu OCR yang tidak sesuai standar, maka bisa jadi mengakibatkan relai bekerja tidak sesuai urutan yang diinginkan karena akan terjadi

kesalahan pembacaan gangguan pada kedua relai akibat selisih waktu yang sangat kecil atau bisa dikatakan mendekati nilai yang sama, mengingat karakteristik *very inverse time* berkerja ketika arus yang terukur semakin besar maka waktu tunda akan semakin singkat, karena selisih waktu yang hampir sama dan bekerja dengan waktu tunda yang semakin singkat maka akan terjadi kesalahan pada relai.

Permen ESDM nomor 20 tahun 2020 tentang aturan jaringan sistem tenaga listrik (*grid code*) menyebutkan gangguan fasa ke fasa, OCR *incoming* paling lama 1 detik dan penyulang (*feeder* atau *outgoing*) paling lama 0,7 detik [13]. Sedangkan *setting* waktu yang diterapkan di *outgoing* melebihi aturan yang dibuat yaitu 1 detik, hal ini dapat menyebabkan terjadi gangguan pada sistem kelistrikan dan berpotensi menyebabkan kerusakan yang lebih parah pada peralatan listrik.

Ketidaksesuaian yang terjadi kemudian dibuktikan melalui hasil simulasi menggunakan perangkat lunak ETAP. Pada Gambar 4.6 di bawah ini, dilakukan simulasi hubung singkat satu fasa ke tanah dengan hanya menggunakan kinerja OCR sesuai dengan kondisi di lapangan.

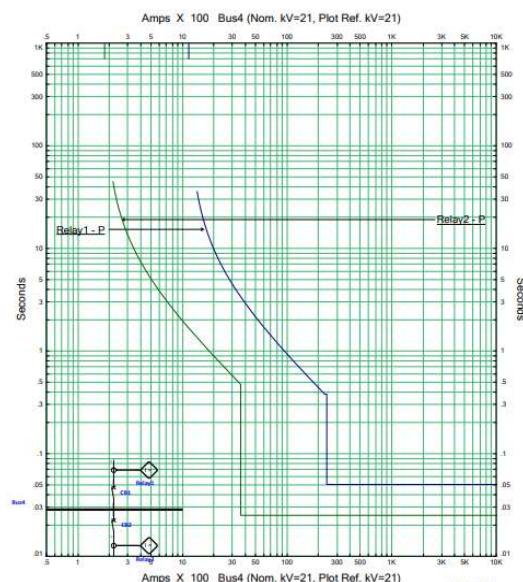


Gambar 4.6 Hasil Simulasi Koordinasi Relai OCR Terpasang, (a) Gangguan Satu Fasa ke Tanah di *Incoming*, (b) Gangguan Satu Fasa ke Tanah di *Outgoing*

Hasil simulasi pada Gambar 4.6(a) menunjukkan situasi ketika terjadi hubung singkat satu fasa ke tanah di sisi *incoming*, pada kondisi ini terdapat sebuah

permasalahan yang muncul, yaitu relai tidak berfungsi sebagaimana mestinya, dan hal ini dapat diamati bahwa *Circuit Breaker* (CB) tidak memutus aliran listrik. Kondisi ini terjadi karena gangguan yang terjadi pada saat tersebut tidak sekuat gangguan hubung singkat tiga fasa, yang hanya memiliki besaran arus sekitar 1,069 kA, sebagai perbandingan, gangguan tiga fasa seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.6(b) memiliki besaran arus mencapai 4,907 kA, sehingga lebih mudah untuk dideteksi oleh relai.

Hasil simulasi pada Gambar 4.6(b) menggambarkan situasi ketika terjadi hubung singkat satu fasa ke tanah di sisi *outgoing*, pada kondisi ini relai *Over Current Relay* (OCR) di sisi *outgoing* berfungsi dengan baik, dan memberikan perintah kepada CB di *outgoing* untuk melakukan *trip*, sehingga arus gangguan tidak sampai terdeteksi oleh relai di sisi *incoming*, hal ini terjadi karena besaran arus gangguan pada situasi ini relatif kecil, sehingga cukup bagi proteksi yang berada di bagian *outgoing* untuk mengatasi masalah ini. Pengaturan yang diterapkan dan hasil simulasi yang diperoleh, dapat dikatakan bahwa koordinasi *setting* relai berjalan dengan baik, seperti yang dibuktikan oleh kurva kerja yang didapatkan seperti pada Gambar 4.7, dengan demikian, kendala dalam pengaturan relai dapat diperbaiki untuk memastikan perlindungan yang lebih efektif terhadap gangguan pada sistem kelistrikan ini



Gambar 4.7 Hasil Simulasi Kurva Kerja Relai OCR, (a) Gangguan di *Incoming*,
(b) Gangguan di *Outgoing*.

Hasil simulasi pada Gambar 4.7 kurva kerja relai OCR dapat dikatakan baik karena tidak adanya garis yang memotong atau menyilang. OCR dirancang dapat mendeteksi gangguan hubung singkat fasa ke fasa dan fasa ke tanah pada sistem kelistrikan, namun OCR biasanya kurang peka terhadap gangguan ke tanah karena sifatnya yang tidak sekuat pada gangguan fasa ke fasa. Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa ketika terjadi gangguan fasa ke tanah, arus yang terlibat hanya sebagian kecil dari arus fasa ke fasa.

