



TUGAS AKHIR - EE 184801

**PENGARUH PEMASANGAN PEMBANGKIT
TERDISTRIBUSI TERHADAP ARUS GANGGUAN DAN
RELE ARUS LEBIH PADA SISTEM DISTRIBUSI**

Rony Yusuf Rahmatullah
NRP 0711114000018

Dosen Pembimbing
Dr. Eng. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng.
Vita Lystianingrum Budiharto Putri, ST., M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020



FINAL PROJECT - EE 184801

***IMPACT OF DISTRIBUTED GENERATION
INSTALLATION TOWARDS FAULT CURRENT AND
OVER CURRENT RELAY IN DISTRIBUTION SYSTEM***

Rony Yusuf Rahmatullah
NRP 0711114000018

Supervisors
Dr. Eng. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng.
Vita Lystianingrum Budiharto Putri, ST., M.Sc.

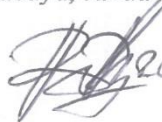
DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Intelligent Electrical and Informatics Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2020

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan Tugas akhir saya dengan judul "**Pengaruh Pemasangan Pembangkit Terdistribusi terhadap Arus Gangguan dan Rele Arus Lebih pada Sistem Distribusi**" adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri. Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Januari, 2020



Rony Yusuf Rahmatullah
0711114000018

PENGARUH PEMASANGAN PEMBANGKIT TERDISTRIBUSI TERHADAP ARUS GANGGUAN DAN RELE ARUS LEBIH PADA SISTEM DISTRIBUSI

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui:

Dosen Pembimbing I



Dr. Eng. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng.
NIP. 197309271998031004

Dosen Pembimbing II



Vita Lystianingrum Budiharto Putri, ST., M.Sc.
NIP. 198208292006042001

20/1/2020



Halaman sengaja dikosongkan

ABSTRAK

PENGARUH PEMASANGAN PEMBANGKIT TERDISTRIBUSI TERHADAP ARUS GANGGUAN DAN RELE ARUS LEBIH PADA SISTEM DISTRIBUSI

Nama mahasiswa : Rony Yusuf Rahmatullah
Dosen Pembimbing I : Dr. Eng. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng.
Dosen Pembimbing II : Vita Lystianingrum Budiharto Putri, ST., M.Sc.

Abstrak:

Jaringan distribusi pada umumnya berjenis radial dan terhubung pada sumber terpusat melalui jaringan transmisi. Arah aliran daya pada jaringan ini berawal dari sumber menuju beban pada jaringan distribusi. Beberapa tahun terakhir, untuk memenuhi kebutuhan listrik yang meningkat, pembangkit terdistribusi atau *distributed generation (DG)* digunakan pada jaringan. Meskipun pemasangan unit DG memiliki banyak keuntungan, beberapa kerugian masih bisa ditemukan khususnya pada sistem pengaman jaringan. Pemasangan DG akan berdampak pada level gangguan arus hubung singkat, menyebabkan hilangnya koordinasi antar rele. Pada tugas akhir ini, pengaruh dari pemasangan unit DG terhadap arus gangguan dan koordinasi rele arus lebih atau *over current relay (OC)* akan diteliti. Besar dan arah dari arus hubung singkat pada jaringan akan dianalisa tanpa dan dengan unit DG. Dengan mengubah besar dan lokasi unit DG, kerja rele OC berdasarkan arah arus hubung singkat akan dievaluasi.

Kata kunci: (*Distributed Generation, Over Current Relay*)

Halaman sengaja dikosongkan

ABSTRACT

IMPACT OF DISTRIBUTED GENERATION INSTALLATION ON OVER CURRENT RELAY FAULT RESPOND IN DISTRIBUTION SYSTEM

Student Name : Rony Yusuf Rahmatullah
Supervisor I : Dr. Eng. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng.
Supervisor II : Vita Lystianingrum Budiharto Putri, ST., M.Sc.

Abstract:

Distribution networks are generally a radial type and connected to a centralized source through a transmission network. The direction of load flow on this network starts from the source to the load on the distribution network. In recent years, to meet the increasing electricity needs, distributed generation (DG) is used on the network. Although the installation of DG units has many advantages, some disadvantages can still be found, especially in network protection systems. DG installation will have an impact on the level of short circuit current, causing loss of coordination between relays. In this final project, the impact of the DG unit installation on fault current and over current relay (OC) coordination will be examined. The magnitude and direction of the short circuit current in the network will be analyzed with and without the DG unit. By changing the DG unit size and location, OC relay work based on short-circuit current direction will be evaluated.

Key Words: (*Distributed Generation, Over Current Relay*)

Halaman sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karuniaNya, sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir sampai dengan penyusunan laporan dengan judul “Pengaruh Pemasangan Pembangkit Terdistribusi terhadap Arus Gangguan dan Rele Arus Lebih pada Sistem Distribusi”. Adapun penyusunan laporan ini sebagai hasil dari mata kuliah Tugas Akhir yang merupakan salah satu syarat dalam menempuh studi di Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Intitut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Orang tua dan keluarga tercinta yang telah memberikan dorongan baik materi, moril maupun spiritual kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Dr.Eng. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng. dan Ibu Vita Lystianingrum Budiharto Putri, ST., M.Sc. selaku dosen pembimbing.
3. Seluruh manajemen dan staff DepartemenTeknik Elektro yang tidak bisa kami sebutkan satu persatu.
4. Teman-teman dari Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Intitut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya yang telah memberikan semangat dan dorongan dalam menyelesaikan Tugas Akhir.

Kami menyadari bahwa laporan Tugas Akhir ini jauh dari sempurna vaik dari segi materi maupun penulisannya. Oleh karena itu kritik dan saran yang membangun dari pembaca akan sangat dibutuhkan bagi kesempurnaan penyisinan laporan berikutnya.

Penulis berharap laporan Tugas Akhir ini dapat memberikan mafaat menambah wawasan bagi pembaca umumnya serta adik-aik angkatan mahasiswa Departemen Teknik Elektro pada khususnya.

Surabaya, Januari 2020

Penulis

Halaman sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
ABSTRACT.....	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Metodologi	3
1.5 Sistematika Penulisan.....	5
1.6 Relevansi.....	5
BAB 2 PEMBANGKIT TERDISTRIBUSI DAN KOORDINASI PROTEKSI RELE ARUS LEBIH	
2.1 Pengertian Pembangkit Terdistribusi	7
2.2 Tipe Pembangkit Terdistribusi	7
2.2.1 Turbin Angin	8
2.2.2 <i>Photovoltaic (PV)</i>	8
2.2.3 <i>Fuel Cells</i>	8
2.2.4 <i>Rotating Machines</i>	9
2.3 Pengaruh Pemasangan DG pada Arus Hubung Singkat.....	9
2.4 Pengaruh Pemasangan DG pada Sistem Pengaman	9
2.4.1 <i>Blinding of Protection</i>	10
2.4.2 <i>False Tripping</i>	10
2.4.3 <i>Islanding</i>	11
2.5 Perhitungan Arus Hubung Singkat.....	11
2.6 Rele Arus Lebih (Overcurrent relay).....	13
2.6.1 Rele Arus Lebih Waktu Tertentu.....	14
2.6.2 Rele Arus Lebih Waktu <i>Inverse</i>	14
2.6.3 Rele Arus Lebih Waktu Instan	15
2.6.4 Rele Arus Lebih <i>Inverse Definite Minimum Time</i> ..	16
2.6.5 <i>Setting Rele Arus Lebih Waktu Inverse</i>	16
2.6.6 Koordinasi Arus Waktu.....	18
BAB 3 SISTEM DISTRIBUSI IEEE 13 BUS	
3.1 IEEE 13 Bus.....	19
3.1.1 Data Pembebanan dan Saluran IEEE 13 Bus	21

3.1.2	Pemodelan Sistem IEEE 13 Bus	22
3.1.3	Koordinasi Rele Arus Lebih IEEE 13 Bus	23
3.1.4	Analisa Arus Gangguan Hubung Singkat	24
3.1.5	Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa	24
BAB 4 SIMULASI DAN ANALISIS		
4.1	Sistem Tanpa DG	25
4.1.1	Tipikal 1	26
4.1.2	Tipikal 2	30
4.1.3	Tipikal 3	33
4.1.4	Tipikal 4	39
4.2	Sistem Dengan DG di Bus 634	43
4.2.1	Arus Gangguan dan Koordinasi Waktu Rele	43
4.2.2	Arus Arah Balik (<i>Reverse Current</i>)	49
4.3	Sistem Dengan DG di Bus 675	57
4.3.1	Arus Gangguan dan Koordinasi Waktu Rele	57
4.3.2	Arus Arah Balik (<i>Reverse Current</i>)	60
4.4	Sistem dengan DG di Bus 634 dan 675	67
4.4.1	Arus Gangguan dan Koordinasi Waktu Rele	67
4.4.2	Arus Arah Balik (<i>Reverse Current</i>)	75
4.5	Sistem dengan Photovoltaic DG	76
BAB 5 PENUTUP		
4.6	Kesimpulan	79
4.7	Saran	79
DAFTAR PUSTAKA		81
BIOGRAFI PENULIS		83

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1.	Metodologi.....	4
Gambar 2.1.	Prinsip dari <i>False Tripping</i>	10
Gambar 2.2.	Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Tertentu	14
Gambar 2.3.	Jenis – Jenis Kurva <i>Inverse</i>	15
Gambar 2.4.	Karakteristik Dari Rele Arus Lebih Seketika	15
Gambar 2.5.	Kurva IDMT	16
Gambar 3.1.	Skema IEEE 13 Bus Feeder Awal	20
Gambar 3.2.	Skema IEEE 13 Bus Setelah Penyesuaian.....	20
Gambar 3.3.	Tipikal Sistem IEEE 13 Bus Feeder	23
Gambar 4.1.	Tipikal 1 IEEE 13 Bus	26
Gambar 4.2.	Setelan Tipikal 1 IEEE 13 Bus	29
Gambar 4.3.	Tipikal 2 IEEE 13 Bus	30
Gambar 4.4.	Setelan Tipikal 2 IEEE 13 Bus	32
Gambar 4.5.	Tipikal 3 IEEE 13 Bus	33
Gambar 4.6.	Setelan Tipikal 3 IEEE 13 Bus	38
Gambar 4.7.	Tipikal 4 IEEE 13 Bus	39
Gambar 4.8.	Setelan Tipikal 4 IEEE 13 Bus	42
Gambar 4.9.	Kurva Koordinasi Rele CB5B dan CB5C Sebelum DG Terasang	46
Gambar 4.10.	Kurva Koordinasi Rele CB5B dan CB5C Ketika 8MW DG Terasang	47
Gambar 4.11.	Kurva <i>Resetting</i> Koordinasi Rele CB5B dan CB5C....	49
Gambar 4.12.	Setelan Rele Arah Tipikal 2 Saat 3 MW DG Terasang.....	52
Gambar 4.13.	Setelan Rele Arah Tipikal 2 Saat 5 MW DG Terasang	54
Gambar 4.14.	Setelan Rele Arah Tipikal 2 Saat 8 MW DG Terasang.....	56
Gambar 4.15.	Setelan Rele Arah Tipikal 4 Saat 3 MW DG Terasang.....	62
Gambar 4.16.	Setelan Rele Arah Tipikal 4 Saat 5 MW DG Terasang.....	64
Gambar 4.17.	Setelan Rele Arah Tipikal 4 Saat 8 MW DG Terasang.....	66
Gambar 4.18.	Kurva Koordinasi Rele CB5B dan CB5C Sebelum DG Terasang	72

Gambar 4.19. Kurva Koordinasi Rele CB5B dan CB5C Ketika 2 Unit 8 MW DG Terpasang	73
Gambar 4.20. Kurva <i>Resetting</i> Koordinasi Rele CB5B dan CB5C.....	75

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Gambar Rangkaian dan Persamaan Gangguan Hubung Singkat.....	13
Tabel 2.2.	Koefisien <i>Time Dial</i> Kurva <i>Inverse</i> Standar IEC	17
Tabel 3.1.	Model Beban	21
Tabel 3.2.	Konfigurasi Beban	21
Tabel 3.3.	Segmen Saluran.....	21
Tabel 3.4.	Data Kapasitor.....	22
Tabel 3.5.	Arus Pembebanan Maksimum.....	22
Tabel 3.6.	Arus Hubung Singkat Minimum	24
Tabel 4.1.	Koordinasi Waktu Antar Rele pada Tiap Tipikal	43
Tabel 4.2.	Perubahan Arus Gangguan dan <i>Grading</i> Waktu pada Pemasangan DG 3 MW di Bus 634	44
Tabel 4.3.	Perubahan Arus Gangguan dan <i>Grading</i> Waktu pada Pemasangan DG 5 MW di Bus 634	44
Tabel 4.4.	Perubahan Arus Gangguan dan <i>Grading</i> Waktu pada Pemasangan DG 8 MW di Bus 634	45
Tabel 4.5.	Perubahan Arus Gangguan dan <i>Grading</i> Waktu pada Pemasangan DG 3 MW di Bus 675	57
Tabel 4.6.	Perubahan Arus Gangguan dan <i>Grading</i> Waktu pada Pemasangan DG 5 MW di Bus 675	58
Tabel 4.7.	Perubahan Arus Gangguan dan <i>Grading</i> Waktu pada Pemasangan DG 8 MW di Bus 675	58
Tabel 4.8.	Perubahan Arus Gangguan dan <i>Grading</i> Waktu pada Pemasangan DG 3 MW di Bus 634 dan Bus 675	67
Tabel 4.9.	Perubahan Arus Gangguan dan <i>Grading</i> Waktu pada Pemasangan DG 5 MW di Bus 634 dan Bus 675	68
Tabel 4.10.	Perubahan Arus Gangguan dan <i>Grading</i> Waktu pada Pemasangan DG 8 MW di Bus 634 dan Bus 675	68
Tabel 4.11.	Perubahan Arus Gangguan dan <i>Grading</i> Waktu pada Pemasangan DG berjenis PV 3 MW di Bus 634.....	76
Tabel 4.12.	Perbandingan Arus Gangguan dan <i>Grading</i> Waktu 3 MW DG berjenis Generator Sinkron dan PV di Bus 634.....	77

Halaman sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik merupakan sumber energi utama dunia. Diantara bentuk energi – energi lain, energi listrik memiliki peran yang penting karena sangat mudah dihasilkan. Salah satu permasalahan yang terjadi adalah bagaimana pelanggan bisa mendapatkan daya listrik yang lebih andal dengan biaya yang murah. Hal ini menjadi tantangan bagi pembangkit – pembangkit listrik di berbagai penjuru dunia. Agar hal ini bisa tercapai, pembangkit menargetkan sistem dengan biaya operasi dan perawatan yang rendah, biaya sumber daya yang kecil dan juga mengurangi rugi – rugi sistem dengan maksimal.

Agar pembangkit listrik dapat mengirim daya ke pelanggan, ada beberapa tahap yang harus dilalui, tahap pertama adalah pembangkitan (*generation*), dimana energi listrik dibangkitkan di pembangkit berukuran besar yang ditempatkan di area dengan populasi yang rendah, jauh dari lokasi beban untuk mengurangi isu ekonomi dan lingkungan. Tahap kedua adalah penyaluran (*transmission*), hal ini dapat dilakukan dengan bantuan beberapa peralatan listrik seperti trafo, kabel transmisi layang atau kabel transmisi bawah tanah. Proses penyaluran atau biasa disebut transmisi adalah proses terpenting dengan biaya yang sangat tinggi untuk menyalurkan listrik ke tahap terakhir yaitu penyebaran (*distribution*). Sistem penyebaran atau distribusi adalah tahap akhir yang menghubungkan pelanggan dan *utility* atau pembangkit listrik, tahap ini adalah tahap yang penting karena menghadapi banyak ancaman yang dapat mengganggu penyebaran daya ke pelanggan, dapat dikatakan bahwa sebagian besar terjadinya putus suplai (*power outage*) terjadi pada tahap ini.

Pembangkit listrik yang beroperasi di negara kita umumnya menggunakan batubara, pembangkit ini menimbulkan permasalahan khususnya mengenai polusi dan pencemaran lingkungan. Energi alternatif yang tersedia dari matahari, air dan angin merupakan energi yang bersih, tidak mengotori lingkungan, dan gratis. Energi ini dapat diubah menjadi listrik dengan menggunakan sel surya, pembangkit listrik mikrohidro dan turbin angin. Di sisi lain, peningkatan permintaan energi listrik yang tinggi khususnya di daerah terpencil dan sulit dijangkau tidak dapat

dipenuhi oleh pembangkit berkapasitas besar karena adanya permasalahan medan dan keterbatasan saluran transmisi.

Permintaan akan listrik terus meningkat, konsekuensinya pembangkitan listrik juga harus ditingkatkan agar dapat memenuhi permintaan pelanggan. Saat ini, perkembangan teknologi, kebijakan lingkungan, dan peningkatan pasar kelistrikan menciptakan kondisi baru dalam sektor pembangkitan listrik. Teknologi baru membuat kita dapat membangkitkan listrik pada pembangkit listrik berskala kecil. Lebih dari itu, peningkatan penggunaan energi terbarukan untuk mengurangi isu lingkungan memberi langkah pada pengembangan dan penggunaan skema suplai energi baru. Pada konsep baru ini, pembangkitan listrik tidak bergantung pada skema umum seperti penjelasan diatas namun sebagian permintaan listrik disuplai dari pembangkitan terdistribusi (*Distributed Generation*). Menyebabkan listrik dapat diproduksi dekat dengan pelanggan.

