



**ANALISIS PENGARUH PENAMBAHAN *DISTRIBUTED
GENERATION* (DG) PADA JARINGAN DISTRIBUSI RADIAL
TERHADAP KOORDINASI PROTEKSI**

SKRIPSI

Oleh

**Mohamad Hasbullah
NIM 121910201059**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2016**



**ANALISIS PENGARUH PENAMBAHAN *DISTRIBUTED*
GENERATION (DG) PADA JARINGAN DISTRIBUSI RADIAL
TERHADAP KOORDINASI PROTEKSI**

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi skripsi dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi S1 Teknik Elektro
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh

**Mohamad Hasbullah
NIM 121910201059**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2016**

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Ibu Aspiyah dan Bapak Mustaji yang tersayang;
2. Guru-guru sejak sekolah dasar sampai dengan Perguruan Tinggi;
3. Almamater Fakultas Teknik Universitas Jember.



MOTO

*Karena sesudah kesulitan itu ada kemudahan
(terjemahan Q.S Al Inshirah ayat 5)*

*Belajar dari masa lalu, hidup untuk masa kini, dan berharap
untuk masa yang akan datang
(Albert Einstein)*

*Satu ons aksi lebih berharga daripada satu ton teori
(Friedrich Engels)*



PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Mohamad Hasbullah

NIM : 121910201059

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul “Analisis Pengaruh Penambahan *Distributed Generation* (DG) pada Jaringan Distribusi Radial Terhadap Koordinasi Proteksi” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan dalam institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, Juni 2016

Yang menyatakan,

Mohamad Hasbullah

NIM 121910201059

SKRIPSI

ANALISIS PENGARUH PENAMBAHAN *DISTRIBUTED GENERATION* (DG) PADA JARINGAN DISTRIBUSI RADIAL TERHADAP KOORDINASI PROTEKSI

Oleh

Mohamad Hasbullah
NIM 121910201059

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Azmi Saleh, S.T., M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Ir. Widyono Hadi, M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Analisis Pengaruh Penambahan *Distributed Generation* (DG) pada Jaringan Distribusi Radial Terhadap Koordinasi Proteksi” telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal : Selasa, 7 Juni 2016

tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember.

Tim Penguji:

Pembimbing Utama,

Pembimbing Anggota,

Dr. Azmi Saleh, S.T., M.T.
NIP 19710614 199702 1 001

Ir. Widyono Hadi, M.T.
NIP 19610414 198902 1 001

Penguji I,

Penguji II,

H.R.B. Moch. Gozali, S.T., M.T.
NIP 19690608 199903 1 002

Suprihadi Prasetyono, S.T., M.T.
NIP 19700404 199601 1 001

Mengesahkan
Dekan Fakultas Teknik,

Dr.Ir. Entin Hidayah, M.U.M.
NIP 19661215 199503 2 001

Analisis Pengaruh Penambahan *Distributed Generation* (DG) pada Jaringan Distribusi Radial Terhadap Koordinasi Proteksi

Mohamad Hasbullah

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember

ABSTRAK

Distributed Generator (DG) merupakan suatu pembangkitan yang dipasang di jaringan distribusi dengan maksud untuk mengurangi drop tegangan dan rugi-rugi daya yang timbul karena impedansi saluran. Dalam penerapannya penambahan DG pada jaringan distribusi bisa mengakibatkan peningkatan level arus gangguan pada sistem yang pada akhirnya juga bisa mengakibatkan miskoordinasi diantara peralatan-peralatan proteksi pada jaringan distribusi. Analisis hubung singkat pada jaringan distribusi dengan penambahan unit DG ditujukan untuk menganalisis pengaruh penambahan DG terhadap koordinasi peralatan-peralatan proteksi pada jaringan distribusi. Penelitian ini menggunakan jaringan standar IEEE 33 bus sebagai jaringan distribusi radial uji dengan koordinasi proteksi antara recloser dan fuse. Dari hasil pengujian didapatkan pada penempatan DG di bus 5 menyebabkan peningkatan arus hubung singkat menjadi sebesar 19.037 A dan miskoordinasi terjadi pada semua lokasi gangguan yang berada di daerah proteksi recloser dan fuse. Sedangkan untuk penempatan DG di bus 10 menyebabkan peningkatan arus hubung singkat sebesar 17.697 A dan miskoordinasi terjadi pada 10 lokasi bus gangguan. Untuk penempatan dua unit DG di bus 5 dan bus 10 menyebabkan peningkatan arus hubung singkat menjadi sebesar 20.408 A dan miskoordinasi terjadi pada semua lokasi gangguan.

Kata kunci: *Distributed Generation* (DG), Arus Hubung Singkat, Koordinasi Proteksi

Analysis of the Impact of Adding Distributed Generation (DG) in Radial Distribution Network to the Protection Coordination

Mohamad Hasbullah

Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember

ABSTRACT

Distributed Generator (DG) is a generation that is installed in the distribution network in order to reduce the the voltage drop and power losses arising due to line impedance. In its application, adding DG in the distribution network can result in increased fault current level in the system that ultimately can lead to misscoordination between protection devices in the distribution network. Short circuit analysis on the distribution network with the addition of DG unit is intended to analyze the effect of DG on the coordination of protective devices in the distribution network. This study uses standard IEEE 33 bus as test radial distribution network in coordination protection between the recloser and fuse. From the test results obtained in the placement of DG at the bus 5 led to an increase in short circuit current amounted to 19.037 A and misscoordination happens all the fault location which is in the recloser and fuse protection. While DG placement at bus 10 causes an increase in short circuit current of 17.697 A and misscoordination occurred in 10 locations disorder bus. For the placement of two units of DG at the bus 5 and the bus 10 causes increase in short circuit current amounted to 20.408 A and misscoordination happens all the fault location.

Keywords: *Distributed Generation (DG), Short Circuit Current, Protection Coordination*

RINGKASAN

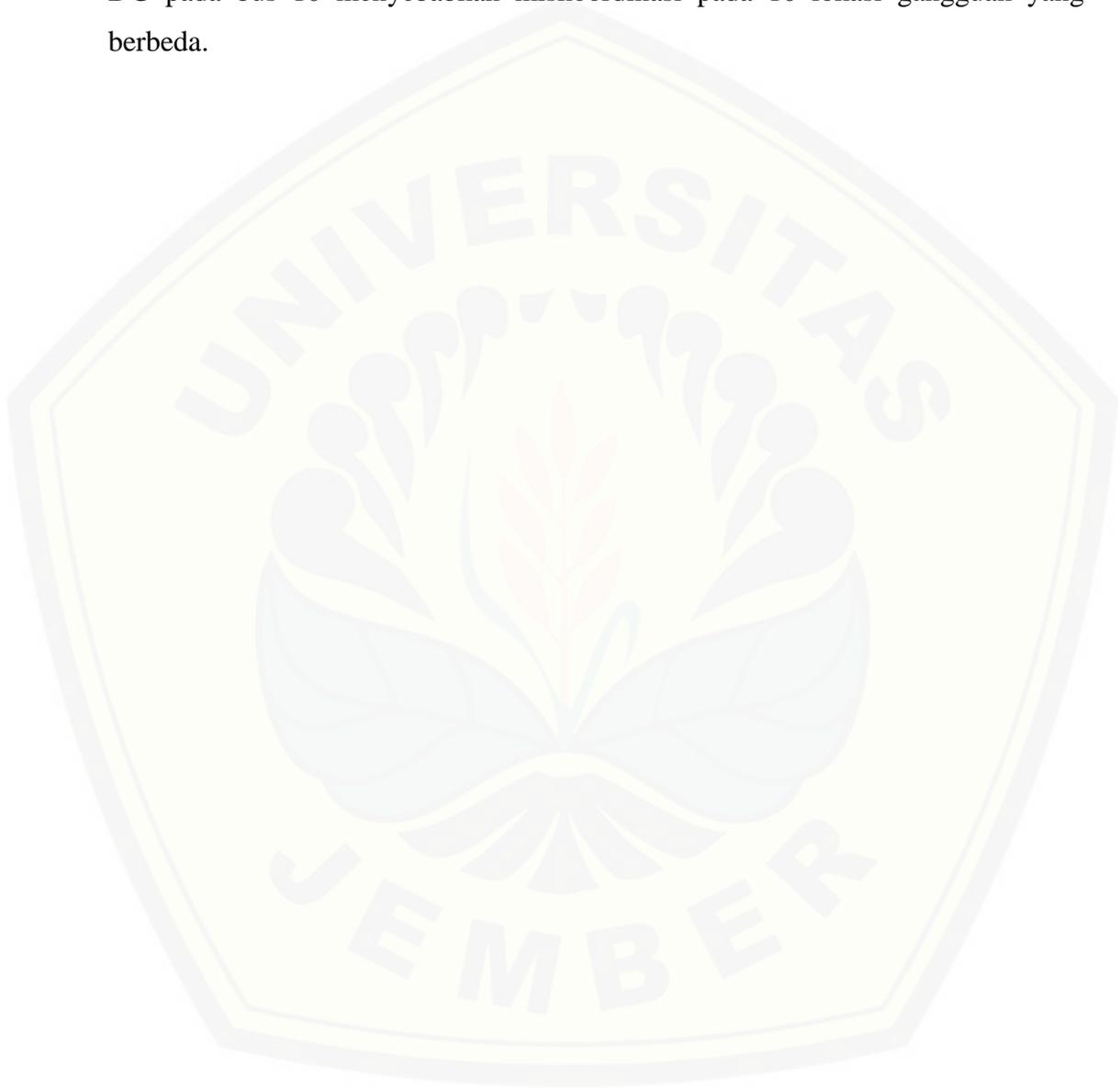
Analisis Pengaruh Penambahan *Distributed Generation* (DG) pada Jaringan Distribusi Radial Terhadap Koordinasi Proteksi; Mohamad Hasbullah, 121910201059; 2016: 70 halaman; Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Sistem distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang berfungsi untuk menyalurkan dan mendistribusikan daya listrik yang berasal dari pusat pembangkit ke konsumen. Pertumbuhan beban yang terus meningkat, mengharuskan sistem distribusi mampu memberikan penyaluran daya listrik yang cukup dan sesuai dengan permintaan daya listrik yang dibutuhkan oleh konsumen. Semakin meningkatnya permintaan daya ditambah sumber energi tak terbarukan yang semakin menipis yakni bahan bakar fosil menyebabkan dibutuhkan suatu sumber energi baru yang menggunakan energi terbarukan. *Distributed Generation* (DG) merupakan suatu pembangkitan yang dipasang di jaringan distribusi dengan maksud untuk mengurangi drop tegangan dan rugi-rugi daya yang timbul karena impedansi saluran.

Selain memiliki beberapa keuntungan yang didapat dari pemasangan DG seperti meningkatkan kualitas tegangan dan mengurangi rugi-rugi daya pada saluran distribusi, pemasangan DG bisa menyebabkan permasalahan pada jaringan distribusi. Penambahan DG pada jaringan distribusi bisa mengakibatkan peningkatan level arus gangguan pada sistem yang pada akhirnya juga bisa mengakibatkan miskoordinasi diantara peralatan-peralatan proteksi pada jaringan distribusi. Pada penelitian ini dilakukan analisis hubung singkat pada jaringan distribusi dengan penambahan unit DG untuk menganalisis pengaruh penambahan DG terhadap koordinasi proteksiantara recloser dan fuse pada jaringan distribusi.

Dari analisis yang dilakukan pada jaringan distribusi standar IEEE 33 bus, saat penambahan DG di bus 5 arus gangguan yang terbesar terjadi saat gangguan pada bus 5 sebesar 19.037 A dan terkecil terjadi saat gangguan di bus 18 dengan nilai 550 A. Saat penambahan DG di bus 10, arus hubung singkat tertinggi terjadi saat gangguan pada bus 10 dengan nilai 17.697 A dan terkecil saat

gangguan berada di bus 18 sebesar 864 A. Penambahan DG pada jaringan dapat mengakibatkan perubahan koordinasi antara recloser dan fuse, dimana miskoordinasi bisa terjadi saat penambahan DG. Pada penambahan DG di bus 5 mengakibatkan miskoordinasi antara recloser dan fuse saat terjadi gangguan pada semua bus yang berada pada daerah koordinasi recloser dan fuse. Penambahan DG pada bus 10 menyebabkan miskoordinasi pada 10 lokasi gangguan yang berbeda.



PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisis Pengaruh Penambahan Distributed Generation (DG) pada Jaringan Distribusi Radial Terhadap Koordinasi Proteksi”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Allah SWT, karena dengan hidayah dan karunianya skripsi ini terselesaikan;
2. Dr. Azmi Saleh, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama dan Ir. Widyono Hadi, M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran dan perhatian dalam penulisan skripsi ini;
3. H.R.B. Moch. Gozali, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji I dan Suprihadi Prasetyono, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji II yang telah memberikan kritik dan saran yang sangat membangun demi penyempurnaan skripsi ini;
4. Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing selama penulis menjadi mahasiswa;
5. Dedy Kurnia Setiawan, S.T., M.T. selaku Kaprodi S1 selanjutnya yang telah membantu penulisan skripsi secara administratif;
6. Agung Prawira N, S.T., M.T. selaku Komisi Bimbingan S1 yang telah membantu penulisan skripsi secara administratif;
7. Ibu Aspiyah dan Bapak Mustaji yang telah memberikan dukungan moril dan materiil serta kasih sayang yang tak terhingga;
8. Teman-teman “The Squad” Dony Kurniawan T dan Aditya Rizky Kurniawan ‘Celeng’ yang telah memberikan semangat dan dorongan untuk terselesainya skripsi ini;
9. Teman-teman kontrakan D’Brantas XI 83 yang telah memberikan semangat dan dorongan untuk terselesainya skripsi ini;
10. Teman-teman Elektro’12 (SATE UJ) yang telah memberikan semangat dan dorongan untuk terselesainya skripsi ini;

11. Keluarga besar Himpunan Mahasiswa Elektro (HME), terima kasih telah memberikan aspirasi dan pembelajaran;
12. PT. YTL Jawa Timur yang telah memberikan banyak ilmu di dunia kerja yang sangat bermanfaat;
13. UKM Robotika Teknik yang telah memberikan banyak ilmu dan pengalaman berharga;
14. Teman-teman Kuliah Kerja Nyata PPM 01 Desa Ngampelrejo, Kabupaten Jember;
15. Nita 'kokom' yang telah memberikan semangat dan doanya.
16. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis juga menerima semua kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

Jember, Juni 2016

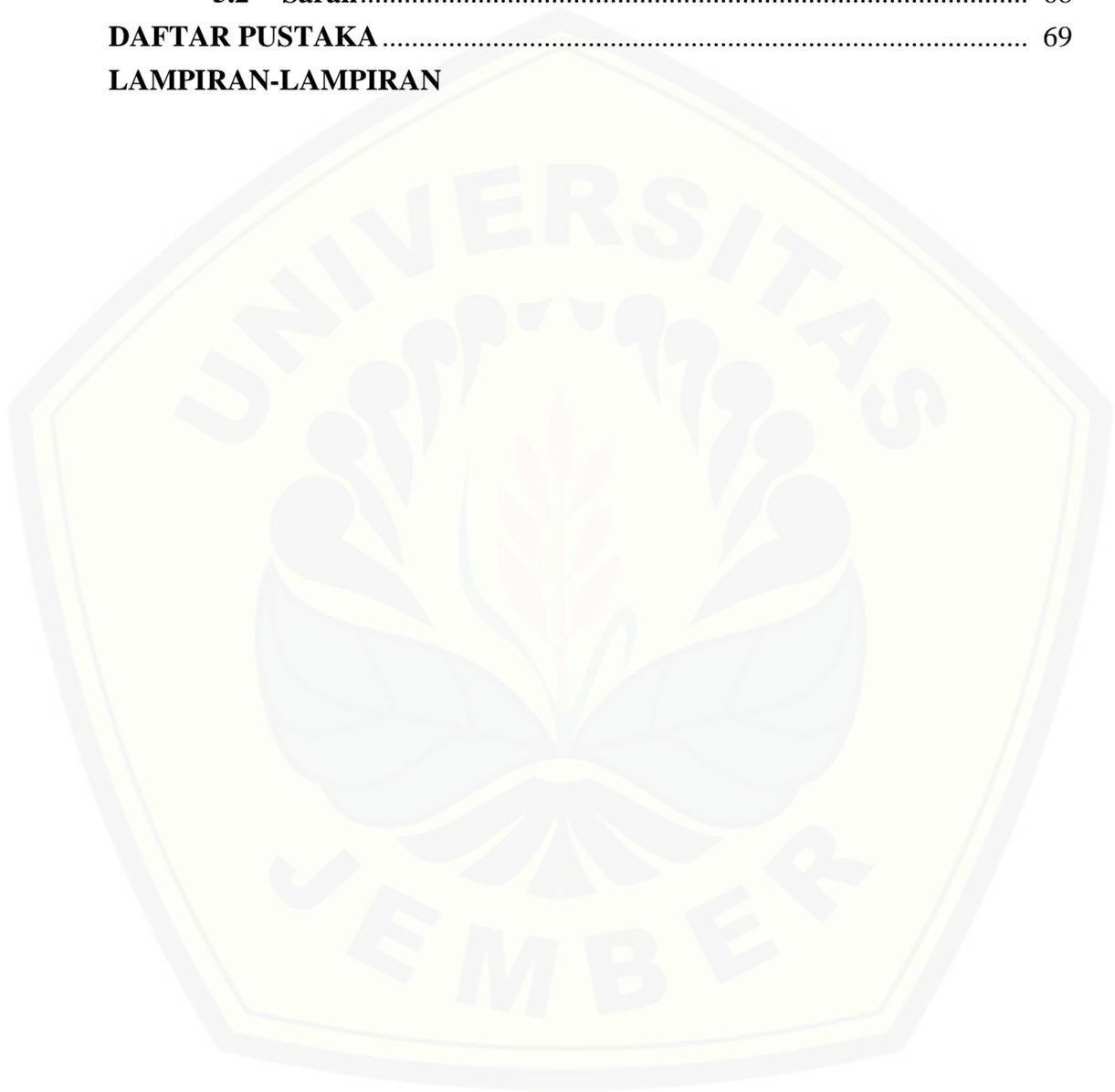
Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
HALAMAN MOTO	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
HALAMAN PEMBIMBINGAN	vi
HALAMAN PEMNGESAHAN	vii
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
RINGKASAN	x
PRAKATA	xii
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xix
DAFTAR LAMPIRAN	xx
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan	3
1.5 Manfaat	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB 2. TINJAUAN PUSATAKA	5
2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik	5
2.1.1 Pengertian Distribusi Tenaga Listrik	5
2.1.2 Jaringan Distribusi Radial	6
2.2 Distributed generation (DG)	10
2.2.1 Defenisi Distributed Generation	10
2.2.2 Pemasangan (Interkoneksi) DG	11
2.3 Gangguan Hubung Singkat	12
2.3.1 Komponen Simetris	14
2.3.2 Jenis Gangguan Hubung Singkat	16

2.4	Sistem Proteksi pada Jaringan Distribusi.....	17
2.4.1	Recloser	19
2.4.2	<i>Fuse Cut Out (FCO)</i>	23
2.5	Mekanisme Koordinasi Proteksi Antara Recloser-Fuse.....	26
2.5.1	Koordinasi Saat Tanpa Penambahan DG.....	27
2.5.2	Koordinasi Saat Adanya Penambahan DG pada Jaringan.....	28
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN		29
3.1	Tempat dan Waktu Penelitian	29
3.2	Prosedur Penelitian	29
3.3	Perencanaan Jadwal Penelitian.....	31
3.4	Alat dan Bahan	31
3.4.1	Alat.....	31
3.4.2	Bahan	32
3.5	Diagram Alir Penelitian.....	33
3.6	Flowchart Sistem	34
3.7	Data Jaringan Distribusi Radial Uji Standard IEEE 33 Bus.....	35
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN		38
4.1	Analisa Aliran Daya pada Jaringan Distribusi Standar IEEE 33 Bus	38
4.2	Penambahan Recloser dan Fuse pada Jaringan.....	40
4.3	Analisis Hubung Singkat pada Jaringan Sebelum Penambahan DG.....	49
4.4	Koordinasi Proteksi Sebelum Penambahan DG pada Jaringan.....	51
4.5	Analisis Hubung Singkat dengan Penambahan DG 900 KW di Bus 5	54
4.6	Koordinasi Proteksi dengan Penambahan DG 900 KW di Bus 5.....	56
4.7	Analisis Hubung Singkat dengan Penambahan DG 900 KW di Bus 10	59
4.8	Koordinasi Proteksi dengan Penambahan DG 900 KW di Bus 10.....	60
4.9	Analisis Hubung Singkat dengan Penambahan Dua Unit DG 900 KW di Bus 5 dan Bus 10	63

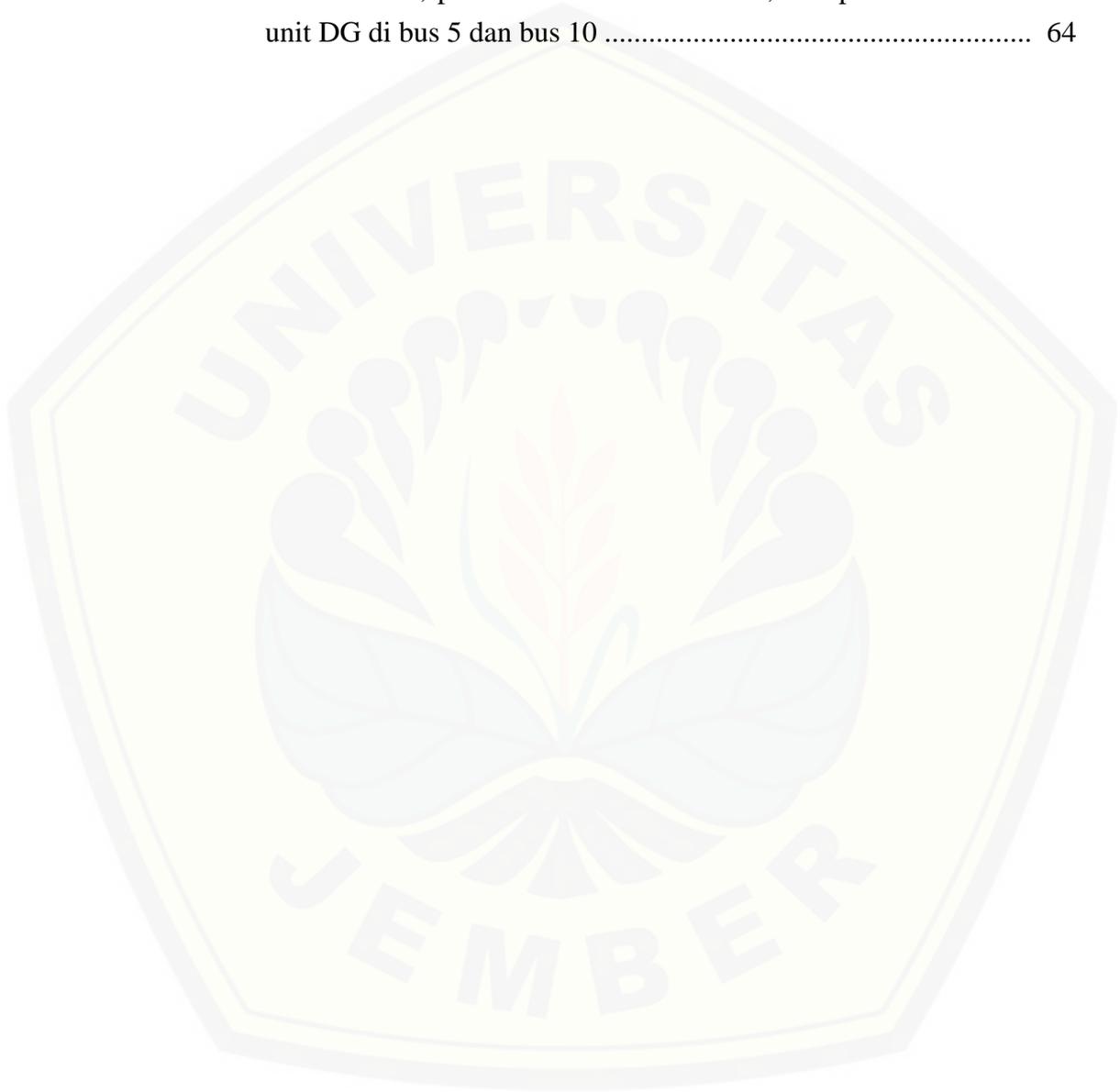
4.10 Koordinasi Proteksi dengan Penambahan Dua Unit DG 900 KW di Bus 5 dan Bus 10	64
BAB 5. PENUTUP	67
5.1 Kesimpulan	68
5.2 Saran	68
DAFTAR PUSTAKA	69
LAMPIRAN-LAMPIRAN	