Tahanan tanah biasanya cukup besar, sehingga mengakibatkan arus gangguan yang lebih kecil dibandingkan dengan arus fasa-ke-fasa. Meningkatkan sensitivitas OCR terhadap gangguan ke tanah, dapat dilakukan beberapa langkah seperti penempatan CT (*Current Transformer*) pada lokasi yang tepat, pengaturan waktu *trip* yang lebih cepat, dan peningkatan sensitivitas arus *pickup*. Pemasangan *Ground Fault Relay* (GFR) juga dapat membantu mendeteksi gangguan ke tanah dengan lebih akurat, oleh karena itu dalam penelitian ini untuk menunjang kerja OCR maka ditambahkan fungsi GFR seperti di bawah ini.

4.3.2 Perhitungan *setting* relai OCR dan GFR trafo 40 MVA

Sesuai pemaparan 4.3.1 di atas karena kinerja OCR tidak layak maka pada tahap ini akan membuat desain *setting* OCR dan GFR pada sistem trafo 40 MVA menggunakan metode perhitungan untuk mencari nilai *setting*-nya, kemudian nilai *setting* tersebut dilakukan uji coba dengan metode simulasi menggunakan ETAP. Berikut di bawah ini hasil perhitungan yang ditunjukkan pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Hasil Perhitungan OCR dan GFR di Sistem 40 MVA

Relai	Hasil Perhitungan			
	$I_{set\ sekunder}$	I_{pickup}	Td	Kurva
OCR Incoming	6,598 A	1,319 A	0,3 sec	<i>Very Invers Time</i>
GFR Incoming	1,099 A	0,219 A	0,3 sec	<i>Very Invers Time</i>
OCR Outgoing	7,26 A	1,45 A	0,7 sec	<i>Very Invers Time</i>
GFR Outgoing	1,21 A	0,242 A	0,7 sec	<i>Very Invers Time</i>

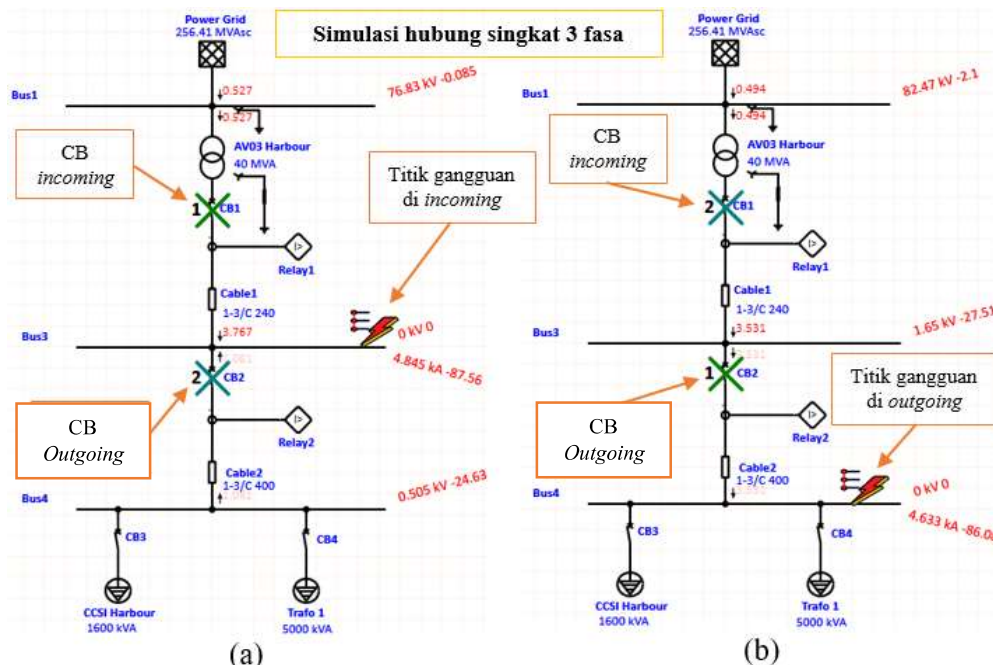
Hasil perhitungan pada Tabel 4.6 menunjukkan hasil perhitungan *setting* OCR dan GFR pada arus *pickup* sisi *incoming* memperoleh nilai yang lebih kecil dibandingkan sisi *outgoing*. Untuk nilai *setting time delay* (Td) sisi *incoming* sebesar 0,3 detik dan *time delay* (Td) sisi *outgoing* sebesar 0,7 detik dengan selisih

waktunya 0,4 detik dan nilai *time delay* (T_d) tersebut sudah sesuai dengan IEC 60255 yang mengatur selisih waktu antar alat proteksi, yaitu 0,3 s.d. 0,5 detik. Perhitungan waktu kerja *time delay* (T_d) ini bisa saja lebih cepat dari waktu pengaturannya dalam menangani gangguan hubung singkat yang diterapkan, hal itu berdasarkan pada jenis karakteristik waktu yang diterapkan.