Pembangkit listrik skala kecil tersebar (*Distributed Generation*, DG) menjadi suatu pilihan baru dalam penyediaan tenaga listrik. Pembangkit ini tidak hanya ekonomis tetapi keberadaannya di dekat pelanggan juga menurunkan biaya transmisi dan distribusinya. DG dengan kapasitas daya yang kecil dapat digunakan untuk melayani beban puncak yang hanya terjadi pada jam-jam tertentu setiap harinya.

Namun pengoperasian DG mengakibatkan beberapa masalah salah satunya adalah aliran daya dari jaringan menjadi terbalik. Dengan demikian, kondisi sistem tenaga menjadi lebih rumit untuk dipahami termasuk di dalamnya pemahaman terhadap sistem pengamanannya.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang terjadi ketika pembangkit terdistribusi (DG) terhubung dengan sistem distribusi yang beroperasi adalah perubahan arus hubung singkat yang dapat menimbulkan hilangnya koordinasi sistem pengaman rele arus lebih.

1.3 Tujuan

Tujuan dari penyusunan tugas akhir ini adalah untuk mengetahui pengaruh dari pemasangan pembangkit terdistribusi terhadap arus gangguan hubung singkat dan koordinasi pengaman rele arus lebih pada sistem distribusi dengan membandingkan sistem sebelum dan sesudah DG dipasang..

1.4 Metodologi

Metodologi yang digunakan dalam menyusun penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Penulis melakukan studi terhadap berbagai macam referensi seperti jurnal ilmiah (*paper*) mengenai pembangkit terdistribusi (DG) dan referensi – referensi lain yang dianggap perlu untuk kemudian dilakukan kajian untuk mengetahui bagian – bagian yang dapat diambil dan dikembangkan dalam penelitian.

2. Pengumpulan Data

Data yang diperlukan berupa data bus, model beban, data saluran udara dan tanah, dari sistem IEEE 13 bus.

3. Perancangan dan simulasi sistem

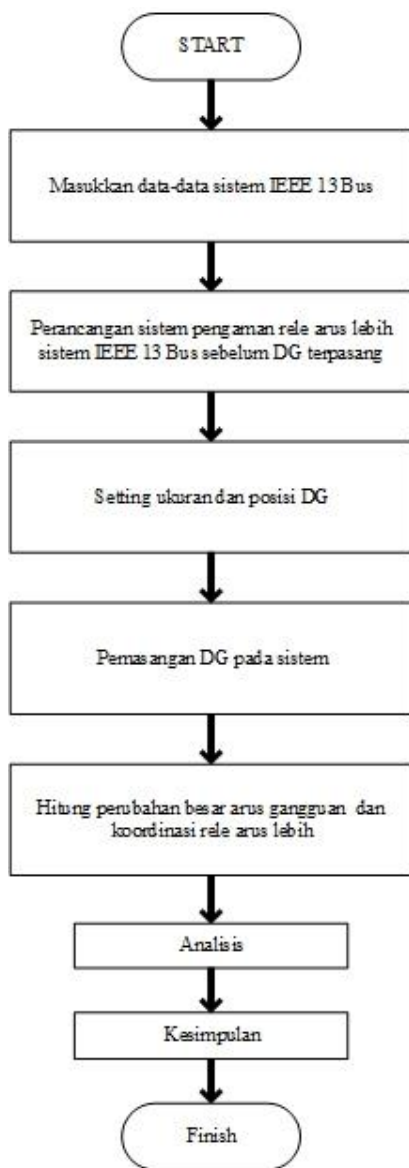
Perancangan koordinasi rele arus lebih sistem IEEE 13 bus sebelum terpasang DG kemudian dilakukan simulasi dengan beberapa perubahan ukuran dan posisi DG menurut kondisi yang diberikan.

4. Analisis Data

Hasil simulasi kemudian dibandingkan untuk mengetahui perbandingan arus hubung singkat dan perubahan koordinasi rele arus lebih karena dampak dari pemasangan DG.

5. Kesimpulan

Pada akhir penelitian akan ditarik kesimpulan berdasarkan analisis yang telah dilakukan.



Gambar 1.1 Metodologi

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tugas akhir ini terbagi atas lima bab yang masing-masing memiliki pembahasan sebagai berikut:

Bab 1: Pendahuluan

Bab ini menjelaskan latar belakang masalah dan konsep dari Pembangkit Terdistribusi.

Bab 2: Pembangkit Terdistribusi dan Koordinasi Proteksi Rele Arus Lebih

Bab ini membahas tentang pengertian dari DG, berbagai macam tipe teknologi DG, dan pengaruh DG pada sistem pengaman.

Bab 3: Sistem Kelistrikan IEEE 13 Bus

Pada bab ini ditampilkan data sistem IEEE 13 bus yaitu model beban, data kabel, trafo dan kapasitor bank.

Bab 4: Simulasi dan Analisis

Pada bab ini, desain koordinasi rele pengaman akan dihitung kemudian simulasi dilakukan dengan pemasangan DG pada kondisi tertentu untuk mendapatkan perbandingan besarnya arus gangguan hubung singkat dan koordinasi rele arus lebih.

Bab 5: Penutup

Bab terakhir akan diberikan kesimpulan atas penelitian yang telah dilakukan yang merupakan jawaban dari permasalahan yang dianalisis. Selain itu juga akan diberikan saran dan masukan untuk perbaikan pengembangan penelitian yang akan dilakukan kedepannya berkaitan dengan keseluruhan penelitian.

1.6 Relevansi

Hasil yang diperoleh dalam Tugas Akhir ini diharapkan mampu memberikan pengetahuan tentang pengaruh dari bermacam kondisi pemasangan Pembangkit Terdistribusi terhadap arus gangguan dan pengaman rele arus lebih pada sistem distribusi dan mengetahui solusi yang tepat terhadap permasalahan yang terjadi.

Halaman sengaja dikosongkan

BAB 2

PEMBANGKIT TERDISTRIBUSI DAN KOORDINASI PROTEKSI RELE ARUS LEBIH

2.1 Pengertian Pembangkit Terdistribusi

Pembangkit Terdistribusi atau DG (*Distributed Generation*) telah menarik banyak perhatian dalam beberapa tahun terakhir karena beberapa keuntungan yang dapat diberikan terhadap jaringan listrik. DG dapat digolongkan kedalam berbagai macam bentuk seperti panel surya (PV), turbin angin (*wind turbines*) dan bentuk – bentuk lain dengan skala hingga 10 MW. DG mengacu kepada pembangkit listrik yang dibangun untuk menyuplai listrik ke pelanggan dengan lokasi pembangkit dekat dengan beban atau pelanggannya dan juga dapat di hubungkan dengan *grid*.

Beberapa keuntungan dari pemasangan DG diantaranya adalah liberalisasi pasar, dimana DG dapat membuka pasar untuk berbagai macam golongan masyarakat, juga tren global dalam mengurangi emisi gas rumah kaca. DG juga dapat digunakan untuk menyuplai listrik kepada pelanggan saat *peak time* dan juga dapat digunakan sepenuhnya tanpa dihubungkan ke jaringan. Keuntungan lain dari DG adalah meningkatkan keandalan sistem, mengurangi rugi-rugi dan meningkatkan kualitas daya. Dalam Tugas akhir ini digunakan pengertian sebagai berikut [1]:

Pembangkit terdistribusi adalah sebuah sumber listrik yang terhubung pada sistem kelistrikan, pada sebuah titik yang terdekat dari atau pada daerah pelanggan, dengan kapasitas yang kecil jika dibandingkan dengan pembangkit listrik terpusat.

2.2 Tipe Pembangkit Terdistribusi

DG digolongkan dalam 2 kategori, yang pertama adalah DG dengan basis *inverter* dan DG mesin berputar. Umumnya *inverter* digunakan pada sistem DG setelah proses pembangkitan, karena tegangan yang dibangkitkan dapat berupa DC atau AC dan harus diubah menjadi tegangan dan frekuensi nominal sistem. Sehingga harus diubah menjadi DC lalu kemudian diubah kembali menjadi AC dengan parameter nominal melalui *rectifier*.

Tipe – tipe DG adalah sebagai berikut [2]-[6]:

2.2.1 Turbin Angin

Turbin angin (WT) beroperasi dengan prinsip yang sederhana. WT dipasang pada menara yang tinggi agar dapat mengambil energi terbesar dari angin yang lebih cepat dan kurang bergejolak, sekitar 30 m atau lebih di atas tanah. Energi pada angin memutar dua atau tiga baling-baling rotor. Rotor terhubung ke poros utama yang memutar generator untuk menghasilkan listrik. WT dapat digunakan sebagai aplikasi yang berdiri sendiri, atau mereka dapat dihubungkan ke jaringan listrik atau bahkan dikombinasikan dengan sistem panel surya (PV). Untuk skala utilitas, sejumlah besar WT biasanya dibangun berdekatan untuk membentuk *wind farm*. Beberapa penyedia listrik saat ini menggunakan pembangkit angin untuk memasok listrik ke pelanggan mereka.

2.2.2 Photovoltaic (PV)

PV juga disebut sel surya adalah salah satu energi terbarukan yang paling cepat berkembang dan diharapkan akan memainkan peran utama di masa depan global pembangkitan listrik. PV memanfaatkan cahaya matahari untuk menghasilkan listrik DC untuk kemudian diubah menjadi AC dengan bantuan *inverter*. Sebuah sistem PV terdiri dari beberapa *cells* yang ditempatkan pada papan dengan mode *fixed* atau menggunakan motor agar menjaga PV tetap menghadap ke arah matahari. Kelemahan dari PV adalah diperlukannya lahan yang besar agar dapat menghasilkan daya yang mencukupi dan harga awal yang terbilang cukup tinggi. Hari ini, ribuan orang memberdayakan rumah dan kantor mereka dengan sistem PV individu. Perusahaan utilitas juga menggunakan teknologi PV untuk pembangkit listrik besar.

2.2.3 Fuel Cells

Prinsip kerja dari *fuel cells* sangat mirip dengan baterai namun harus terus menerus diisi dengan hidrogen yang di dapat dari bermacam sumber *hydrocarbon*. *Fuel cells* menggunakan reaksi dari hidrogen dan oksigen dengan bantuan ion elektrolit untuk menghasilkan tegangan DC. Tegangan DC yang dihasilkan kemudian diubah menjadi tegangan AC dengan menggunakan *inverter*. Kerugian dari pemasangan *fuel cells* adalah biaya operasi yang besar, juga menghasilkan panas dan air. Keuntungannya adalah tidak adanya bagian yang berputar (*moving part*) sehingga meningkatkan keandalan dan juga tidak adanya *noise*.

2.2.4 Rotating Machines

Rotating machines atau mesin berputar adalah salah satu jenis DG yaitu motor induksi dan motor sinkron. Jenis DG ini beroperasi dengan menggunakan bahan bakar sebagai penghasil energi listrik dan dapat memiliki rating yang beragam mulai dari kW hingga beberapa MW. Mesin berputar umumnya digunakan sebagai sistem *standalone* atau sebagai cadangan dari sistem pembangkitan.

2.3 Pengaruh Pemasangan DG pada Arus Hubung Singkat Jaringan Sistem Tenaga

Pemasangan DG pada jaringan distribusi mengubah arus gangguan pada *feeder* yang mengalami gangguan. Pemasangan DG menambah besar arus gangguan karena adanya kontribusi DG terhadap gangguan. Persentasi kontribusi DG terhadap gangguan bervariasi tergantung kepada ukuran dan jarak DG ke gangguan, namun dalam kasus umum, pemasangan DG akan meningkatkan arus gangguan. DG yang berkontribusi besar terhadap arus gangguan adalah DG bertipe generator sinkron. DG yang berbasis generator asinkron tidak menghasilkan arus gangguan yang berarti saat jaringan mengalami gangguan. Hal yang sama juga berlaku terhadap DG yang berbasis *inverter* seperti mikroturbin, *fuel cells*, PV, dimana arus gangguan dapat diabaikan. [7].

2.4 Pengaruh Pemasangan DG pada Pengaman Jaringan Sistem Tenaga

Pemasangan DG pada sistem distribusi bukan merupakan hal yang baru. Semakin meningkatnya permintaan pemasangan DG pada sistem menyebabkan dampak DG pada pengaman jaringan listrik menjadi semakin terlihat. Penelitian mendalam telah dilakukan untuk mengetahui masalah pengamanan yang mungkin terjadi pada sistem distribusi yang telah terpasang DG. Pemasangan DG tidak hanya mempengaruhi aliran daya pada jaringan distribusi namun juga mempengaruhi besarnya arus gangguan.

Hampir semua sistem pengaman jaringan mendeteksi jaringan yang mengalami gangguan dengan membedakan arus gangguan dari arus beban yang normal. Karena DG mengubah kontribusi arus gangguan terhadap jaringan, operasi dari sistem pengaman menjadi terpengaruh.

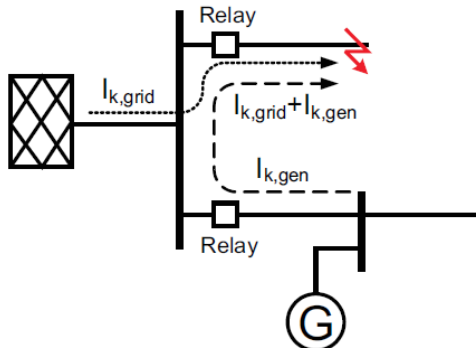
Berikut adalah beberapa pengaruh DG pada sistem pengaman jaringan [8].

2.4.1 *Blinding of Protection*

Kontribusi jaringan terhadap total arus gangguan akan berkurang karena adanya kontribusi dari DG. Karena hal ini, gangguan yang terjadi pada sistem menjadi tidak terdeteksi karena kontribusi arus gangguan sistem tidak dapat mencapai arus *pickup* rele. Operasi rele arus lebih, rele arah, dan *recloser* sangat bergantung kepada arus yang tidak normal. Maka semua sistem pengaman tersebut dapat mengalami malfungsi karena berkurangnya kontribusi arus gangguan dari jaringan. Mekanisme ini disebut *blinding of protection*.

2.4.2 *False Tripping*

False Tripping atau juga dikenal dengan *Sympathetic Tripping* dapat terjadi ketika DG yang dipasang pada sebuah jaringan berkontribusi terhadap gangguan yang terjadi pada *feeder* yang berada pada bus yang sama. Kontribusi arus gangguan DG dapat melampaui *pick up level* dari pengaman arus lebih sehingga menyebabkan trip jaringan yang tidak mengalami gangguan sebelum gangguan yang sebenarnya diatasi.



Gambar 2.1 Prinsip dari *False Tripping*

Pada kasus tertentu *false tripping* dapat dicegah dengan menggunakan setting rele yang sesuai. Peningkatan arus *pick up* menyebabkan pengaman jaringan menjadi kurang sensitif dan mungkin

tidak semua gangguan dapat diatasi. Maka, keamanan dari sistem pengaman meningkat namun keandalan dari sistem pengaman menjadi berkurang. Ketika penggunaan metode ini tidak dapat dilakukan, penggunaan rele arah dapat dicoba. Namun rele arah bekerja lebih lambat, lebih mahal, dan biasanya bukan solusi standar bagi operator jaringan.

2.4.3 Islanding

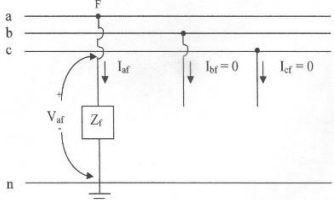
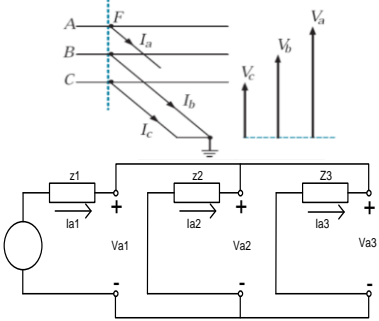
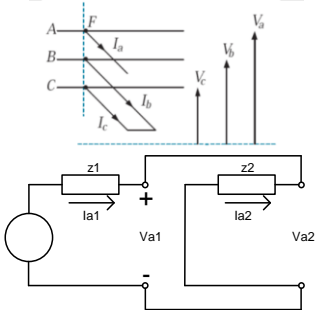
Islanding terjadi ketika DG atau beberapa DG terus menerus menyuplai ke beberapa bagian sistem yang telah terpisah atau terputus dari sumber utama [9]. *Islanding* dibagi menjadi dua bentuk, yang pertama disebut *intentional islanding* yaitu *islanding* yang dilakukan dengan sengaja untuk meningkatkan keandalan dari jaringan. Yang kedua disebut *unintentional islanding*, *islanding* ini terjadi karena adanya pemisahan terjadi yang dilakukan oleh *breaker*, *fuse* atau *switch* otomatis. Biasanya hal seperti ini tidak diinginkan karena jika ingin menghubungkan kembali daerah yang telah terputus maka akan menjadi rumit, terlebih jika sistem menggunakan *recloser* otomatis. Disamping itu operator jaringan juga tidak dapat menjamin kualitas daya pada jaringan yang terputus. [10].

2.5 Perhitungan Arus Hubung Singkat

Arus hubung singkat yang terjadi pada sistem tenaga listrik dapat menyebabkan kerusakan yang besar, terutama pada peralatan sistem tenaga listrik. Arus hubung singkat memiliki nilai yang berkali-kali lipat lebih besar dibanding dengan arus beban. Akibat yang ditimbulkan dari besarnya nilai *magnitude* menyebabkan kerusakan operasi sistem tenaga listrik saat operasi normal. Diawali dengan mengalirnya arus hubung singkat pada sistem konduktor yang menimbulkan panas tambahan yang dimana sistem ini tidak dirancang untuk menahan besar arus seperti itu. arus ini juga mengakibatkan kerusakan mekanis pada konduktor, antara lain, kebocoran isolator, distorsi pada kumparan transformator, ataupun kerusakan fisik lainnya.