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Jaringan radial tipe pohon	7
Gambar 2.2 Komponen jaringan radial.....	7
Gambar 2.3 Jaringan radial dengan Tie dan switch	8
Gambar 2.4 Jaringan radial tipe pusat beban	9
Gambar 2.5 Jaringan radial tipe <i>phase area</i>	9
Gambar 2.6 Interkoneksi DG	11
Gambar 2.7 Komponen urutan untuk tegangan	15
Gambar 2.8 Komponen urutan untuk arus	15
Gambar 2.9 <i>Single shot reclosing relay</i>	20
Gambar 2.10 <i>Multi shot reclosing relay</i>	21
Gambar 2.11 Diagram waktu kerja <i>multi shot reclosing relay</i>	21
Gambar 2.12 Fuse pada jaringan distribusi.....	25
Gambar 2.13 Kurva koordinasi proteksi recloser- <i>fuse</i>	27
Gambar 2.14 Arus hubung singkat saat tanpa adanya DG yang terpasang pada jaringan.....	27
Gambar 2.15 Arus hubung singkat saat dengan DG terpasang pada jaringan	28
Gambar 3.1 Flowchart penelitian.....	33
Gambar 3.1 Flowchart sistem	34
Gambar 3.3 Jaringan Distribusi Radial Uji Standard IEEE 33 Bus.....	37
Gambar 4.1 Grafik aliran daya pada jaringan	39
Gambar 4.2 Grafik aliran arus listrik pada jaringan.....	39
Gambar 4.3 Penempatan recloser dan fuse pada jaringan.....	41
Gambar 4.4 Kurva karakteristik waktu pemutusan recloser	42
Gambar 4.5 Kurva karakteristik waktu pemutusan fuse F1 dan F4.....	44
Gambar 4.6 Kurva karakteristik waktu pemutusan fuse F2, F3, dan F6.....	45
Gambar 4.7 Kurva karakteristik waktu pemutusan fuse F5.....	46
Gambar 4.8 Kurva koordinasi recloser-fuse	48
Gambar 4.9 Grafik hubung singkat sebelum penambahan DG pada jaringan ...	50
Gambar 4.10 Grafik koordinasi waktu pemutusan recloser dan fuse F1.....	53
Gambar 4.11 Grafik hubung singkat sebelum dan sesudah penambahan DG di bus 5.....	55

Gambar 4.12 Grafik hubung singkat sebelum dan sesudah penambahan DG di bus 10.....	60
Gambar 4.13 Grafik hubung singkat sebelum penambahan DG, penambahan DG di bus 5, penambahan DG di bus 10, dan penambahan 2 unit DG di bus 5 dan bus 10	64



DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1 Perencanaan Jadwal Penelitian	31
Tabel 3.2 Data Impedansi pada Tiap Saluran	35
Tabel 3.3 Data Pembebanan Tiap Bus	36
Tabel 4.1 Tabel 4.1 Aliran Daya dan Arus Listrik pada Jaringan IEEE 33 Bus	38
Tabel 4.2 Ukuran alat proteksi.....	47
Tabel 4.3 Arus hubung singkat sebelum penambahan DG pada jaringan.....	49
Tabel 4.4 Arus hubung singkat yang melalui recloser dan fuse	51
Tabel 4.5 Waktu Pemutusan Peralatan Proteksi Saat Tanpa Penambahan DG	52
Tabel 4.6 Arus hubung singkat dengan penambahan DG pada bus 5	55
Tabel 4.7 Arus hubung singkat yang melalui recloser dan fuse dengan penambahan DG di bus 5	57
Tabel 4.8 Waktu pemutusan peralatan proteksi dengan penambahan DG di bus 5	58
Tabel 4.9 Arus hubung singkat dengan penambahan DG pada bus 10	59
Tabel 4.10 Arus hubung singkat yang melalui recloser dan fuse dengan penambahan DG di bus 10	61
Tabel 4.11 Waktu pemutusan peralatan proteksi saat penambahan DG di bus 10	62
Tabel 4.12 Arus hubung singkat pada jaringan dengan penambahan 2 unit DG di bus 5 dan bus 10	63
Tabel 4.13 Arus hubung singkat yang melalui recloser dan fuse dengan penambahan dua unit DG di bus 5 dan bus 10.....	65
Tabel 4.14 Waktu pemutusan peralatan proteksi dengan penambahan dua unit DG di bus 5 dan bus 10.....	66

DAFTAR LAMPIRAN

- A. Single Line Diagram Sistem Distribusi Standar IEEE 33 Bus pada Menggunakan Etap 7.5 dengan Penambahan Recloser dan Fuse
- B. Data Aliran Daya dan Arus Listrik pada Jaringan IEEE 33 Bus Menggunakan Etap 7.5
- C. Hasil Simulasi Hubung Singkat pada Etap 7.5 Saat Lokasi Gangguan di Bus 2
- D. Data Arus Hubung Singkat 3 Fasa pada Jaringan IEEE 33 Bus Menggunakan Etap 7.5
- E. Data Arus Hubung Singkat Yang Melalui Recloser dan Fuse pada Jaringan IEEE 33 Bus Menggunakan Etap 7.5
- F. Data Waktu Pemutusan Peralatan Proteksi pada Jaringan IEEE 33 Bus Menggunakan Etap 7.5
- G. Data Arus Hubung Singkat 3 Fasa pada Jaringan IEEE 33 Bus dengan Penambahan DG 900 kW pada Bus 5 Menggunakan Etap 7.5
- H. Data Arus Hubung Singkat Yang Melalui Recloser dan Fuse pada Jaringan IEEE 33 Bus dengan Penambahan DG 900 kW Di Bus 5 Menggunakan Etap 7.5
- I. Data Waktu Pemutusan Peralatan Proteksi pada Jaringan IEEE 33 Bus dengan Penambahan DG 900 kW Di Bus 5 Menggunakan Etap 7.5
- J. Data Arus Hubung Singkat 3 Fasa pada Jaringan IEEE 33 Bus dengan Penambahan DG 900 kW Di Bus 10 Menggunakan Etap 7.5
- K. Data Arus Hubung Singkat Yang Melalui Recloser dan Fuse pada Jaringan IEEE 33 Bus dengan Penambahan DG 900 kW Di Bus 10 Menggunakan Etap 7.5
- L. Data Waktu Pemutusan Peralatan Proteksi pada Jaringan IEEE 33 Bus dengan Penambahan DG 900 kW Di Bus 10 Menggunakan Etap 7.5
- M. Data Arus Hubung Singkat 3 Fasa pada Jaringan IEEE 33 Bus dengan Penambahan 2 DG 900 kW Di Bus 5 dan Bus 10 Menggunakan Etap 7.5
- N. Data Arus Hubung Singkat Yang Melalui Recloser dan Fuse pada Jaringan IEEE 33 Bus dengan Penambahan 2 DG 900 kW Di Bus 5 dan Bus 10 Menggunakan Etap 7.5
- O. Data Waktu Pemutusan Peralatan Proteksi pada Jaringan IEEE 33 Bus dengan Penambahan 2 DG 900 kW Di Bus 5 dan Bus 10 Menggunakan Etap 7.5

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan tenaga listrik sudah menjadi kebutuhan primer bagi manusia. Segala perangkat penunjang kegiatan manusia hampir selalu memerlukan energi listrik. Oleh karenanya tak berlebihan bahwa tenaga listrik bisa dikatakan sebagai salah satu kebutuhan utama bagi penunjang dan pemenuhan kebutuhan hidup umat manusia. Beberapa tantangan besar yang dihadapi dunia pada masa kini, antara lain, bagaimana menemukan sumber energi baru, mendapatkan sumber energi yang pada dasarnya tidak akan pernah habis untuk masa mendatang, menyediakan energi di mana saja diperlukan, dan mengubah energi dari satu ke lain bentuk, serta memanfaatkannya tanpa menimbulkan pencemaran yang dapat merusak lingkungan hidup kita. Dibanding dengan bentuk energi yang lain, tenaga listrik merupakan salah satu bentuk energi yang praktis dan sederhana. Di samping itu tenaga listrik juga mudah disalurkan dari dan pada jarak yang berjauhan, mudah didistribusikan untuk area yang luas, mudah diubah ke dalam bentuk energi lain, dan bersih (ramah lingkungan).

Sistem distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang berfungsi untuk menyalurkan dan mendistribusikan daya listrik yang berasal dari pusat pembangkit ke konsumen. Pertumbuhan beban yang terus meningkat, mengharuskan sistem distribusi mampu memberikan penyaluran daya listrik yang cukup dan sesuai dengan permintaan daya listrik yang dibutuhkan oleh konsumen.

Semakin meningkatnya permintaan daya ditambah sumber energi tak terbarukan yang semakin menipis yakni bahan bakar fosil menyebabkan dibutuhkan suatu sumber energi baru yang menggunakan energi terbarukan. *Distributed Generator* (DG) merupakan suatu pembangkitan yang dipasang di jaringan distribusi dengan maksud untuk mengurangi drop tegangan dan rugi-rugi daya yang timbul karena impedansi saluran.

DG dinilai sebagai suatu solusi yang tepat untuk mengatasi kekurangan pasokan energi listrik maupun mengatasi problematika sistem distribusi listrik

seperti rugi-rugi daya listrik, keseimbangan sistem distribusi listrik, dan juga mengatasi beban kritis yang mengalami *drop* tegangan. Dikarenakan DG yang terletak dipusat-pusat beban, maka DG selain dapat langsung melayani beban yang membutuhkan energi listrik tambahan juga dapat diinterkoneksi ke jaringan distribusi listrik untuk optimalisasi keandalan jaringan distribusi tersebut. (B. Venkatesh, R. Ranjan. 2003)

Penelitian sebelumnya telah membahas mengenai beberapa keuntungan yang didapat dari pemasangan DG seperti meningkatkan kualitas tegangan dan mengurangi rugi-rugi daya pada saluran distribusi (Adhiyatma, 2014). Selain keuntungan yang didapatkan tersebut, pemasangan DG juga bisa menyebabkan permasalahan pada jaringan distribusi. Penambahan DG pada jaringan distribusi bisa mengakibatkan peningkatan level arus gangguan pada sistem yang pada akhirnya juga bisa mengakibatkan miskordinasi diantara peralatan-peralatan proteksi pada jaringan distribusi.

Pada penelitian ini akan membahas mengenai permasalahan yang ditimbulkan setelah pemasangan DG pada jaringan distribusi. Dari penelitian ini diharapkan bisa diketahui pengaruh pemasangan DG dengan lokasi yang berbeda terhadap koordinasi peralatan proteksi, sehingga didapatkan lokasi yang sesuai untuk pemasangan DG tanpa mengubah koordinasi proteksi yang sudah ada.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah yang bisa diambil adalah sebagai berikut :

- 1) Bagaimana pengaruh pemasangan DG terhadap level arus gangguan hubung singkat pada jaringan distribusi?
- 2) Bagaimana pengaruh pemasangan DG terhadap koordinasi peralatan proteksi pada jaringan distribusi?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- 1) Simulasi menggunakan *software* ETAP 7.5.
- 2) Koordinasi yang dilakukan antara recloser dan fuse.
- 3) Tidak membahas secara mendetail mengenai spesifikasi dari recloser dan fuse yang digunakan.
- 4) Penempatan *distributed generation* dilakukan secara acak.
- 5) Analisis hubung singkat yang dilakukan adalah hubung singkat tiga fasa.

1.4 Tujuan

Adapun tujuan yang akan dicapai dalam melaksanakan penelitian ini adalah sebagai berikut :

- 1) Menganalisa pengaruh pemasangan DG terhadap level arus gangguan hubung singkat pada jaringan distribusi.
- 2) Untuk mengetahui pengaruh pemasangan DG terhadap koordinasi peralatan proteksi pada jaringan distribusi.

1.5 Manfaat

Adapun manfaat yang diharapkan setelah melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut :

- 1) Dapat menerapkan analisa hubung singkat untuk mengetahui pengaruh pemasangan DG terhadap koordinasi proteksi pada jaringan distribusi.
- 2) Diharapkan dapat memberikan acuan untuk mendapatkan solusi dalam pemasangan DG tanpa mengubah koordinasi peralatan proteksi yang sudah ada.

1.6 Sistematika Penulisan

Secara garis besar penyusunan proposal skripsi adalah sebagai berikut:

BAB 1. PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat dan sistematika pembahasan.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Berisi tentang penjelasan teori yang menguraikan pendapat atau hasil penelitian terdahulu yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

Menjelaskan tentang metode kajian yang di gunakan untuk menyelesaikan skripsi.

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisi hasil penelitian dan analisi hasil penelitian.

BAB 5. PENUTUP

Berisi tentang kesimpulan dan saran dari penulis.

BAB 2. TINJAUAN PUSATAKA

2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

2.1.1 Pengertian Distribusi Tenaga Listrik

Sistem distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik, sistem distribusi ini berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar (*bulk power source*) sampai ke konsumen.

Dalam sebuah sistem pembangkit akan menghasilkan sebuah listrik yang besar, dimana tegangan yang dihasilkan antara lain tegangan dari 11 kV sampai 24 kV kemudian tegangan tersebut dinaikan oleh gardu induk dengan transformator penaik tegangan 70 kV, 154 kV, 220 kV, dan 500 kV yang kemudian disalurkan melalui saluran transmisi. Tujuan menaikkan tegangan ialah untuk memperkecil kerugian daya listrik pada saluran transmisi, dimana dalam hal ini kerugian daya adalah sebanding dengan kuadrat arus yang mengalir. Dengan daya yang sama bila nilai tegangannya diperbesar, maka arus yang mengalir semakin kecil sehingga kerugian daya akan mengecil juga akan kecil pula. Dari saluran transmisi tegangan diturunkan kembali menjadi 20 kV dengan transformator penurun tegangan pada gardu induk distribusi, kemudian dengan sistem tenaga tersebut penyaluran tenaga listrik dilakukan oleh saluran distribusi. Dari saluran distribusi inilah gardu-gardu induk distribusi mengambil tegangan untuk diturunkan tegangannya dengan trafo distribusi menjadi sistem tegangan rendah. Selanjutnya disalurkan oleh saluran distribusi sekunder kekonsumen-konsumen.

Fungsi distribusi tenaga listrik antara lain adalah sebagai berikut :

- 1) Pembagian atau penyaluran tenaga listrik ke beberapa tempat (pelanggan)
- 2) Merupakan sub sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan, karena catu daya pada pusat-pusat beban (pelanggan) dilayani langsung melalui jaringan distribusi.

Sistem distribusi di bedakan menjadi dua yaitu sistem distribusi primer dan sistem distribusi sekunder.

2.1.2 Jaringan Distribusi Radial

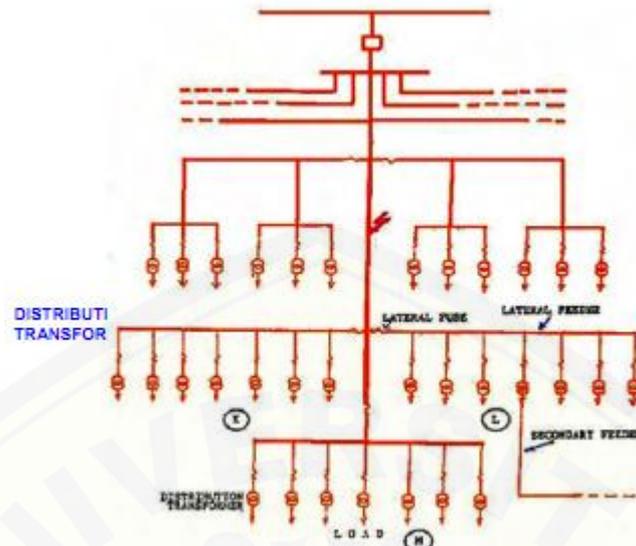
Bila antara titik sumber dan titik bebannya hanya terdapat satu saluran (*line*), tidak ada alternatif saluran lainnya. Bentuk jaringan ini merupakan bentuk dasar, paling sederhana dan paling banyak digunakan. Dinamakan radial karena saluran ini ditarik secara radial dari suatu titik yang merupakan sumber dari jaringan itu, dan pada cabang-cabang titik yang dilayani. Catu daya berasal dari satu titik sumber dan arena adanya percabangan-percabangan tersebut, maka arus beban yang mengalir sepanjang saluran menjadi tidak sama besar. Spesifikasi dari jaringan bentuk radial ini adalah sebagai berikut:

- 1) Bentuknya sederhana.
- 2) Biaya investasinya relatif murah.
- 3) Kualitas pelayanan dayanya relatif buruk, karena rugi tegangan dan rugi daya yang terjadi pada saluran relatif besar.
- 4) Kualitas pelayanan daya tidak terjamin, sebab antara titik sumber dan titik beban hanya ada satu alternatif sehingga bila saluran tersebut mengalami gangguan, maka saluran rangkaian sesudah titik gangguan akan mengalami “*black out*” secara total.

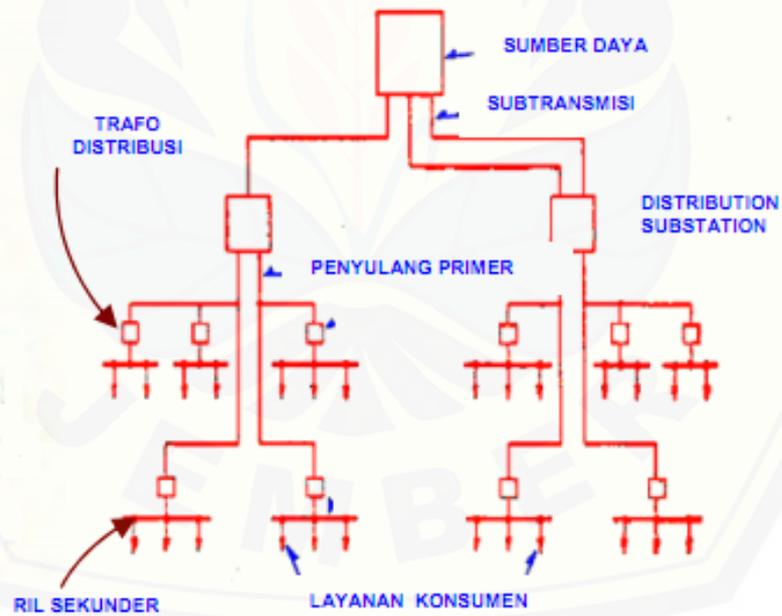
Jaringan distribusi radial ini memiliki beberapa bentuk modifikasi, antara lain sebagai berikut:

- 1) Jaringan radial tipe pohon

Bentuk ini merupakan bentuk yang paling dasar. Satu saluran utama dibentang menurut kebutuhannya, selanjutnya dicabangkan dengan daerah saluran cabang dan penyulang ini dicabang-cabang lagi dengan penyulang (anak cabang).



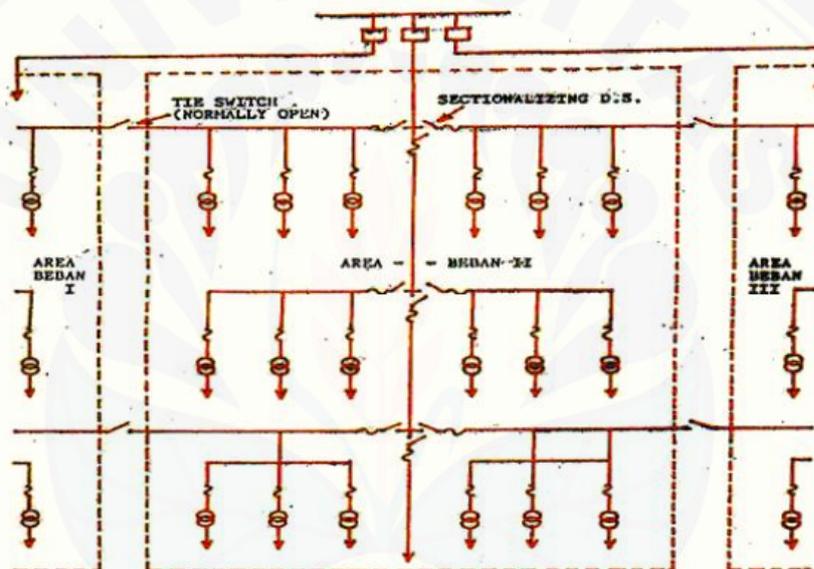
Gambar 2.1 Jaringan radial tipe pohon
(Sumber :Artono Arismunandar, 1975)



Gambar 2.2 Komponen jaringan radial
(Sumber :Artono Arismunandar, 1975)

2) Jaringan Radial dengan *Tie* dan *Switch* Pemisah

Bentuk ini merupakan modifikasi bentuk dasar dengan menambahkan *tie* dan *switch* pemisah, yang diperlukan untuk mempercepat pemulihan pelayanan bagi konsumen, dengan cara menghubungkan area-area yang tidak terganggu pada penyulang yang bersangkutan dengan penyulang di sekitarnya. Dengan demikian bagian penyulang yang terganggu dilokalisasi, dan bagian penyulang lainnya yang “segera dapat dioperasikan kembali, dengan cara melepas *switch* yang terhubung ketitik gangguan, dan menghubungkan bagian penyulang yang sehat ke penyulang di sekitarnya.

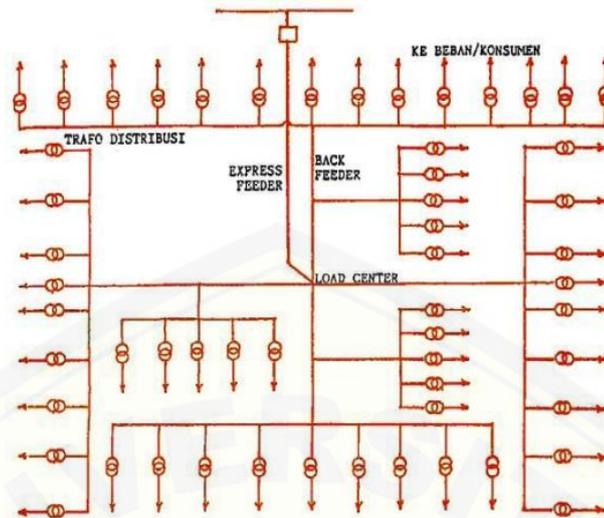


Gambar 2.3 Jaringan radial dengan Tie dan switch

(Sumber :Artono Arismunandar, 1975)

3) Jaringan radial Tipe Pusat Beban

Bentuk ini mencatu daya dengan menggunakan penyulang utama (*main feeder*) yang disebut “*express feeder*” langsung ke pusat beban, dan dari titik pusat beban ini disebar dengan menggunakan “*back feeder*” secara radial.