Penelitian ini menggunakan karakteristik kurva *very inverse time* yang dapat memberikan penundaan waktu yang berbeda tergantung pada arus yang diukur. Semakin besar arus, maka waktu tunda akan semakin kecil. *Setting* arus *pickup* OCR *incoming* yang lebih kecil atau sensitif dari *setting* arus *pickup* OCR *outgoing*, OCR *incoming* akan sangat efektif untuk menangani arus sisa tersebut dan OCR *incoming* bisa juga menjadi *backup* untuk *trip* jika OCR *outgoing* gagal *trip*.

4.3.3 Simulasi ETAP 19.0 koordinasi relai OCR dan GFR trafo 40 MVA

Nilai *setting* OCR dan GFR yang didapatkan dari hasil perhitungan maka bisa dilakukan simulasi menggunakan ETAP dengan cara hasil perhitungan nilai *setting* OCR dan GFR dimasukkan ke dalam program. Berikut hasil simulasinya pada Gambar 4.8.



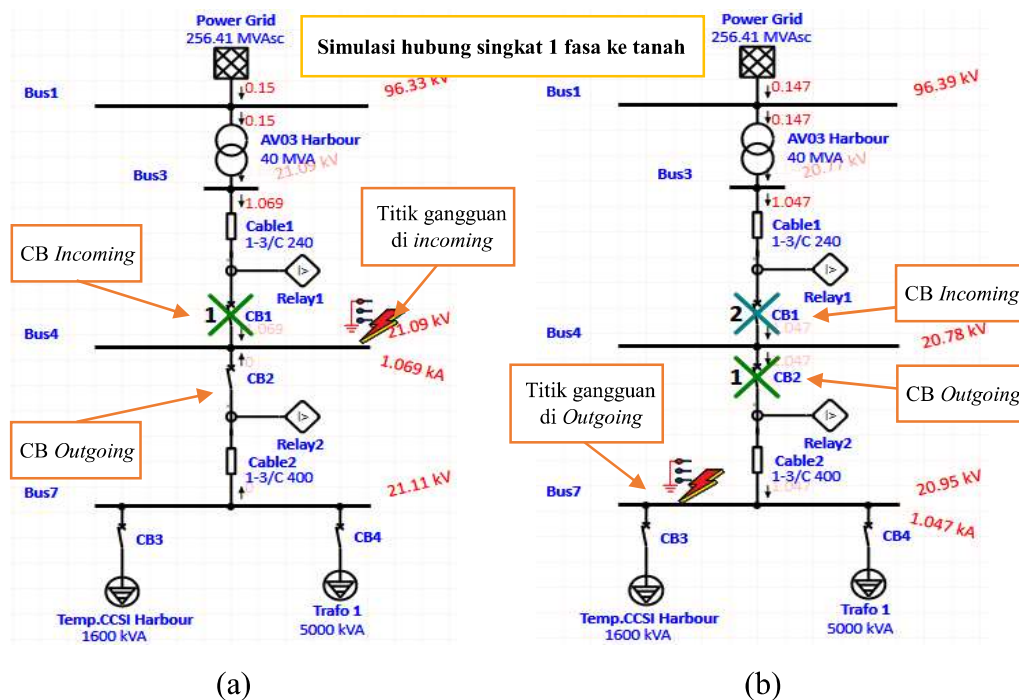
Gambar 4.8 Hasil Simulasi Koordinasi Relai OCR Sistem 40 MVA, (a) Hubung Singkat di *Incoming*, (b) Hubung Singkat di *Outgoing*

Hasil simulasi pada Gambar 4.8 dilakukan koordinasi kerja relai OCR yang ditampilkan dalam urutan kerja CB. Terdapat pada Gambar 4.8(a) dilakukan simulasi hubung singkat tiga fasa di sisi *incoming* maka CB *incoming* (AK05) *trip*, jika CB *incoming* gagal melakukan *trip* maka CB *outgoing* (AK04) yang akan *trip*, karena titik gangguan berada di zona pembacaan arus gangguan oleh OCR *incoming*. Sistem OCR *incoming* yang disimulasikan di ETAP dintegrasikan dengan CT *incoming* dan CB *incoming* untuk mengatasi gangguan yang berada di *incoming*, jadi relai bekerja berdasarkan zona gangguannya. *Setting* arus *pickup* dan *time delay* (Td) yang lebih kecil dapat membuat proteksi di *incoming* menjadi lebih sensitif dan lebih cepat untuk melakukan *trip*. OCR *outgoing* jadi *backup* untuk *trip* karena arus gangguan tiga fasa sangat besar sehingga bisa jadi dampak pemutusan seketika oleh CB *incoming* bisa jadi menghasilkan arus sisa ke *outgoing* dan OCR *outgoing* bisa juga menjadi *backup* untuk *trip* jika OCR *incoming* gagal *trip*.

Hubung singkat tiga fasa di sisi *outgoing* pada Gambar 4.8(b) memiliki dampak signifikan pada operasi sistem kelistrikan, pada kondisi seperti ini CB *outgoing* (AK04) akan *trip* sebagai tindakan pertama untuk mengatasi gangguan. CB *outgoing* harus segera melakukan *trip* untuk memisahkan sirkuit dari gangguan tersebut, namun jika CB *outgoing* gagal melakukan *trip*, langkah selanjutnya adalah CB *incoming* (AK05) yang akan *trip*. Keberhasilan operasi CB *incoming* menjadi krusial dalam mencegah kerusakan yang lebih lanjut pada sistem kelistrikan.