Prinsip dasar yang digunakan untuk menghitung atau menentukan arus hubung singkat adalah hukum Ohm dimana arus yang mengalir melewati impedansi bergantung dengan tegangan yang dibawanya. Untuk perhitungan tiap-tiap jenis gangguan hubung singkat dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Gambar Rangkaian dan Persamaan Gangguan Hubung Singkat

Jenis hubung singkat	Rangkaian hubung singkat dan rangkaian pengganti	Persamaan
1 fasa ke tanah		$\frac{3V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$
2 Fasa ke Tanah		$\frac{V_f}{Z_1 + Z_2 Z_0 / (Z_2 + Z_0)}$
Antar Fasa		$\left \pm j \frac{\sqrt{3}V_f}{Z_1 + Z_2} \right $

Tabel 2.2. Lanjutan Gambar Rangkaian dan Persamaan Gangguan Hubung Singkat

Jenis hubung singkat	Rangkaian hubung singkat dan rangkaian pengganti	Persamaan
3 fasa ke tanah (simetri)		$I_{a1} = \frac{V_f}{Z1}$

2.6 Rele Arus Lebih (Overcurrent relay)

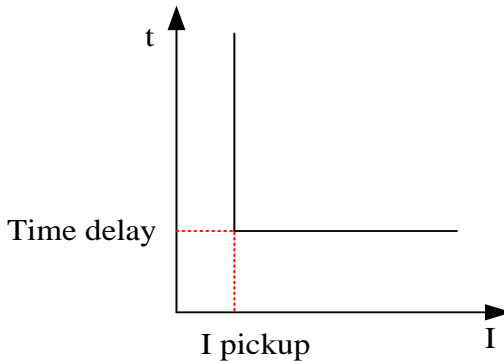
Pada suatu sistem tenaga listrik dibutuhkan suatu rele pengaman yang dapat mengurangi dan mengantisipasi terjadinya suatu gangguan. Salah satu rele pengaman yang dapat digunakan untuk mengamankan sistem dari gangguan hubung singkat adalah rele arus lebih atau lebih dikenal over current relay. Rele arus lebih ini akan bekerja bersama CT (*current transformer*). Rele arus lebih ini beroperasi ketika terdapat arus yang mengalir pada rangkaian melebihi batas *setting* yang telah di ijin. Penggunaan rele arus lebih pada sistem kelistrikan industri harus di sesuaikan berdasarkan koordinasi rele yang telah di *setting* dengan benar. Sehingga ketika pada sistem terjadi suatu gangguan rele ini bisa bekerja dengan cepat. Rele arus lebih akan bekerja apabila memenuhi keadaan sebagai berikut [11]:

$I_f > I_p$	Rele bekerja	(<i>trip</i>)
$I_f < I_p$	Rele tidak bekerja	(<i>block</i>)

Dimana I_p merupakan arus kerja dan I_f merupakan arus gangguan pada suatu sistem tenaga listrik. Rele arus lebih digunakan untuk mengamankan peralatan dari sistem tenaga listrik, seperti: *generator, utility, trafo, motor, kabel, dan sebagainya.*

2.6.1 Rele Arus Lebih Waktu Tertentu

Rele arus lebih waktu tertentu ini dapat diatur waktu operasi kerjanya tanpa memperhatikan besarnya dan kecilnya arus hubung singkat yang terjadi. Semua level arus yang melebihi setting *point pickup*-nya akan dapat diputuskan dalam waktu yang sama. Gambar 2.5 menunjukkan kurva karakteristik rele arus lebih waktu tertentu



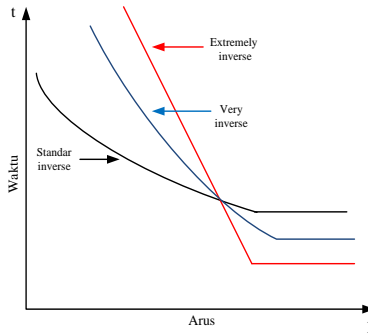
Gambar 2.2. Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Tertentu

2.6.2 Rele Arus Lebih Waktu *Inverse*

Kurva *Inverse* mempunyai karakteristik grafik terbalik antara besarnya arus gangguan dan waktu operasi, dimana semakin besar arus gangguan hubung singkat maka semakin kecil waktu yang dibutuhkan untuk membuka atau memutus (CB). jika arus gangguan kecil maka waktu operasi rele untuk membuka atau memutus CB semakin lama.

Karakteristik kerja rele arus lebih invers time digambarkan dalam kurva arus dan waktu atau sering disebut karakteristik TCC (*time current characteristic*). Pada standar IEEE std 242-2001 mendefinisikan jenis perlindungan waktu invers yang di bedakan menjadi beberapa jenis kurva terdiri dari *standard inverse, very inverse, extremely inverse.*

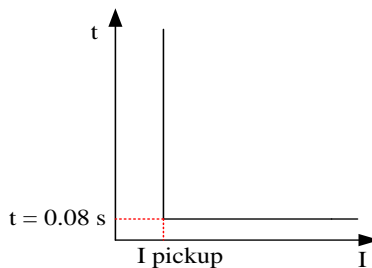
Karakteristik dari ketiga jenis kurva tersebut dapat dilihat pada Gambar 2. 6



Gambar 2.3. Jenis-jenis Kurva Invers

2.6.3 Rele Arus Lebih Waktu Instan

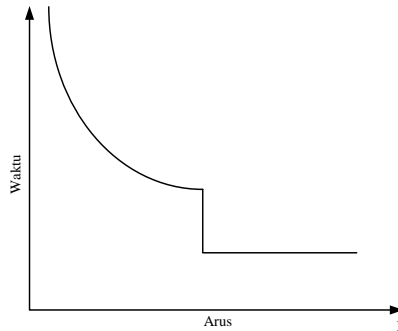
Rele arus lebih seketika memiliki prinsip kerja rele tanpa penundaan waktu. Rele ini berkerja berdasarkan besarnya arus gangguan hubung singkat yang dipilih dan dapat membuka atau memutus CB dalam waktu yang cepat (80ms). Gambar 2.4 menunjukkan karakteristik dari rele arus lebih seketika (*instantaneous*)



Gambar 2.4. Karakteristik Dari Rele Arus Lebih Seketika (*Instantaneous*)

2.6.4 Rele Arus Lebih *Inverse Definite Minimum Time* (IDMT)

Rele *inverse definite minimum time* (IDMT) merupakan kombinasi antara rele *inverse time* dengan rele *definite time*. Rele ini akan bekerja pada daerah *inverse* apabila terdapat arus yang melebihi arus nominal beban penuh, sedangkan rele *definite* bekerja pada saat gangguan hubung singkat minimum tergantung pada setting *time delay*. Gambar 2.8 menunjukkan penggunaan IDMT yang dikombinasikan dengan rele arus lebih seketika (*instantaneous*).



Gambar 2.5 Kurva IDMT.

2.6.5 *Setting* Rele Arus Lebih Waktu *Inverse*

Rele arus lebih waktu terbalik memiliki batas setting yaitu rele tidak boleh bekerja saat beban maksimum, sehingga setting arus dari rele ini harus lebih besar dari arus beban penuh dari peralatan yang akan diamankan. Arus beban penuh suatu peralatan listrik tergantung dari besarnya kapasitas daya, tegangan, dan power faktor dari peralatan tersebut. Pada *british standard* BS 142 terdapat aturan faktor pengali arus beban penuh ketika setting rele arus lebih yaitu 1.05 - 1.3 IFLA.

Pada rele arus lebih waktu terbalik terdiri dari dua bagian *setting* yaitu *setting pickup* dan *setting time dial*. Besarnya arus *pickup* ditentukan dengan pemilihan tap. Untuk menentukan besarnya tap yang akan digunakan pada *setting pickup* menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Tap} = \frac{I_{\text{set}}}{CT \text{ Primary}} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana I_{set} merupakan arus *pickup* dalam ampere.
 Untuk mengetahui setting rele arus lebih digunakan persamaan berikut:

$$1.05 I_{\text{FLA}} < I_{\text{set}} < 1.4 I_{\text{FLA}} \dots\dots\dots(2.2)$$

Setting *time dial* digunakan untuk menentukan waktu operasi rele. Untuk menentukan nilai *time dial* dari masing-masing kurva karakteristik *inverse* rele arus lebih untuk kurva *inverse* standar IEC dapat digunakan persamaan (2.3) dibawah berikut [12].

$$td = \frac{k \times T}{\beta \times \left[\left(\frac{I}{I_{\text{set}}} \right)^\alpha - 1 \right]} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana:

- td = waktu operasi (detik)
- T = *time dial*
- I = nilai arus (Ampere)
- I_{set} = arus *pickup* (Ampere)
- k = koefisien *inverse* 1 (lihat pada Tabel 2.2)
- α = koefisien *inverse* 2 (lihat pada Tabel 2.2)
- β = koefisien *inverse* 3 (lihat pada Tabel 2.2)

Tabel 2.2. Koefisien *Time Dial* Kurva *Inverse* Standar IEC

Tipe Kurva	Koefisien		
	<i>k</i>	α	β
<i>Standard Inverse</i>	0,14	0,02	2,970
<i>Very Invers</i>	13,50	1,00	1,500
<i>Extremely Inverse</i>	80,00	2,00	0,808

2.6.6 Koordinasi Arus Waktu

Di dalam sistem kelistrikan yang membutuhkan sistem proteksi terhadap kelistrikannya memiliki banyak elemen pengamanan arus lebih sistem tenaga listrik oleh karena itu perlu adanya koordinasi antar peralatan pengamanan arus lebih berdasarkan arus dan waktu. Waktu total yang dibuthkan oleh rele mulai mendekteksi adanya gangguan, mengirimkan sinyal trip ke circuit breaker, dan sampai CB open atau yang disebut *clearing time*, dipengaruhi oleh jenis rele yang digunakan. Saat ini terdapat 2 jenis rele yang digunakan untuk sistem proteksi terhadap arus lebih, yaitu rele elektromekanik dan rele statis (mikroprocessor) [13].

Dengan spesifikasi sebagai berikut menurut IEEE 242:

Waktu buka CB : $0,04 \text{ s} - 0,1 \text{ s}$ (2-5 cycle)

Overtravel dari rele: $0,1 \text{ s}$

Faktor keamanan : $0,12 \text{ s} - 0,22 \text{ s}$

Untuk rele berbasis mikroprosesor, *overtravel time* dari rele diabaikan. Sehingga total waktu yang diperlukan adalah $0,2 \text{ s} - 0,4 \text{ s}$. Oleh karena itu untuk mengkoordinasikan selisih waktu trip antar rele hendaknya diperhatikan CTI tersebut untuk menghindari kesalahan koordinasi antar rele yang menyebabkan membukanya 2 *circuit breaker* secara bersamaan.

BAB 3

SISTEM DISTRIBUSI IEEE 13 BUS

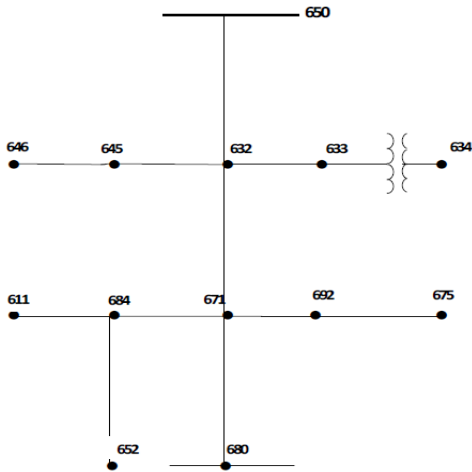
DG adalah salah satu bagian dari sistem kelistrikan yang menarik banyak perhatian saat ini. DG memiliki peran yang sangat penting dalam memenuhi peningkatan permintaan konsumen sekaligus meningkatkan keandalan sistem. Pemasangan DG pada sistem distribusi yang telah ada memiliki pengaruh terhadap arus gangguan hubung singkat dan rele arus lebih sistem.

Sistem yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah sistem IEEE 13 bus yang telah dilakukan penyesuaian agar tujuan penelitian dapat tercapai. Sistem ini disimulasikan menggunakan software ETAP 12.6.

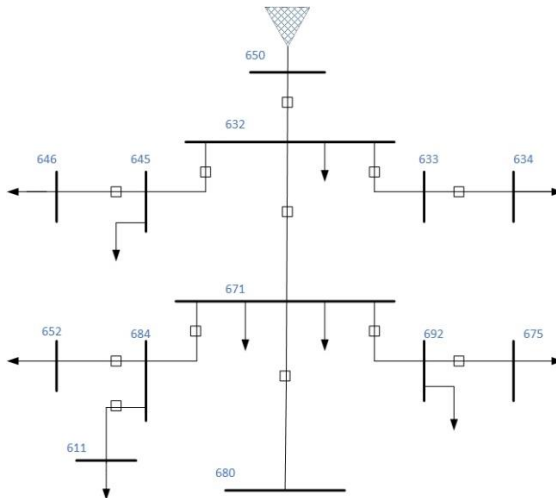
3.1 IEEE 13 Bus

IEEE 13 bus [14] adalah sistem yang terbilang kecil namun memiliki banyak fitur dan termasuk model yang dapat digunakan untuk meneliti tingkah laku sistem kelistrikan sesuai dengan simulasi yang diinginkan. Beberapa hal diubah dari sistem IEEE standar untuk tujuan studi ini adalah:

1. Trafo pada bus 633 diabaikan
2. Saluran yang terhubung ke bus 632 yaitu bus 645 dan 646, dan yang terhubung ke bus 671 yaitu bus 684, 652, dan 611 berikut beban-beban yang terhubung diubah dari 1 fasa menjadi 3 fasa dengan level tegangan sama dengan tegangan sistem yaitu 4.16 kV.



Gambar 3.1. Skema IEEE 13 Bus Feeder Awal



Gambar 3.2. Skema IEEE 13 Bus Feeder Setelah Penyesuaian

3.1.1 Data Pembebanan dan Segmen Saluran IEEE 13 Bus

Tabel- tabel dibawah ini menunjukkan data- data dari IEEE 13 bus berupa model beban, konfigurasi beban, data saluran, dan data kapasitor.

Tabel 3.1. Model Beban

Kode	Koneksi	Model
Y-PQ	Wye	Konstan kW, Konstan kVAR
Y-I	Wye	Arus Konstan
Y-Z	Wye	Impedansi Konstan
D-PQ	Delta	Konstan kW, Konstan kVAR
D-I	Delta	Arus Konstan
D-Z	Delta	Impedansi Konstan

Tabel 3.2. Konfigurasi Beban

Node	Model Beban	Fasa 1		Fasa 2		Fasa 3	
		kW	kVAr	kW	kVAr	kW	kVAr
634	Y-PQ	160	110	120	90	120	90
645	Y-PQ	0	0	170	125	0	0
646	D-Z	0	0	230	132	0	0
652	Y-Z	128	86	0	0	0	0
671	D-PQ	385	220	385	220	385	220
675	Y-PQ	485	190	68	60	290	212
692	D-I	0	0	0	0	170	151
611	Y-I	0	0	0	0	170	80
	TOTAL	1158	606	973	627	1135	753

Tabel 3.3. Segmen Saluran

Node A	Node B	Panjang(ft.)
632	645	500
632	633	500
633	634	0
645	646	300
650	632	2000
684	652	800

Tabel 3.3. Lanjutan Tabel Segmen Saluran

Node A	Node B	Panjang(ft.)
632	671	2000
671	684	300
671	680	1000
671	692	0
684	611	300
692	675	500

Tabel 3.4. Data Kapasitor

Node	Fasa 1	Fasa 2	Fasa 3
	kVAr	kVAr	kVAr
675	200	200	200
611			100

3.1.2 Pemodelan Sistem IEEE 13 Bus

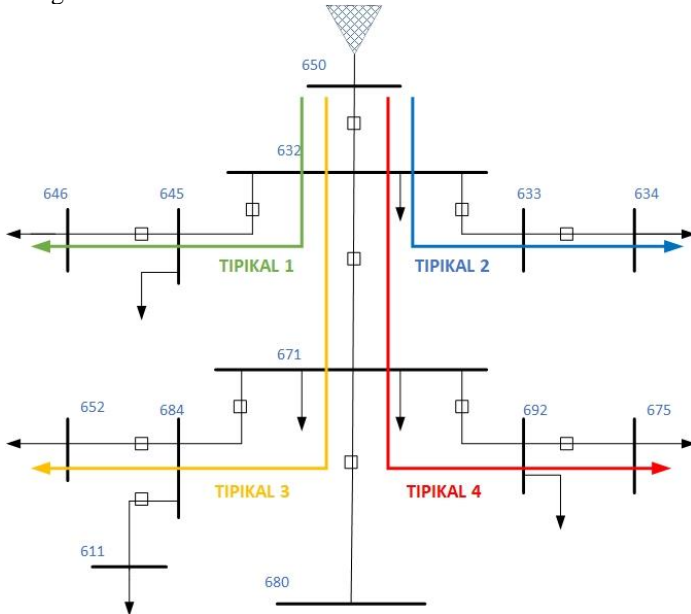
Pemodelan sistem IEEE 13 Bus digambarkan dengan *single line diagram* pada software ETAP. Kemudian dilakukan Analisa *Power Flow* agar dapat mengetahui pembebanan tiap- tiap bus pada sistem.

