



TUGAS AKHIR - EE184801

**STUDI PEMASANGAN *GENERATOR CIRCUIT BREAKER*
DI PLTU PACITAN DENGAN MEMPERTIMBANGKAN
*TRANSIENT RECOVERY VOLTAGE (TRV)***

Yogi Prianda Ferdani
NRP 0711154000002

Dosen Pembimbing
I Gusti Ngurah Satriyadi Hernanda, ST., MT.
Dedet Candra Riawan, ST., M. Eng., Ph. D.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019



FINAL PROJECT - EE184801

**STUDY OF GENERATOR CIRCUIT BREAKER
INSTALLATION IN PACITAN POWER PLANT BY
CONSIDERING TRANSIENT RECOVERY VOLTAGE**

Yogi Prianda Ferdani
NRP 0711154000002

Advisor
I Gusti Ngurah Satriyadi Hernanda, ST., MT.
Dedet Candra Riawan, ST., M. Eng., Ph. D.

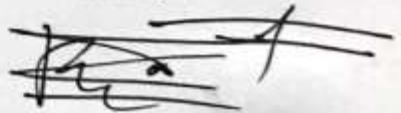
ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Electrical Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan tugas akhir saya dengan judul "**Studi Pemasangan *Generator Circuit Breaker* di PLTU Pacitan dengan Mempertimbangkan *Transient Recovery Voltage (TRV)***" adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diizinkan dan bukan 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, Juli 2019



Yogi Prianda Ferdani
NRP. 0711154000002

**STUDI PEMASANGAN *GENERATOR CIRCUIT BREAKER* DI PLTU PACITAN DENGAN
MEMPERTIMBANGKAN *TRANSIENT RECOVERY VOLTAGE (TRV)***

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Sebagai Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Teknik Sistem Tenaga
Departemen Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui:

Dosen Pembimbing I



IGN Satriyadi H, ST., MT.
NIP. 19730123 200212 1001

Dosen Pembimbing II



Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D.
NIP. 19731119 200003 1001



**STUDI PEMASANGAN *GENERATOR CIRCUIT BREAKER* DI
PLTU PACITAN DENGAN MEMPERTIMBANGKAN
*TRANSIENT RECOVERY VOLTAGE (TRV)***

Nama : Yogi Prianda Ferdani
NRP : 0711154000002
Pembimbing I : IGN Satriyadi Hernanda, ST., MT.
Pembimbing II : Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D.

ABSTRAK

Generator adalah peralatan yang sangat vital dalam sistem tenaga listrik. Dalam menjaga generator dan kontinuitas sistem maka diperlukan pengamanan untuk menghindari kondisi darurat. Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Pacitan merencanakan pemasangan *Generator Circuit Breaker (GCB)* untuk mengatasi potensi *blackout* jika terjadi kondisi *emergency level 4. Transient Recovery Voltage (TRV)* merupakan salah satu parameter untuk mengetahui batas kemampuan pemutusan arus pada GCB yang dinyatakan dalam *Rate of Rise of Recovery Voltage (RRRV)*. Tujuan dari studi ini adalah untuk mengetahui nilai TRV dan RRRV yang terjadi pada GCB ketika memutus arus hubung singkat tiga fasa. Pada tugas akhir ini, pemodelan TRV disimulasikan menggunakan perangkat lunak ATPDraw. Nilai parameter dan variabel didapatkan dari *datasheet* peralatan yang ada di PLTU Pacitan. Hasil simulasi didapatkan nilai TRV dan RRRV yang terjadi ketika GCB memutus arus hubung singkat masih di bawah standar IEEE C37.013.

Kata kunci: ATPDraw, *Generator Circuit Breaker*, *Transient Recovery Voltage*, *Rate of Rise of Recovery Voltage*.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**STUDY OF GENERATOR CIRCUIT BREAKER
INSTALLATION IN PACITAN POWER PLANT BY
CONSIDERING TRANSIENT RECOVERY VOLTAGE (TRV)**

Name : Yogi Prianda Ferdani
NRP : 0711154000002
Advisor I : IGN Satriyadi Hernanda, ST., MT.
Advisor II : Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D.

ABSTRACT

Generator is a very vital equipment in electric power system. To maintain the generator and system continuity, a protection to prevent emergency condition is needed. Pacitan Power Plant Station planned a Generator Circuit Breaker (GCB) installation to counteract potential blackout that might happen in case a level 4 emergency condition occurred. Transient Recovery Voltage (TRV) is one of the parameters in determining the capability limit of current interruption on GCB and is expressed in Rate of Rise of Recovery Voltage (RRRV). The objective of this study is to figure out TRV and RRRV value that happened on GCB when interrupting a three phase current. In this thesis TRV modeling is simulated using ATPDraw software. The parameter and variable value is acquired from the equipment datasheet from Pacitan Power Plant Station. The simulation results obtained TRV and RRRV values that occur when GCB interrupt the fault current under the IEEE C37.013 standard.