Penyebab dari pengaktifan CB *outgoing* pertama adalah adanya gangguan di zona pembacaan arus gangguan oleh OCR *outgoing*. Untuk memastikan aktivasi tepat waktu, pengaturan arus *pickup* OCR *outgoing* harus diatur dengan bijak. Pengaturan ini harus memungkinkan relai untuk mencapai arus *pickup* dalam waktu kerja maksimal selama 0,7 detik. Penting untuk dicatat bahwa karakteristik yang digunakan adalah *very inverse time*, yang berarti semakin besar arus yang terukur, semakin kecil waktu tunda yang diperlukan, meskipun pengaturan arus *pickup* OCR *outgoing* mungkin lebih besar daripada *setting* arus *pickup* OCR *incoming*, relai OCR *outgoing* akan berfungsi pertama kali jika gangguan terjadi di sisi *outgoing* karena relai OCR *outgoing* diintegrasikan dengan CT *outgoing* dan CB *outgoing* dalam sistem, dengan demikian ketersediaan operasi yang efisien dan responsif dalam mengatasi gangguan di zona *outgoing* dapat dipastikan.

OCR *incoming* bisa jadi *backup* karena arus gangguan tiga fasa sangat besar sehingga bisa jadi dampak pemutusan seketika oleh CB *outgoing* bisa jadi menghasilkan arus sisa ke *incoming*. *Setting* arus *pickup* OCR *incoming* yang lebih kecil atau sensitif dari *setting* arus *pickup* OCR *outgoing*, OCR *incoming* akan sangat efektif untuk menangani arus sisa tersebut dan OCR *incoming* bisa juga menjadi *backup* untuk *trip* jika OCR *outgoing* gagal *trip*, selanjutnya pada Gambar 4.9 ini dilakukan simulasi hubung singkat satu fasa ke tanah untuk menguji kinerja GFR di sisi *incoming* dan di sisi *outgoing*.



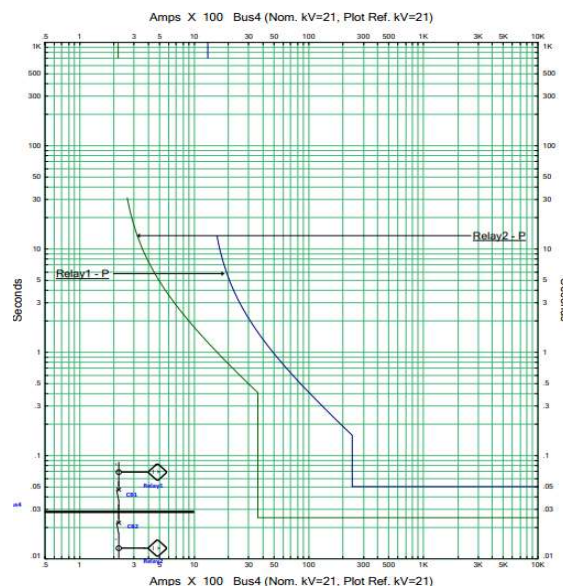
Gambar 4.9 Hasil Simulasi Koordinasi Relai GFR Sistem 40 MVA, (a) Hubung Singkat di *Incoming*, (b) Hubung Singkat di *Outgoing*.

Hasil simulasi pada Gambar 4.9 dilakukan koordinasi kerja relai GFR yang ditampilkan dalam urutan kerja CB. Terdapat pada Gambar 4.9(a) dilakukan simulasi hubung singkat satu fasa ke tanah di sisi *incoming* maka CB *incoming* (AK05) *trip* sedangkan CB *outgoing* (AK04) tidak *trip*, hal ini terjadi karena titik gangguan berada di zona pembacaan arus gangguan oleh GFR *incoming* sehingga arus *pickup* yang akan tercapai adalah pengaturan arus *pickup* GFR *incoming* dengan waktu kerja relai maksimal untuk mencapai arus *pickup* selama 0,3 detik.

GFR *incoming* yang di simulasikan di ETAP dintegrasikan dengan CT *incoming* dan CB *incoming* untuk mengatasi gangguan yang berada di *incoming*,

karena hal tersebut relai bekerja berdasarkan zona gangguannya. GFR *outgoing* tidak *trip*, karena *setting* arus *pickup* GFR *incoming* sudah sangat sensitif karena nilai arus *pickup* nya sudah sangat kecil daripada nilai arus *pickup* GFR *outgoing* yaitu 0,219 A sehingga sebelum arus hubung singkatnya semakin besar CB *outgoing* sudah melakukan pemutusan sehingga area gangguan sudah terisolir dengan baik.