Tabel 3.5. Arus Pembebanan Maksimum

Bus	Full Load Ampere (A)
650	515,4
632	515,4
671	371,2
692	140,2
675	118,2
633	66,9
634	66,9
645	64,6
684	42,4
611	37,6
646	23,8
652	21,4
680	0

3.1.3 Koordinasi Rele Arus Lebih IEEE 13 Bus

Pada studi ini akan sistem akan dibagi 5 tipikal seperti pada gambar untuk memudahkan koordinasi rele sistem. Hasil desain koordinasi rele ini nantinya yang akan dianalisis perubahannya ketika DG terpasang.



Gambar 3.3. Tipikal Sistem IEEE 13 Bus Feeder

1. Pada tipikal 1, rele CB1A sebagai rele utama dan rele CB1B sebagai rele cadangan.
2. Pada tipikal 2, rele CB2A sebagai rele utama dan rele CB2B sebagai rele cadangan.
3. Pada tipikal 3, rele CB3A dan rele CB3B sebagai rele utama dan rele CB3C sebagai rele cadangan.
4. Pada tipikal 4, rele CB4A sebagai rele utama dan rele CB4B sebagai rele cadangan.
5. Pada bagian 5, rele CB5B sebagai rele utama, rele CB5C sebagai rele cadangan.

3.1.4 Analisa Arus Gangguan Hubung Singkat

Analisa hubung singkat dilakukan untuk mengetahui besarnya arus hubung singkat sesuai dengan konfigurasi sistem yang diberikan. Analisa ini digunakan untuk menentukan *setting* rele arus lebih. Pada tugas akhir ini digunakan parameter hubung singkat minimum.

Arus hubung singkat minimum merupakan arus hubung singkat 2 fasa pada saat 30 cycle atau *steady state*. Data arus hubung singkat minimum masing masing bus dapat dilihat pada tabel.

Tabel 3.6. Arus Hubung Singkat Minimum

Bus	Isc Min 2 Fasa 30 Cycle (kA)
650	8,54
632	8,54
634	6,29
633	6,29
645	5,75
646	4,76
692	4,33
671	4,33
675	3,90
684	3,80
680	3,47
652	3,40
611	3,33

3.1.5 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa

Koordinasi rele arus lebih gangguan fasa merupakan *setting* masing- masing rele pada masing- masing peralatan dimana antara rele satu dan rele lainnya bekerja berdasarkan setting waktu yang telah ditentukan. Sehingga perancangan koordinasi proteksi yang baik dan benar dapat menjamin keamanan sistem.

Pada sistem ini dilakukan *setting* rele arus lebih fasa saja. Dan diharapkan rele satu dan yang lain tidak mengalami *overlap*. Rele dengan waktu kerja tercepat yaitu rele yang berada dekat dengan beban lalu diikuti rele di atasnya dengan grading waktu sesuai standar IEEE 242 yaitu 0,2 s – 0,4 s.

BAB 4

SIMULASI DAN ANALISIS

Simulasi dilakukan untuk mengetahui dampak dari pemasangan DG terhadap besarnya arus gangguan dan koordinasi rele arus lebih. Langkah awal dari simulasi ini adalah dengan mendesain *setting* awal dari rele arus lebih yang terpasang pada sistem IEEE 13 Bus. Kemudian sistem yang telah diatur koordinasi antar relenya akan di pasang DG dengan kapasitas 3 MW, 5 MW, dan 8 MW, dan ditempatkan pada lokasi yang berbeda yaitu:

1. Sistem dengan DG pada Bus 634
2. Sistem dengan DG pada Bus 675
3. Sistem dengan DG pada Bus 634 dan Bus 675

Tujuan dari pemilihan kapasitas dan lokasi DG yang bervariasi adalah agar data yang diperoleh dari simulasi lebih banyak, sehingga dampak dari pemasangan DG dapat di analisa dengan lebih baik.

Hubung singkat yang disimulasikan pada setiap tipikal adalah hubung singkat antar fasa dan ditempatkan pada bus yang terdekat dengan beban. Rele yang akan diamati pada simulasi ini adalah rele yang terdekat dengan titik gangguan sebagai rele utama dan rele di atasnya sebagai rele cadangan.

Hasil simulasi yang diperoleh dari Analisa hubung singkat berupa waktu kerja rele ketika DG telah terpasang kemudian akan dibandingkan dengan waktu kerja rele sebelum DG terpasang. Perhitungan *resetting* untuk rele dengan *grading* waktu yang tidak memenuhi standar dan perhitungan rele arah sebagai solusi terhadap dampak dari pemasangan DG juga di lampirkan dalam bab ini.

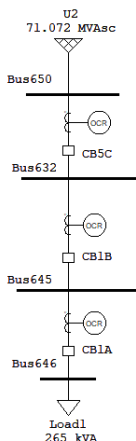
4.1 Sistem Tanpa DG

Untuk menentukan desain koordinasi rele pada sistem ini maka akan dilakukan perhitungan untuk menentukan nilai *low set* dan *time dial* untuk masing masing rele.

Pada perhitungan koordinasi ini diharapkan masing- masing rele tidak bekerja bersamaan dan *grading* waktu yang di dapat bisa sesuai dengan standar IEEE 242 yaitu 0,2 s – 0,4 s.

4.1.1 Tipikal 1

Merupakan koordinasi rele pengaman arus lebih dari beban Load1 menuju sumber. Rele yang dikoordinasikan adalah rele CB1A, rele CB1B, dan rele CB5C. gambar tipikal bisa dilihat pada gambar 4.1.



Gambar 4.1. Tipikal 1 IEEE 13 Bus

Perhitungan dilakukan untuk menentukan arus *pickup* dan waktu kerja rele pada tipikal 1. Hasil perhitungannya adalah sebagai berikut:

Rele CB1A

Curve type : Standard Inverse Time

CT Ratio : 200/5

Time Over Current Pickup:

$$1,05 \times \text{FLA CB1A} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA CB1A}$$

$$1,05 \times 37,6 < \text{Iset} < 1,4 \times 37,6$$

$$\frac{39,48}{200} \text{ In} < \text{Iset} < \frac{52,64}{200} \text{ In}$$

$$0,19 \text{ In} < \text{Iset} < 0,26 \text{ In}$$

Dipilih Tap = 0,2 In (Step 0,05)

Iset = 0,2 x 200 = 40 A

Time Dial:

$$t_d = \frac{k \times T}{\beta \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^\alpha - 1 \right]}$$

$$t_d = \frac{0,14 \times T}{2,97 \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$T = \frac{t_d \times 2,97 \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = \frac{0,04 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{4760}{40} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = 0,1$$

Rele CB1B

Curve type : Standard Inverse Time

CT Ratio : 200/5

Time Over Current Pickup:

$$1,05 \times \text{FLA CB1B} < I_{set} < 1,4 \times \text{FLA CB1B}$$

$$1,05 \times 64,6 < I_{set} < 1,4 \times 64,6$$

$$\frac{67,83}{200} \text{ In} < I_{set} < \frac{90,44}{200} \text{ In}$$

$$0,33 \text{ In} < I_{set} < 0,45 \text{ In}$$

$$\text{Dipilih Tap} = 0,35 \text{ In (Step 0,05)}$$

$$I_{set} = 0,35 \times 200 = 70 \text{ A}$$

Time Dial:

$$t_d = \frac{k \times T}{\beta \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^\alpha - 1 \right]}$$

$$t_d = \frac{0,14 \times T}{2,97 \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$T = \frac{t_d \times 2,97 \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = \frac{0,12 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{4760}{70} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = 0,225$$

Rele CB5C

Curve type : Standard Inverse Time

CT Ratio : 200/5

Time Over Current Pickup:

1,05 x FLA CB3C < Iset < 1,4 x FLA CB3C

1,05 x 515,4 < Iset < 1,4 x 515,4

$\frac{541,17}{200}$ In < Iset < $\frac{721,56}{200}$ In

2,7 In < Iset < 3,60 In

Dipilih Tap = 2,8 In (Step 0,05)

Iset = 2,8 x 200 = 560 A

Time Dial:

$$t_d = \frac{k \times T}{\beta \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^\alpha - 1 \right]}$$

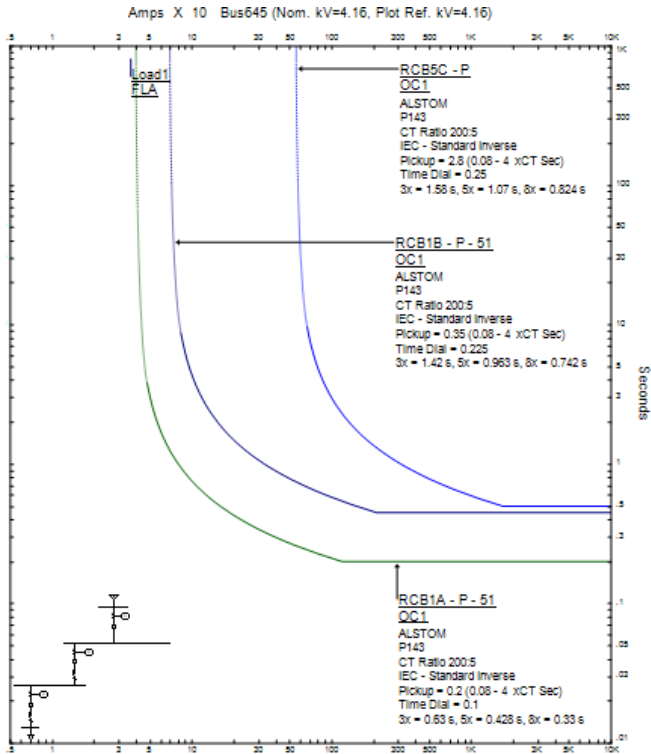
$$t_d = \frac{0,14 \times T}{2,97 \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$T = \frac{t_d \times 2,97 \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = \frac{0,28 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{4330}{560} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = 0,25$$

(Pengaturan waktu kerja untuk rele CB3C mempertimbangkan waktu kerja rele yang ada di bawahnya)



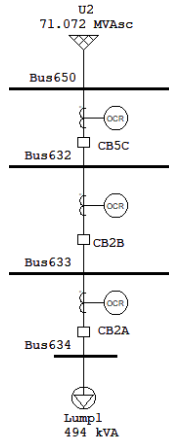
Gambar 4.2. Setelan Tipikal 1 IEEE 13 Bus

Hasil *plot setting* tipikal 1 dapat dilihat pada gambar 4.2. Dapat disimpulkan:

1. Rele CB1A merupakan pengamanan beban Load1, apabila terjadi gangguan beban lebih atau hubung singkat pada bus 646 maka rele CB1A yang pertama kali bekerja. Sedangkan rele CB1B merupakan rele cadangan ketika rele CB1A tidak dapat mengamankan gangguan.
2. Rele CB5C merupakan pengamanan dari sumber sekaligus pengamanan terakhir dari sistem IEEE 13 Bus. Pengaturan waktu kerja untuk rele CB5C harus ditentukan dengan mempertimbangkan beberapa rele yang ada di bawahnya.

4.1.2 Tipikal 2

Merupakan koordinasi rele pengaman arus lebih dari beban Lump1 menuju sumber. Rele yang dikoordinasikan adalah rele CB2A, rele CB2B, dan rele CB5C. gambar tipikal bisa dilihat pada gambar 4.3.



Gambar 4.3. Tipikal 2 IEEE 13 Bus

Perhitungan dilakukan untuk menentukan arus *pickup* dan waktu kerja rele pada tipikal 2. Hasil perhitungannya adalah sebagai berikut:

Rele CB2A

Curve type : Standard Inverse Time

CT Ratio : 200/5

Time Over Current Pickup:

$$1,05 \times \text{FLA CB2A} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA CB2A}$$

$$1,05 \times 66,9 < \text{Iset} < 1,4 \times 66,9$$

$$\frac{70,24}{200} \text{ In} < \text{Iset} < \frac{93,66}{200} \text{ In}$$

$$0,35 \text{ In} < \text{Iset} < 0,46 \text{ In}$$

Dipilih Tap = 0,36 In (Step 0,05)

Iset = 0,36 x 200 = 72 A

Time Dial:

$$t_d = \frac{k \times T}{\beta \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^\alpha - 1 \right]}$$

$$t_d = \frac{0,14 \times T}{2,97 \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$T = \frac{t_d \times 2,97 \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = \frac{0,05 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{6290}{72} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = 0,1$$

Rele CB2B

Curve type : Standard Inverse Time

CT Ratio : 200/5

Time Over Current Pickup:

Dipilih Tap = 0,36 In (Step 0,05)

Iset = 0,36 x 200 = 72 A

Time Dial:

$$t_d = \frac{k \times T}{\beta \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^\alpha - 1 \right]}$$

$$t_d = \frac{0,14 \times T}{2,97 \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$T = \frac{t_d \times 2,97 \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = \frac{0,12 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{6290}{72} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = 0,25$$

Rele CB5C

Curve type : Standard Inverse Time
CT Ratio : 200/5

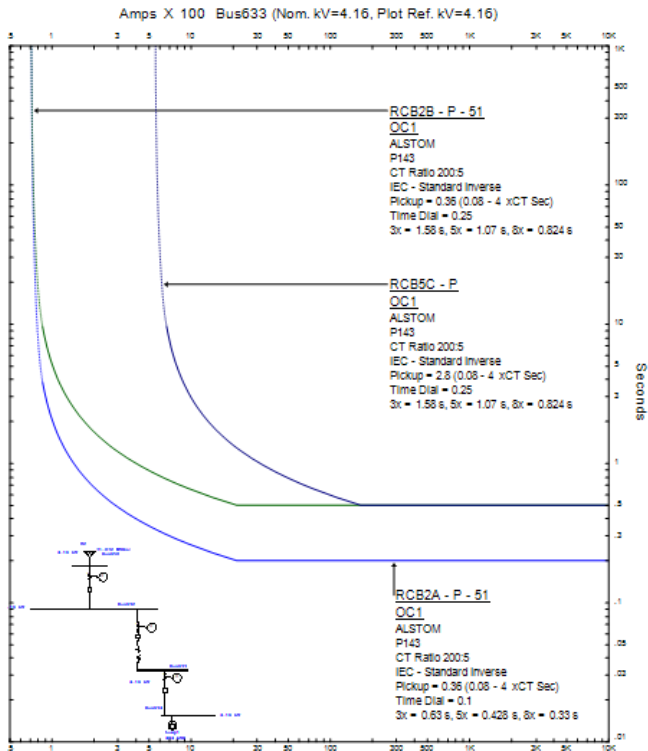
Time Over Current Pickup:

Dipilih Tap = 2,8 In (Step 0,05)
Iset = 2,8 x 200 = 560 A

Time Dial:

$T = 0,25$

(Pengaturan CB5C sama seperti pada tipikal 1)



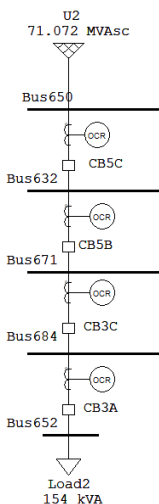
Gambar 4.4. Setelan Tipikal 2 IEEE 13 Bus

Hasil *plot setting* tipikal 2 dapat dilihat pada gambar 4.4. Dapat disimpulkan:

1. Rele CB2A merupakan pengaman beban Lump1, apabila terjadi gangguan beban lebih atau hubung singkat pada bus 634 maka rele CB2A yang pertama kali bekerja. Sedangkan rele CB2B merupakan rele cadangan ketika rele CB2A tidak dapat mengamankan gangguan.
2. Rele CB5C merupakan pengaman dari sumber sekaligus pengaman terakhir dari sistem IEEE 13 Bus. Pengaturan waktu kerja untuk rele CB5C harus ditentukan dengan mempertimbangkan beberapa rele yang ada di bawahnya.

4.1.3 Tipikal 3

Merupakan koordinasi rele pengaman arus lebih dari beban Load2 menuju sumber. Rele yang dikoordinasikan adalah rele CB3A, rele CB3C, rele CB5B dan rele CB5C. gambar tipikal bisa dilihat pada gambar 4.5.