Keywords: ATPDraw, Generator Circuit Breaker, Transient Recovery Voltage, Rate of Rise of Recovery Voltage.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis kirimkan atas kehadiran Allah SWT yang selalu memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan tepat waktu. Shalawat dan salam semoga selalu dilimpahkan kepada Rasulullah Muhammad SAW.

Tugas akhir ini disusun untuk memenuhi sebagian persyaratan guna menyelesaikan pendidikan Sarjana pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember yang berjudul:

STUDI PEMASANGAN *GENERATOR CIRCUIT BREAKER* DI PLTU PACITAN DENGAN MEMPERTIMBANGKAN *TRANSIENT RECOVERY VOLTAGE (TRV)*

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada:

1. Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya.
2. Papa, Mama, Abang Ferry, dan Kakak Vicky atas doa dan dukungannya dalam mendampingi saya hingga menjadi seorang sarjana.
3. Bapak I Gusti Ngurah Satriyadi Hernanda, ST., MT. dan Bapak Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D. selaku dosen pembimbing yang telah banyak membantu dan berbagi ilmu selama penelitian tugas akhir ini.
4. Bapak Dr. Eng. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng. selaku Ketua Departemen serta seluruh dosen dan karyawan yang telah memberikan banyak ilmu dan bantuanya selama proses perkuliahan di Teknik Elektro ITS.
5. Teman-teman asisten Laboratorium Tegangan Tinggi yang telah banyak membantu dalam proses pengerjaan tugas akhir ini.
6. Yofi Alifa yang selalu mengingatkan dan memberi semangat dalam pengerjaan tugas akhir ini.
7. Pihak-pihak lain yang belum bisa penulis sebutkan satu per satu yang ikut membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih memiliki banyak kekurangan. Oleh karena itu, saran dan masukan sangat diharapkan untuk

perbaikan di masa yang akan datang. Semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi pembaca dan masyarakat pada umumnya.

Surabaya, Juli 2019

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
PERNYATAAN KEASLIAN	
HALAMAN PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan.	2
1.5 Sistematika Penulisan	2
BAB II GENERATOR CIRCUIT BREAKER DAN TRANSIENT RECOVERY VOLTAGE	5
2.1 Sistem Tenaga Listrik	5
2.1.1 Sistem Pembangkit Tenaga Listrik	5
2.2 <i>Circuit Breaker</i>	6
2.2.1 Pengertian <i>Generator Circuit Breaker (GCB)</i>	8
2.3 <i>Transient Recovery Voltage (TRV)</i>	9
2.3.1 Pengertian <i>Transient Recovery Voltage</i>	9
2.3.2 Parameter dalam <i>Transient Recovery Voltage</i>	11
2.3.2.1 <i>Rangkaian RLC Seri Source-Free</i>	11
2.3.2.2 <i>Rangkaian RLC Paralel Source-Free</i>	13
2.3.3 Proses Terjadinya <i>Transient Recovery Voltage</i>	14
2.3.4 Faktor yang Mempengaruhi <i>Transient Recovery Voltage</i> .	14
2.3.5 Efek dari <i>Transient Recovery Voltage</i>	15
2.3.6 <i>Transient Recovery Voltage</i> pada <i>Generator Circuit Breaker</i>	15
2.3.7 Perhitungan Manual TRV pada <i>Generator Circuit Breaker</i>	17
BAB IIIPEMODELAN TRANSIENT RECOVERY VOLTAGE (TRV) PLTU PACITAN	21
3.1 Profil PLTU Pacitan	21
3.2 Sistem Pembangkitan Listrik di PLTU Pacitan.....	21