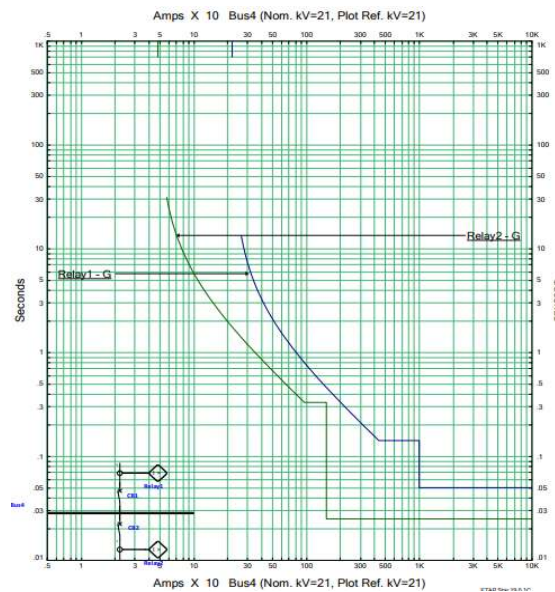
Hubung singkat satu fasa ke tanah yang terjadi di sisi *outgoing* pada Gambar 4.9(b) maka CB *outgoing* (AK04) akan *trip*. CB *outgoing* (AK04) jika gagal *trip* maka CB *incoming* (AK05) akan *trip*. Pemutusan yang terjadi karena titik gangguan berada di zona pembacaan arus gangguan oleh GFR *outgoing*, sehingga arus *pickup* yang akan tercapai adalah pengaturan arus *pickup* GFR *outgoing* dengan waktu kerja relai maksimal untuk mencapai arus *pickup* selama 0,7 detik. Waktu kerja relai bisa jadi lebih singkat karena karakteristik yang digunakan adalah *very inverse time*, yang artinya semakin besar arus yang terukur maka semakin kecil waktu tundanya. Berikut Gambar 4.10 kurva kerja relai OCR.



Gambar 4.10 Kurva Kerja OCR Sistem 40 MVA

Gambar 4.10 di atas adalah kurva kerja dari relai OCR, untuk kurva berwarna biru menunjukkan relai OCR di sisi *incoming* sedangkan kurva berwarna hijau menunjukkan relai OCR di sisi *outgoing*. Kurva yang digunakan masih sama seperti sebelumnya yaitu *very inverse time*. Kurva *Very Inverse* dirancang untuk memberikan respons waktu yang lebih cepat pada gangguan arus tinggi, sementara

memberikan respons waktu yang lebih lambat pada gangguan arus rendah. Karakteristik kurva *Very Inverse* adalah semakin besar arus gangguan, respons waktu akan semakin cepat. Namun, saat arus gangguan mendekati nilai pickup, respons waktu akan melambat secara signifikan secara eksponensial. Prinsip ini juga diterapkan pada GFR seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.11 di bawah ini.



Gambar 4.11 Kurva Kerja GFR Sistem 40 MVA

Hasil simulasi Gambar 4.10 dan 4.11 yang merupakan kurva kerja dari relai OCR dan GFR menghasilkan kurva yang sudah sesuai koordinasi relainya. Alasan dari kurva tersebut dikatakan sudah sesuai karena tidak adanya garis yang menyilang atau memotong, karena jika ada garis yang menyilang atau memotong menunjukkan bahwa terdapat area atau *range* arus tertentu yang *overlap* atau tumpang tindih antara karakteristik operasi dari dua atau lebih OCR dan GFR yang terhubung dalam sistem kelistrikan. Kurva koordinasi OCR yang menyilang dapat mengakibatkan terjadinya masalah koordinasi proteksi yang dapat mempengaruhi kinerja sistem kelistrikan secara keseluruhan.

Perancangan sistem proteksi kelistrikan penting untuk memperhatikan koordinasi proteksi yang baik antara OCR dan GFR yang terhubung pada sistem kelistrikan, sehingga dapat memastikan pengamanan sistem kelistrikan secara efektif dan efisien.

4.3.4 Perhitungan *setting* relai OCR dan GFR trafo 80 MVA

Rencana kedepan untuk AV03 *harbour* akan dilakukan *Up-rating* trafo dari 40 MVA menjadi 80 MVA, maka dalam pembahasan ini membuat desain proteksi OCR dan GFR untuk menunjang keamanan sistem kelistrikan ketika trafo sudah diuprating menjadi 80 MVA. Berikut pada Tabel 4.7 hasil perhitungan *setting* relai.