Gambar 4.5. Tipikal 3 IEEE 13 Bus

Perhitungan dilakukan untuk menentukan arus *pickup* dan waktu kerja rele pada tipikal 3. Hasil perhitungannya adalah sebagai berikut:

Rele CB3A

Curve type : Standard Inverse Time
CT Ratio : 200/5

Time Over Current Pickup:

$$1,05 \times \text{FLA CB3A} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA CB3A}$$

$$1,05 \times 21,4 < \text{Iset} < 1,4 \times 21,4$$

$$\frac{22,47}{200} \text{ In} < \text{Iset} < \frac{29,96}{200} \text{ In}$$

$$0,11 \text{ In} < \text{Iset} < 0,14 \text{ In}$$

$$\text{Dipilih Tap} = 0,12 \text{ In (Step 0,05)}$$

$$\text{Iset} = 0,12 \times 200 = 24 \text{ A}$$

Time Dial:

$$t_d = \frac{k \times T}{\beta \times \left[\left(\frac{I}{\text{Iset}} \right)^\alpha - 1 \right]}$$

$$t_d = \frac{0,14 \times T}{2,97 \times \left[\left(\frac{I}{\text{Iset}} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$T = \frac{t_d \times 2,97 \times \left[\left(\frac{I}{\text{Iset}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = \frac{0,04 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{3400}{24} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = 0,1$$

Rele CB3B

Curve type : Standard Inverse Time
CT Ratio : 200/5

Time Over Current Pickup:

$$1,05 \times \text{FLA CB3B} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA CB3B}$$

$$1,05 \times 23,8 < \text{Iset} < 1,4 \times 23,8$$

$$\frac{24,99}{200} \text{ In} < \text{Iset} < \frac{33,32}{200} \text{ In}$$

0,12 In < Iset < 0,16 In

Dipilih Tap = 0,13 In (Step 0,05)

Iset = 0,13 x 200 = 26 A

Time Dial:

$$t_d = \frac{k \times T}{\beta \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^\alpha - 1 \right]}$$

$$t_d = \frac{0,14 \times T}{2,97 \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$T = \frac{t_d \times 2,97 \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = \frac{0,04 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{3330}{26} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

T = 0,1

Rele CB3C

Curve type : Standard Inverse Time

CT Ratio : 200/5

Time Over Current Pickup:

1,05 x FLA CB3C < Iset < 1,4 x FLA CB3C

1,05 x 42,4 < Iset < 1,4 x 42,4

$\frac{44,52}{200}$ In < Iset < $\frac{44,52}{200}$ In

0,22 In < Iset < 0,29 In

Dipilih Tap = 0,23 In (Step 0,05)

Iset = 0,23 x 200 = 46 A

Time Dial:

$$t_d = \frac{k \times T}{\beta \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^\alpha - 1 \right]}$$

$$t_d = \frac{0,14 \times T}{2,97 \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$T = \frac{t_d \times 2,97 \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = \frac{0,11 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{3400}{46} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = 0,225$$

Rele CB5B

Curve type : Standard Inverse Time
 CT Ratio : 200/5

Time Over Current Pickup:

1,05 x FLA CB5B < Iset < 1,4 x FLA CB5B

1,05 x 371,2 < Iset < 1,4 x 371,2

$\frac{389,76}{200}$ In < Iset < $\frac{519,68}{200}$ In

1,94 In < Iset < 2,59 In

Dipilih Tap = 1,95 In (Step 0,05)

Iset = 1,95 x 200 = 390 A

Time Dial:

$$t_d = \frac{k \times T}{\beta \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^\alpha - 1 \right]}$$

$$t_d = \frac{0,14 \times T}{2,97 \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$T = \frac{t_d \times 2,97 \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = \frac{0,19 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{4330}{390} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = 0,225$$

Rele CB5C

Curve type : Standard Inverse Time

CT Ratio : 200/5

Time Over Current Pickup:

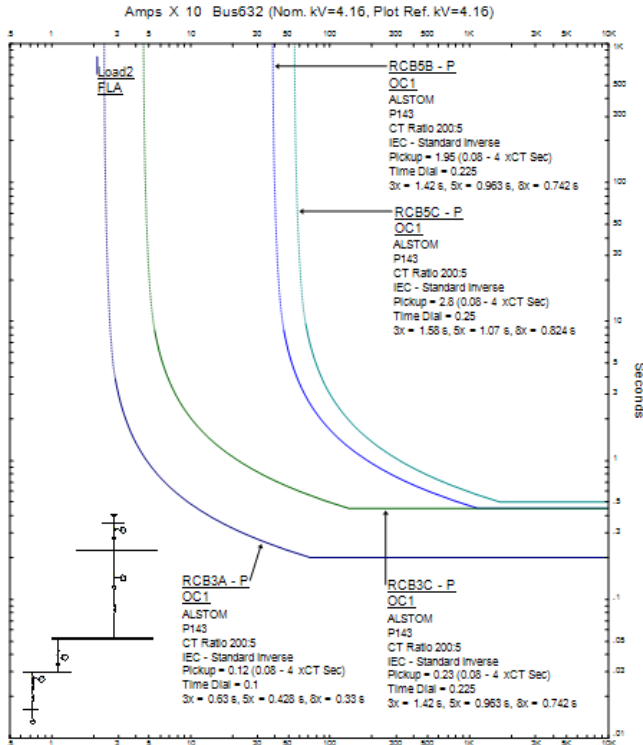
Dipilih Tap = 2,8 In (Step 0,05)

Iset = 2,8 x 200 = 560 A

Time Dial:

$T = 0,25$

(Pengaturan CB5C sama seperti pada tipikal 1)



Gambar 4.6. Setelan Tipikal 3 IEEE 13 Bus

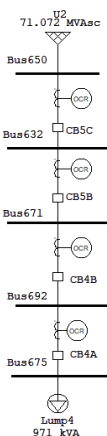
Hasil *plot setting* tipikal 3 dapat dilihat pada gambar 4.6. Dapat disimpulkan:

1. Rele CB3A merupakan pengaman beban Load2, apabila terjadi gangguan beban lebih atau hubung singkat pada bus 634 maka rele CB3A yang pertama kali bekerja. Sedangkan rele CB3B merupakan rele cadangan ketika rele CB3A tidak dapat mengamankan gangguan.
2. Rele CB5B merupakan rele yang mengamankan 2 tipikal yaitu tipikal 3 dan tipikal 4. Maka waktu kerja rele ini harus disesuaikan dengan waktu kerja rele di 2 tipikal pada sistem agar koordinasi dapat terjaga.

3. Rele CB5C merupakan pengaman dari sumber sekaligus pengaman terakhir dari sistem IEEE 13 Bus. Pengaturan waktu kerja untuk rele CB5C harus ditentukan dengan mempertimbangkan beberapa rele yang ada di bawahnya.

4.1.4 Tipikal 4

Merupakan koordinasi rele pengaman arus lebih dari beban Lump4 menuju sumber. Rele yang dikoordinasikan adalah rele CB4A, rele CB4B, rele CB5B dan rele CB5C. gambar tipikal bisa dilihat pada gambar 4.7.



Gambar 4.7. Tipikal 4 IEEE 13 Bus

Perhitungan dilakukan untuk menentukan arus *pickup* dan waktu kerja rele pada tipikal 4. Hasil perhitungannya adalah sebagai berikut:

Rele CB4A

Curve type : Standard Inverse Time
CT Ratio : 200/5

Time Over Current Pickup:

$$1,05 \times \text{FLA CB4A} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA CB4A}$$

$$1,05 \times 118,2 < \text{Iset} < 1,4 \times 118,2$$

$$\frac{124,11}{200} \text{ In} < \text{Iset} < \frac{165,48}{200} \text{ In}$$

$$0,62 \text{ In} < \text{Iset} < 0,82 \text{ In}$$

Dipilih Tap = 0,63 In (Step 0,05)
 Iset = 0,63 x 200 = 126 A

Time Dial:

$$t_d = \frac{k \times T}{\beta \times \left[\left(\frac{I}{\text{Iset}} \right)^\alpha - 1 \right]}$$

$$t_d = \frac{0,14 \times T}{2,97 \times \left[\left(\frac{I}{\text{Iset}} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$T = \frac{t_d \times 2,97 \times \left[\left(\frac{I}{\text{Iset}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = \frac{0,04 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{3900}{126} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = 0,075$$

Rele CB4B

Curve type : Standard Inverse Time
CT Ratio : 200/5

Time Over Current Pickup:

$$1,05 \times \text{FLA CB4B} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA CB4B}$$

$$1,05 \times 140,2 < \text{Iset} < 1,4 \times 140,2$$

$$\frac{147,21}{200} \text{ In} < \text{Iset} < \frac{196,28}{200} \text{ In}$$

$$0,73 \text{ In} < \text{Iset} < 0,98 \text{ In}$$

Dipilih Tap = 0,75 In (Step 0,05)
 Iset = 0,75 x 200 = 150 A

Time Dial:

$$t_d = \frac{k \times T}{\beta \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^\alpha - 1 \right]}$$

$$t_d = \frac{0,14 \times T}{2,97 \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$T = \frac{t_d \times 2,97 \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = \frac{0,12 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{3900}{150} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = 0,175$$

Rele CB5B

Curve type : Standard Inverse Time

CT Ratio : 200/5

Time Over Current Pickup:

Dipilih Tap = 1,95 In (Step 0,05)

Iset = 1,95 x 200 = 390 A

Time Dial:

$T = 0,225$

(Pengaturan CB5C sama seperti pada tipikal 3)

Rele CB5C

Curve type : Standard Inverse Time

CT Ratio : 200/5

Time Over Current Pickup:

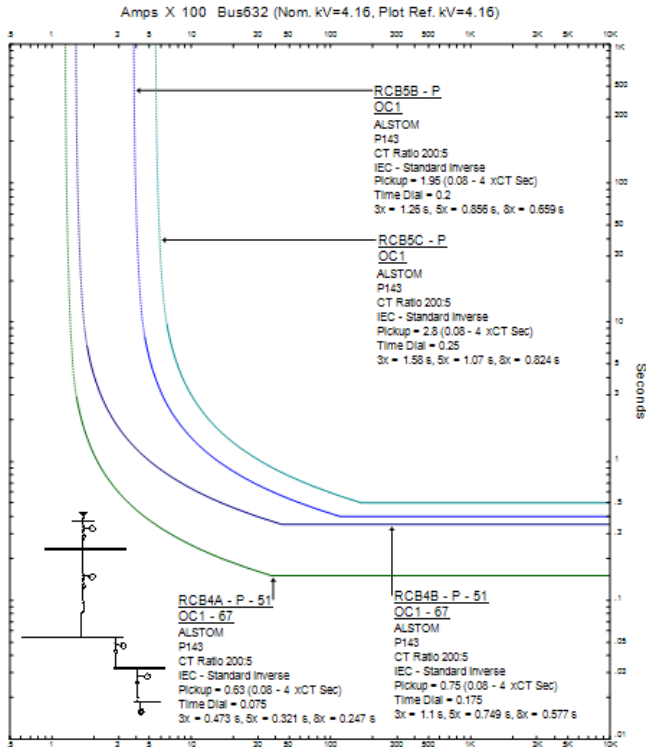
Dipilih Tap = 2,8 In (Step 0,05)

Iset = 2,8 x 200 = 560 A

Time Dial:

$T = 0,25$

(Pengaturan CB5C sama seperti pada tipikal 1)



Gambar 4.8. Setelan Tipikal 4 IEEE 13 Bus

Hasil *plot setting* tipikal 4 dapat dilihat pada gambar 4.8. Dapat disimpulkan:

1. Rele CB4A merupakan pengaman beban Lump4, apabila terjadi gangguan beban lebih atau hubung singkat pada bus 675 maka rele CB4A yang pertama kali bekerja. Sedangkan rele CB4B merupakan rele cadangan ketika rele CB3A tidak dapat mengamankan gangguan.
2. Rele CB5B merupakan rele yang mengamankan 2 tipikal yaitu tipikal 3 dan tipikal 4. Maka waktu kerja rele ini harus disesuaikan dengan waktu kerja rele di 2 tipikal pada sistem agar koordinasi dapat terjaga.

3. Rele CB5C merupakan pengaman dari sumber sekaligus pengaman terakhir dari sistem IEEE 13 Bus. Pengaturan waktu kerja untuk rele CB5C harus ditentukan dengan mempertimbangkan beberapa rele yang ada di bawahnya.

Dari perhitungan yang telah dilakukan berupa arus *pick up*, *time dial*, dan penentuan waktu kerja rele pada setiap tipikal, maka didapatkan *grading* waktu sebagai berikut:

	Rele	Time Dial	Iset (A)	Tanpa DG	
				Isc (A)	Δt (s)
1.	CB1A	0,1	40	4760	0,218
	CB1B	0,225	70	4760	
2.	CB2A	0,1	72	6290	0,224
	CB2B	0,25	72	6290	
3.	CB3A	0,1	24	3400	0,216
	CB3C	0,225	46	3400	
4.	CB4A	0,075	126	3900	0,216
	CB4B	0,175	150	3900	
5.	CB5B	0,2	390	4330	0,270
	CB5C	0,25	560	4330	

4.2 Sistem Dengan DG di Bus 634

Pada sub bab ini DG dengan kapasitas 3MW, 5MW, 8MW ditempatkan di Bus 634. Simulasi dilakukan untuk mengetahui perubahan arus hubung singkat dan perubahan koordinasi waktu kerja rele setelah DG terpasang. Perhitungan *resetting* untuk koordinasi rele yang tidak sesuai standar dan perhitungan untuk arus terbalik (*reverse*) juga dilakukan agar urutan kerja rele menjadi tepat ketika sistem akan dipasang rele arah.

4.2.1 Arus Gangguan dan Koordinasi Waktu Rele

Perubahan arus gangguan dan koordinasi rele arus lebih setelah DG dipasang pada bus 634 dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.2. Perubahan Arus Gangguan dan *Grading* Waktu pada Pemasangan DG 3 MW di Bus 634

	Rele	Time Dial	Iset (A)	Tanpa DG		3MW DG	
				Isc (A)	Δt (s)	Isc (A)	Δt (s)
1.	CB1A	0,1	40	4760	0,218	5270	0,212
	CB1B	0,225	70	4760		5270	
2.	CB2A	0,1	72	6290	0,224	6270	0,224
	CB2B	0,25	72	6290		6270	
3.	CB3A	0,1	24	3400	0,216	3650	0,216
	CB3C	0,225	46	3400		3650	
4.	CB4A	0,075	126	3900	0,216	4220	0,210
	CB4B	0,175	150	3900		4220	
5.	CB5B	0,2	390	4330	0,270	4740	0,334
	CB5C	0,25	560	4330		3930	

Tabel 4.3. Perubahan Arus Gangguan dan *Grading* Waktu pada Pemasangan DG 5 MW di Bus 634

	Rele	Time Dial	Iset (A)	Tanpa DG		5MW DG	
				Isc (A)	Δt (s)	Isc (A)	Δt (s)
1.	CB1A	0,1	40	4760	0,218	5530	0,211
	CB1B	0,225	70	4760		5530	
2.	CB2A	0,1	72	6290	0,224	6270	0,224
	CB2B	0,25	72	6290		6270	
3.	CB3A	0,1	24	3400	0,216	3780	0,210
	CB3C	0,225	46	3400		3780	
4.	CB4A	0,075	126	3900	0,216	4390	0,208
	CB4B	0,175	150	3900		4390	
5.	CB5B	0,2	390	4330	0,270	4950	0,367
	CB5C	0,25	560	4330		3720	

Tabel 4.4. Perubahan Arus Gangguan dan *Grading* Waktu pada Pemasangan DG 8 MW di Bus 634

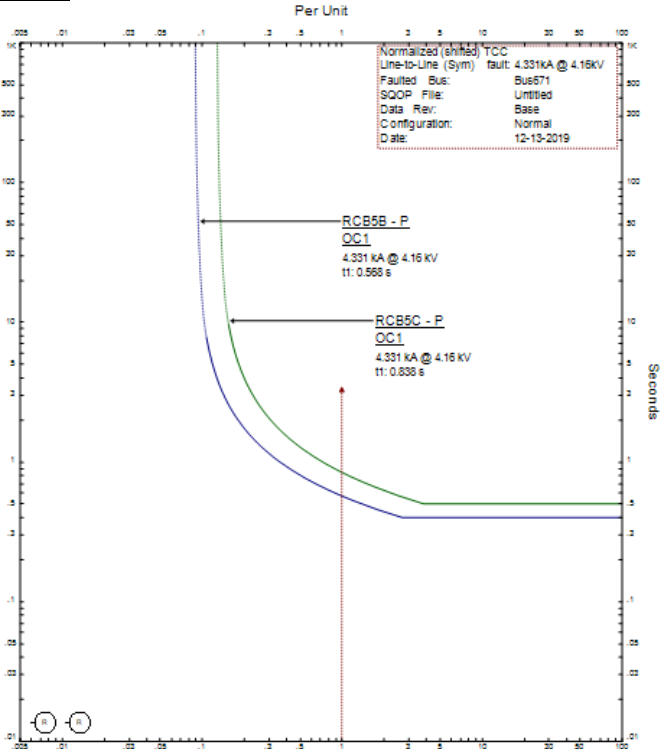
	Rele	Time Dial	Iset (A)	Tanpa DG		8MW DG	
				Isc (A)	Δt (s)	Isc (A)	Δt (s)
1.	CB1A	0,1	40	4760	0,218	5830	0,207
	CB1B	0,225	70	4760		5830	
2.	CB2A	0,1	72	6290	0,224	6290	0,224
	CB2B	0,25	72	6290		6290	
3.	CB3A	0,1	24	3400	0,216	3920	0,208
	CB3C	0,225	46	3400		3920	
4.	CB4A	0,075	126	3900	0,216	4590	0,205
	CB4B	0,175	150	3900		4590	
5.	CB5B	0,2	390	4330	0,270	5200	0,409
	CB5C	0,25	560	4330		3500	

DG simulasikan berada di bus 634. Rele utama dan cadangan pada tiap tiap tipikal akan diteliti koordinasinya setelah DG terpasang dengan sebelum DG terpasang sebagai pembandingnya.