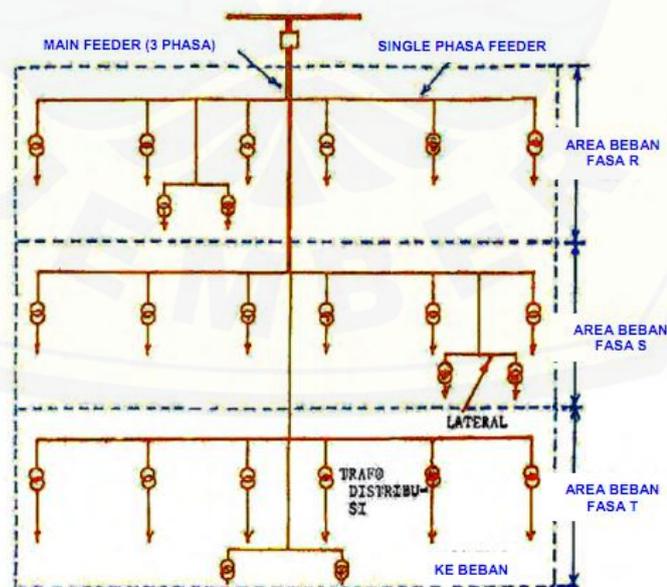


Gambar 2.4 Jaringan radial tipe pusat beban

(Sumber :Artono Arismunandar, 1975)

4) Jaringan Radial dengan Fasa Area

Pada bentuk ini masing-masing fasa dari jaringan bertugas melayani daerah beban yang berlainan. Bentuk ini akan dapat menimbulkan akibat kondisi sistem 3 fasa yang tidak seimbang (simetris), bila digunakan pada daerah beban yang baru dan belum mantap pembagian bebannya.



Gambar 2.5 Jaringan radial tipe *phase area*

(Sumber :Artono Arismunandar, 1975)

2.1 *Distributed generation (DG)*

Distributed generation seringkali disebut juga dengan *on-site generation*, *dispersed generation*, *embedded generation*, *decentralized generation*, atau *distributed energy*. Secara mendasar, DG menghasilkan energi listrik dari beberapa sumber energi yang berkapasitas kecil dan dihubungkan langsung pada jaringan distribusi.

2.2.1 Defenisi *Distributed Generation*

Beberapa definisi dari *distributed generation* tersebut menurut beberapa pihak, antara lain:

1) DPCA (*Distributed Power Coalition of America*)

Distributed power generation adalah teknologi pembangkitan energi listrik berskala kecil yang menghasilkan daya listrik di suatu tempat yang lebih dekat dengan konsumen dibandingkan dengan pembangkit listrik pusat. Pembangkit ini dapat dihubungkan secara langsung ke konsumen atau ke sistem distribusi atau transmisi milik utility.

2) CIGRE (*International Conference on High Voltage Electric System*)

Distributed generation adalah:

- a) Tidak direncanakan secara terpusat
- b) Untuk saat ini tidak dikirim secara terpusat
- c) Biasanya terhubung dengan jaringan distribusi
- d) Lebih kecil dari 50 atau 100 MW.

3) IEA (*International Energy Agency*)

Distributed generation adalah pembangkit listrik yang melayani konsumen di tempat (on-site), atau untuk mendukung jaringan distribusi, dan terhubung ke jaringan pada level tegangan distribusi. Teknologinya secara umum terdiri dari mesin, turbin kecil (termasuk turbin mikro), fuel cell dan photovoltaic. Umumnya, tenaga angin tidak termasuk ke dalamnya, karena sebagian besar tenaga angin diproduksi di wind-farm yang memang dibangun khusus untuk

tujuan tersebut, dan bukan untuk memenuhi kebutuhan energi di suatu tempat yang ada didekatnya (lebih banyak terhubung ke saluran transmisi, bukan distribusi).

2.2.2 Pemasangan (Interkoneksi) DG

Secara garis besar, interkoneksi pada DG terbagi atas tiga komponen, yaitu:

a. Sumber Energi Utama (*Prime Energy Source*)

Hal ini menunjuk pada teknologi DG sebagai sumber energi seperti energi surya, angin, mikrohidro, pasang surut dan biomassa. Setiap teknologi DG memiliki karakter yang berbeda-beda dalam menghasilkan energi, misalnya tipikal energi yang dihasilkan oleh PV dan fuel cell berupa direct current atau wind turbin yang tipikal energinya berupa energi mekanis (dihasilkan dari putaran pada turbin).



Gambar 2.6 Interkoneksi DG

b. *Power Converter*

Power converter dalam interkoneksi, berfungsi untuk mengubah energi dari sumber energi utama (*prime energy resources*) menjadi energi dengan level frekuensi tertentu (50Hz - 60Hz). Secara garis besar, ada 3 kategori *power converter* yang digunakan dalam interkoneksi, yaitu :

- 1) Generator sinkron
- 2) Generator induksi
- 3) Static power converter

Generator sinkron dan generator induksi mengkonversi putaran energi mekanis ke dalam tenaga listrik dan sering disebut dengan routing power converter. *Static power converter* (biasa dikenal dengan inverter) tersusun atas solid-device seperti transistor. Pada inverter, transistor mengkonversi energi dari sumber menjadi energi dengan frekuensi 50-60Hz dengan switching (switch on-off). Teknologi DG yang dijual di pasaran, kebanyakan telah diintegrasikan dengan *power converter* masing-masing. Misalnya fuel cell yang telah diintegrasikan dengan inverter. *Power converter* memiliki efek yang besar terhadap DG pada sistem distribusi. Oleh sebab itu dibutuhkan peralatan interkoneksi untuk menjamin keamanan dan kestabilan operasi. Generator sinkron, generator induksi dan inverter memberikan respon yang sangat berbeda terhadap variasi kondisi dari sistem tenaga.

c. Sistem Interface dan peralatan proteksi

Peralatan ini ditempatkan sebagai penghubung antara terminal output dari *power converter* dan jaringan primer. Komponen interkoneksi ini biasanya terdiri atas step-up transformer, metering kadang ditambahkan controller dan relay proteksi. Dalam komponen ini terkadang terdapat communication link untuk mengontrol kondisi pada sistem

2.3 Gangguan Hubung Singkat

Sistem tenaga listrik pada umumnya terdiri dari pembangkit, gardu induk, jaringan transmisi dan distribusi. Berdasarkan konfigurasi jaringan, Pada sistem ini setiap gangguan yang ada pada penghantar, akan mengganggu semua beban yang ada atau apabila terjadi gangguan pada salah satu *feeder* maka semua pelanggan yang terhubung pada GI tersebut akan terganggu.

Apabila gangguan tersebut bersifat permanen dan memerlukan perbaikan terlebih dahulu sebelum dapat dioperasikan kembali, maka pelanggan yang mengalami gangguan pelayanan jumlahnya relatif banyak.

Suatu gangguan didalam peralatan listrik didefinisikan sebagai terjadinya suatu kerusakan di dalam sirkuit listrik yang menyebabkan aliran arus listrik keluar

dari saluran yang seharusnya. Gangguan ini umumnya disebabkan oleh putusnya kawat saluran transmisi sehingga terjadi hubung singkat ke tanah, pecahnya isolator atau rusaknya isolasi. Impedansi gangguan umumnya rendah, sehingga arus gangguan menjadi besar.

Selama terjadi gangguan, tegangan tiga fasa menjadi tidak seimbang dan mempengaruhi suplai ke sirkuit tiga fasa yang berdekatan. Arus gangguan yang besar dapat merusak tidak hanya peralatan yang terganggu, tetapi juga instalasi yang dilalui arus gangguan. Gangguan dalam peralatan yang penting dapat mempengaruhi stabilitas system tenaga listrik. Misalnya suatu gangguan pada daerah suatu pembangkit yang dapat mempengaruhi stabilitas system interkoneksi.

Gangguan yang terjadi pada GI bersifat temporer, apabila terjadi gangguan maka gangguan tersebut tidak akan lama dan dapat normal kembali baik secara otomatis maupun secara manual. Salah satu contoh gangguan yang bersifat sementara ini adalah gangguan akibat sentuhan pohon yang tumbuh disekitar jaringan, akibat burung, dan kelelawar serta layang-layang (PT. PLN 2005:13). Gangguan ini dapat hilang dengan sendirinya yang disusul dengan penutupan kembali peralatan hubungannya. Apabila gangguan temporer sering terjadi maka hal tersebut akan menimbulkan kerusakan pada peralatan dan akhirnya menimbulkan gangguan yang bersifat permanen.

Perhitungan hubung singkat adalah analisis suatu system tenaga listrik pada keadaan gangguan hubung singkat, dimana dengan cara ini diperoleh nilai besaran-besaran listrik yang dihasilkan sebagai akibat gangguan hubung singkat tersebut.

Gangguan hubung singkat dapat didefinisikan sebagai gangguan yang terjadi akibat adanya penurunan kekuatan dasar isolasi antara sesama kawat fasa dengan tanah yang menyebabkan kenaikan arus secara berlebihan. Analisis gangguan hubung singkat diperlukan untuk mempelajari system tenaga listrik baik waktu perencanaan maupun setelah beroperasi.

2.3.1 Komponen Simetris

Metode komponen simetris digunakan dalam perhitungan yang berhubungan dengan keadaan yang tak seimbang pada perangkat listrik tiga fasa, dan secara khusus untuk perhitungan hubung singkat yang tidak seimbang pada perangkat listrik. Komponen-komponen yang seimbang ini dinamakan menjadi tiga komponen urutan :

- 1) Komponen urutan positif, yang terdiri dari tiga fasor yang sama besarnya dan berbeda sudut fasanya 120° dan mempunyai urutan yang sama dengan fasa aslinya.
- 2) Komponen urutan negatif, yang terdiri dari tiga fasor yang sama besarnya dan berbeda sudut fasanya 120° dan mempunyai fasor urutan yang berlawanan dengan fasa aslinya.
- 3) Komponen urutan nol, yang terdiri dari tiga fasor yang sama simetris besarnya dan berbeda fasa nol derajat.

Impedansi urutan dapat didefinisikan sebagai suatu impedansi yang dirasakan oleh arus urutan bila tegangan urutannya dipasang pada peralatan atau system tersebut. Seperti juga tegangan dan arus di dalam metode komponen simetris dan tak simetris.

Impedansi yang dikenal ada tiga macam yaitu :

- 1) Impedansi urutan positif (Z_1), yaitu impedansi yang hanya dirasakan oleh arus urutan positif.
- 2) Impedansi urutan negatif (Z_2), yaitu impedansi yang hanya dirasakan oleh arus urutan negatif.
- 3) Impedansi urutan nol (Z_0), yaitu impedansi yang hanya dirasakan oleh arus urutan nol.

Cara yang biasa dilakukan dalam menghitung besar arus gangguan hubung singkat pada komponen simetris adalah memulai perhitungan pada rel daya tegangan primer di gardu induk untuk berbagai jenis gangguan, kemudian menghitung pada titik-titik lainnya yang terletak semakin jauh dari gardu induk tersebut.

Impedansi saluran suatu system tenaga listrik tergantung dari jenis konduktornya yaitu dari bahan apa konduktor itu dibuat yang juga tentunya pula dari besar kecilnya penampang konduktor dan panjang saluran yang digunakan jenis konduktor ini.

Komponen simetris adalah lazim digunakan di dalam menganalisa gangguan yang tidak simetris di dalam suatu sistem kelistrikan, misalnya :

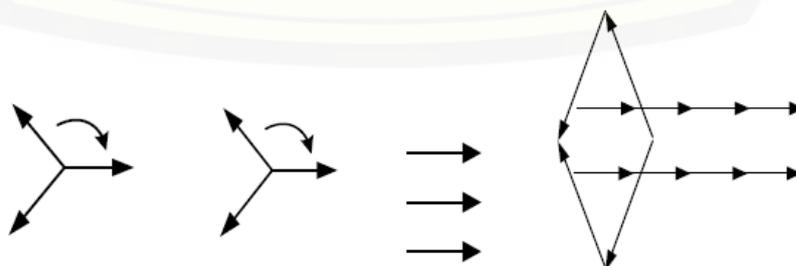
- 1) Gangguan satu fasa ke tanah.
- 2) Gangguan tiga fasa
- 3) Gangguan fasa ketanah

Dimana fasa ini mempunyai komponen urutan (sequence) :

- 1) Komponen urutan nol (Zero sequence component), adalah tiga buah fasor yang arah bersamaan sama dengan magnitudes urutan nol (zero sequence).
- 2) Komponen urutan positif (positif sequence), adalah 3 fasor yang mempunyai beda sudut $\pm 120^\circ$ antara fasa sama dengan magnitudes dari urutan positif (positif sequence).
- 3) Komponen urutan negatif (negatif sequence component), adalah 3 buah fasor yang mempunyai beda sudut $\pm 120^\circ$ antara fasa sama dengan magnitudes dari urutan negatif (negatif sequence).



Gambar 2.7 Komponen urutan untuk tegangan



Gambar 2.8 Komponen urutan untuk arus

2.3.2 Jenis Gangguan Hubung Singkat

Jenis gangguan hubung singkat yang sering terjadi pada jaringan distribusi antara lain:

a. Hubung singkat satu fasa ke tanah

Hubung singkat satu fasa ke tanah adalah gangguan hubung singkat yang terjadi karena flashover antara penghantar fasa dan tanah (tiang travers atau kawat tanah pada SUTM). Gangguan ini bersifat temporer, tidak ada kerusakan yang permanen di titik gangguan. Pada gangguan yang tembusnya (breakdown) adalah isolasi udaranya, oleh karena itu tidak ada kerusakan yang permanen. Setelah arus gangguannya terputus, misalnya karena terbukanya circuit breaker oleh relay pengamannya, peralatan atau saluran yang terganggu tersebut siap dioperasikan kembali. Jika terjadi gangguan satu fasa ke tanah, arus gangguannya hampir selalu lebih kecil daripada arus hubung singkat tiga fasa. Adapun formula perhitungan arus hubung singkatnya adalah :

$$I = 3 \cdot E / (Z1 + Z2 + Z0 + 3 \cdot Zf) \dots\dots\dots (2.1)$$

dengan: E = Tegangan fasa = Tegangan line / $\sqrt{3}$ dalam Volt

Z1 = Impedansi urutan positif rangkaian dalam Ohm

Z2 = Impedansi urutan negatif rangkaian dalam Ohm

Z0 = Impedansi urutan nol rangkaian dalam Ohm

Zf = Impedansi Gangguan dalam Ohm

b. Hubung singkat dua fasa

Hubung singkat dua fasa adalah gangguan hubung singkat yang terjadi karena bersentuhannya antara penghantar fasa yang satu dengan satu penghantar fasa yang lainnya sehingga terjadi arus lebih (over current). Gangguan ini dapat diakibatkan oleh flashover dengan pohon-pohon yang tertiup oleh angin. Jika terjadi gangguan hubung singkat dua fasa,

arus hubung singkatnya biasanya lebih kecil daripada arus hubung singkat tiga fasa. Adapun formula perhitungan arus hubung singkatnya adalah :

$$I = E . \sqrt{3} / (Z1 + Z2 + Zf) \dots\dots\dots(2.2)$$

c. Hubung singkat tiga fasa

Hubung singkat tiga fasa adalah gangguan hubung singkat yang terjadi karena bersatunya semua ketiga penghantar fasa. Gangguan ini dapat diakibatkan oleh tumbangnya pohon kemudian menimpa kabel jaringan. Adapun formula perhitungan arus hubung singkatnya adalah :

$$I = E / (Z1+ Zf) \dots\dots\dots(2.3)$$

2.4 Sistem Proteksi pada Jaringan Distribusi

Proteksi sistem tenaga listrik adalah sistem proteksi yang dipasang pada peralatan-peralatan listrik, misalnya generator, transformator, jaringan dan lain-lain, terhadap kondisi abnormal operasi sistem itu sendiri. Kondisi abnormal itu dapat berupa antara lain: hubung singkat, tegangan lebih, beban lebih, frekuensi sistem rendah, asinkron dan lain-lain.

Adanya gangguan pada sistem distribusi dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan penting pada penyalur tenaga listrik, yaitu : trafo, penghantar, isolasi dan peralatan-hubung . Adanya kerusakan berarti mengganggu kontinuitas atau dengan kata lain keandalan sistem kurang baik.

Untuk menghindari kerusakan tersebut, maka dipasanglah peralatan proteksi. Selain itu, seperti diketahui bahwa potensi bahaya listrik terhadap manusia sebagai akibat sengatan aliran listrik dan kerusakan lingkungan sebagai akibat panas yang berlanjut menjadi kebakaran., maka dengan sistem proteksi yang benar semua itu dapat dihindarkan.

Tetapi bila sistem proteksi dilakukan secara berlebihan, yaitu terlalu mudah untuk mengamankan padahal seharusnya ada pertimbangan tertentu

sebelum memutuskan bekerjanya sistem pengamanan, maka keandalan sistem menjadi kurang baik oleh akibat hal yang tidak perlu.

Untuk mendapatkan sistem proteksi yang baik dan keandalan yang tinggi, maka dibutuhkan sistem proteksi dengan kemampuan :

- 1) Melakukan koordinasi dengan sistem pengamanan yang lain pada sisi hulu dan sisi hilirnya.
- 2) Mengamankan peralatan dari kerusakan yang lebih luas akibat gangguan.
- 3) Membatasi kemungkinan terjadinya kecelakaan .

Dengan kata lain sistem proteksi itu bermanfaat untuk:

- 1) Menghindari ataupun untuk mengurangi kerusakan peralatan-peralatan akibat gangguan (kondisi abnormal operasi sistem). Semakin cepat reaksi perangkat proteksi yang digunakan maka akan semakin sedikit pengaruh gangguan kepada kemungkinan kerusakan alat.
- 2) Cepat melokalisir luas daerah yang mengalami gangguan, menjadi sekecil mungkin.
- 3) Dapat memberikan pelayanan listrik dengan keandalan yang tinggi kepada konsumen dan juga mutu listrik yang baik.
- 4) Mengamankan manusia terhadap bahaya yang ditimbulkan oleh listrik.

Pengetahuan mengenai arus-arus yang timbul dari berbagai tipe gangguan pada suatu lokasi merupakan hal yang sangat esensial bagi pengoperasian sistem proteksi secara efektif. Jika terjadi gangguan pada sistem, para operator yang merasakan adanya gangguan tersebut diharapkan segera dapat mengoperasikan circuit-circuit Breaker yang tepat untuk mengeluarkan sistem yang terganggu atau memisahkan pembangkit dari jaringan yang terganggu. Sangat sulit bagi seorang operator untuk mengawasi gangguan-gangguan yang mungkin terjadi dan menentukan CB mana yang dioperasikan untuk mengisolir gangguan tersebut secara manual.

Mengingat arus gangguan yang cukup besar, maka perlu secepat mungkin dilakukan proteksi. Hal ini perlu suatu peralatan yang digunakan untuk mendeteksi keadaan-keadaan yang tidak normal tersebut dan selanjutnya

menginstruksikan circuit breaker yang tepat untuk bekerja memutuskan rangkaian atau sistem yang terganggu. Dan peralatan tersebut kita kenal dengan rele.

Ringkasnya proteksi dan tripping otomatis circuit-circuit yang berhubungan, mempunyai dua fungsi pokok:

- 1) Mengisolir peralatan yang terganggu, agar bagian-bagian yang lainnya tetap beroperasi seperti biasa.
- 2) Membatasi kerusakan peralatan akibat panas lebih (over heating), pengaruh gaya-gaya mekanik dst.

2.4.1 Recloser

Recloser adalah pemutus balik otomatis (*automatic circuit recloser*) secara fisik mempunyai kemampuan sebagai pemutus beban yang dapat bekerja secara otomatis untuk mengamankan sistem dari arus lebih yang diakibatkan adanya gangguan hubung singkat.

Recloser digunakan sebagai pelengkap untuk pengamanan terhadap gangguan temporer dan membatasi luas daerah yang padam akibat gangguan. Recloser menurut media peredam busur apinya dibedakan menjadi 3 jenis, yaitu:

- 1) Media minyak
- 2) *Vaccum*
- 3) SF₆

Recloser menurut peralatan pengendalinya (control) dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu:

- 1) Recloser Hidraulik (*hydraulic control*)

Pada recloser dengan pengatur hidrolis, membuka / menutupnya kontak kontak dilakukan dengan cara hidrolis (tekanan minyak).

- 2) Recloser Terkontrol Elektrik

Recloser dengan pengatur elektronik lebih luwes, lebih mudah diatur dalam hal membuka/menutup kontak – kontak, mudah dipragakan urutan kerjanya dan lebih akurat dibandingkan dengan recloser pengatur hidrolis.

Berdasarkan jumlah perintah reclosing ke PMT dapat dibedakan dalam dua jenis reclosing rele, yaitu:

1. *Single shot reclosing relay*

Rele ini hanya dapat memberikan perintah *reclosing* ke PMT satu kali dan baru dapat melakukan *reclosing* lagi setelah waktu *blocking time* berakhir. Bila terjadi gangguan pada periode *blocking time*, PMT trip dan tidak bisa *reclose* lagi (*lock out*). Bila gangguan terjadi lagi setelah periode *blocking time*, maka *reclosing relay* akan melihatnya sebagai gangguan baru dan proses *reclose* di atas akan berulang.

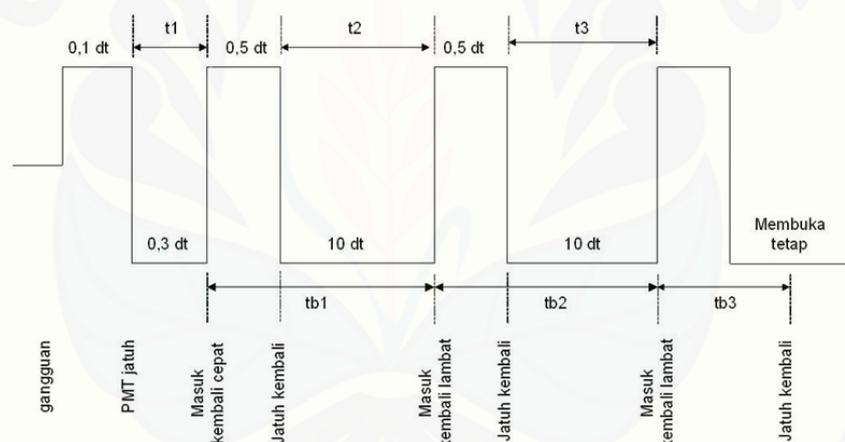


Gambar 2.9 *Single shot reclosing relay*

(Sumber : <http://berangkasmurhy.blogspot.co.id>)

2. *Multi shot reclosing relay*

Rele ini dapat memberikan perintah *reclosing* ke PMT lebih dari satu kali. Dead time antar *reclosing* adalah berbeda – beda, sebagai contoh gambar 1 diberikan gambar diagram dari rele *reclosing* yang diprogram untuk melakukan 3 kali *reclosing*. Bila terjadi gangguan, rele memberikan perintah trip ke PMT dan pada saat yang sama juga menjalankan *reclosing relay*. Setelah dead time t_1 yang sangat pendek (kurang dari 0.6 detik), rele memberikan perintah *reclose* ke PMT. Jika gangguan masih ada maka PMT akan trip kembali dan *reclosing relay* akan melakukan *reclose* yang kedua setelah dead time t_2 yang cukup lama (antara 10-60 detik). Jika gangguan masih ada maka PMT akan trip kembali dan *reclosing relay* akan melakukan *reclose* yang ketiga setelah dead time ($t_2=t_3$). Bila terjadi gangguan lagi dalam periode *blocking time* t_{B3} , maka PMT akan trip dan *lock out*

Gambar 2.10 *Multi shot reclosing relay*(Sumber : <http://berangkasmurhy.blogspot.co.id>)Gambar 2.11 Diagram waktu kerja *multi shot reclosing relay*(Sumber : <http://berangkasmurhy.blogspot.co.id>)

a. Urutan Operasi Recloser

- 1) Pada saat terjadi gangguan, arus yang mengalir melalui recloser sangat besar sehingga menyebabkan kontak recloser terbuka (*trip*) dalam operasi cepat (*fast trip*).
- 2) Kontak recloser akan menutup kembali setelah melewati waktu reclose sesuai setting. Tujuan memberi selang waktu ini adalah untuk

memberikan waktu pada penyebab gangguan agar hilang, terutama gangguan yang bersifat temporer.