Tabel 4.7 Hasil Perhitungan OCR dan GFR di Sistem 80 MVA

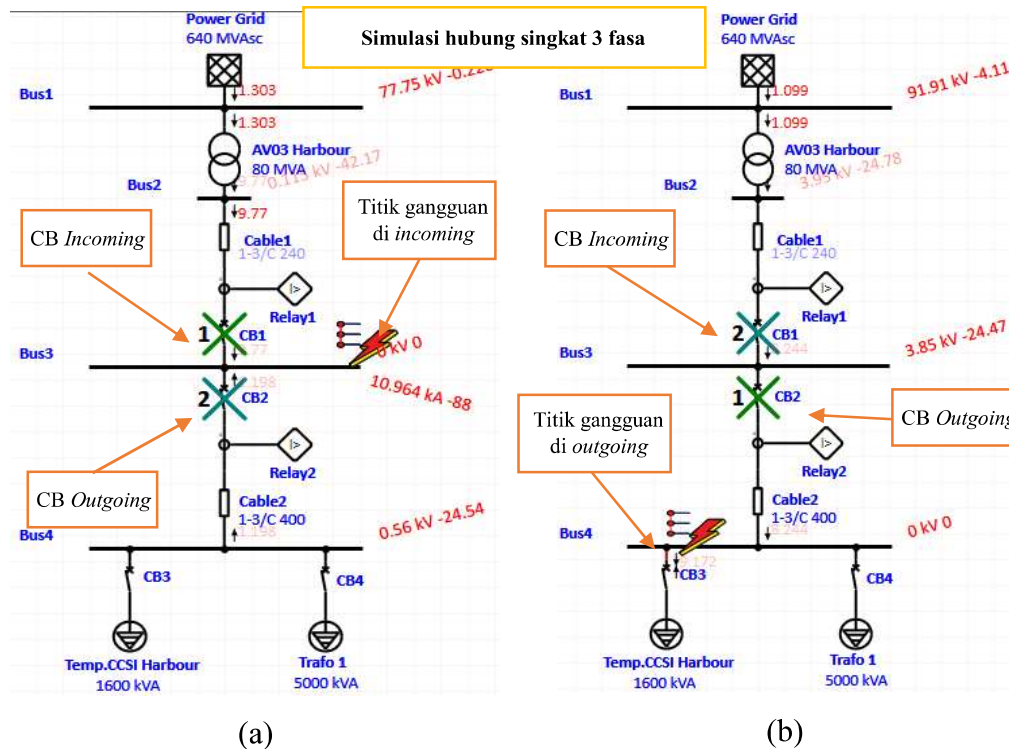
Relai	Hasil Perhitungan			
	$I_{set\ sekunder}$	I_{pickup}	Td	Kurva
OCR Incoming	13,8 A	1,1547 A	0,3 sec	<i>Very Invers Time</i>
GFR Incoming	2,3	0,19245 A	0,3 sec	<i>Very Invers Time</i>
OCR Outgoing	7,26 A	1,089 A	0,7 sec	<i>Very Invers Time</i>
GFR Outgoing	1,21 A	0,1815 A	0,7 sec	<i>Very Invers Time</i>

Hasil perhitungan pada Tabel 4.7 menunjukkan hasil perhitungan *setting* OCR dan GFR pada arus *pickup* sisi *incoming* memperoleh nilai yang lebih besar dibandingkan sisi *outgoing*. Nilai *setting time delay* (Td) sisi *incoming* sebesar 0,3 detik dan *time delay* (Td) sisi *outgoing* sebesar 0,7 detik dengan selisih waktunya 0,4 detik dan nilai *time delay* (Td) tersebut sudah sesuai dengan IEC 60255 yang mengatur selisih waktu antar alat proteksi, yaitu 0,3 s.d. 0,5 detik.

Perhitungan waktu kerja *time delay* (Td) ini bisa saja lebih cepat dari waktu pengaturannya dalam menangani gangguan hubung singkat yang diterapkan, hal itu berdasarkan pada jenis karakteristik waktu yang diterapkan. Penelitian ini menggunakan karakteristik kurva *very inverse time* yang dapat memberikan penundaan waktu yang berbeda tergantung pada arus yang diukur.

4.3.5 Simulasi ETAP 19.0 koordinasi relai OCR dan GFR trafo 80 MVA

Nilai *setting* OCR dan GFR yang didapatkan dari hasil perhitungan maka bisa dilakukan simulasi menggunakan ETAP seperti pada Gambar 4.12 dengan cara hasil perhitungan nilai *setting* OCR dan GFR dimasukkan ke dalam program.



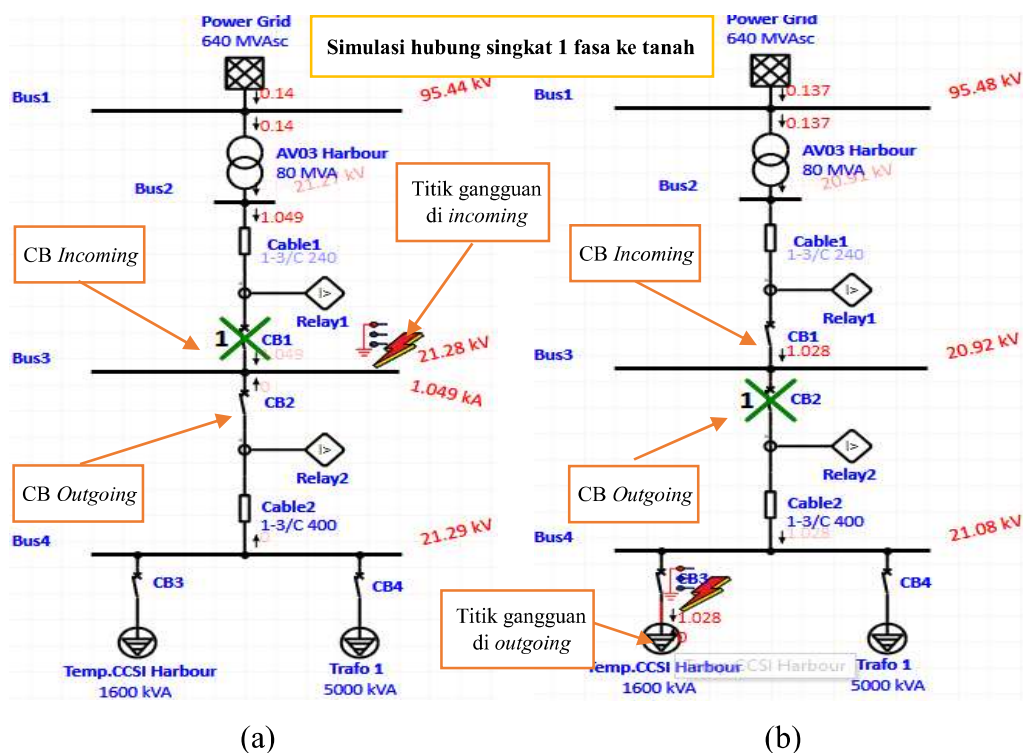
Gambar 4.12 Hasil Simulasi Koordinasi Relai OCR Sistem 80 MVA, (a) Hubung Singkat di *Incoming*, (b) Hubung Singkat di *Outgoing*