Dari tabel terlihat bahwa:

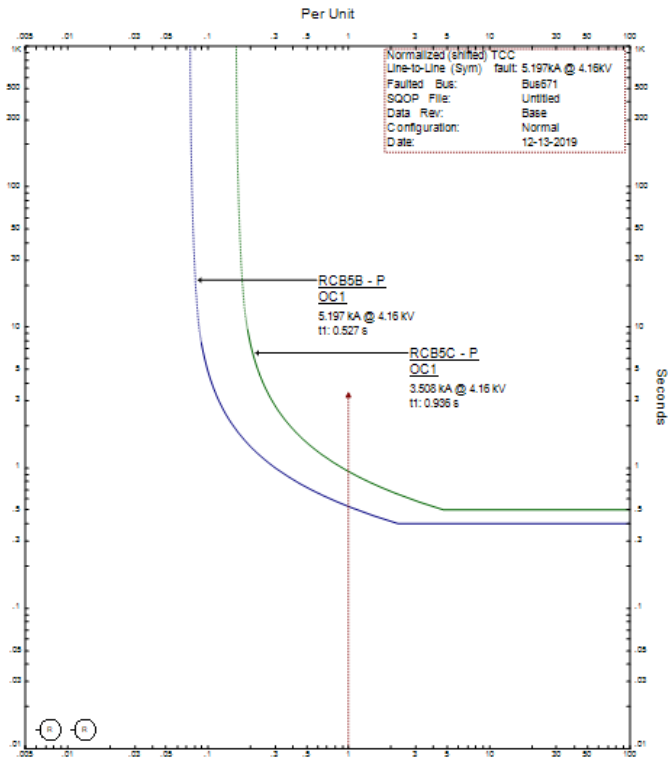
1. Arus gangguan di semua tipikal meningkat kecuali arus gangguan tipikal 2 yang menurun dari 6290 A menjadi 6270 A saat DG 3MW dan DG 5MW terpasang. Pada rele CB5C, arus gangguan menurun pada setiap kapasitas DG yang terpasang.
2. *Grading* waktu kerja antar rele tipikal mengalami penurunan, namun masih sesuai dengan standar IEEE 242. Sebaliknya, *Grading* waktu antara rele CB5B dan CB5C yang mengalami peningkatan yang besarnya melebihi standar IEEE 242 ketika DG 8 MW dipasang. Maka perlu dilakukan perhitungan ulang.

Rele CB5C



Gambar 4.9. Kurva Koordinasi Rele CB5B dan CB5C Sebelum DG Terpasang

Gambar 4.9 menunjukkan koordinasi antara rele CB5B dan CB5C ketika terjadi gangguan pada bus 671 sebelum rele terpasang dengan *grading* waktu 0,270 s. Karena adanya pemasangan DG 8 MW *grading* waktu berubah menjadi 0,409 s, ditunjukkan pada gambar 4.10.



Gambar 4.10. Kurva Koordinasi Rele CB5B dan CB5C Ketika 8 MW DG Tepasang

Perlu dilakukan *resetting* untuk CB5C agar koordinasi dengan CB5B kembali sesuai dengan standar IEEE 242

Rele CB5C

Curve type : Standard Inverse Time
CT Ratio : 1000/5

Time Over Current Pickup:

Dipilih Tap = 1,5 In (Step 0,05)
 Iset = 1,5 x 1000 = 1500 A

Time Dial:

$$t_d = \frac{k \times T}{\beta \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^\alpha - 1 \right]}$$

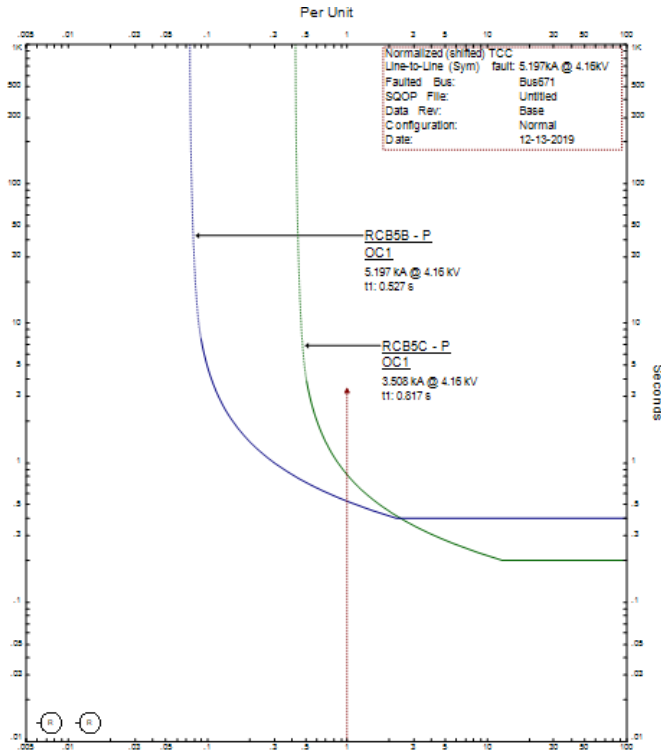
$$t_d = \frac{0,14 \times T}{2,97 \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$T = \frac{t_d \times 2,97 \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = \frac{0,275 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{3500}{1500} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = 0,1$$

Dengan diubahnya *Time Dial* dari 0,25 sebelum dipasang DG menjadi 0,1 setelah DG 8 MW terpasang maka koordinasi rele CB5B dan rele CB5C kembali pada grading waktu yang tepat yaitu 0,290 s, ditampilkan pada gambar 4.11 dibawah.



Gambar 4.11. Kurva *Resetting* Koordinasi Rele CB5B dan CB5C

4.2.2 Arus Arah Balik (*Reverse Current*)

Perlu diperhatikan juga bahwa ketika DG terpasang pada Bus 634 arus balik akan terjadi pada tipikal 2 (rele CB2A, rele CB2B). Arus balik dapat menyebabkan urutan kerja rele menjadi tidak sesuai. Jika gangguan terjadi pada sisi upstream dari tipikal 2 ketika DG terpasang maka yang seharusnya bertugas mengamankan titik gangguan adalah rele CB2B, namun karena waktu kerja rele CB2A yang lebih cepat maka rele CB2A akan bekerja lebih dulu daripada rele CB2B, jadi urutan kerjanya menjadi tidak sesuai. Maka penempatan rele arah perlu dilakukan agar sistem menjadi lebih aman.

1. 3MW DG

Perhitungan untuk rele arah tipikal 2 ketika DG 3 MW dipasang pada sistem

Rele CB2B

Curve type : Standard Inverse Time

CT Ratio : 1000/5

Time Over Current Pickup:

$$1,05 \times \text{FLA CB2A} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA CB2A}$$

$$1,05 \times 1220,5 < \text{Iset} < 1,4 \times 1220,5$$

$$\frac{1281,52}{1000} \text{ In} < \text{Iset} < \frac{1708,7}{200} \text{ In}$$

$$1,28 \text{ In} < \text{Iset} < 1,7 \text{ In}$$

Dipilih Tap = 1,3 In (Step 0,05)

Iset = 1,3 x 1000 = 1300 A

Time Dial:

$$t_d = \frac{k \times T}{\beta \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^\alpha - 1 \right]}$$

$$t_d = \frac{0,14 \times T}{2,97 \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$T = \frac{t_d \times 2,97 \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = \frac{0,171 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{1830}{1300} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = 0,025$$

Rele CB2A

Curve type : Standard Inverse Time

CT Ratio : 1000/5

Time Over Current Pickup:

Dipilih Tap = 1,3 In (Step 0,05)

Iset = 1,3 x 1000 = 1300 A

Time Dial:

$$t_d = \frac{k \times T}{\beta \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^\alpha - 1 \right]}$$

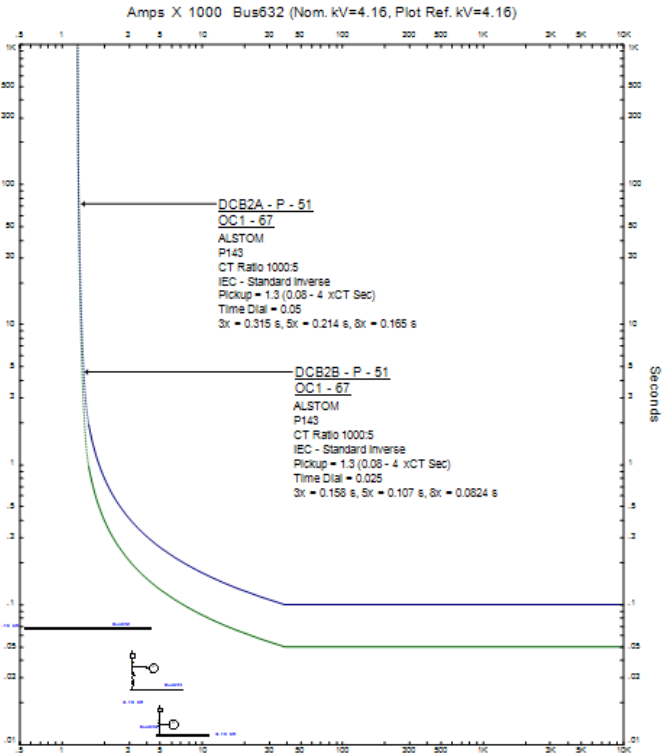
$$t_d = \frac{0,14 \times T}{2,97 \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$T = \frac{t_d \times 2,97 \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = \frac{0,343 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{1830}{1300} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = 0,05$$

Dengan setting seperti diatas, *grading* waktu antara kedua rele adalah 0,51s. *grading* waktu ini tidak sesuai standar IEEE 242. Namun karena keterbatasan *step time dial*, *grading* waktu ini adalah nilai minimal yang dapat di *setting*.



Gambar 4.12. Setelan Rele Arah Tipikal 2 Saat 3 MW DG Terpasang

2. 5 MW DG

Perhitungan untuk rele arah tipikal 2 ketika DG 5 MW dipasang pada sistem

Rele CB2B

Curve type : Standard Inverse Time
CT Ratio : 1000/5

Time Over Current Pickup:

Dipilih Tap = 1,3 In (Step 0,05)
 Iset = 1,3 x 1000 = 1300 A

Time Dial:

$$t_d = \frac{k \times T}{\beta \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^\alpha - 1 \right]}$$

$$t_d = \frac{0,14 \times T}{2,97 \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$T = \frac{t_d \times 2,97 \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = \frac{0,145 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{2900}{1300} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = 0,05$$

Rele CB2A

Curve type : Standard Inverse Time

CT Ratio : 1000/5

Time Over Current Pickup:

Dipilih Tap = 1,3 In (Step 0,05)

Iset = 1,3 x 1000 = 1300 A

Time Dial:

$$t_d = \frac{k \times T}{\beta \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^\alpha - 1 \right]}$$

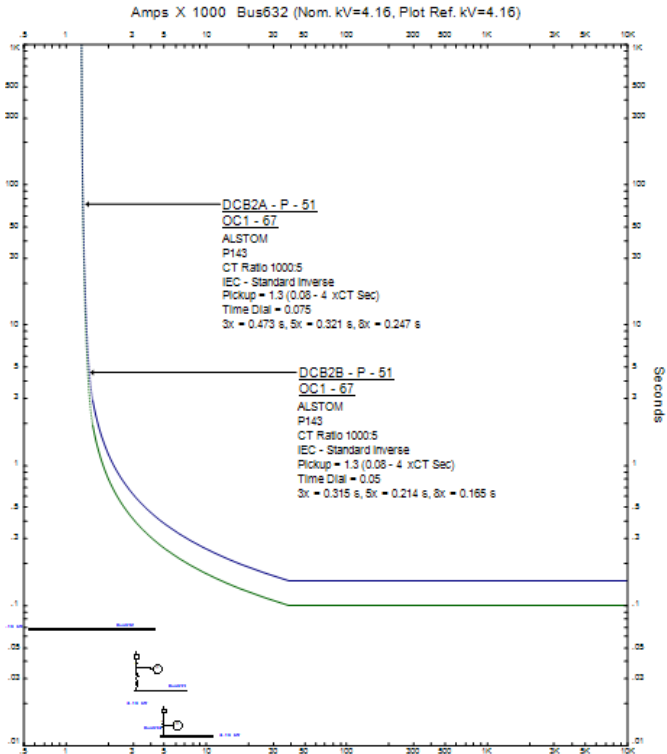
$$t_d = \frac{0,14 \times T}{2,97 \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$T = \frac{t_d \times 2,97 \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = \frac{0,218 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{2900}{1300} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = 0,075$$

Dengan *setting* seperti diatas, *grading* waktu antara kedua rele adalah 0,216 s.



Gambar 4.13. Setelan Rele Arah Tipikal 2 Saat 5 MW DG Terpasang

3. 8 MW DG

Perhitungan untuk rele arah tipikal 2 ketika DG 3 MW dipasang pada sistem

Rele CB2B

Curve type : Standard Inverse Time
CT Ratio : 1000/5

Time Over Current Pickup:

Dipilih Tap = 1,3 In (Step 0,05)

Iset = 1,3 x 1000 = 1300 A

Time Dial:

$$t_d = \frac{k \times T}{\beta \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^\alpha - 1 \right]}$$

$$t_d = \frac{0,14 \times T}{2,97 \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$T = \frac{t_d \times 2,97 \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = \frac{0,114 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{4340}{1300} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$T = 0,075$

Rele CB2A

Curve type : Standard Inverse Time

CT Ratio : 1000/5

Time Over Current Pickup:

Dipilih Tap = 1,3 In (Step 0,05)

Iset = 1,3 x 1000 = 1300 A

Time Dial:

$$t_d = \frac{k \times T}{\beta \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^\alpha - 1 \right]}$$

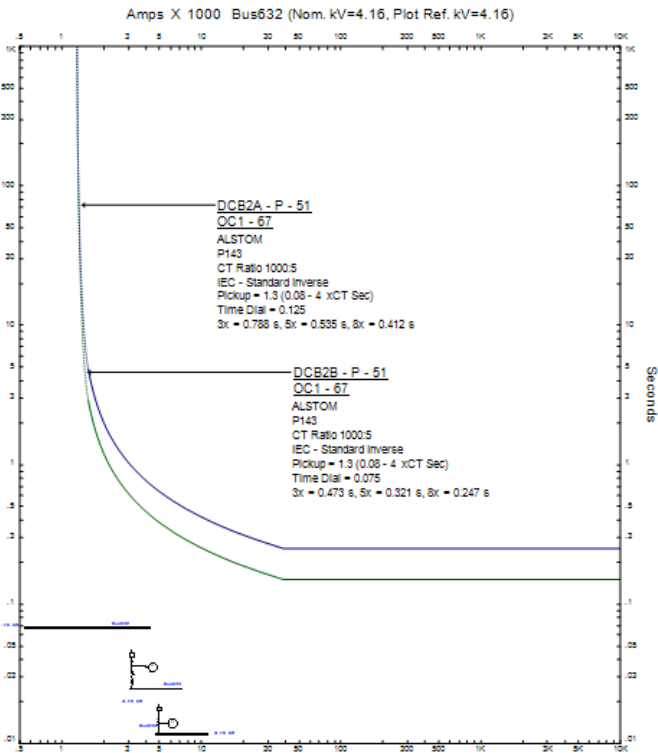
$$t_d = \frac{0,14 \times T}{2,97 \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$T = \frac{t_d \times 2,97 \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = \frac{0,241 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{4340}{1300} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = 0,125$$

Dengan *setting* seperti diatas, grading waktu antara kedua rele adalah 0,286 s. sesuai standar IEEE 242.



Gambar 4.14. Setelan Rele Arah Tipikal 2 Saat 8 MW DG Terpasang

4.3 Sistem Dengan DG di Bus 675

Pada sub bab ini DG dengan kapasitas 3MW, 5MW, 8MW ditempatkan di Bus 675. Simulasi dilakukan untuk mengetahui perubahan arus hubung singkat dan perubahan koordinasi waktu kerja rele setelah DG terpasang. Perhitungan *resetting* untuk koordinasi rele yang tidak sesuai standar dan perhitungan untuk arus terbalik (*reverse*) juga dilakukan agar urutan kerja rele menjadi tepat ketika sistem akan dipasang rele arah.

4.3.1 Arus Gangguan dan Koordinasi Waktu Rele

Perubahan arus gangguan dan koordinasi rele arus lebih setelah DG dipasang pada bus 675 dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.5. Perubahan Arus Gangguan dan *Grading* Waktu pada Pemasangan DG 3 MW di Bus 675

	Rele	Time Dial	Iset (A)	Tanpa DG		3MW DG	
				Isc (A)	Δt (s)	Isc (A)	Δt (s)
1.	CB1A	0,1	40	4760	0,218	5200	0,213
	CB1B	0,225	70	4760		5200	
2.	CB2A	0,1	72	6290	0,224	7070	0,218
	CB2B	0,25	72	6290		7070	
3.	CB3A	0,1	24	3400	0,216	4440	0,201
	CB3C	0,225	46	3400		4440	
4.	CB4A	0,075	126	3900	0,216	3890	0,216
	CB4B	0,175	150	3900		3890	
5.	CB5B	0,2	390	4330	0,270	4340	0,270
	CB5C	0,25	560	4330		4340	

Tabel 4.6. Perubahan Arus Gangguan dan *Grading* Waktu pada Pemasangan DG 5 MW di Bus 675

	Rele	Time Dial	Iset (A)	Tanpa DG		5MW DG	
				Isc (A)	Δt (s)	Isc (A)	Δt (s)
1.	CB1A	0,1	40	4760	0,218	5370	0,211
	CB1B	0,225	70	4760		5370	
2.	CB2A	0,1	72	6290	0,224	7410	0,216
	CB2B	0,25	72	6290		7410	
3.	CB3A	0,1	24	3400	0,216	4990	0,201
	CB3C	0,225	46	3400		4990	
4.	CB4A	0,075	126	3900	0,216	3900	0,216
	CB4B	0,175	150	3900		3900	
5.	CB5B	0,2	390	4330	0,270	4360	0,269
	CB5C	0,25	560	4330		4360	

Tabel 4.7. Perubahan Arus Gangguan dan *Grading* Waktu pada Pemasangan DG 8 MW di Bus 675

	Rele	Time Dial	Iset (A)	Tanpa DG		8MW DG	
				Isc (A)	Δt (s)	Isc (A)	Δt (s)
1.	CB1A	0,1	40	4760	0,218	5550	0,209
	CB1B	0,225	70	4760		5550	
2.	CB2A	0,1	72	6290	0,224	7770	0,213
	CB2B	0,25	72	6290		7770	
3.	CB3A	0,1	24	3400	0,216	5650	0,190
	CB3C	0,225	46	3400		5650	
4.	CB4A	0,075	126	3900	0,216	3910	0,215
	CB4B	0,175	150	3900		3910	
5.	CB5B	0,2	390	4330	0,270	4390	0,268
	CB5C	0,25	560	4330		4390	

DG simulasikan berada di bus 675. Rele utama dan cadangan pada tiap tiap tipikal akan diteliti koordinasinya setelah DG terpasang dengan sebelum DG terpasang sebagai pembandingnya.