- 3) Jika gangguan bersifat permanen, recloser akan membuka dan menutup balik sesuai dengan settingnya dan akan lock-out (terkunci).
- 4) Setelah gangguan dihilangkan oleh petugas, baru recloser dapat dimasukkan ke sistem.

b. Koordinasi Recloser dengan Peralatan Proteksi Lain

1) Koordinasi antara OCR/GFR dengan recloser

Secara fisik recloser ini semacam PMB yang mempunyai kemampuan sebagai pemutus arus hubung singkat yang dilengkapi dengan alat pengindera arus gangguan dan peralatan pengatur kerja membuka dan menutup serta mengunci bila terjadi gangguan permanen. Untuk melakukan koordinasi antara OCR/GFR di gardu induk dengan recloser harus dibuat sedemikian rupa sehingga setiap terjadi gangguan setelah recloser, rele OCR/GFR tidak boleh trip sebelum recloser terkunci (lock out). Oleh karena itu, harus dihitung terlebih dahulu waktu reset dan putaran dari rele OCR/GFR, agar supaya PMT tidak trip. Sebelum recloser terkunci total putaran relai OCR/GFR diusahakan kurang dari 100% pada saat recloser terkunci.

2) Koordinasi antara recloser dengan recloser

Koordinasi antara recloser dengan recloser dapat dicapai dengan:

- a) Memilih nilai arus trip minimum yang berbeda antara kedua recloser (yang menggunakan kontrol elektronik).
- b) Mengatur pemakaian urutan operasi yang terbalik dari masing-masing recloser dengan cara mempelajari dan memilih karakteristik kerja dari kurva arus waktu. Faktor yang penting dalam koordinasi antara kedua bentuk kurva arus waktu dari kedua recloser adalah perbedaan waktu antara kedua kurva untuk satu nilai arus tertentu (arus hubung singkat) Perbedaan waktu minimum antara kedua

kurva adalah untuk mengamankan agar kedua recloser tidak beroperasi secara bersamaan.

3) Koordinasi antara Recloser dengan SSO

Bila terjadi gangguan di sisi hilir dari SSO maka recloser akan bekerja membuka tutup dengan cepat pertama sampai kedua untuk menghilangkan gangguan yang bersifat temporer. SSO mengindera arus gangguan dan menghitung banyaknya buka tutup dari recloser, bila gangguan bersifat permanen, maka sesuai dengan penyetelan hitungan (*count to open*) SSO. SSO membuka pada saat recloser membuka sebelum buka tutup terakhir dan mengunci dari recloser.

4) Koordinasi antara Recloser dengan Fuse

Recloser harus dapat mendeteksi arus gangguan di daerah pengaman fuse koordinasi maksimum antara recloser dan fuse dapat dicapai dengan mengatur urutan kerja recloser dua, cepat atau lambat. Operasi cepat pertama dan kedua untuk menghilangkan gangguan temporer sebelum operasi ketiga, yaitu operasi lambat pertama yang memberikan kesempatan pada fuse untuk melebur (*putus*) lebih dahulu sehingga gangguan dapat diisolasi.

2.4.2 Fuse Cut Out (FCO)

Fuse (pelebur) merupakan suatu alat pemutus yang dengan meleburnya bagian dari komponennya yang telah dirancang khusus dan disesuaikan ukurannya untuk itu, membuka rangkaian dimana pelebur tersebut terpasang dan memutuskan arus bila arus tersebut melebihi suatu nilai tertentu dalam waktu yang cukup.

Fuse cut out (selanjutnya disebut fuse) adalah suatu alat pengaman yang melindungi jaringan terhadap arus beban lebih (*over load current*) yang mengalir melebihi dari batas maksimum, yang disebabkan karena hubung singkat (*short circuit*) atau beban lebih (*over load*). Konstruksi dari fuse ini jauh lebih sederhana bila dibandingkan dengan pemutus beban (*circuit breaker*) yang terdapat di Gardu Induk (*sub-station*). Akan tetapi fuse ini mempunyai kemampuan yang sama

dengan pemutus beban tadi. Fuse ini hanya dapat memutuskan satu saluran kawat jaringan di dalam satu alat. Apabila diperlukan pemutus saluran tiga fasa maka dibutuhkan fuse sebanyak tiga buah.

a. Prinsip Kerja

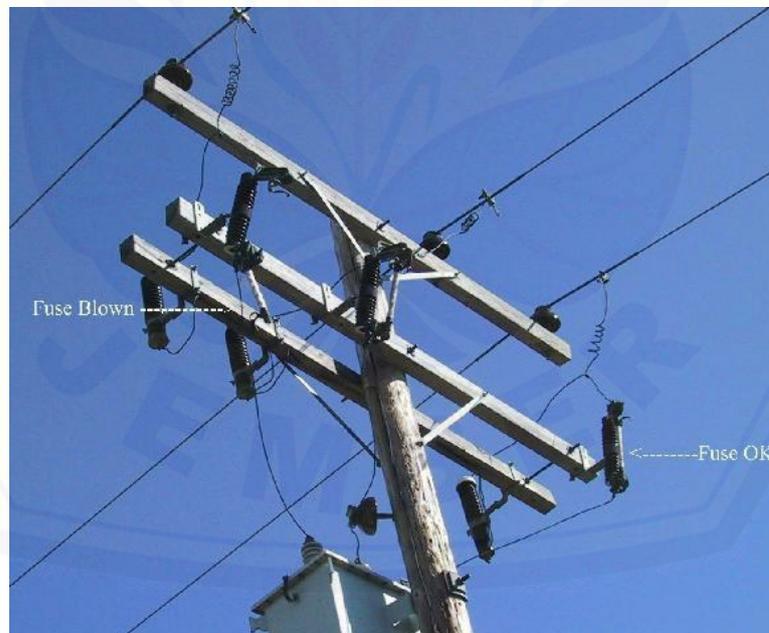
Pada sistem distribusi fuse yang digunakan mempunyai prinsip kerja melebur, apabila dilewati oleh arus yang melebihi batas arus nominalnya. Biasanya fuse dipasang setelah PTS maupun LBS untuk memproteksi *feeder* dari gangguan hubung singkat dan dipasang seri dengan jaringan yang dilindunginya, fuse juga sering ditemukan pada setiap transformator.

Penggunaan fuse ini merupakan bagian yang terlemah di dalam jaringan distribusi. Karena fuse boleh dikatakan hanya berupa sehelai kawat yang memiliki penampang disesuaikan dengan besarnya arus maksimum yang diperkenankan mengalir di dalam kawat tersebut. Pemilihan kawat yang digunakan pada fuse ini didasarkan pada faktor lumer yang rendah dan harus memiliki daya hantar (*conductivity*) yang tinggi. Faktor lumer ini ditentukan oleh temperatur bahan tersebut. Biasanya bahan-bahan yang digunakan untuk fuse ini adalah kawat perak, kawat tembaga, kawat seng, kawat timbel atau kawat paduan dari bahan – bahan tersebut. Pada umumnya diantara kawat diatas, yang sering digunakan adalah kawat logam perak, hal ini karena logam perak memiliki Resistansi Spesifik ($\mu\Omega/\text{cm}$) yang paling rendah dan Titik Lebur ($^{\circ}\text{C}$) yang rendah. Kawat ini dipasangkan di dalam tabung porselin yang diisi dengan pasir putih sebagai pemadam busur api, dan menghubungkan kawat tersebut pada kawat fasa, sehingga arus mengalir melaluinya.

Jika arus beban lebih melampaui batas yang diperkenankan, maka kawat perak di dalam tabung porselin akan putus dan arus yang membahayakan dapat dihentikan. Pada waktu kawat putus terjadi busur api, yang segera dipadamkan oleh pasir yang berada di dalam tabung porselin. Karena udara yang berada di dalam porselin itu kecil maka kemungkinan timbulnya ledakan akan berkurang karena diredam oleh pasir putih. Panas yang ditimbulkan sebagian besar akan diserap oleh pasir putih tersebut.

Apabila kawat perak menjadi lumer karena tenaga arus yang melebihi maksimum, maka waktu itu kawat akan hancur. Karena adanya gaya hantakan, maka tabung porselin akan terlempar keluar dari kontakannya. Dengan terlepasnya tabung porselin ini yang berfungsi sebagai saklar pemisah, maka terhidarlah peralatan jaringan distribusi dari gangguan arus beban lebih atau arus hubung singkat.

Umur dari fuse ini tergantung pada arus yang melaluinya. Bila arus yang melalui fuse tersebut melebihi batas maksimum, maka umur fuse lebih pendek. Oleh karena itu pemasangan fuse pada jaringan distribusi hendaknya yang memiliki kemampuan lebih besar dari kualitas tegangan jaringan, lebih kurang tiga sampai lima kali arus nominal yang diperkenankan. Fuse ini biasanya ditempatkan sebagai pengaman transformator distribusi, dan pengaman pada cabang – cabang saluran *feeder* yang menuju ke jaringan distribusi sekunder.



Gambar 2.12 Fuse pada jaringan distribusi

(Sumber : https://en.wikipedia.org/wiki/Fuse_cutout)

2.5 Mekanisme Koordinasi Proteksi Antara Recloser-Fuse

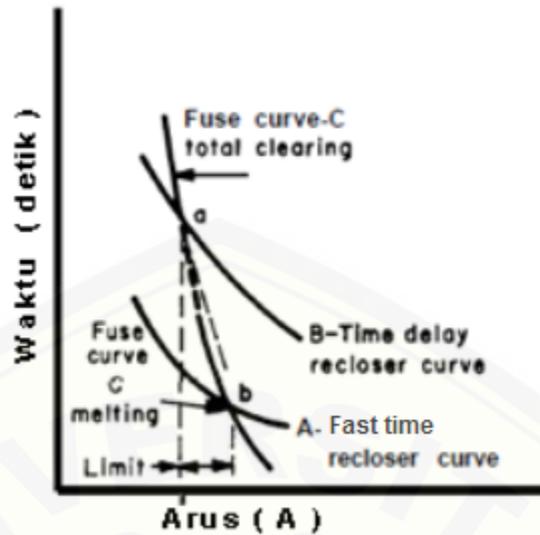
Recloser memiliki dua karakteristik waktu pemutusan, yaitu waktu operasi cepat (*fast tripping*) yang berfungsi untuk mengantisipasi adanya gangguan yang bersifat temporer dan waktu operasi lambat (*delayed tripping*) yang digunakan untuk koordinasi dengan peralatan proteksi lain seperti fuse. Oleh karena itu, agar keberhasilan koordinasi proteksi antara fuse dan recloser bisa tercapai maka dibutuhkan setting waktu yang tepat untuk recloser dan fuse. Waktu *fast tripping* dari recloser harus lebih cepat dari pada waktu peleburan dari fuse, sehingga saat terjadi gangguan yang bersifat temporer recloser akan memutus jaringan terlebih dahulu daripada fuse dan jaringan akan terhubung kembali oleh recloser saat gangguan sudah hilang. Sedangkan waktu *delayed tripping* recloser harus lebih lambat daripada waktu peleburan fuse sehingga saat terjadi gangguan yang bersifat permanen (gangguan yang memerlukan perbaikan) pemadaman yang dilakukan bisa lebih terlokalisir pada daerah fuse. Konsep koordinasi proteksi fuse-recloser ditunjukkan pada gambar 3.3.

$$t(I_{Fi}) > t(I_{RA}) \quad \forall I_{Fi} \left\{ \begin{array}{l} I_{F \min} \leq I_{Fi} \leq I_{F \max} \\ I_{F \min}, I_{F \max} > 0 \end{array} \right. \dots\dots\dots(2.4)$$

- dimana: - $t(I_{Fi})$ = waktu operasi fuse
- $t(I_{RA})$ = waktu operasi *fast trip* recloser

$$t(I_{RBB}) > t(I_{Fi}) \quad \forall I_{Fi} \left\{ \begin{array}{l} I_{F \min} \leq I_{Fi} \leq I_{F \max} \\ I_{F \min}, I_{F \max} > 0 \end{array} \right. \dots\dots\dots(2.5)$$

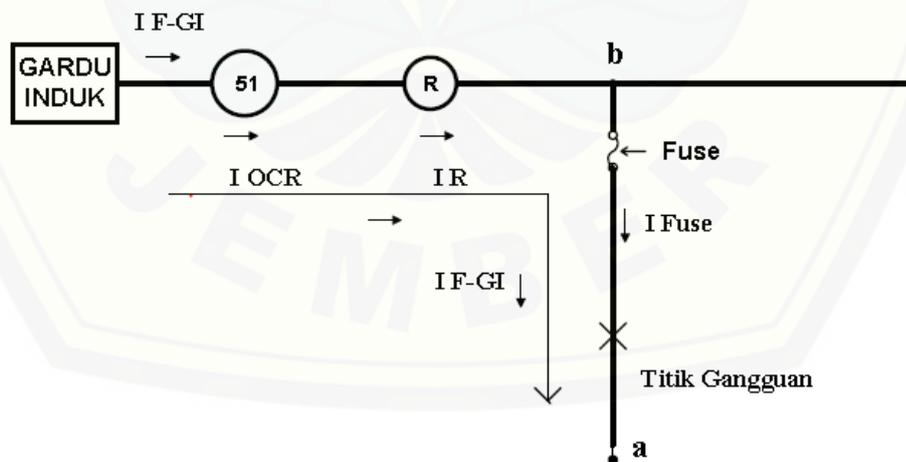
- dimana: - $t(I_{Fi})$ = waktu operasi fuse
- $t(I_{RBB})$ = waktu operasi *delayed tripping* recloser



Gambar 2.13 Kurva koordinasi proteksi recloser-fuse

2.5.1 Koordinasi Saat Tanpa Penambahan DG

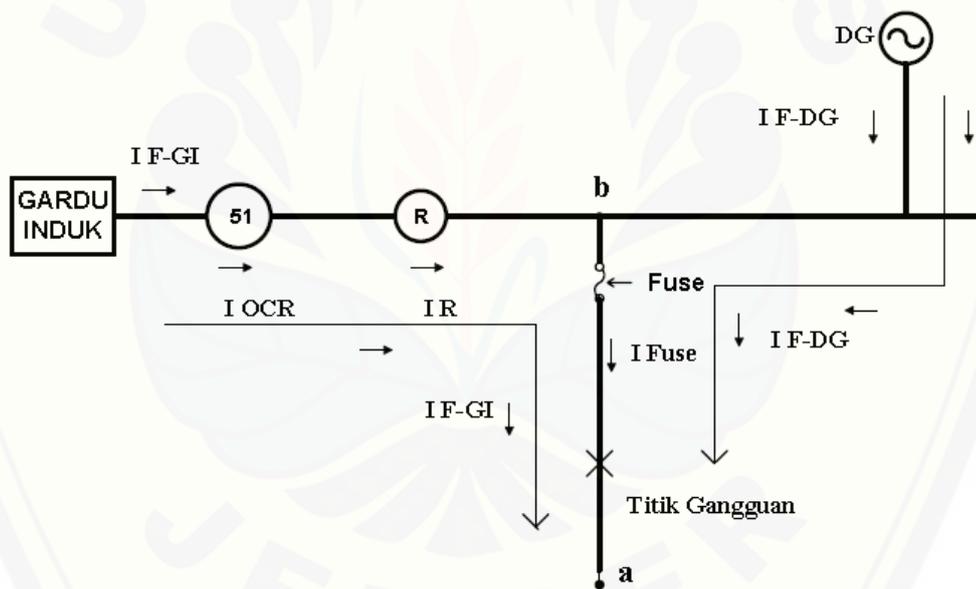
Arus hubung singkat yang mengalir antara recloser dan fuse saat terjadi gangguan di titik x pada jaringan distribusi saat tanpa adanya DG yang terpasang pada jaringan bisa digambarkan seperti gambar 3.4. Besar arus gangguan yang melewati recloser dan fuse adalah sama yaitu sebesar I_{F-GI} sehingga koordinasi proteksi antara keduanya dapat terjadi.



Gambar 2.14 Arus hubung singkat saat tanpa adanya DG yang terpasang pada jaringan

2.5.2 Koordinasi Saat Adanya Penambahan DG pada Jaringan

Arus hubung singkat yang mengalir antara recloser dan fuse saat terjadi gangguan di titik x pada jaringan distribusi saat adanya DG yang terpasang pada jaringan bisa digambarkan seperti gambar 3.5. Pada gambar tersebut ditunjukkan bahwa arus gangguan yang mengalir pada recloser dan fuse sudah tidak sama. Ini disebabkan adanya tambahan arus gangguan yang mengalir dari DG ke sumber gangguan, sehingga besar arus gangguan pada recloser adalah I_{F-GI} sedangkan arus yang mengalir pada fuse adalah sebesar $I_{F-GI} + I_{F-DG}$. Jika perbedaan arus gangguan yang terjadi antara recloser dan fuse cukup besar, maka miskoordinasi antara recloser dan fuse dapat terjadi karena waktu peleburan fuse lebih cepat daripada waktu *fast tripping* dari recloser.



Gambar 2.15 Arus hubung singkat saat dengan DG terpasang pada jaringan

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Adapun tempat dan waktu penelitian, pengujian dan analisis dilakukan secara umum dilakukan di :

Tempat : Laboratorium Sistem Tenaga Fakultas Teknik Universitas Jember

Alamat : Jalan Slamet Riyadi No.62, Patrang, Kabupaten Jember

Waktu : Januari 2016 - April 2016

3.2 Prosedur Penelitian

Dalam pembuatan skripsi dan penelitian ini, langkah-langkah atau prosedur yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1) Tahap persiapan

Dalam tahap ini hal yang perlu diperhatikan adalah memperkirakan komponen apa saja yang nantinya akan digunakan untuk menganalisis pengaruh penambahan *distributed generation* (DG) terhadap koordinasi proteksi termasuk biaya yang akan dikeluarkan serta alat yang digunakan.

2) Studi literatur terhadap objek dan penelitian

Mengumpulkan dan mempelajari literatur tentang *distributed generation* (DG), analisis hubung singkat, dan koordinasi proteksi pada sistem distribusi radial.

3) Pengumpulan data

Mencari dan mengumpulkan data resistansi dan reaktansi saluran yang digunakan dalam sistem distribusi radial serta data pembebanan dari Standard IEEE 33 bus.

4) Menambahkan perangkat proteksi pada sistem.

Melakukan penambahan recloser dan fuse pada sistem uji Standard IEEE 33 bus yang nantinya akan digunakan untuk analisis koordinasi proteksi pada jaringan distribusi radial. Penempatan recloser disini hanya akan menempatkan sebuah recloser sebelum percabangan jaringan, sehingga jika

terdapat gangguan temporer pada suatu percabangan bisa diatasi oleh recloser. Pada jaringan akan ditempatkan fuse di setiap percabangan jaringan, sehingga bila terjadi gangguan yang bersifat tetap maka hanya fuse yang berada pada percabangan yang mengalami gangguan saja yang akan memutuskan arus sehingga pemutusan lebih terlokalisir.

5) Melakukan interkoneksi DG pada sistem distribusi

Pada penelitian ini dilakukan interkoneksi DG pada beberapa kasus penempatan DG di bus yang berbeda. Interkoneksi DG pada jaringan distribusi radial ini yang akan dianalisis pengaruhnya terhadap level arus hubung singkat dan koordinasi proteksi. Untuk penempatan DG disini akan dilakukan secara acak.

6) Menentukan lokasi gangguan

Menentukan lokasi gangguan hubung singkat yang akan dilakukan analisis hubung singkat 3 fasa dan koordinasi antara recloser dan fuse. Penentuan lokasi gangguan juga akan dilakukan secara acak.

7) Melakukan pengujian

Pengujian dilakukan untuk mendapatkan data mengenai seberapa besar pengaruh penambahan dan lokasi DG pada besarnya level arus gangguan dan koordinasi proteksi antara recloser dan fuse.

8) Analisa data

Analisa data dilakukan setelah mendapatkan hasil data dari simulasi yang dijalankan menggunakan *software* ETAP 7.5.

9) Pengambilan kesimpulan

Penarikan kesimpulan diambil dari hasil analisis yang telah melalui beberapa kali simulasi.

3.3 Perencanaan Jadwal Penelitian

Tabel 3.1 Perencanaan Jadwal Penelitian

No	Kegiatan	Bulan															
		Januari				Februari				Maret				April			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Persiapan	■	■	■	■												
2	Studi Literatur					■	■	■	■								
3	Pengumpulan Data									■	■	■	■				
4	Menambahkan perangkat proteksi													■	■	■	■
5	Interkoneksi DG pada sistem																
6	Menentukan lokasi gangguan																
7	Melakukan Pengujian																
8	Analisa Data																
9	Pengambilan Kesimpulan																
10	Penulisan Laporan																

3.4 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang perlu dipersiapkan untuk melakukan penelitian adalah sebagai berikut :

3.4.1 Alat

- 1) PC / Laptop

PC / Laptop digunakan untuk melakukan simulasi rancangan sistem serta melakukan analisis hasil simulasi.