Hasil simulasi pada Gambar 4.12 dilakukan koordinasi kerja relai OCR yang ditampilkan dalam urutan kerja CB. Terdapat pada Gambar 4.12(a) dilakukan simulasi hubung singkat tiga fasa di sisi *incoming* maka CB *incoming* (AK05) akan *trip* dan jika CB *incoming* (AK05) gagal *trip* maka CB *outgoing* (AK04) akan *trip*, karena titik gangguan di zona pembacaan arus gangguan oleh OCR *incoming*, sehingga arus *pickup* yang akan tercapai adalah arus *pickup* OCR *incoming* dengan waktu kerja relai maksimal untuk mencapai arus *pickup* selama 0,3 detik. *Setting* arus *pickup* OCR *incoming* lebih besar dari pada *setting* arus *pickup* OCR *outgoing*, jika gangguannya di sisi *incoming* maka relai yang akan membaca terlebih dahulu adalah relai OCR *incoming* karena OCR *incoming* yang di simulasikan di ETAP dintegrasikan dengan CT *incoming* dan CB *incoming* untuk mengatasi gangguan di *incoming*, sehingga relai bekerja berdasarkan zona gangguannya.

Hubung singkat tiga fasa di sisi *outgoing* pada Gambar 4.12(b) maka CB *outgoing* (AK04) akan *trip* dan jika CB *outgoing* (AK04) gagal *trip* maka CB *incoming* (AK05) akan *trip*, karena titik gangguan berada di zona pembacaan arus gangguan oleh OCR *outgoing*. sehingga arus *pickup* yang akan tercapai adalah

pengaturan arus *pickup* OCR *outgoing* dengan waktu kerja relai maksimal untuk mencapai arus *pickup* selama 0,7 detik dan bisa jadi lebih singkat karena karena karakteristik yang digunakan yaitu *very inverse time* yang artinya semakin besar arus yang terukur maka semakin kecil waktu tundanya.

OCR *outgoing* yang di simulasikan di ETAP dintegrasikan dengan CT *outgoing* dan CB *outgoing* untuk mengatasi gangguan yang berada di *outgoing*, sehingga relai bekerja berdasarkan zona gangguannya, selanjutnya pada Gambar 4.13 dilakukan simulasi hubung singkat satu fasa ke tanah untuk menguji kinerja GFR.



Gambar 4.13 Hasil Simulasi Koordinasi Relai GFR Sistem 80 MVA, (a) Hubung Singkat di *Incoming*, (b) Hubung Singkat di *Outgoing*

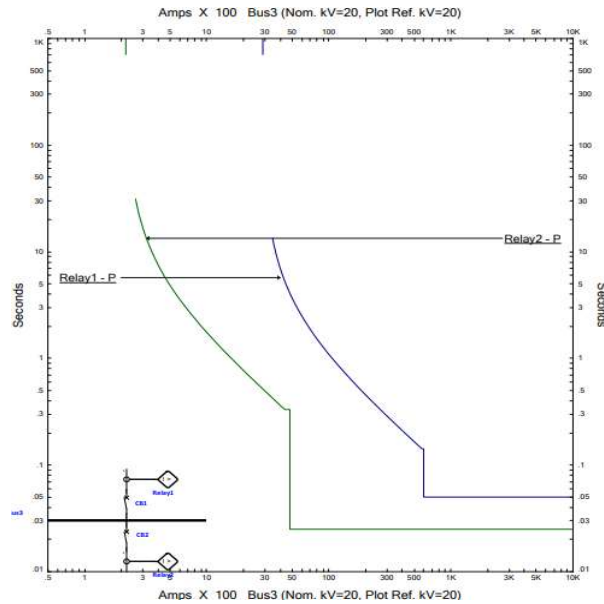
Hasil simulasi pada Gambar 4.13 dilakukan koordinasi kerja relai GFR yang ditampilkan dalam urutan kerja CB. Terdapat pada Gambar 4.13(a) dilakukan simulasi hubung singkat satu fasa ke tanah di sisi *incoming* maka CB *incoming* (AK05) akan *trip* sedangkan CB *outgoing* (AK04) tidak *trip*, hal ini terjadi karena titik gangguan berada di zona pembacaan arus gangguan oleh GFR *incoming*.

sehingga Arus *pickup* yang tercapai lebih dahulu adalah arus *pickup* GFR *incoming* dengan waktu kerja relai maksimal untuk mencapai arus *pickup* selama 0,3 detik.