Dari tabel terlihat bahwa:

1. Semua tipikal mengalami peningkatan arus gangguan kecuali tipikal 4 dengan penurunan arus gangguan dari 3900 A menjadi 3890 A saat 3MW DG terpasang.
2. Penambahan DG menyebabkan *grading* waktu kerja antar rele mengalami penurunan, pada tipikal 3 pada saat dipasang 8 MW DG *grading* waktu rele turun dibawah IEEE 242 standar yaitu 0,190 s. Maka perhitungan kembali dilakukan agar rele dapat bekerja sesuai *grading* waktu yang tepat untuk tipikal 3 pada saat dipasang 8MW DG.

Perhitungan *resetting* tipikal 3 rele CB3C pada saat dipasang 8 MW DG

Rele CB3C

Curve type : Standard Inverse Time

CT Ratio : 200/5

Time Over Current Pickup:

Dipilih Tap = 0,23 In (Step 0,05)

Iset = 0,23 x 200 = 46A

(Arus pick up rele tetap karena penambahan DG tidak mempengaruhi FLA CB3C)

Time Dial:

$$t_d = \frac{k \times T}{\beta \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^\alpha - 1 \right]}$$

$$t_d = \frac{0,14 \times T}{2,97 \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$T = \frac{t_d \times 2,97 \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = \frac{0,116 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{5650}{46} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = 0,25$$

Dengan diubahnya *Time Dial* dari 0,225 sebelum dipasang DG menjadi 0,25 setelah DG 8 MW terpasang maka koordinasi rele CB3A dan rele CB3C kembali pada *grading* waktu yang tepat yaitu 0,224 s.

4.3.2 Arus Arah Balik (*Reverse Current*)

Ketika DG terpasang pada Bus 675 arus balik akan terjadi pada rele tipikal 4. maka penempatan rele arah perlu dilakukan agar sistem menjadi lebih aman.

Perhitungan koordinasi rele arah untuk tipikal 4 (Rele CB4B dan rele CB4A) adalah:

Rele CB4B

Curve type : Standard Inverse Time

CT Ratio : 200/5

Time Over Current Pickup:

$$1,05 \times \text{FLA CB2A} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA CB2A}$$

$$1,05 \times 461,3 < \text{Iset} < 1,4 \times 461,3$$

$$\frac{484,3}{200} \text{ In} < \text{Iset} < \frac{645,82}{200} \text{ In}$$

$$2,42 \text{ In} < \text{Iset} < 3,22 \text{ In}$$

$$\text{Dipilih Tap} = 2,5 \text{ In (Step 0,05)}$$

$$\text{Iset} = 2,5 \times 200 = 500 \text{ A}$$

Time Dial:

$$t_d = \frac{k \times T}{\beta \times \left[\left(\frac{I}{\text{Iset}} \right)^\alpha - 1 \right]}$$

$$t_d = \frac{0,14 \times T}{2,97 \times \left[\left(\frac{I}{\text{Iset}} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$T = \frac{t_d \times 2,97 \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = \frac{0,022 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{1870}{500} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = 0,125$$

Rele CB4A

Curve type : Standard Inverse Time
CT Ratio : 200/5

Time Over Current Pickup:

$$1,05 \times \text{FLA CB2A} < I_{set} < 1,4 \times \text{FLA CB2A}$$

$$1,05 \times 469,7 < I_{set} < 1,4 \times 469,7$$

$$\frac{493,18}{200} \text{ In} < I_{set} < \frac{657,58}{200} \text{ In}$$

$$2,46 \text{ In} < I_{set} < 3,28 \text{ In}$$

Dipilih Tap = 2,5 In (Step 0,05)
 Iset = 2,5 x 200 = 500 A

Time Dial:

$$t_d = \frac{k \times T}{\beta \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^\alpha - 1 \right]}$$

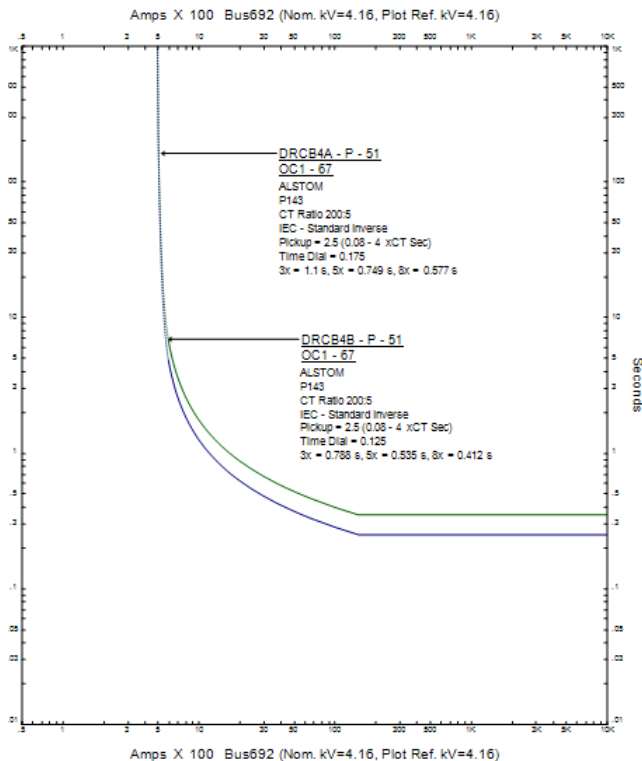
$$t_d = \frac{0,14 \times T}{2,97 \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$T = \frac{t_d \times 2,97 \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = \frac{0,308 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{1870}{500} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = 0,175$$

Dengan setting seperti diatas, *grading* waktu antara kedua rele sesuai standar yaitu 0,261 s.



Gambar 4.15. Setelan Rele Arah Tipikal 4 Saat 3 MW DG Terpasang

1. 5 MW DG

Perhitungan koordinasi rele arah untuk tipikal 4 adalah:

Rele CB4B

Curve type : Standard Inverse Time

CT Ratio : 200/5

Time Over Current Pickup:

Dipilih Tap = 2,5 In (Step 0,05)
 Iset = 2,5 x 200 = 500 A

Time Dial:

$$t_d = \frac{k \times T}{\beta \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^\alpha - 1 \right]}$$

$$t_d = \frac{0,14 \times T}{2,97 \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$T = \frac{t_d \times 2,97 \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = \frac{0,225 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{3010}{500} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = 0,175$$

Rele CB4A

Curve type : Standard Inverse Time
CT Ratio : 200/5

Time Over Current Pickup:

Dipilih Tap = 2,5 In (Step 0,05)
 Iset = 2,5 x 200 = 500 A

Time Dial:

$$t_d = \frac{k \times T}{\beta \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^\alpha - 1 \right]}$$

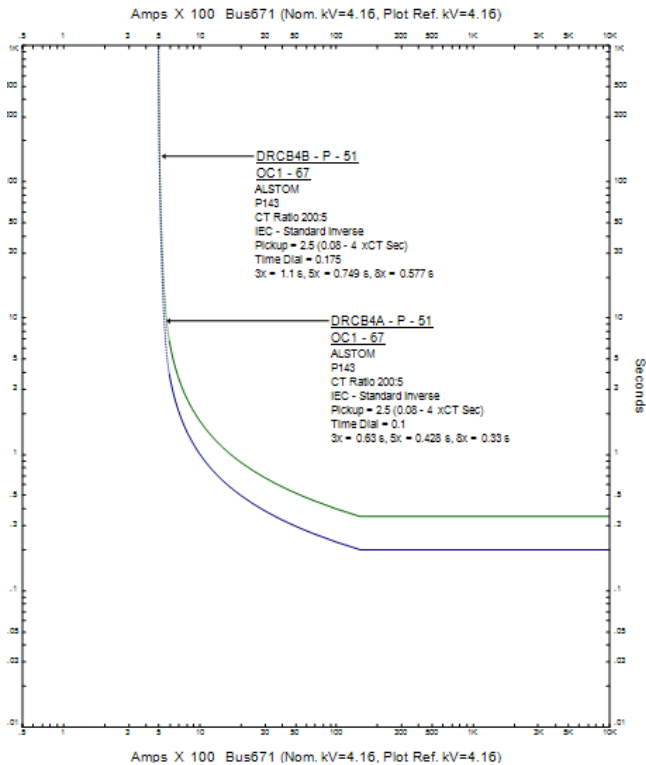
$$t_d = \frac{0,14 \times T}{2,97 \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$T = \frac{t_d \times 2,97 \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = \frac{0,382 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{3010}{500} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = 0,1$$

Dengan setting seperti diatas, *grading* waktu antara kedua rele sesuai standar yaitu 0,287 s.



Gambar 4.16. Setelan Rele Arah Tipikal 4 Saat 5 MW DG Terpasang

2. 8 MW DG

Perhitungan koordinasi rele arah untuk tipikal 4 adalah:

Rele CB4B

Curve type : Standard Inverse Time
CT Ratio : 200/5

Time Over Current Pickup:

Dipilih Tap = 2,5 In (Step 0,05)
Iset = 2,5 x 200 = 500 A

Time Dial:

$$t_d = \frac{k \times T}{\beta \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^\alpha - 1 \right]}$$
$$t_d = \frac{0,14 \times T}{2,97 \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$
$$T = \frac{t_d \times 2,97 \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$
$$T = \frac{0,207 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{4600}{500} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$
$$T = 0,2$$

Rele CB4A

Curve type : Standard Inverse Time
CT Ratio : 200/5

Time Over Current Pickup:

Dipilih Tap = 2,5 In (Step 0,05)
Iset = 2,5 x 200 = 500 A

Time Dial:

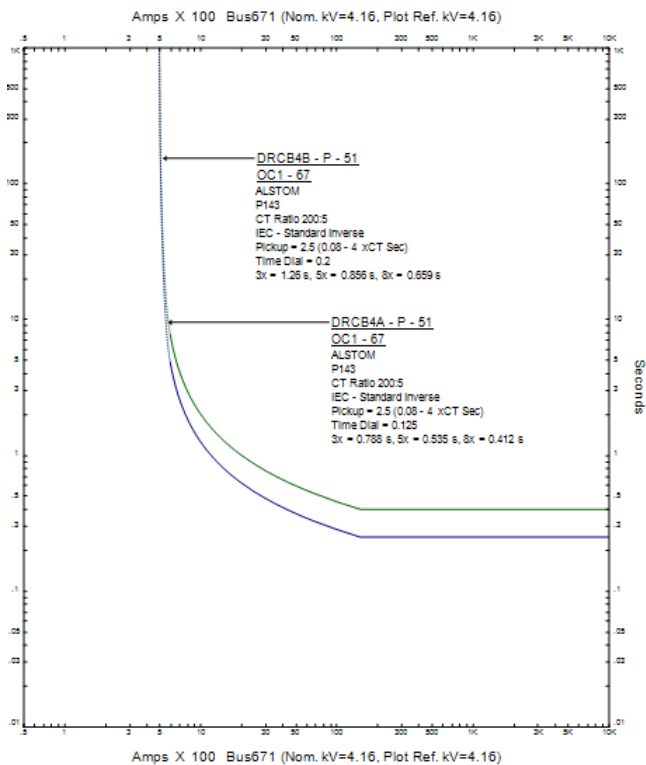
$$t_d = \frac{k \times T}{\beta \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^\alpha - 1 \right]}$$
$$t_d = \frac{0,14 \times T}{2,97 \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$T = \frac{t_d \times 2,97 \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = \frac{0,129 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{4600}{500} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = 0,125$$

Dengan setting seperti diatas, *grading* waktu antara kedua rele sesuai standar yaitu 0,231 s.



Gambar 4.17. Setelan Rele Arah Tipikal 4 Saat 8 MW DG Terpasang

4.4 Sistem dengan DG di Bus 634 dan 675

Pada sub bab ini DG dengan kapasitas 3MW, 5MW, 8MW ditempatkan di Bus 634 dan bus 675. Simulasi dilakukan untuk mengetahui perubahan arus hubung singkat dan perubahan koordinasi waktu kerja rele setelah DG terpasang. Perhitungan *resetting* untuk koordinasi rele yang tidak sesuai standar dan perhitungan untuk arus terbalik (*reverse*) juga dilakukan agar urutan kerja rele menjadi tepat ketika sistem akan dipasang rele arah.

4.4.1 Arus Gangguan dan Koordinasi Waktu Rele

Perubahan arus gangguan dan koordinasi rele arus lebih setelah DG dipasang pada bus 634 dan bus 675 dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.8. Perubahan Arus Gangguan dan *Grading* Waktu pada Pemasangan DG 3 MW di Bus 634 dan Bus 675

	Rele	Time Dial	Iset (A)	Tanpa DG		3MW DG	
				Isc (A)	Δt (s)	Isc (A)	Δt (s)
1.	CB1A	0,1	40	4760	0,218	5630	0,208
	CB1B	0,225	70	4760		5630	
2.	CB2A	0,1	72	6290	0,224	7050	0,218
	CB2B	0,25	72	6290		7050	
3.	CB3A	0,1	24	3400	0,216	4650	0,199
	CB3C	0,225	46	3400		4650	
4.	CB4A	0,075	126	3900	0,216	4220	0,210
	CB4B	0,175	150	3900		4220	
5.	CB5B	0,2	390	4330	0,270	4750	0,331
	CB5C	0,25	560	4330		3960	

Tabel 4.9. Perubahan Arus Gangguan dan *Grading* Waktu pada Pemasangan DG 5 MW di Bus 634 dan Bus 675

	Rele	Time Dial	Iset (A)	Tanpa DG		5MW DG	
				Isc (A)	Δt (s)	Isc (A)	Δt (s)
1.	CB1A	0,1	40	4760	0,218	5990	0,205
	CB1B	0,225	70	4760		5990	
2.	CB2A	0,1	72	6290	0,224	7380	0,216
	CB2B	0,25	72	6290		7380	
3.	CB3A	0,1	24	3400	0,216	5270	0,193
	CB3C	0,225	46	3400		5270	
4.	CB4A	0,075	126	3900	0,216	4390	0,208
	CB4B	0,175	150	3900		4390	
5.	CB5B	0,2	390	4330	0,270	4970	0,362
	CB5C	0,25	560	4330		3780	

Tabel 4.10. Perubahan Arus Gangguan dan *Grading* Waktu pada Pemasangan DG 8MW di Bus 634 dan Bus 675

	Rele	Time Dial	Iset (A)	Tanpa DG		8MW DG	
				Isc (A)	Δt (s)	Isc (A)	Δt (s)
1.	CB1A	0,1	40	4760	0,218	6350	0,202
	CB1B	0,225	70	4760		6350	
2.	CB2A	0,1	72	6290	0,224	7740	0,214
	CB2B	0,25	72	6290		7740	
3.	CB3A	0,1	24	3400	0,216	5980	0,188
	CB3C	0,225	46	3400		5980	
4.	CB4A	0,075	126	3900	0,216	4590	0,205
	CB4B	0,175	150	3900		4590	
5.	CB5B	0,2	390	4330	0,270	5240	0,404
	CB5C	0,25	560	4330		3560	

DG simulasikan berada di bus 634 dan 675. Rele utama dan cadangan pada tiap tiap tipikal akan diteliti koordinasinya setelah DG terpasang dengan sebelum DG terpasang sebagai pembandingnya.

Dari tabel terlihat bahwa:

1. Arus gangguan yang mengalir meningkat di semua tipikal kecuali pada rele CB5C, pada rele ini pemasangan DG semua ukuran menyebabkan berkurangnya arus gangguan yang mengalir.
2. Penambahan DG pada simulasi ini juga menyebabkan *grading* waktu kerja antar rele mengalami penurunan, penurunan *grading* waktu yang tidak sesuai standar adalah pada tipikal 3 pada setiap ukuran DG yaitu 0,199 pada DG 3 MW, 0,193 pada 5MW DG, dan 0,188 pada 8MW DG, *grading* waktu yang mengalami peningkatan adalah pada antara CB5B dan CB5C ketika 8MW DG dipasang yaitu 0,403 s. Sehingga perlu dilakukan perhitungan ulang untuk tipikal 3 agar *grading* waktu kembali menjadi sesuai dengan standar IEEE 242.

Perhitungan kembali dilakukan agar rele dapat bekerja sesuai *grading* waktu yang tepat untuk tipikal 3.

1. 3 MW DG

Rele CB3C

Curve type : Standard Inverse Time

CT Ratio : 200/5

Time Over Current Pickup:

Dipilih Tap = 0,23 In (Step 0,05)

Iset = 0,23 x 200 = 46A

(Arus pick up rele tetap karena penambahan DG tidak mempengaruhi FLA CB3C)

Time Dial:

$$t_d = \frac{k \times T}{\beta \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^\alpha - 1 \right]}$$

$$t_d = \frac{0,14 \times T}{2,97 \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$T = \frac{t_d \times 2,97 \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = \frac{0,121 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{4650}{46} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = 0,25$$

Dengan diubahnya *Time Dial* dari 0,225 sebelum dipasang DG menjadi 0,25 setelah DG 3 MW terpasang maka koordinasi rele CB3A dan rele CB3C kembali pada *grading* waktu yang tepat yaitu 0,235 s.