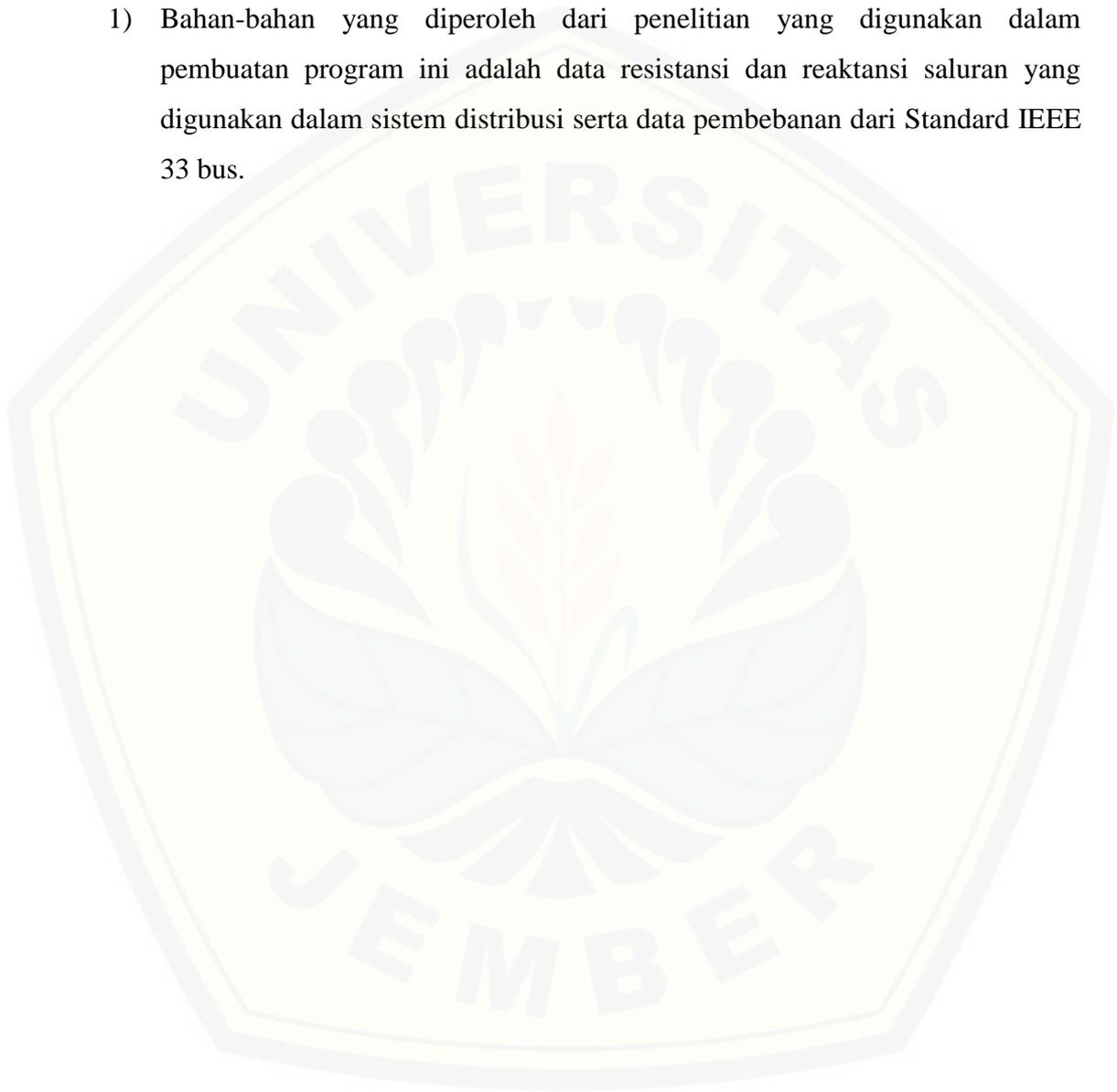
- 2) *Software* ETAP 7.5.

Optimasi penempatan *distributed generatioan* (DG) dan kapasitor *bank* menggunakan *software* ETAP 7.5. Alasan digunakannya *software* ini karena

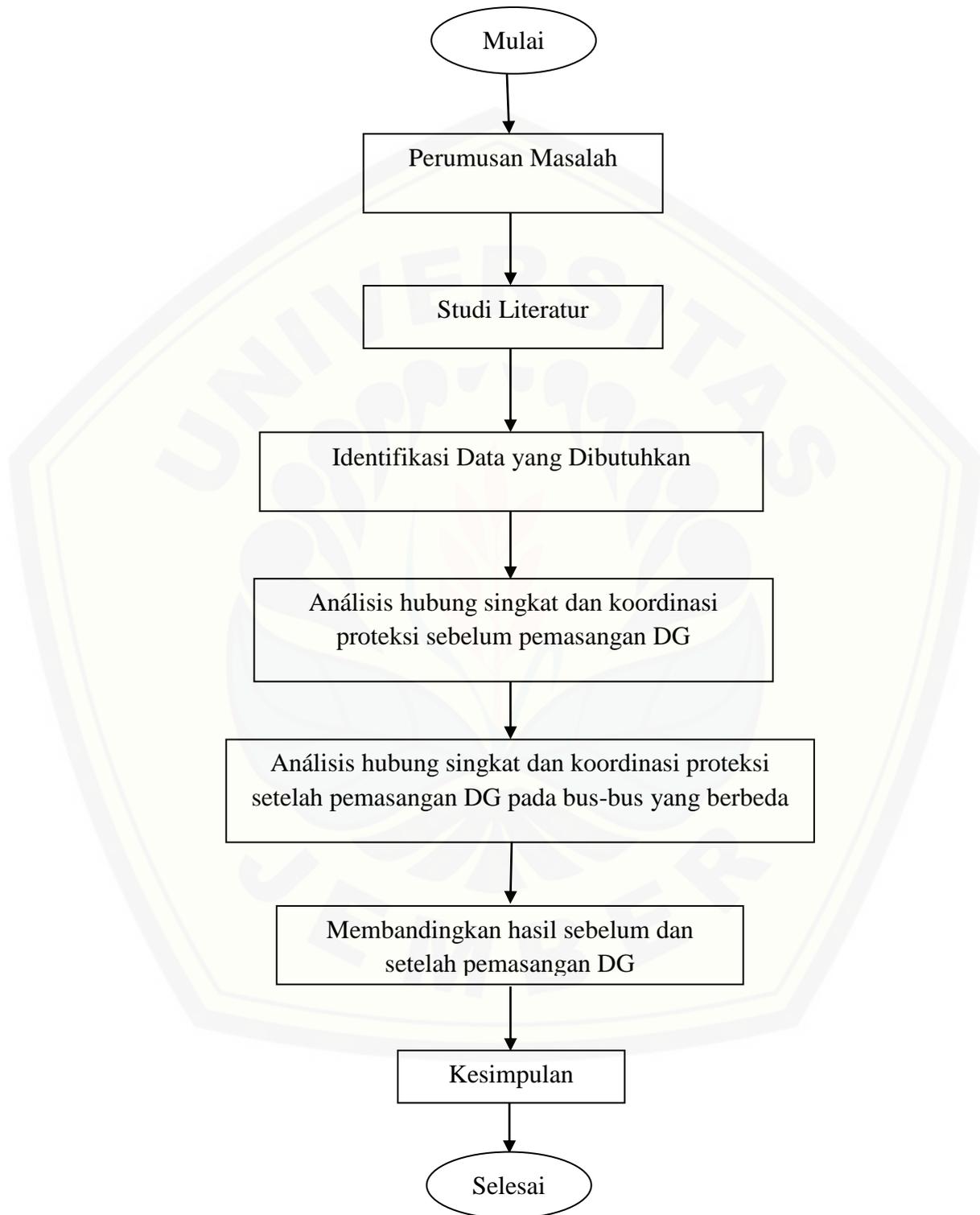
di dalam ETAP 7.5 telah memiliki kelengkapan untuk merancang dan melakukan simulasi.

3.4.2 Bahan

- 1) Bahan-bahan yang diperoleh dari penelitian yang digunakan dalam pembuatan program ini adalah data resistansi dan reaktansi saluran yang digunakan dalam sistem distribusi serta data pembebanan dari Standard IEEE 33 bus.

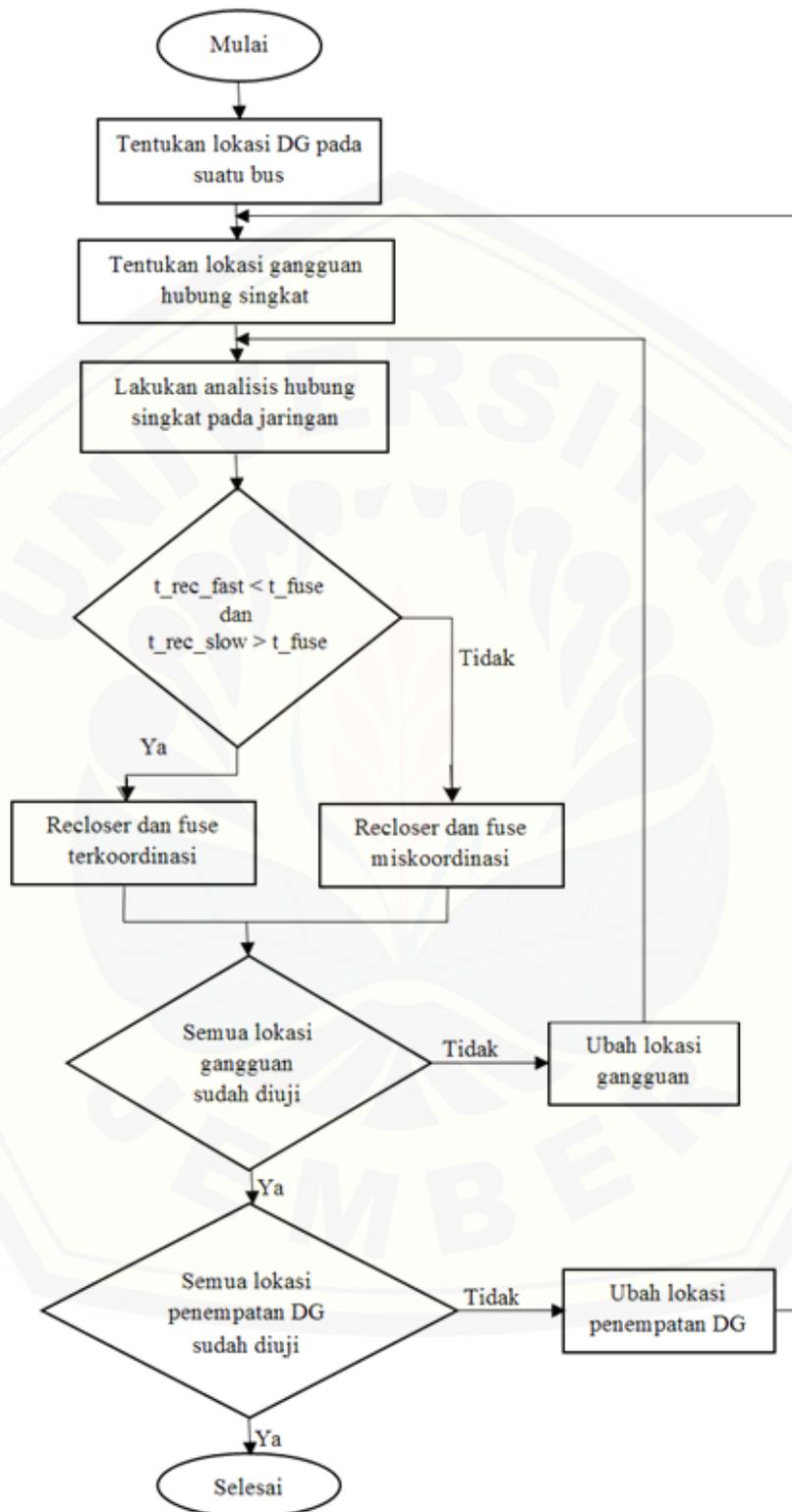


3.5 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Flowchart Penelitian

3.6 Flowchart Sistem



Gambar 3.2 Flowchart sistem

3.7 Data Jaringan Distribusi Radial Uji Standard IEEE 33 Bus

Penelitian ini menggunakan data dari jaringan distribusi radial uji Standard IEEE 33 bus. Standard IEEE 33 bus dan 69 bus biasanya digunakan pada banyak penelitian dikarenakan sistem tersebut merupakan sistem yang seimbang. Sistem ini menggunakan tegangan dasar (*voltage base*) 12,66 kV dan daya dasar (MVA *base*) sebesar 100 MVA. Untuk data impedansi jaringan pada tiap saluran diberikan pada Tabel 3.2 dan untuk data pembebanan ditunjukkan pada Tabel 3.3, sedangkan gambar dari jaringan distribusi radial uji Standard IEEE 33 bus dari jaringan distribusi radial uji Standard IEEE 33 bus ditunjukkan pada gambar 3.2.

Tabel 3.2 Data Impedansi pada Tiap Saluran

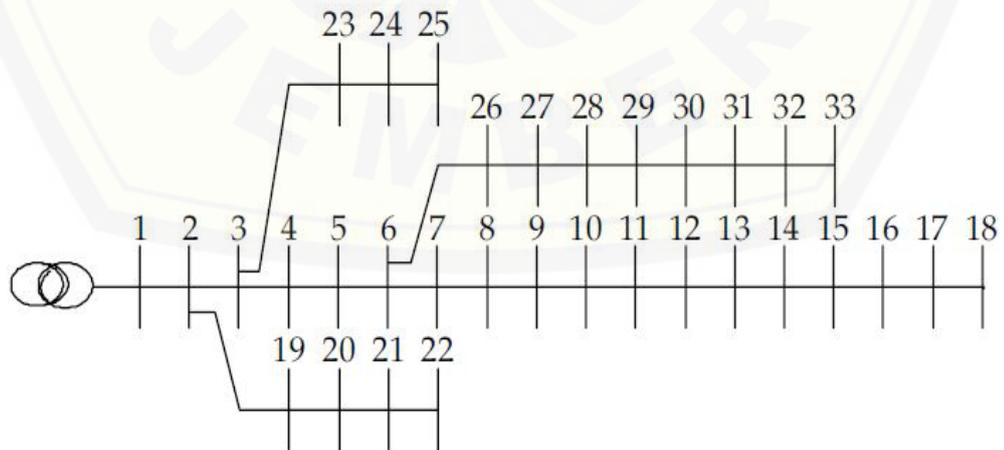
No	Bus Pengirim	Bus Penerima	Resistansi (Ω)	Reaktansi (Ω)
1	1	2	0,0922	0,047
2	2	3	0,493	0,2511
3	3	4	0,366	0,1864
4	4	5	0,3811	0,1941
5	5	6	0,819	0,707
6	6	7	0,1872	0,6188
7	7	8	0,7114	0,2351
8	8	9	1,03	0,74
9	9	10	1,044	0,74
10	10	11	0,1966	0,065
11	11	12	0,3744	0,1298
12	12	13	1,468	1,155
13	13	14	0,5416	0,7129
14	14	15	0,591	0,526
15	15	16	0,7463	0,545
16	16	17	1,289	1,721
17	17	18	0,732	0,574
18	2	19	0,164	0,1565
19	19	20	1,5042	1,3554

20	20	21	0,4095	0,4784
21	21	22	0,7089	0,9373
22	3	23	0,4512	0,3083
23	23	24	0,898	0,7091
24	24	25	0,896	0,7011
25	6	26	0,203	0,1034
26	26	27	0,2842	0,1447
27	27	28	1,059	0,9337
28	28	29	0,8042	0,7006
29	29	30	0,5075	0,2585
30	30	31	0,9744	0,963
31	31	32	0,3105	0,3619
32	32	33	0,341	0,5302

Tabel 3.3 Data Pembebanan Tiap Bus

No	Bus Beban	Daya Nominal	
		P (kW)	Q (kVAR)
1	2	100	60
2	3	90	40
3	4	120	80
4	5	60	30
5	6	60	20
6	7	200	100
7	8	200	100
8	9	60	20
9	10	60	20
10	11	45	30
11	12	60	35
12	13	60	35
13	14	120	80

14	15	60	10
15	16	60	20
16	17	60	20
17	18	90	40
18	19	90	40
19	20	90	40
20	21	90	40
21	22	90	40
22	23	90	50
23	24	420	200
24	25	420	200
25	26	60	25
26	27	60	25
27	28	60	20
28	29	120	70
29	30	200	600
30	31	150	70
31	32	210	100
32	33	60	40



Gambar 3.3 Jaringan Distribusi Radial Uji Standard IEEE 33 Bus

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Arus hubung singkat semakin berkurang apabila bus yang mengalami gangguan semakin mendekati ujung jaringan. Arus hubung singkat terbesar sebelum ditambahkannya DG terjadi pada bus 2 sebesar 4.301 A dan yang terendah terjadi di ujung jaringan yaitu di bus 18 dengan nilai 465 A.
2. Penambahan DG menyebabkan peningkatan arus hubung singkat pada semua lokasi bus yang mengalami gangguan.
3. Peningkatan arus hubung singkat terbesar saat penambahan satu unit DG terjadi saat lokasi penempatan DG dan gangguan berada pada bus yang sama. Pada saat penambahan DG di bus 5 arus gangguan yang terbesar terjadi saat gangguan pada bus 5 sebesar 19.037 A dan terkecil terjadi saat gangguan di bus 18 dengan nilai 550 A. Saat penambahan DG di bus 10, arus hubung singkat tertinggi terjadi saat gangguan pada bus 10 dengan nilai 17.697 A dan terkecil saat gangguan berada di bus 18 sebesar 864 A.
4. Penambahan DG pada jaringan dapat mengakibatkan perubahan koordinasi antara recloser dan fuse, dimana miskoordinasi bisa terjadi saat penambahan DG. Miskoordinasi dapat dipengaruhi oleh besar perbedaan arus yang dilewati oleh recloser dan fuse, selain itu juga dipengaruhi oleh ukuran fuse itu sendiri.
5. Lokasi penempatan DG juga berpengaruh pada koordinasi antara recloser dan fuse. Pada penambahan DG di bus 5 mengakibatkan miskoordinasi antara recloser dan fuse saat terjadi gangguan pada semua bus yang berada pada daerah koordinasi recloser dan fuse. Penambahan DG pada bus 10 tidak menyebabkan miskoordinasi pada semua bus yang mengalami

6. gangguan, miskordinasi pada beberapa lokasi bus gangguan yang berbeda, yaitu pada 10 lokasi gangguan yang berbeda.
7. Semakin banyak DG yang ditambahkan pada jaringan menyebabkan arus hubung singkat yang terjadi semakin besar. Peningkatan arus hubung singkat yang terbesar terjadi ketika ditambahkan dua unit DG pada jaringan.

5.2 Saran

1. Perlu dilakukan perubahan koordinasi proteksi diantara peralatan proteksi agar miskordinasi saat jaringan ditambahkan DG tidak terjadi.
2. Dapat dikembangkan optimasi penempatan DG untuk mendapatkan lokasi penempatan DG yang optimal tanpa perlu mengubah sistem koordinasi peralatan proteksi yang sudah ada.

DAFTAR PUSTAKA

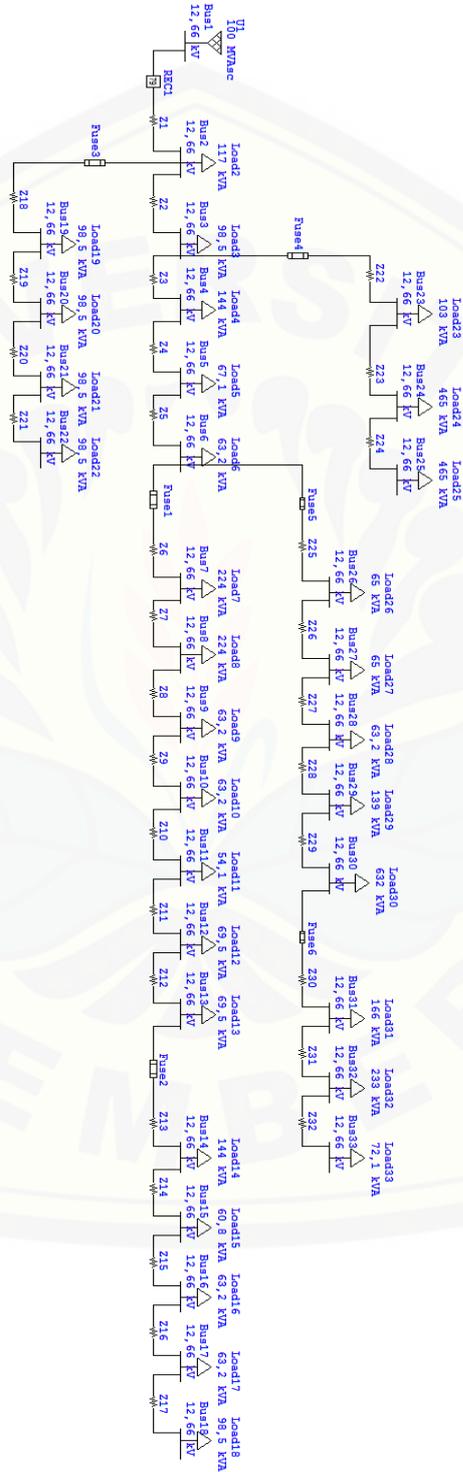
- Abdel-Ghany, Hossam A. 2015. *Defining the Practical Constraints of Inserting DG Units in Distribution Systems Regarding Protection Schemes*. International Transactions on Electrical Energy Systems.
- Adhiyatma, Singgih. 2014. *Analisi Penambahan Distributed Generation (DG) dengan Metode Backward Forward Sweep pada Sistem Distribusi Radial Terhadap Rugi Daya dan Profil Tegangan (Studi Kasus pada Penyulang Watu Ulo Jember)*. Jember. Universitas Jember.
- Agheli, Ali. 2010. *Reducing the Impact of DG in Distribution Networks Protection Using Fault Current Limiters*. The 4th International Power Engineering and Optimization Conf. (PEOCO2010), Shah Alam, Selangor, Malaysia: 23-24 June 2010: 298-303.
- Chaitusaney, Surachai. 2008. *Prevention of Reliability Degradation from Recloser-Fuse Miscoordination Due To Distributed Generation*. IEEE Transactions on Power Delivery, 23 (4): 2545-2554.
- Hussain, B; Sharkh, S.M; Hussain, S; Abusara, M.A. 2013. *An Adaptive Relaying Scheme for Fuse Saving in Distribution Networks with Distributed Generation*. IEEE Trans. Power Del., vol. 28 (2): 669-777.
- IEEE. 2001. *IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power System*. New York: IEEE.
- Kamel, A; Alaam, M.A; Azmy, A.M; Abdelaziz, A.Y. 2013. *Protection Coordination for Distribution Systems in Presence of Distributed Generators*. Electr. Power Com-pon. Syst. 41 (15): 1555–1566.
- Kim, M.H; Lim, S.H; Moon, J.H; Kim, J.C. 2010. *Method of Recloser-Fuse Coordination in a Power Distribution System With Superconducting Fault Current Limiter*. IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 20 (3): 1164 - 1167.
- Moses, Peter Musau. 2012. *Reducing Real and Reactive Power Losses in the Power Distribution System by DFIG Placement and Sizing Using Ordinary PSO and HGAPSO :A Comparison*. International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering Vol 2 (11): 2250-2459.

- Myoung-Hoo, Kim. 2011. *Improvement of Recloser-Fuse Operations and Coordination in a Power Distribution System With SFCL*. Applied Superconductivity, IEEE Transactions on, 21 (3): 2209 – 2212.
- Naiem, A.F. 2012. *A Classification Technique for Recloser-Fuse Coordination in Distribution Systems With Distributed Generation*. IEEE Transactions on Power Delivery, 27 (1): 179-185.
- Supardi, Agus. 2012. *Analisis Hubung Singkat 3 Fasa pada Sistem Distribusi Standar IEEE 18 Bus dengan Adanya Pemasangan Distributed Generation (DG)*. Simposium Nasional RAPI XI FT UMS – 2012: 83-89.
- Supannon, A. 2015. *Recloser-Fuse Coordination Improvement for Distributed Generation Installed Capacity Enhancement in Electrical Distribution Systems*. Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON).