Pengaturan arus *pickup* GFR *incoming* lebih besar dari pada pengaturan arus *pickup* GFR *outgoing*, jika gangguannya di sisi *incoming* maka relai yang akan membaca terlebih dahulu adalah relai GFR *incoming*. Relai yang di simulasikan di ETAP dintegrasikan dengan CT *incoming* dan CB *incoming* untuk mengatasi gangguan yang berada di *incoming*, jadi relai bekerja berdasarkan zona gangguannya. GFR *outgoing* tidak *trip*, walaupun arus *pickup* lebih kecil karena *setting* arus *pickup* GFR *incoming* sudah sangat sensitif karena nilai arus *pickup* nya sudah sangat kecil yaitu 0,19245 A sehingga sebelum arus hubung singkatnya semakin besar CB *incoming* sudah melakukan pemutusan sehingga area gangguan sudah terisolir dengan baik.

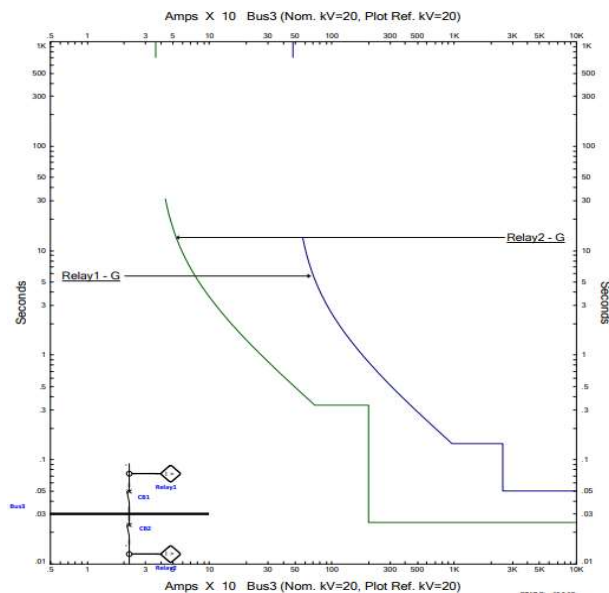
Hasil simulasi pada Gambar 4.13(b) dilakukan simulasi hubung singkat satu fasa ke tanah di sisi *outgoing* maka CB *outgoing* (AK04) dan *trip* dan CB *incoming* (AK05) tidak *trip*, hal ini terjadi karena titik gangguan berada di zona pembacaan arus gangguan oleh GFR *outgoing* sehingga arus *pickup* yang akan tercapai adalah pengaturan arus *pickup* GFR *outgoing* dengan waktu kerja relai maksimal untuk mencapai arus *pickup* selama 0,7 detik dan bisa jadi lebih singkat karena karakteristik yang digunakan yaitu *very inverse time* yang artinya semakin besar arus yang terukur maka semakin kecil waktu tundanya.

GFR *outgoing* yang di simulasikan di ETAP dintegrasikan dengan CT *outgoing* dan CB *outgoing* untuk mengatasi gangguan yang berada di *outgoing*, jadi relai bekerja berdasarkan zona gangguannya. Saat terjadi gangguan GFR *incoming* tidak *trip* karena *setting* arus *pickup* GFR *outgoing* sudah sangat sensitif karena nilai arus *pickup* nya sudah sangat kecil daripada nilai arus *pickup* GFR *incoming* yaitu 0,1815 A sehingga sebelum arus hubung singkatnya semakin besar CB *outgoing* sudah melakukan pemutusan sehingga area gangguan sudah terisolir dengan baik. *Setting* koordinasi relai GFR telah berjalan dengan baik sesuai dengan standar kepekaan, kecepatan dan selektifitas relai. Berikut dibawah ini Gambar 4.14 ini merupakan kurva kerja OCR dan GFR.



Gambar 4.14 Kurva Kerja OCR Sistem 80 MVA

Hasil simulasi Gambar 4.14 merupakan kurva kerja dari relai OCR. Untuk kurva berwarna biru menunjukkan relai OCR di sisi *incoming* sedangkan kurva berwarna hijau menunjukkan relai OCR di sisi *outgoing*. Untuk kurva yang digunakan masih sama seperti sebelumnya yaitu *very inverse time*. Berikut kurva kerja dari GFR pada Gambar 4.15.



Gambar 4.15 Kurva Kerja GFR Sistem 80 MVA

Gambar 4.14 dan 4.15 yang merupakan kurva kerja dari relai OCR dan GFR yang terbentuk dari nilai *setting* yang dimasukkan. Dari kurva tersebut dapat

dikatakan sudah sesuai koordinasi relainya. Alasan dari kurva tersebut dikatakan sudah sesuai karena tidak adanya garis yang menyilang atau memotong, karena jika ada garis yang menyilang atau memotong menunjukkan bahwa terdapat area atau *range* arus tertentu yang *overlap* atau tumpang tindih antara karakteristik operasi dari dua atau lebih OCR dan GFR yang terhubung dalam sistem kelistrikan.

Kurva koordinasi OCR yang menyilang dapat mengakibatkan terjadinya masalah koordinasi proteksi yang dapat mempengaruhi kinerja sistem kelistrikan secara keseluruhan. Merancang sistem proteksi kelistrikan, penting untuk memperhatikan koordinasi proteksi yang baik antara OCR dan GFR yang terhubung pada sistem kelistrikan, sehingga dapat memastikan pengamanan sistem kelistrikan secara efektif dan efisien.