2. 5 MW DG

Rele CB3C

Curve type : Standard Inverse Time
CT Ratio : 200/5

Time Over Current Pickup:

Dipilih Tap = 0,23 In (Step 0,05)
 Iset = 0,23 x 200 = 46A

Time Dial:

$$t_d = \frac{k \times T}{\beta \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^\alpha - 1 \right]}$$

$$t_d = \frac{0,14 \times T}{2,97 \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$T = \frac{t_d \times 2,97 \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = \frac{0,118 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{5270}{46} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = 0,25$$

Dengan diubahnya *Time Dial* dari 0,225 sebelum dipasang DG menjadi 0,25 setelah DG 8 MW terpasang maka koordinasi rele CB3A dan rele CB3C kembali pada *grading* waktu yang tepat yaitu 0,228 s.

3. 8 MW DG

Rele CB3C

Curve type : Standard Inverse Time

CT Ratio : 200/5

Time Over Current Pickup:

Dipilih Tap = 0,23 In (Step 0,05)

Iset = 0,23 x 200 = 46A

Time Dial:

$$t_d = \frac{k \times T}{\beta \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^\alpha - 1 \right]}$$

$$t_d = \frac{0,14 \times T}{2,97 \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

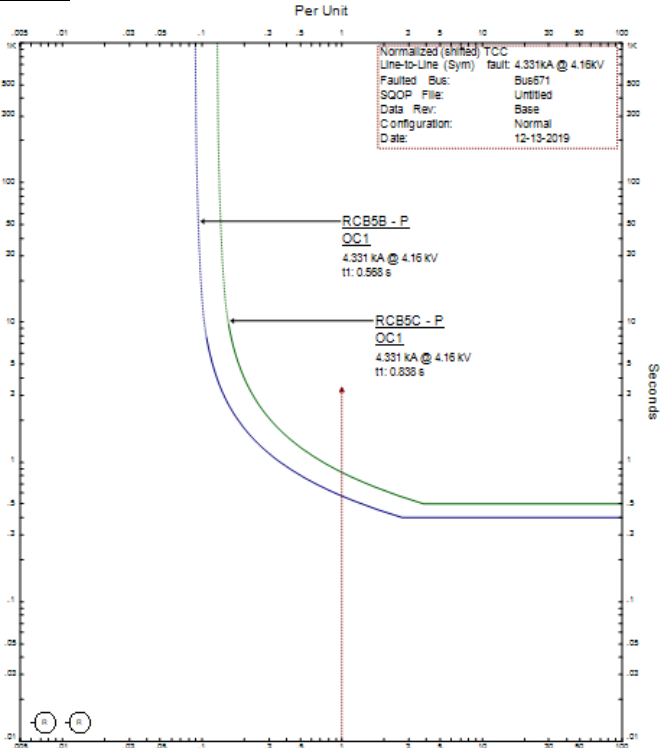
$$T = \frac{t_d \times 2,97 \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = \frac{0,115 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{5980}{46} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = 0,25$$

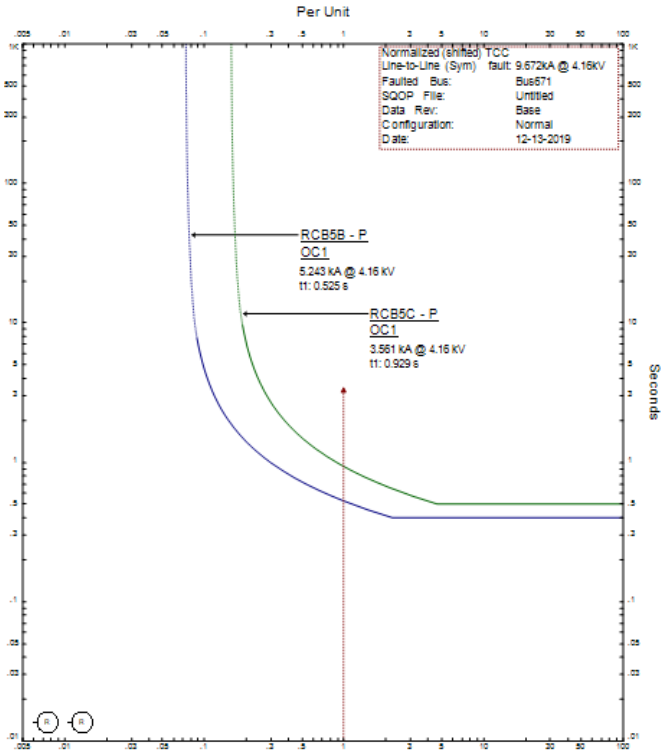
Dengan diubahnya *Time Dial* dari 0,225 sebelum dipasang DG menjadi 0,25 setelah DG 3 MW terpasang maka koordinasi rele CB3A dan rele CB3C kembali pada *grading* waktu yang tepat yaitu 0,222 s.

Rele CB5C



Gambar 4.18. Kurva Koordinasi Rele CB5B dan CB5C Sebelum DG terpasang

Gambar 4.17 menunjukkan koordinasi antara rele CB5B dan CB5C ketika terjadi gangguan pada bus 671 sebelum rele terpasang dengan *grading* waktu 0,270 s. Karena adanya pemasangan DG 8 MW *grading* waktu berubah menjadi 0,404 s, ditunjukkan pada gambar 4.10.



Gambar 4.19. Kurva Koordinasi Rele CB5B dan CB5C Ketika 2 unit 8 MW DG Tepasang

Rele CB5C

Curve type : Standard Inverse Time

CT Ratio : 200/5

Time Over Current Pickup:

Dipilih Tap = 2,8 In (Step 0,05)

Iset = 2,8 x 200 = 560 A

Time Dial:

$$t_d = \frac{k \times T}{\beta \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^\alpha - 1 \right]}$$

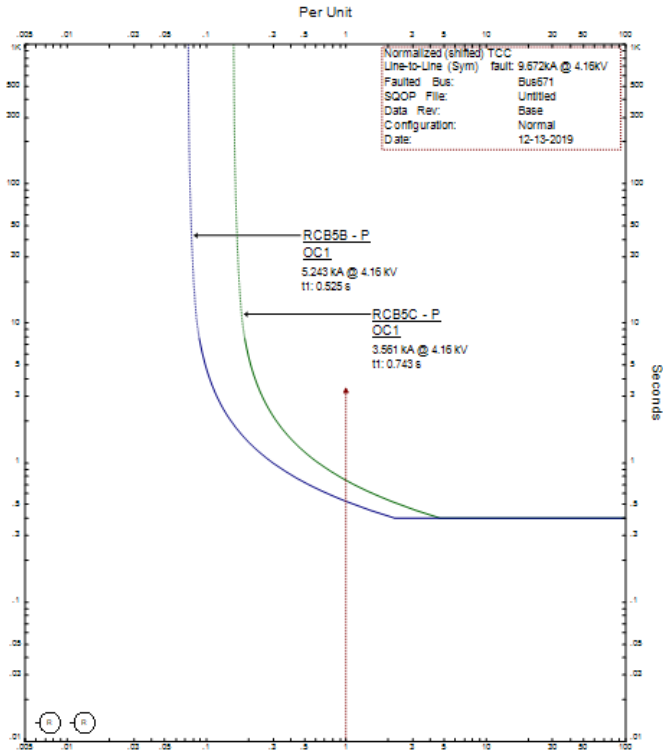
$$t_d = \frac{0,14 \times T}{2,97 \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$T = \frac{t_d \times 2,97 \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = \frac{0,25 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{3560}{560} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = 0,2$$

Dengan diubahnya Time Dial dari 0,25 sebelum dipasang DG menjadi 0,2 setelah DG 8 MW terpasang maka koordinasi rele CB5B dan rele CB5C kembali pada grading waktu yang tepat yaitu 0,218 s sesuai dengan standar IEEE 242.



Gambar 4.20. Kurva *Resetting* Koordinasi antara Rele CB5B dan CB5C

4.4.2 Arus Arah Balik (*Reverse Current*)

Ketika DG terpasang pada Bus 634 dan Bus 675 arus balik akan terjadi pada rele tipikal 2 (Rele CB2A dan Rele CB2B), rele tipikal 4 (rele CB4A dan rele CB4B) maka penempatan rele arah perlu dilakukan agar sistem menjadi lebih aman. *Setting* rele arah pada tipikal 2 dan tipikal 4 yang telah dihitung sebelumnya dapat digunakan kembali karena nilai arus beban penuh dan arus hubung singkat yang terjadi sama.

4.5 Sistem dengan *Photovoltaic* DG

Pada sub bab ini Sistem IEEE 13 bus akan dipasang 3 MW DG dengan jenis PV pada bus 634 yang kemudian akan dibandingkan hasilnya dengan sistem ketika DG belum terpasang dan sistem yang terpasang DG generator sinkron 3 MW.

Panel PV yang digunakan yaitu merek Kyocera dengan model KD205GX-LPU dan desain dari *plant* disesuaikan berdasarkan *paper* “*Short Circuit Current Contribution of a Photovoltaic Power Plant*” [16]. Sedangkan data dari *inverter* yang digunakan adalah sebagai berikut:

DC:

Rating Daya (P) = 100 kW
 Rating Tegangan = 220 V
 FLA = 454,5 A
 % Eff = 90

AC:

Rating Daya (S) = 90 kVA
 Rating Tegangan = 220 V
 FLA = 236,2 A
 % PF = 100

Tabel 4.11. Perubahan Arus Gangguan dan *Grading* Waktu pada Pemasangan DG berjenis PV 3 MW di Bus 634

	Rele	Time Dial	Iset (A)	Tanpa DG		3MW PV DG	
				Isc (A)	Δt (s)	Isc (A)	Δt (s)
1.	CB1A	0,1	40	4760	0,218	4810	0,217
	CB1B	0,225	70	4760		4810	
2.	CB2A	0,1	72	6290	0,224	6290	0,224
	CB2B	0,25	72	6290		6290	
3.	CB3A	0,1	24	3400	0,216	3430	0,216
	CB3C	0,225	46	3400		3430	
4.	CB4A	0,075	126	3900	0,216	3940	0,210
	CB4B	0,175	150	3900		3940	
5.	CB5B	0,2	390	4330	0,270	4400	0,283
	CB5C	0,25	560	4330		4270	

Tabel 4.12. Perbandingan Arus Gangguan dan *Grading* Waktu 3 MW DG berjenis Generator Sinkron dan PV di Bus 634

	Rele	Time Dial	Iset (A)	PV		G. Sinkron	
				Isc (A)	Δt (s)	Isc (A)	Δt (s)
1.	CB1A	0,1	40	4810	0,217	5270	0,212
	CB1B	0,225	70	4810		5270	
2.	CB2A	0,1	72	6290	0,224	6270	0,224
	CB2B	0,25	72	6290		6270	
3.	CB3A	0,1	24	3430	0,216	3650	0,216
	CB3C	0,225	46	3430		3650	
4.	CB4A	0,075	126	3940	0,210	4220	0,210
	CB4B	0,175	150	3940		4220	
5.	CB5B	0,2	390	4400	0,283	4740	0,334
	CB5C	0,25	560	4270		3930	

Pada tabel 4.11 dapat terlihat arus gangguan hubung singkat pada setiap rele meningkat karena adanya kontribusi dari PV DG yang terpasang. Namun peningkatan arus gangguan ini tidak merubah koordinasi antar rele sehingga *resetting* rele tidak perlu dilakukan. Sedangkan untuk perbedaan arus gangguan yang melewati rele berdasarkan jenis DG yaitu pada tabel 4.12, DG berjenis generator sinkron memberikan kontribusi arus gangguan yang lebih besar daripada DG berjenis PV, hal ini karena pada generator sinkron besarnya kontribusi arus gangguan dipengaruhi oleh besarnya reaktansi dari generator sedangkan pada DG berjenis PV tidak ada pengaruh dari reaktansi.

Halaman Sengaja Dikosongkan

BAB 5

PENUTUP

4.6 Kesimpulan

1. Pemasangan DG menyebabkan perubahan besar arus gangguan, arah arus gangguan dan hilangnya koordinasi antar rele pada sistem.
2. Peningkatan arus gangguan karena pemasangan DG menyebabkan waktu kerja rele menjadi lebih cepat. Pada beberapa simulasi yang dilakukan, peningkatan arus gangguan ini dapat menyebabkan *grading* waktu antara rele utama dan rele cadangan menjadi tidak sesuai standar IEEE 242.
3. Hilangnya koordinasi antar rele karena pemasangan DG dapat diatasi dengan menghitung ulang waktu kerja rele agar kembali sesuai atau dengan membatasi ukuran DG yang akan dipasang pada sistem.
4. Pemasangan DG menyebabkan adanya arus arah balik (*reverse current*) mengalir pada sistem yang dapat menyebabkan urutan kerja rele menjadi tidak sesuai. Pemasangan rele arah dapat mengatasi permasalahan ini.
5. Pemasangan DG berjenis PV juga meningkatkan Arus gangguan namun nilainya lebih kecil daripada DG berjenis generator sinkron karena tidak adanya pengaruh dari reaktansi.

4.7 Saran

1. Simulasi yang dilakukan pada tugas akhir ini menggunakan DG berjenis generator sinkron, penelitian lebih lanjut dapat dilakukan dengan menggunakan DG berjenis inverter untuk mengetahui dampak dari tipe dan teknologi DG pada arus gangguan hubung singkat dan rele arus lebih.
2. Simulasi juga dapat dilakukan ulang dengan memperhitungkan regulasi tegangan pada setiap perhitungan.

Halaman sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Gonzalez-Longatt, dan Fortoul C., “Review of Distributed Generation Concept: Attempt of Unification”, RE&PQJ, Vol.1, No.3, March, 2005.
- [2] Peter A. Daly dan Jay Morrison, “Understanding the Potential Benefits of Distributed Generation on Power Delivery System”, Proc. Rural Electric Power Conference, pp A2/1-13, 2001.
- [3] H.H. Zeineldin, “Distributed Generation Micro-grid Operation: Control, Protection and Electricity Market Operation”, PhD. Dissertation, Dept. Electrical and Computer Eng., Univ. Waterloo, Canada, 2006.
- [4] R. Lasseter, A. Akhil, C. Marney, J. Stephens, J. Dagle, R. Guttromson, A. Sakis Meliopoulos, R. Yinger and J. Eto, “Integration of Distributed Energy Resource – The CERTS Microgrid Concept”, Tech. Rep. LNBL-50829, April 2002.
- [5] S. Abu-Sharkh, R. Li, T. Markvart, N. Ross, P. Wilson, R. Yoo, K. Steemer, J. Kohler and R. Arnold, “Microgrids: Distributed on-site Generation”, Tyndall Center for Climate Changes, March, 2005.
- [6] CIGRE TF38.01.10 “Modeling New Forms of Generation and Storage”, November, 2000.
- [7] Barker, P., Jim Feltes and David Smith, "Determining the Impact of Distributed Generation on Power Systems: Part 2 - Low Voltage Network Systems and DG Dynamics", Power Engineering Society Summer Meeting, 2000.
- [8] Edward, C., Johanna Myrzik and Wil Kling, “Distributed Generation”, University Campus STeP InTech Europe, Croatia, Ch. 5, 2010.
- [9] Barker, P., Jim Feltes and David Smith, "Determining the Impact of Distributed Generation on Power Systems: Part 1 - Radial Distribution Systems", Power Engineering Society Summer Meeting, 2000.
- [10] K Kauhaniemi, L. K., “Impact of Distributed Generation on the Protection of Distribution Networks”, University of Vaasa, VTT Technical Research Centre of Finland, Finland, 2004.
- [11] Anderson, P.M. “*Power System Protection*”, John Wiley & Sons, Inc., Canada, Ch. 3, 1998.
- [12] Trip Curve, “IEC-SIT-SIT-A-10PU_1”, Scheider Electric, 2008.

- [13] Gurevich, Vladimir, "*Electric Relays, Principle and Application*", CRC Press, USA, CH. 10, 2006.
- [14] WWW.IEEE.ORG, IEEE Test Feeders.
- [15] Kersting, W.H., "Radial Distribution Test Feeders", Transaction on Power System, pp. 975-985, August, 1991.
- [16] Neumann, Tobias., dan Istvan Erlich, "Short Circuit Current Contribution of a Photovoltaic Power Plant", IFAC Proceedings Volumes, Issue 21, 2012.

BIOGRAFI PENULIS



Rony Yusuf Rahmatullah, dilahirkan di Jember tanggal 28 November 1992. Penulis merupakan putra pertama dari Bapak Rohadi dan Ibu Menik Handayani. Penulis memasuki pendidikan SDN Jember Kidul 1 (2005), SMPN 1 Jember (2008), SMAN 1 Jember (2011), kemudian memutuskan melanjutkan studi ke perguruan tinggi negeri Institut Teknologi Sepuluh Nopember memilih Departemen Teknik Elektro. Pada masa perkuliahan penulis aktif pada kegiatan sosial di dalam dan luar lingkungan kampus. Penulis juga beberapa kali menjadi anggota kepanitiaan *event* kampus dan mengikuti seminar seminar yang diadakan pihak institut ataupun yang diadakan pihak luar kampus. Pada bulan Juni 2019, penulis mengikuti seminar Tugas Akhir sebagai salah persyaratan untuk memperoleh gelar sarjana Teknik Elektro.

Halaman sengaja dikosongkan