LAMPIRAN

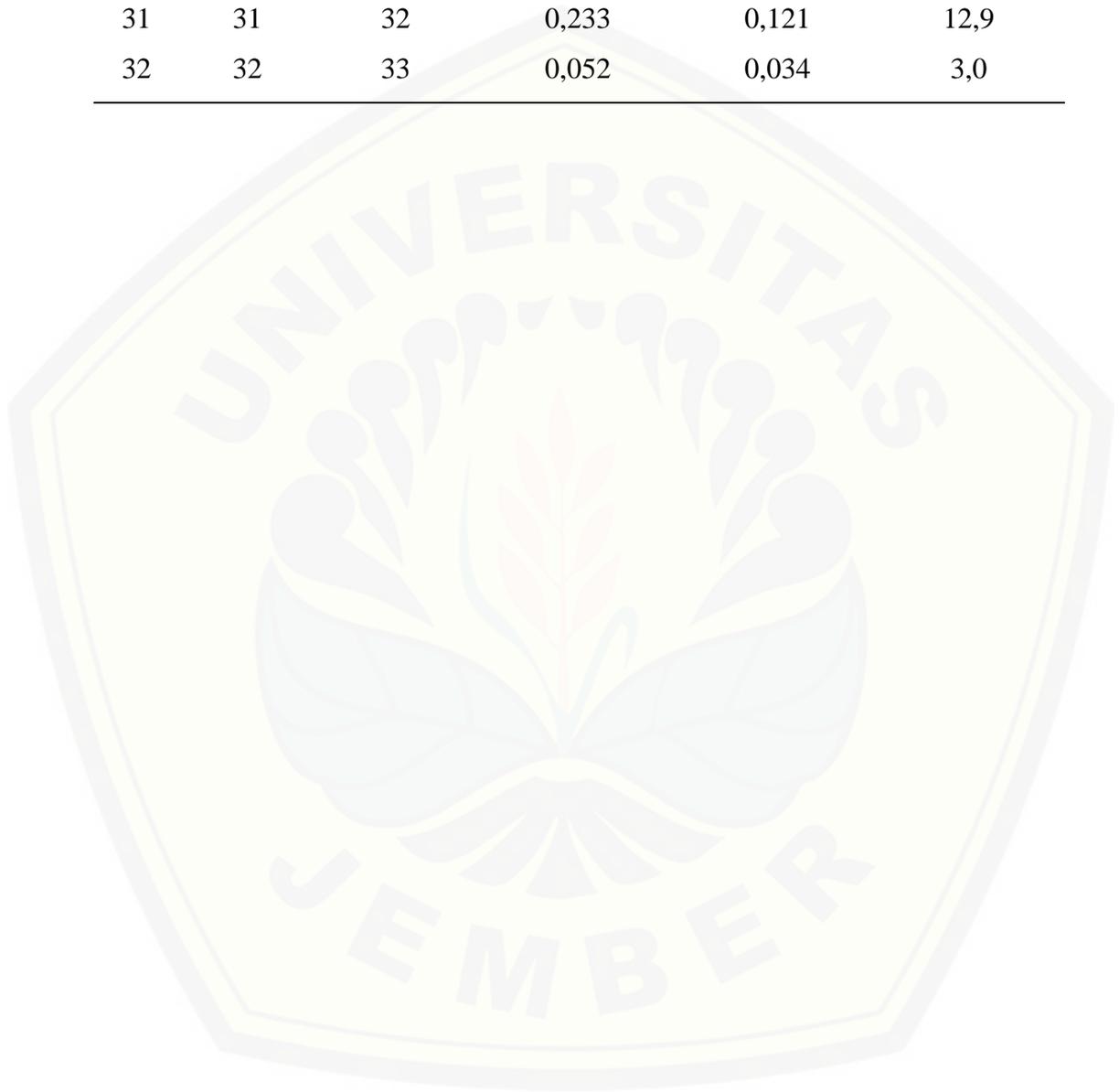
LAMPIRAN A. SINGLE LINE DIAGRAM SISTEM DISTRIBUSI STANDAR IEEE 33 BUS PADA MENGGUNAKAN ETAP 7.5 DENGAN PENAMBAHAN RECLOSER DAN FUSE



LAMPIRAN B. DATA ALIRAN DAYA DAN ARUS LISTRIK PADA JARINGAN IEEE 33 BUS MENGGUNAKAN ETAP 7.5

No	Bus Pengirim	Bus Penerima	Aliran Daya		Arus nominal (Amp)
			MW	Mvar	
1	1	2	3,558	2,187	190,5
2	2	3	3,092	1,963	167,5
3	3	4	2,072	1,469	117,6
4	4	5	1,942	1,385	111,2
5	5	6	1,871	1,350	108,3
6	6	7	0,962	0,463	50,9
7	7	8	0,779	0,367	41,2
8	8	9	0,595	0,276	31,5
9	9	10	0,538	0,256	28,8
10	10	11	0,483	0,237	26,1
11	11	12	0,443	0,210	23,9
12	12	13	0,390	0,179	20,9
13	13	14	0,336	0,147	18,0
14	14	15	0,232	0,078	12,0
15	15	16	0,180	0,069	9,5
16	16	17	0,128	0,052	6,8
17	17	18	0,077	0,034	4,2
18	2	19	0,357	0,159	17,9
19	19	20	0,267	0,119	13,4
20	20	21	0,177	0,079	8,9
21	21	22	0,089	0,039	4,5
22	3	23	0,891	0,433	45,9
23	23	24	0,801	0,383	41,3
24	24	25	0,398	0,190	20,6
25	6	26	0,826	0,844	56,3
26	26	27	0,769	0,820	53,7

27	27	28	0,712	0,796	51,2
28	28	29	0,651	0,771	48,8
29	29	30	0,540	0,705	43,3
30	30	31	0,364	0,182	19,9
31	31	32	0,233	0,121	12,9
32	32	33	0,052	0,034	3,0



**LAMPIRAN C. HASIL SIMULASI HUBUNG SINGKAT PADA ETAP 7.5
SAAT LOKASI GANGGUAN DI BUS 2**

**ETAP
7.5.0**

SHORT-CIRCUIT REPORT

Fault at bus: **Bus2**

Prefault voltage = 12.660 kV = 100.00 % of nominal bus kV (12.660 kV)
= 100.00 % of base kV (12.660 kV)

Contribution		3-Phase Fault		Line-To-Ground Fault					Positive & Zero Sequence Impedances Looking into "From Bus"			
From Bus ID	To Bus ID	% V From Bus	kA Symm. rms	% Voltage at From Bus			kA Symm. rms		% Impedance on 100 MVA base			
				Va	Vb	Vc	Ia	3I0	R1	X1	R0	X0
Bus2	Total	0.00	4.301	0.00	117.19	117.86	3.034	3.034	1.05E+002	1.29E+001	2.37E+002	2.61E+001
Bus1	Bus2	6.09	4.301	4.30	117.19	117.86	3.034	3.034	1.05E+002	1.29E+001	2.37E+002	2.61E+001
Bus3	Bus2	0.00	0.000	0.00	117.19	117.86	0.000	0.000				
Bus19	Bus2	0.00	0.000	0.00	117.19	117.86	0.000	0.000				
U1	Bus1	100.00	4.301	100.00	100.00	100.00	3.034	3.034	9.95E+001	9.95E+000	2.32E+002	2.32E+001
Bus4	Bus3	0.00	0.000	0.00	117.19	117.86	0.000	0.000				
Bus23	Bus3	0.00	0.000	0.00	117.19	117.86	0.000	0.000				
Bus20	Bus19	0.00	0.000	0.00	117.19	117.86	0.000	0.000				
Bus5	Bus4	0.00	0.000	0.00	117.19	117.86	0.000	0.000				
Bus24	Bus23	0.00	0.000	0.00	117.19	117.86	0.000	0.000				
Bus21	Bus20	0.00	0.000	0.00	117.19	117.86	0.000	0.000				
Bus6	Bus5	0.00	0.000	0.00	117.19	117.86	0.000	0.000				
Bus25	Bus24	0.00	0.000	0.00	117.19	117.86	0.000	0.000				
Bus22	Bus21	0.00	0.000	0.00	117.19	117.86	0.000	0.000				
Bus7	Bus6	0.00	0.000	0.00	117.19	117.86	0.000	0.000				
Bus26	Bus6	0.00	0.000	0.00	117.19	117.86	0.000	0.000				
Bus8	Bus7	0.00	0.000	0.00	117.19	117.86	0.000	0.000				
Bus27	Bus26	0.00	0.000	0.00	117.19	117.86	0.000	0.000				
Bus9	Bus8	0.00	0.000	0.00	117.19	117.86	0.000	0.000				
Bus28	Bus27	0.00	0.000	0.00	117.19	117.86	0.000	0.000				
Bus10	Bus9	0.00	0.000	0.00	117.19	117.86	0.000	0.000				
Bus29	Bus28	0.00	0.000	0.00	117.19	117.86	0.000	0.000				
Bus11	Bus10	0.00	0.000	0.00	117.19	117.86	0.000	0.000				
Bus30	Bus29	0.00	0.000	0.00	117.19	117.86	0.000	0.000				
Bus12	Bus11	0.00	0.000	0.00	117.19	117.86	0.000	0.000				
Bus31	Bus30	0.00	0.000	0.00	117.19	117.86	0.000	0.000				
Bus13	Bus12	0.00	0.000	0.00	117.19	117.86	0.000	0.000				
Bus32	Bus31	0.00	0.000	0.00	117.19	117.86	0.000	0.000				
Bus14	Bus13	0.00	0.000	0.00	117.19	117.86	0.000	0.000				
Bus33	Bus32	0.00	0.000	0.00	117.19	117.86	0.000	0.000				

(Cont.)

Fault at bus: **Bus2**

Prefault voltage = 12.660 kV = 100.00 % of nominal bus kV (12.660 kV)
 = 100.00 % of base kV (12.660 kV)

Contribution		3-Phase Fault		Line-To-Ground Fault					Positive & Zero Sequence Impedances Looking into "From Bus"			
From Bus ID	To Bus ID	% V From Bus	kA Symm. rms	% Voltage at From Bus			kA Symm. rms		% Impedance on 100 MVA base			
				Va	Vb	Vc	Ia	3I0	R1	X1	R0	X0
Bus15	Bus14	0.00	0.000	0.00	117.19	117.86	0.000	0.000				
Bus16	Bus15	0.00	0.000	0.00	117.19	117.86	0.000	0.000				
Bus17	Bus16	0.00	0.000	0.00	117.19	117.86	0.000	0.000				
Bus18	Bus17	0.00	0.000	0.00	117.19	117.86	0.000	0.000				

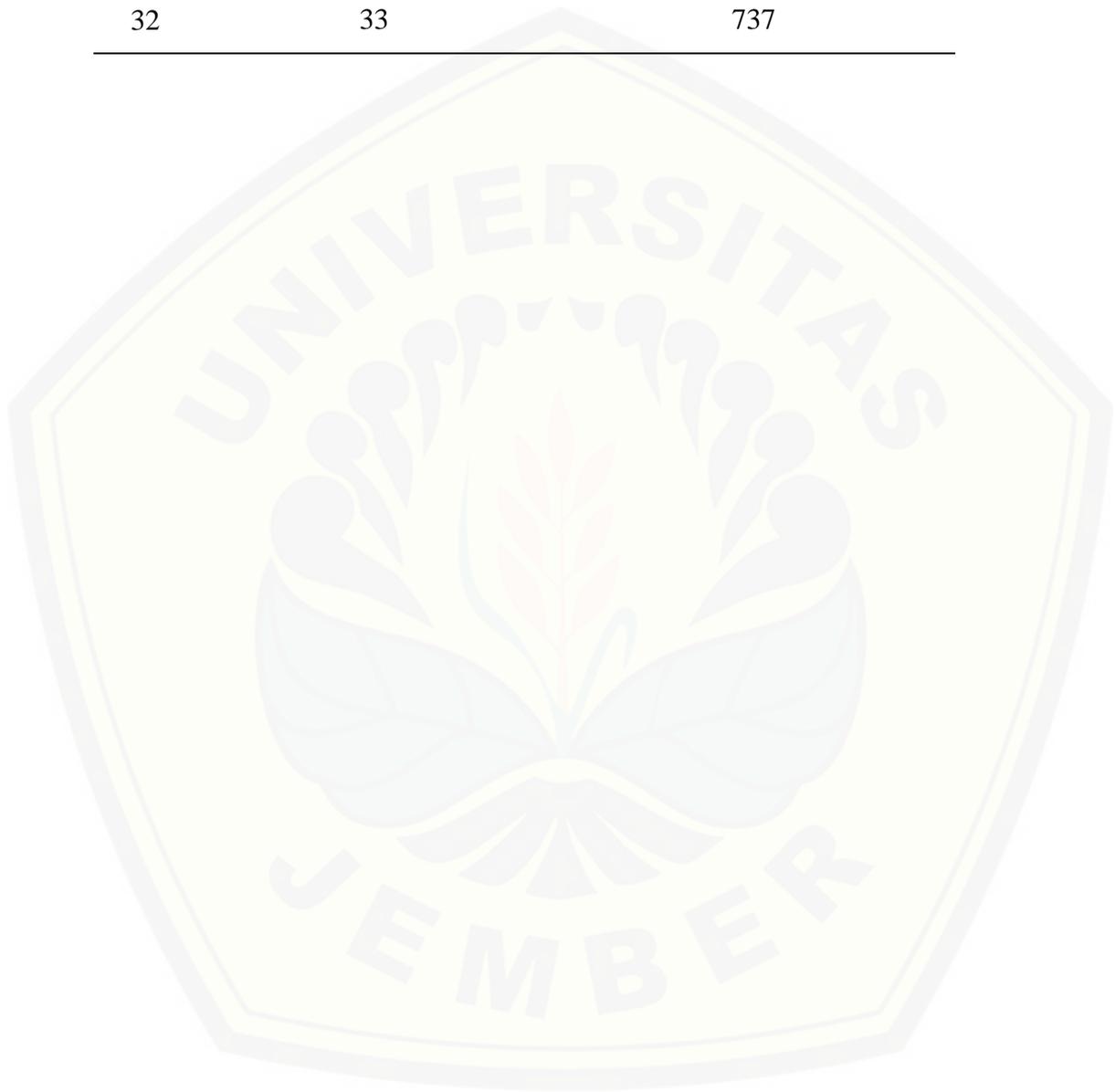
Indicates fault current contribution is from three-winding transformers

* Indicates a zero sequence fault current contribution (3I0) from a grounded Delta-Y transformer

LAMPIRAN D. DATA ARUS HUBUNG SINGKAT 3 FASA PADA JARINGAN IEEE 33 BUS MENGGUNAKAN ETAP 7.5

No	Lokasi Bus Gangguan	Arus Hubung Singkat (Amp)
1	2	4.301
2	3	3.280
3	4	2.782
4	5	2.400
5	6	1.803
6	7	1.627
7	8	1.397
8	9	1.126
9	10	942
10	11	918
11	12	875
12	13	716
13	14	662
14	15	618
15	16	573
16	17	494
17	18	465
18	19	3.875
19	20	1.939
20	21	1.677
21	22	1.338
22	23	2.666
23	24	1.910
24	25	1.482
25	26	1.707
26	27	1.589
27	28	1.227

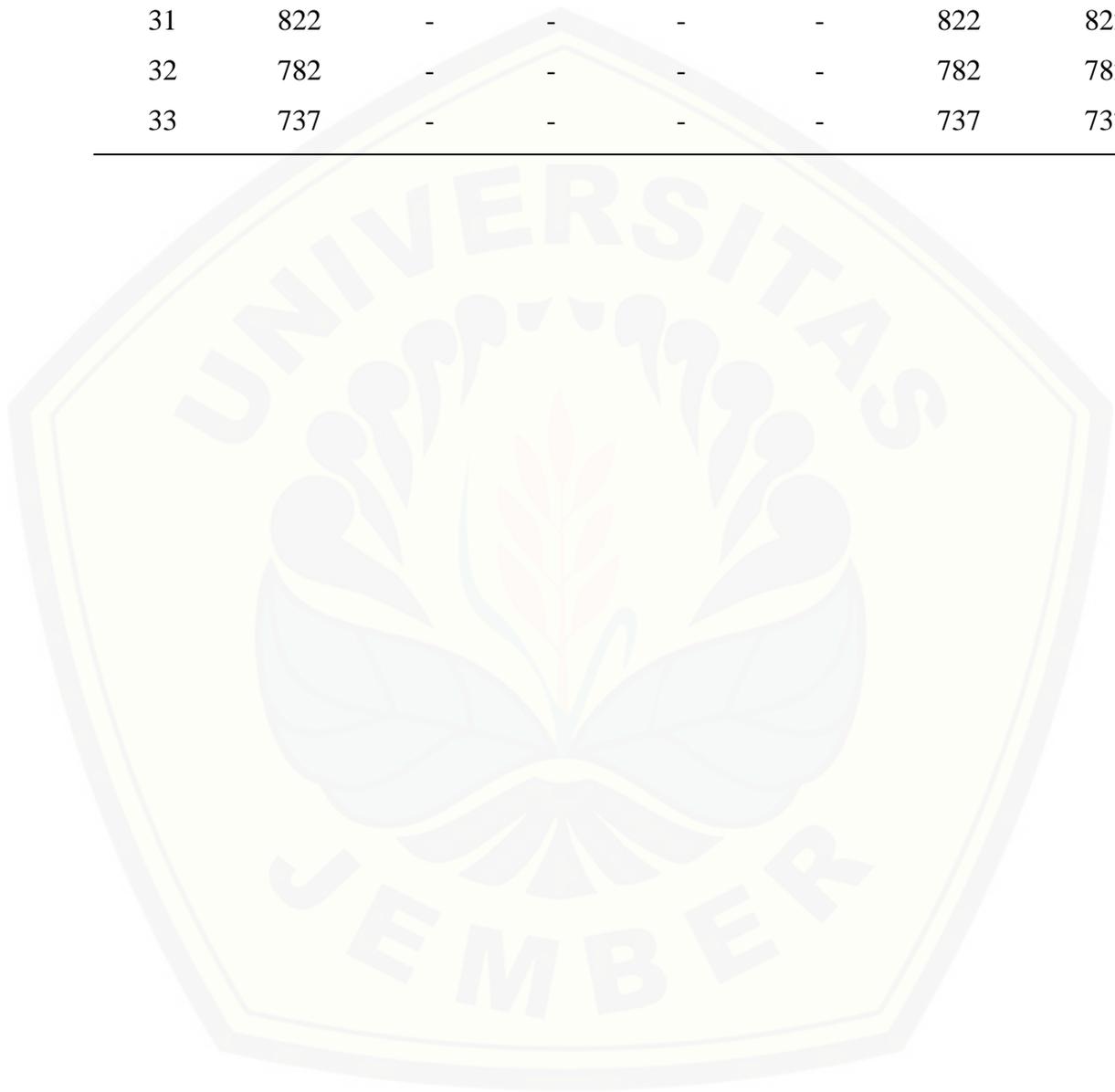
28	29	1.045
29	30	966
30	31	822
31	32	782
32	33	737



LAMPIRAN E. DATA ARUS HUBUNG SINGKAT YANG MELALUI RECLOSER DAN FUSE PADA JARINGAN IEEE 33 BUS MENGGUNAKAN ETAP 7.5

Bus Gangguan	Arus Hubung Singkat (Amp)						
	Recloser	F1	F2	F3	F4	F5	F6
2	4.301	-	-	-	-	-	-
3	3.280	-	-	-	-	-	-
4	2.782	-	-	-	-	-	-
5	2.400	-	-	-	-	-	-
6	1.803	-	-	-	-	-	-
7	1.627	1.627	-	-	-	-	-
8	1.397	1.397	-	-	-	-	-
9	1.126	1.126	-	-	-	-	-
10	942	942	-	-	-	-	-
11	918	918	-	-	-	-	-
12	875	875	-	-	-	-	-
13	716	716	-	-	-	-	-
14	662	662	662	-	-	-	-
15	618	618	618	-	-	-	-
16	573	573	573	-	-	-	-
17	494	494	494	-	-	-	-
18	465	465	465	-	-	-	-
19	3.875	-	-	3.875	-	-	-
20	1.939	-	-	1.939	-	-	-
21	1.677	-	-	1.677	-	-	-
22	1.338	-	-	1.338	-	-	-
23	2.666	-	-	-	2.666	-	-
24	1.910	-	-	-	1.910	-	-
25	1.482	-	-	-	1.482	-	-
26	1.707	-	-	-	-	1.707	-

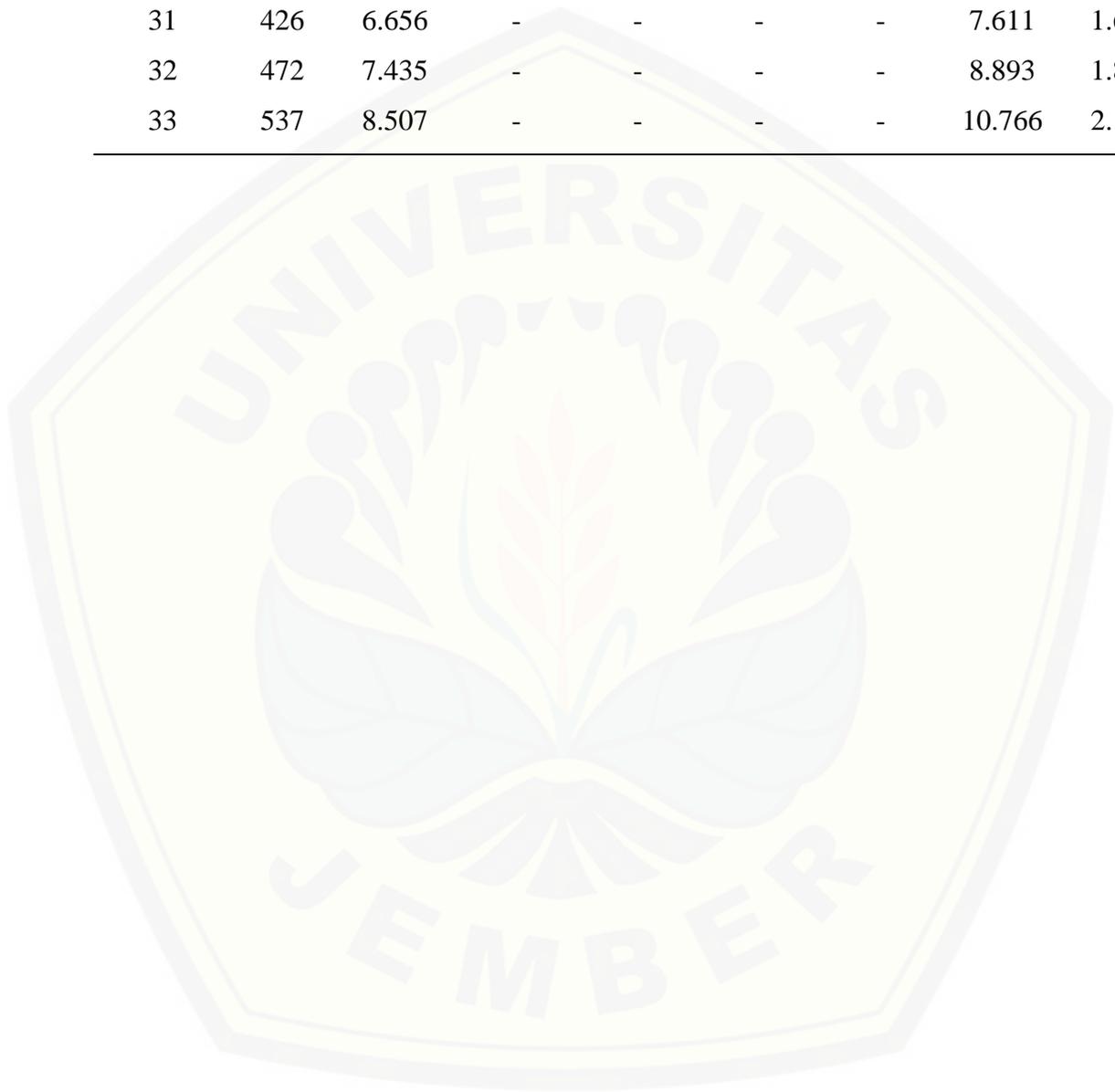
27	1.589	-	-	-	-	1.589	-
28	1.227	-	-	-	-	1.227	-
29	1.045	-	-	-	-	1.045	-
30	966	-	-	-	-	966	-
31	822	-	-	-	-	822	822
32	782	-	-	-	-	782	782
33	737	-	-	-	-	737	737



**LAMPIRAN F. DATA WAKTU PEMUTUSAN PERALATAN PROTEKSI
PADA JARINGAN IEEE 33 BUS MENGGUNAKAN ETAP 7.5**

Bus Gangguan	Waktu Pemutusan (ms)							
	Recloser		F1	F2	F3	F4	F5	F6
	t_{fast}	t_{slow}						
2	59,8	558	-	-	-	-	-	-
3	67,8	691	-	-	-	-	-	-
4	75,5	818	-	-	-	-	-	-
5	85,0	978	-	-	-	-	-	-
6	115	1.476	-	-	-	-	-	-
7	131	1.746	781	-	-	-	-	-
8	163	2.282	1.133	-	-	-	-	-
9	233	3.440	1.926	-	-	-	-	-
10	324	4.966	3.002	-	-	-	-	-
11	321	5.245	3.201	-	-	-	-	-
12	375	5.810	3.606	-	-	-	-	-
13	570	9.067	5.945	-	-	-	-	-
14	679	10.882	7.248	2.816	-	-	-	-
15	794	12.799	8.623	3.383	-	-	-	-
16	948	15.358	10.450	4.154	-	-	-	-
17	1.365	22.314	15.560	6.292	-	-	-	-
18	1.596	26.160	18.425	7.474	-	-	-	-
19	62,3	600	-	-	65,3	-	-	-
20	105	1.318	-	-	236	-	-	-
21	126	1.660	-	-	319	-	-	-
22	175	2.470	-	-	518	-	-	-
23	77,9	859	-	-	-	254	-	-
24	107	1.349	-	-	-	533	-	-
25	150	2.053	-	-	-	981	-	-
26	123	1.612	-	-	-	-	964	-

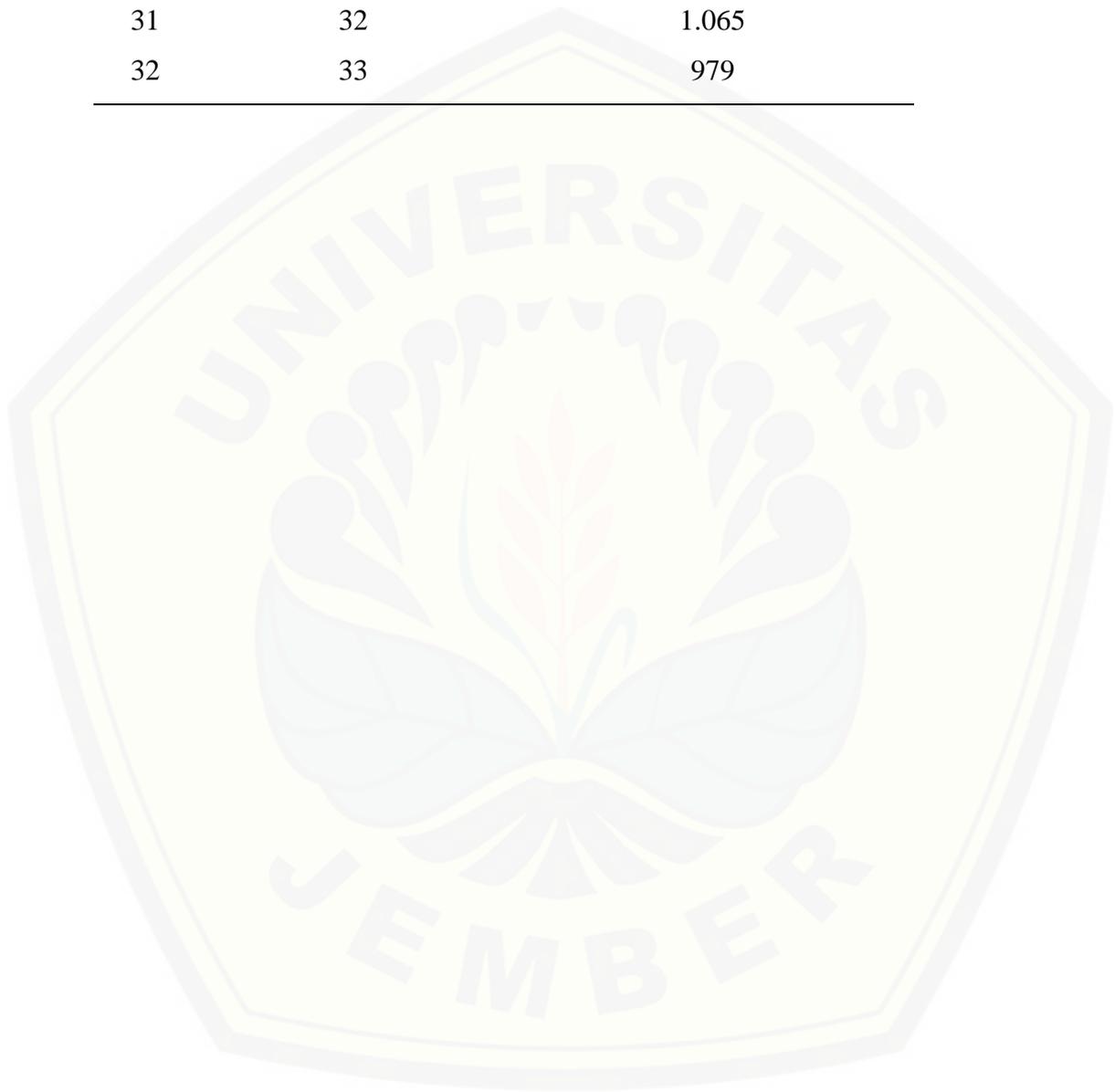
27	135	1.817	-	-	-	-	1.165	-
28	201	2.908	-	-	-	-	2.356	-
29	266	4.002	-	-	-	-	3.728	-
30	309	4.704	-	-	-	-	4.682	-
31	426	6.656	-	-	-	-	7.611	1.608
32	472	7.435	-	-	-	-	8.893	1.824
33	537	8.507	-	-	-	-	10.766	2.128



LAMPIRAN G. DATA ARUS HUBUNG SINGKAT 3 FASA PADA JARINGAN IEEE 33 BUS DENGAN PENAMBAHAN DG 900 KW PADA BUS 5 MENGGUNAKAN ETAP 7.5

No	Lokasi Bus Gangguan	Arus Hubung Singkat (Amp)
1	2	8.148
2	3	8.927
3	4	11.177
4	5	19.037
5	6	4.994
6	7	3.599
7	8	2.704
8	9	1.842
9	10	1.394
10	11	1.344
11	12	1.256
12	13	951
13	14	855
14	15	783
15	16	712
16	17	592
17	18	550
18	19	6.613
19	20	2.365
20	21	1.973
21	22	1.508
22	23	5.377
23	24	2.932
24	25	2.015
25	26	4.332
26	27	3.651

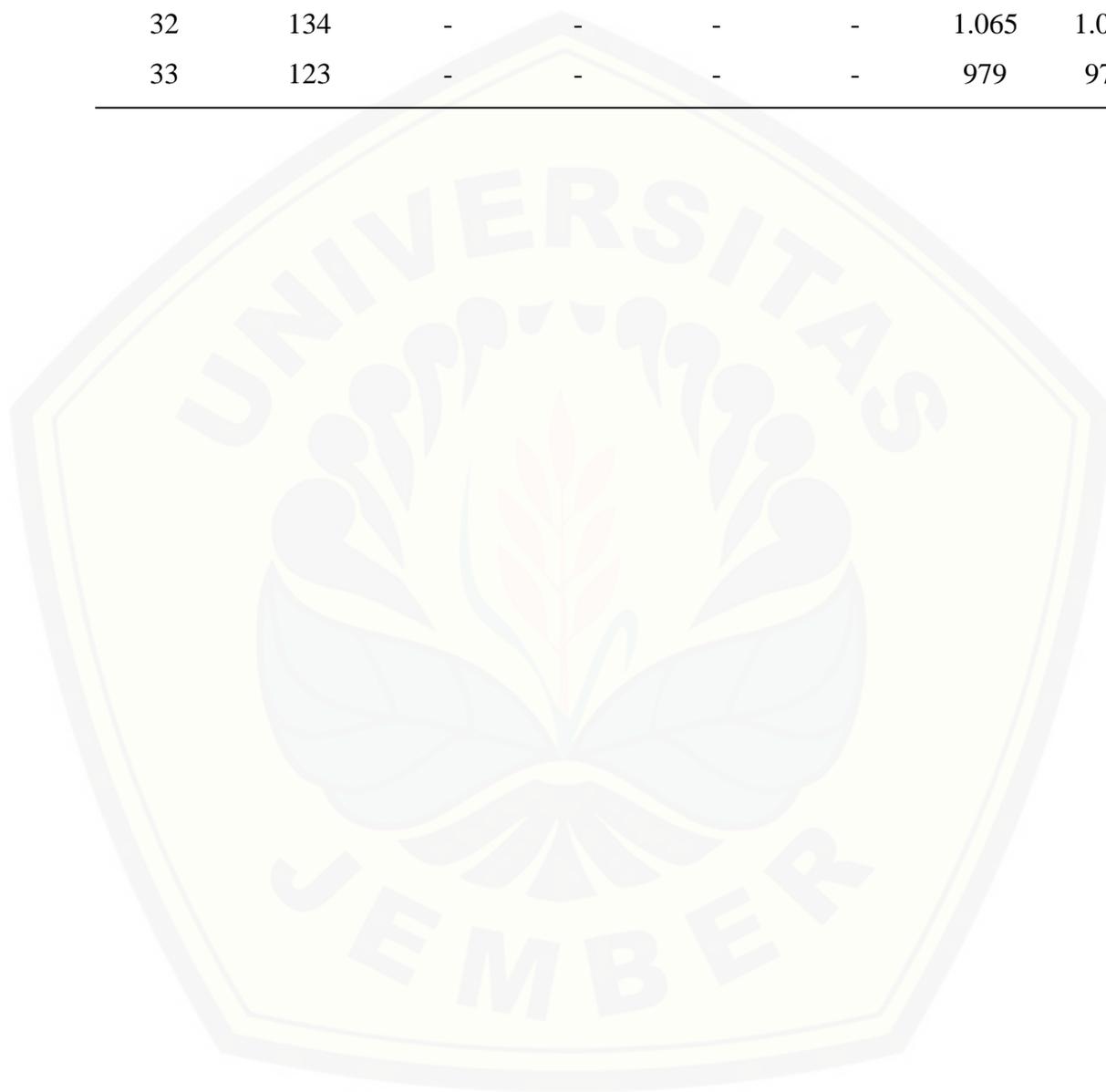
27	28	2.144
28	29	1.633
29	30	1.452
30	31	1.143
31	32	1.065
32	33	979



LAMPIRAN H. DATA ARUS HUBUNG SINGKAT YANG MELALUI RECLOSER DAN FUSE PADA JARINGAN IEEE 33 BUS DENGAN PENAMBAHAN DG 900 KW DI BUS 5 MENGGUNAKAN ETAP 7.5

Bus Gangguan	Arus Hubung Singkat (Amp)						
	Recloser	F1	F2	F3	F4	F5	F6
2	4.301	-	-	-	-	-	-
3	3.280	-	-	-	-	-	-
4	2.782	-	-	-	-	-	-
5	2.400	-	-	-	-	-	-
6	630	-	-	-	-	-	-
7	454	3.599	-	-	-	-	-
8	341	2.704	-	-	-	-	-
9	232	1.842	-	-	-	-	-
10	176	1.393	-	-	-	-	-
11	169	1.344	-	-	-	-	-
12	158	1.256	-	-	-	-	-
13	120	951	-	-	-	-	-
14	108	855	855	-	-	-	-
15	99	783	783	-	-	-	-
16	90	712	712	-	-	-	-
17	75	592	592	-	-	-	-
18	69	550	550	-	-	-	-
19	3.490	-	-	6.613	-	-	-
20	1.248	-	-	2.365	-	-	-
21	1.042	-	-	1.973	-	-	-
22	796	-	-	1.508	-	-	-
23	1.976	-	-	-	5.377	-	-
24	1.077	-	-	-	2.932	-	-
25	7.400	-	-	-	2.015	-	-
26	546	-	-	-	-	4.322	-
27	460	-	-	-	-	3.651	-

28	270	-	-	-	-	2.144	-
29	206	-	-	-	-	1.633	-
30	183	-	-	-	-	1.452	-
31	144	-	-	-	-	1.143	1.143
32	134	-	-	-	-	1.065	1.065
33	123	-	-	-	-	979	979

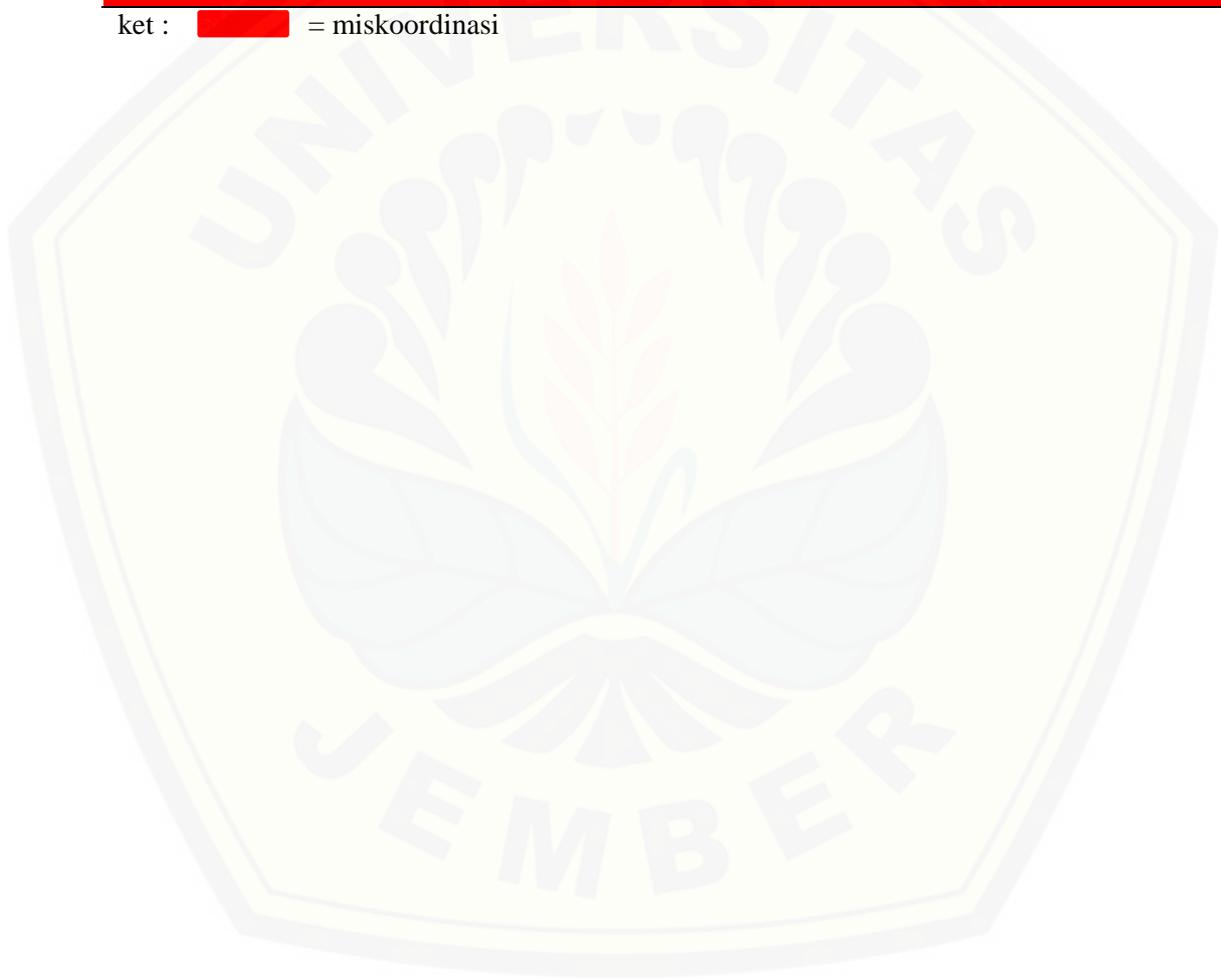


LAMPIRAN I. DATA WAKTU PEMUTUSAN PERALATAN PROTEKSI PADA JARINGAN IEEE 33 BUS DENGAN PENAMBAHAN DG 900 KW DI BUS 5 MENGGUNAKAN ETAP 7.5

Bus Gangguan	Waktu Pemutusan (ms)							
	Recloser		F1	F2	F3	F4	F5	F6
	t_{fast}	t_{slow}						
2	59,8	558	-	-	-	-	-	-
3	67,8	691	-	-	-	-	-	-
4	75,5	818	-	-	-	-	-	-
5	85,0	978	-	-	-	-	-	-
6	762	12.256	-	-	-	-	-	-
7	1.702	27.895	147	-	-	-	-	-
8	3.794	62.791	247	-	-	-	-	-
9	-	-	581	-	-	-	-	-
10	-	-	1.140	-	-	-	-	-
11	-	-	1.247	-	-	-	-	-
12	-	-	1.470	-	-	-	-	-
13	-	-	2.928	-	-	-	-	-
14	-	-	3.818	1.458	-	-	-	-
15	-	-	4.760	1.820	-	-	-	-
16	-	-	6.029	2.320	-	-	-	-
17	-	-	9.647	3.815	-	-	-	-
18	-	-	11.640	4.660	-	-	-	-
19	65,5	653	-	-	34,4	-	-	-
20	195	2.815	-	-	158	-	-	-
21	268	4.028	-	-	228	-	-	-
22	455	7.149	-	-	400	-	-	-
23	103	1.282	-	-	-	76,9	-	-
24	252	3.761	-	-	-	212	-	-
25	531	8.407	-	-	-	469	-	-

26	1.066	17.328	-	-	-	-	146	-
27	1.639	26.875	-	-	-	-	195	-
28	8.054	133.796	-	-	-	-	551	-
29	-	-	-	-	-	-	1.083	-
30	-	-	-	-	-	-	1.485	-
31	-	-	-	-	-	-	2.881	736
32	-	-	-	-	-	-	3.529	864
33	-	-	-	-	-	-	4.509	1.052

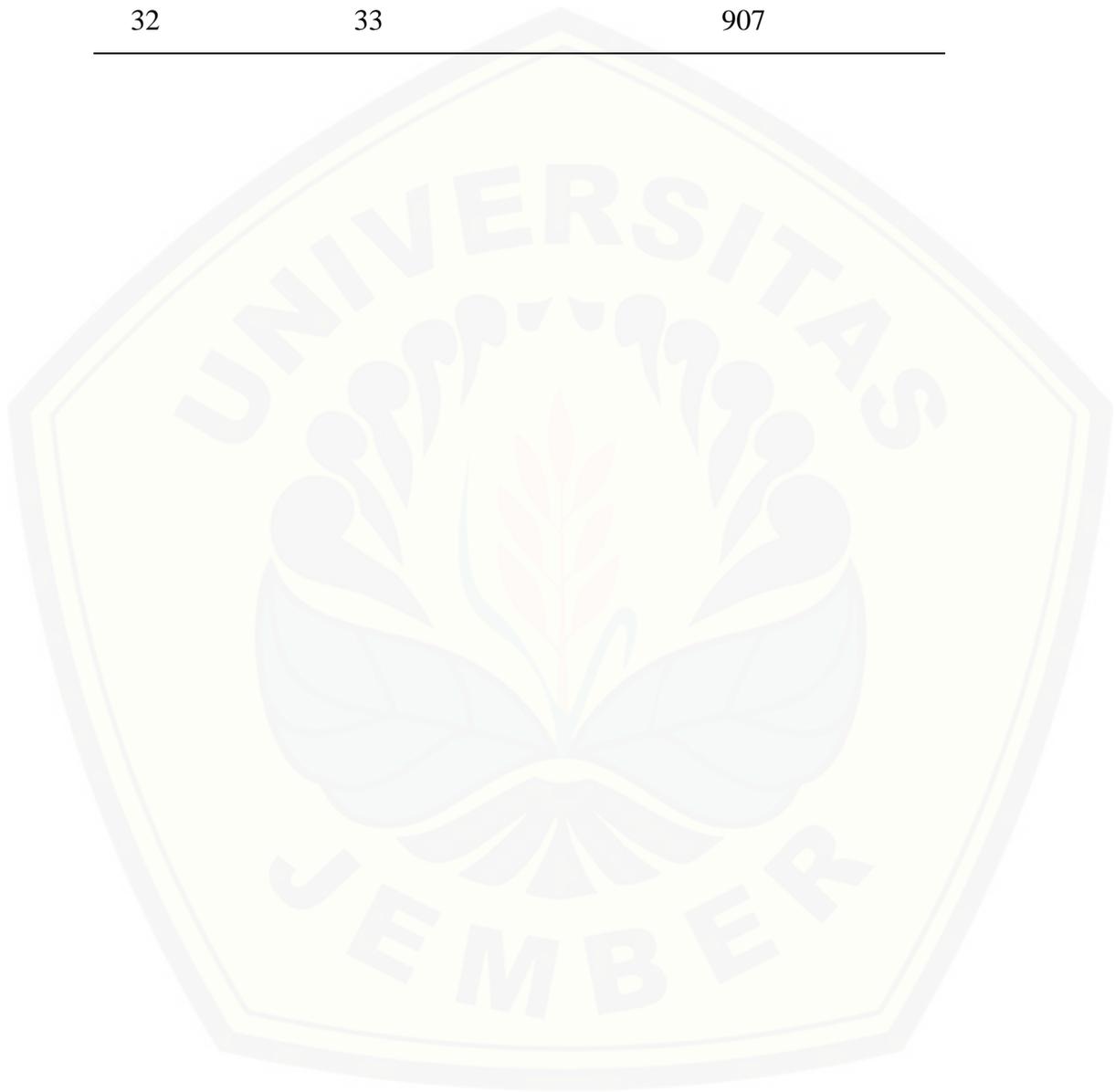
ket : = miskoordinasi



LAMPIRAN J. DATA ARUS HUBUNG SINGKAT 3 FASA PADA JARINGAN IEEE 33 BUS DENGAN PENAMBAHAN DG 900 KW DI BUS 10 MENGGUNAKAN ETAP 7.5

No	Lokasi Bus Gangguan	Arus Hubung Singkat (Amp)
1	2	5.285
2	3	4.391
3	4	3.988
4	5	3.712
5	6	3.504
6	7	3.597
7	8	3.837
8	9	5.381
9	10	17.697
10	11	11.909
11	12	7.268
12	13	2.557
13	14	1.967
14	15	1.622
15	16	1.346
16	17	971
17	18	864
18	19	4.620
19	20	2.075
20	21	1.772
21	22	1.392
22	23	3.330
23	24	2.208
24	25	1.648
25	26	3.160
26	27	2.777
27	28	1.817

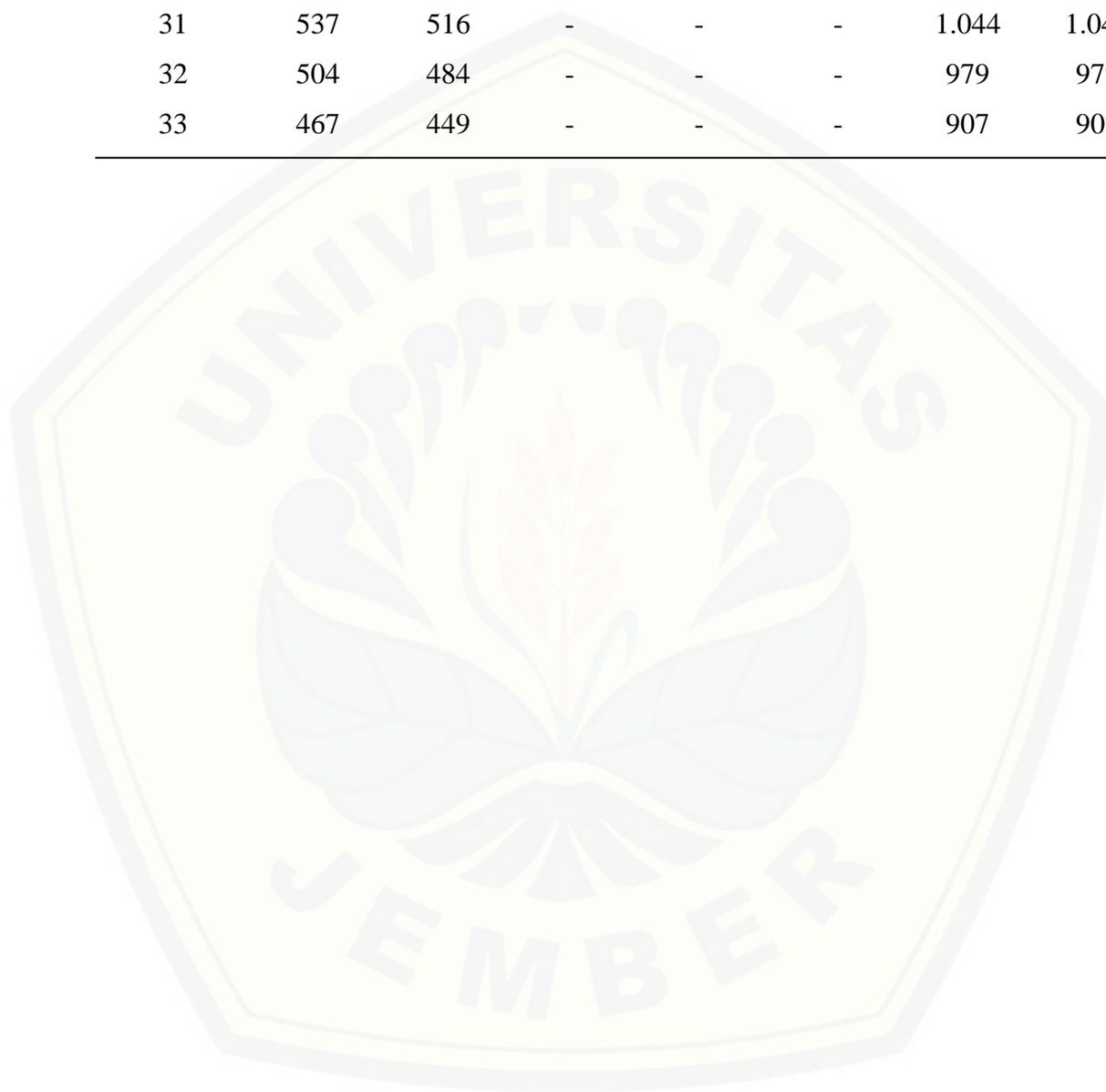
28	29	1.438
29	30	1.294
30	31	1.044
31	32	979
32	33	907



LAMPIRAN K. DATA ARUS HUBUNG SINGKAT YANG MELALUI RECLOSER DAN FUSE PADA JARINGAN IEEE 33 BUS DENGAN PENAMBAHAN DG 900 KW DI BUS 10 MENGGUNAKAN ETAP 7.5

Bus Gangguan	Arus Hubung Singkat (Amp)						
	Recloser	F1	F2	F3	F4	F5	F6
2	4.301	1.096	-	-	-	-	-
3	3.280	1.194	-	-	-	-	-
4	2.782	1.278	-	-	-	-	-
5	2.400	1.380	-	-	-	-	-
6	1.803	1.733	-	-	-	-	-
7	1.627	1.627	-	-	-	-	-
8	1.397	1.397	-	-	-	-	-
9	1.126	1.126	-	-	-	-	-
10	942	942	-	-	-	-	-
11	634	634	-	-	-	-	-
12	387	387	-	-	-	-	-
13	136	136	-	-	-	-	-
14	105	105	1.967	-	-	-	-
15	86	86	1.622	-	-	-	-
16	72	72	1.346	-	-	-	-
17	52	52	971	-	-	-	-
18	46	46	864	-	-	-	-
19	3.760	958	-	4.620	-	-	-
20	1.689	430	-	2.075	-	-	-
21	1.442	367	-	1.772	-	-	-
22	1.133	289	-	1.392	-	-	-
23	2.487	905	-	-	3.330	-	-
24	1.649	600	-	-	2.208	-	-
25	1.231	448	-	-	1.648	-	-
26	1.626	1.563	-	-	-	3.160	-

27	1.429	1.373	-	-	-	2.777	-
28	935	898	-	-	-	1.817	-
29	740	711	-	-	-	1.438	-
30	666	640	-	-	-	1.294	-
31	537	516	-	-	-	1.044	1.044
32	504	484	-	-	-	979	979
33	467	449	-	-	-	907	907

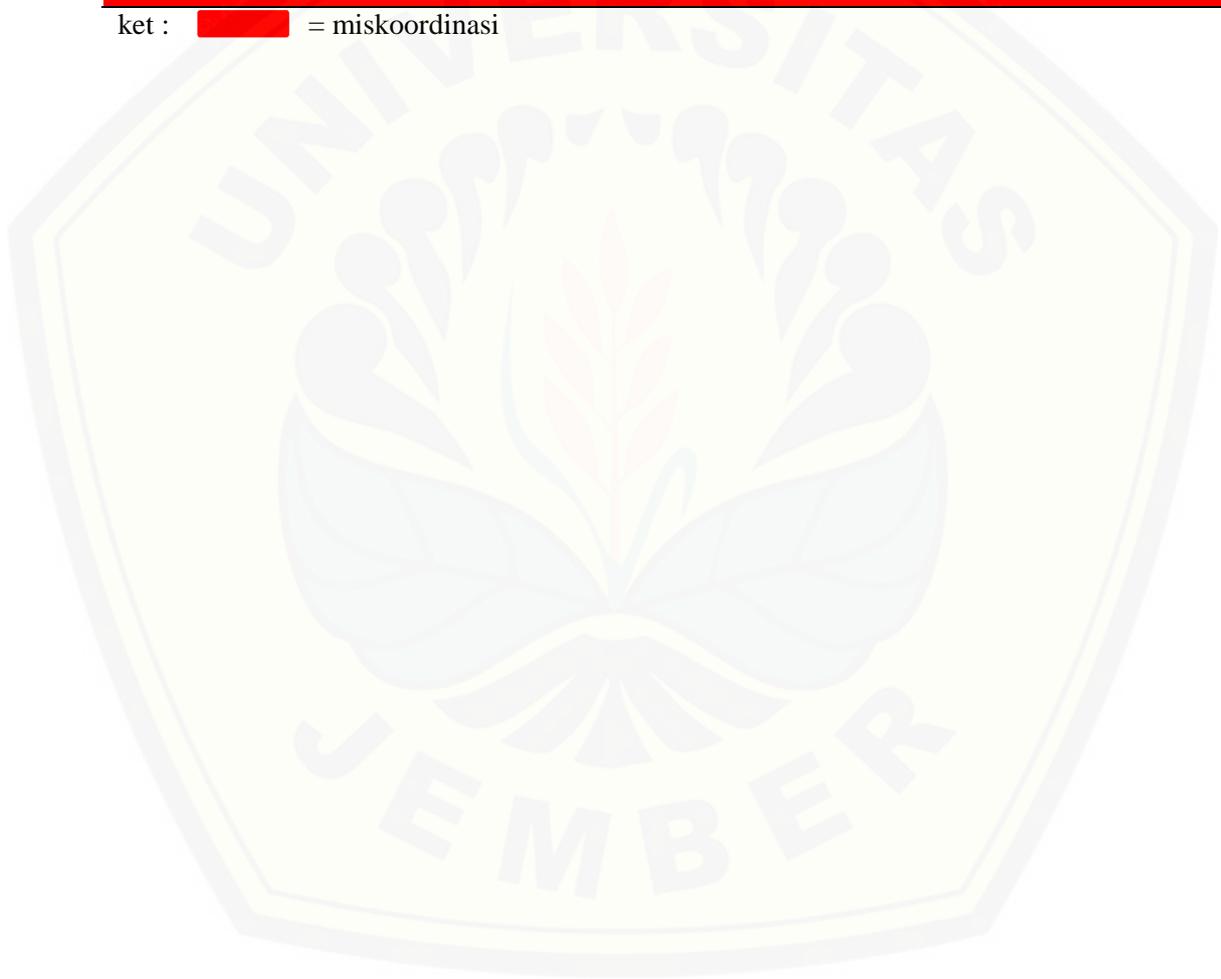


LAMPIRAN L. DATA WAKTU PEMUTUSAN PERALATAN PROTEKSI PADA JARINGAN IEEE 33 BUS DENGAN PENAMBAHAN DG 900 KW DI BUS 10 MENGGUNAKAN ETAP 7.5

Bus Gangguan	Waktu Pemutusan (ms)							
	Recloser		F1	F2	F3	F4	F5	F6
	t _{fast}	t _{slow}						
2	59,8	558	2.061	-	-	-	-	-
3	67,8	691	1.668	-	-	-	-	-
4	75,5	818	1.409	-	-	-	-	-
5	85,0	978	1.168	-	-	-	-	-
6	115	1.476	672	-	-	-	-	-
7	131	1.746	781	-	-	-	-	-
8	163	2.282	1.133	-	-	-	-	-
9	233	3.440	1.926	-	-	-	-	-
10	324	4.966	3.002	-	-	-	-	-
11	751	12.070	8.100	-	-	-	-	-
12	2.628	43.365	31.147	-	-	-	-	-
13	-	-	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	229	-	-	-	-
15	-	-	-	343	-	-	-	-
16	-	-	-	512	-	-	-	-
17	-	-	-	1.073	-	-	-	-
18	-	-	-	1.420	-	-	-	-
19	63,2	614	2.876	-	51,6	-	-	-
20	125	1.641	22.905	-	205	-	-	-
21	156	2.155	36.262	-	284	-	-	-
22	230	3.399	81.075	-	475	-	-	-
23	82,4	934	3.312	-	-	168	-	-
24	129	1.707	9.298	-	-	378	-	-
25	200	2.892	20.450	-	-	758	-	-

26	131	1.749	862	-	-	-	253	-
27	158	2.191	1.181	-	-	-	322	-
28	329	5.043	3.374	-	-	-	822	-
29	531	8.419	6.052	-	-	-	1.524	-
30	670	10.733	7.894	-	-	-	2.032	-
31	1.109	18.050	13.792	-	-	-	3.733	904
32	1.301	21.247	16.469	-	-	-	4.503	1.051
33	1.582	25.930	20.390	-	-	-	5.646	1.263

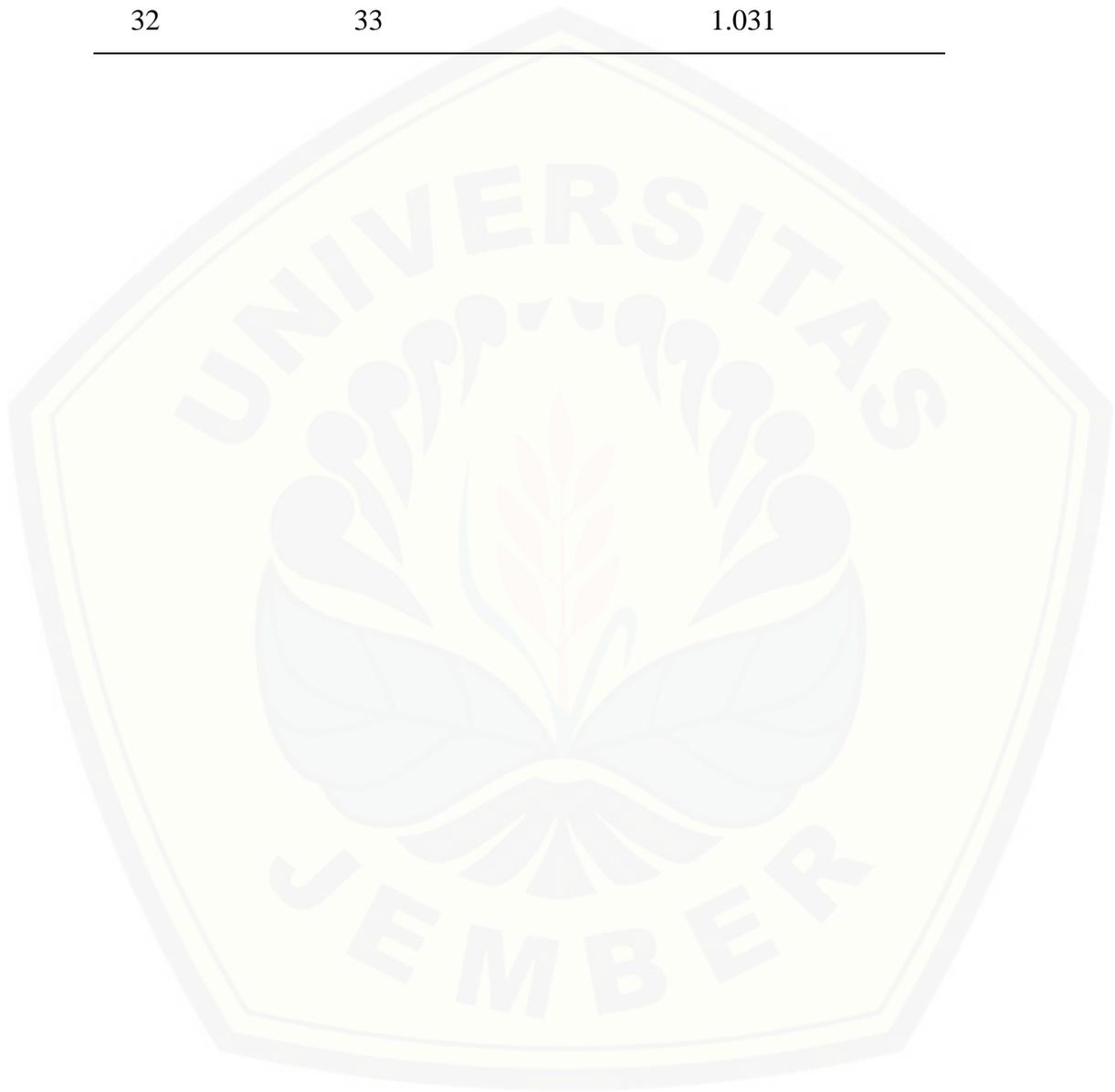
ket : = miskoordinasi



LAMPIRAN M. DATA ARUS HUBUNG SINGKAT 3 FASA PADA JARINGAN IEEE 33 BUS DENGAN PENAMBAHAN 2 DG 900 KW DI BUS 5 DAN BUS 10 MENGGUNAKAN ETAP 7.5

No	Lokasi Bus Gangguan	Arus Hubung Singkat (Amp)
1	2	8.222
2	3	9.081
3	4	11.515
4	5	20.408
5	6	6.727
6	7	5.513
7	8	5.148
8	9	6.099
9	10	18.153
10	11	12.120
11	12	7.347
12	13	2.567
13	14	1.972
14	15	1.626
15	16	1.349
16	17	972
17	18	865
18	19	6.660
19	20	2.371
20	21	1.977
21	22	1.510
22	23	5.432
23	24	2.948
24	25	2.022
25	26	5.577
26	27	4.496
27	28	2.410

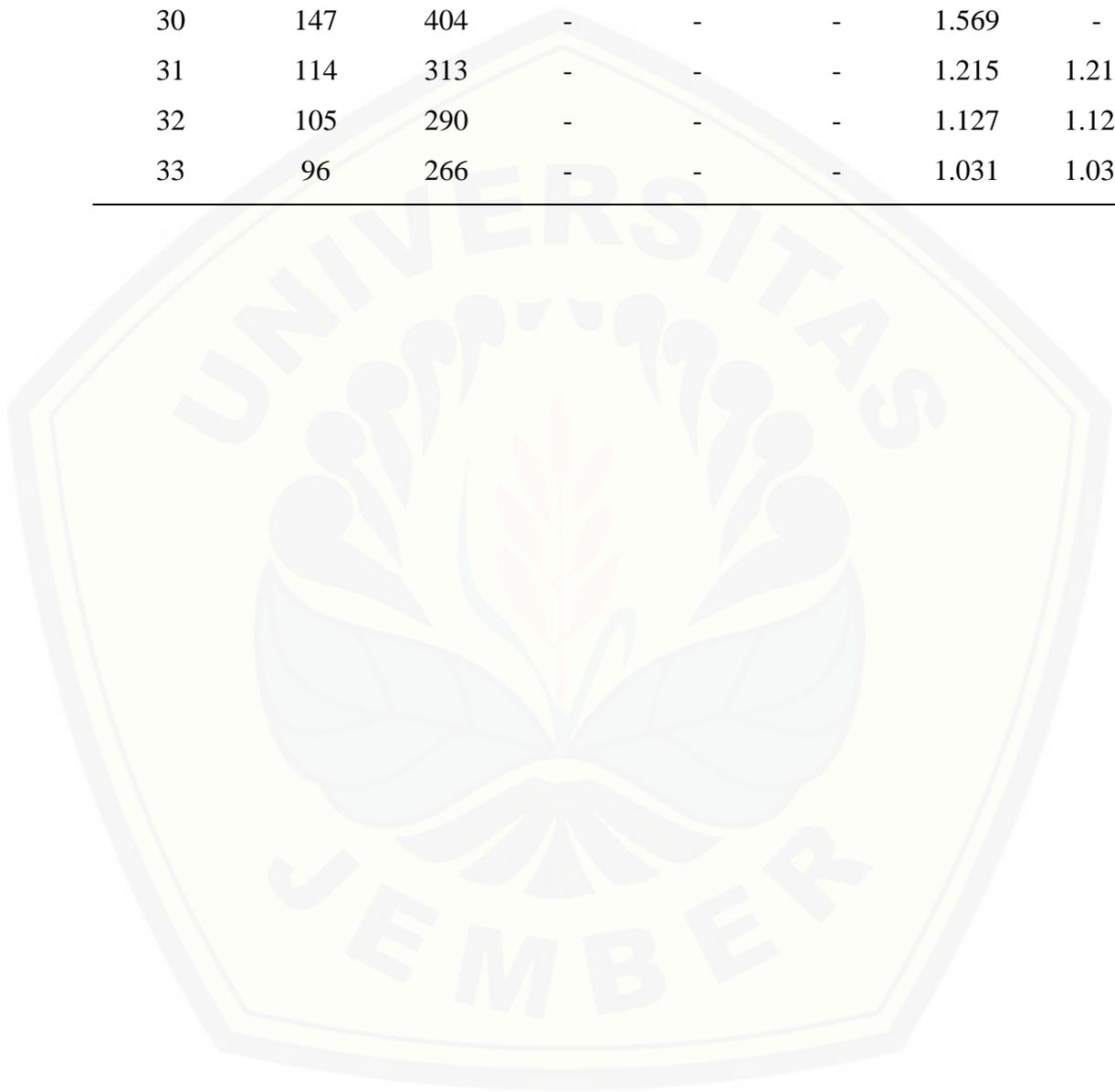
28	29	1.784
29	30	1.569
30	31	1.215
31	32	1.127
32	33	1.031



LAMPIRAN N. DATA ARUS HUBUNG SINGKAT YANG MELALUI RECLOSER DAN FUSE PADA JARINGAN IEEE 33 BUS DENGAN PENAMBAHAN 2 DG 900 KW DI BUS 5 DAN BUS 10 MENGGUNAKAN ETAP 7.5

Bus Gangguan	Arus Hubung Singkat (Amp)						
	Recloser	F1	F2	F3	F4	F5	F6
2	4.301	310	-	-	-	-	-
3	3.280	449	-	-	-	-	-
4	2782	671	-	-	-	-	-
5	2.400	1.380	-	-	-	-	-
6	630	1.733	-	-	-	-	-
7	454	3.599	-	-	-	-	-
8	341	2.704	-	-	-	-	-
9	232	1.842	-	-	-	-	-
10	176	1.393	-	-	-	-	-
11	117	930	-	-	-	-	-
12	071	564	-	-	-	-	-
13	25	197	-	-	-	-	-
14	19	151	1.972	-	-	-	-
15	16	125	1.626	-	-	-	-
16	13	104	1.349	-	-	-	-
17	9	75	972	-	-	-	-
18	8	66	865	-	-	-	-
19	3.484	251	-	6.660	-	-	-
20	1.240	89	-	2.371	-	-	-
21	1.034	75	-	1.977	-	-	-
22	790	57	-	1.510	-	-	-
23	1.962	269	-	-	5.432	-	-
24	1065	146	-	-	2.948	-	-
25	731	100	-	-	2.022	-	-

26	522	1.437	-	-	-	5.577	-
27	421	1.158	-	-	-	4.496	-
28	226	621	-	-	-	2.410	-
29	167	460	-	-	-	1.784	-
30	147	404	-	-	-	1.569	-
31	114	313	-	-	-	1.215	1.215
32	105	290	-	-	-	1.127	1.127
33	96	266	-	-	-	1.031	1.031



LAMPIRAN O. DATA WAKTU PEMUTUSAN PERALATAN PROTEKSI PADA JARINGAN IEEE 33 BUS DENGAN PENAMBAHAN 2 DG 900 KW DI BUS 5 DAN BUS 10 MENGGUNAKAN ETAP 7.5

Bus Gangguan	Waktu Pemutusan (ms)							
	Recloser		F1	F2	F3	F4	F5	F6
	t _{fast}	t _{slow}						
2	59,8	558	62.594	-	-	-	-	-
3	67,8	691	20.319	-	-	-	-	-
4	75,4	818	6.995	-	-	-	-	-
5	85	978	1.168	-	-	-	-	-
6	762	12.256	672	-	-	-	-	-
7	1.702	27.923	147	-	-	-	-	-
8	3.794	62.791	247	-	-	-	-	-
9	-	-	581	-	-	-	-	-
10	-	-	1.140	-	-	-	-	-
11	-	-	3.093	-	-	-	-	-
12	-	-	10.916	-	-	-	-	-
13	-	-	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	228	-	-	-	-
15	-	-	-	341	-	-	-	-
16	-	-	-	510	-	-	-	-
17	-	-	-	1.069	-	-	-	-
18	-	-	-	1.416	-	-	-	-
19	65,6	655	173.392	-	34.2	-	-	-
20	197	2.851	-	-	157	-	-	-
21	271	4.086	-	-	227	-	-	-
22	463	7.270	-	-	399	-	-	-
23	104	1.295	111.423	-	-	75,7	-	-
24	257	3.851	-	-	-	210	-	-
25	546	8.667	-	-	-	465	-	-

26	1.191	19.412	1.057	-	-	-	98,1	-
27	2.081	34.237	1.797	-	-	-	137	-
28	-	-	8.527	-	-	-	427	-
29	-	-	19.048	-	-	-	861	-
30	-	-	27.348	-	-	-	1.204	-
31	-	-	60.714	-	-	-	2426	642
32	-	-	79.389	-	-	-	3.001	760
33	-	-	118.653	-	-	-	3.877	932

ket :  = miskoordinasi