3.3	Pemodelan Rangkaian <i>Transient Recovery Voltage</i> (TRV).....	22
3.3.1	Data Generator	23
3.3.2	Data <i>Generator Transformer</i>	25
3.3.3	Data <i>Unit Auxiliary Transformer</i> (UAT).....	26
3.4	Pengambilan Data.....	28
3.5	Pengolahan Data.....	28
BAB IV ANALISIS HASIL SIMULASI <i>TRANSIENT RECOVERY VOLTAGE</i> (TRV) PLTU PACITAN		29
4.1	Hasil Simulasi TRV menggunakan ATPDraw	29
4.1.1	Kondisi Normal	29
4.1.2	Kondisi Gangguan pada <i>Generator-source</i>	31
	4.1.2.1 <i>Respon Arus Hubung Singkat Tiga Fasa</i>	31
	4.1.2.2 <i>Respon Transient Recovery Voltage Tiga Fasa</i>	32
	4.1.2.3 <i>Analisis TRV dan RRRV Gangguan pada Generator-source</i>	33
4.2.2	Kondisi Gangguan pada <i>System-source</i>	35
	4.2.2.1 <i>Respon Arus Hubung Singkat Tiga Fasa</i>	35
	4.2.2.2 <i>Respon Transient Recovery Voltage Tiga Fasa</i>	36
	4.2.2.3 <i>Analisis TRV dan RRRV Gangguan pada System - source</i>	37
4.2	Perhitungan Manual Analisis <i>Transient Recovery Voltage</i>	39
4.2.1	Kondisi Gangguan pada <i>Generator-source</i>	39
4.2.2	Kondisi Gangguan pada <i>System-source</i>	41
4.2.3	Pemasangan <i>Surge Capacitor</i>	42
BAB V PENUTUP		47
5.1	Kesimpulan	47
5.2	Saran	47
DAFTAR PUSTAKA		49
LAMPIRAN.....		51
RIWAYAT HIDUP		53

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	<i>Single line diagram</i> sistem tenaga listrik sederhana 5
Gambar 2.2	Skema konstruksi <i>circuit breaker</i> vakum 6
Gambar 2.3	Hubungan relai proteksi dengan <i>circuit breaker</i> 7
Gambar 2.4	<i>Single line diagram</i> tipikal untuk sistem generator <i>circuit breaker</i> [3]. 8
Gambar 2.5	<i>Single line diagram</i> tipe gangguan pada GCB 9
Gambar 2.6	<i>Transient recovery voltage</i> pada <i>circuit breaker</i> 10
Gambar 2.7	<i>Transient recovery voltage</i> , arus, dan <i>power frequency recovery voltage</i> 10
Gambar 2.8	Rangkaian RLC seri <i>source-free</i> 11
Gambar 2.9	Kurva <i>damping</i> pada rangkaian RLC seri 12
Gambar 2.10	Rangkaian RLC paralel <i>source-free</i> 13
Gambar 2.11	Kurva <i>damping</i> pada rangkaian RLC paralel 14
Gambar 2.12	Kurva TRV yang harus diatasi untuk memutus gangguan hubung singkat tiga fasa. 16
Gambar 2.13	Rangkaian satu fasa untuk perhitungan TRV ketika gangguan di terminal. 17
Gambar 3.1	Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Pacitan (2X315 MW) 21
Gambar 3.2	<i>Single Line Diagram</i> Sederhana PLTU Pacitan 22
Gambar 3.3	Rangkaian pemodelan <i>transient recovery voltage</i> di PLTU Pacitan pada ATPDraw 23
Gambar 3.4	<i>Flowchart</i> pengambilan dan pengolahan data 28
Gambar 4.1	<i>Generator Circuit Breaker</i> 3 fasa pada saat kondisi normal (a) respon tegangan fasa A (b) respon tegangan fasa ABC 30
Gambar 4.2	<i>Generator Circuit Breaker</i> 3 fasa pada saat kondisi normal (a) respon arus fasa A (b) respon arus fasa ABC 31
Gambar 4.3	Rangkaian pemodelan TRV gangguan pada <i>generator-source</i> 31
Gambar 4.4	Pengaruh nilai R_f terhadap arus hubung singkat pada <i>generator-source</i> 32
Gambar 4.5	(a) respon TRV fasa A (b) respon TRV fasa B (c) respon TRV fasa C (d) respon TRV fasa ABC 33

Gambar 4.6	Nilai puncak TRV dan RRRV pada gangguan <i>generator-source</i> . a) fasa A (b) fasa B (c) fasa C	34
Gambar 4.7	Rangkaian pemodelan TRV pada <i>system – source</i>	35
Gambar 4.8	Pengaruh nilai Rf terhadap arus hubung singkat pada <i>system-source</i>	36
Gambar 4.9	(a) respon TRV fasa A (b) respon TRV fasa B (c) respon TRV fasa C (d) respon TRV fasa ABC	37
Gambar 4.10	Nilai puncak TRV dan RRRV pada gangguan <i>system- source</i> . a) fasa A (b) fasa B (c) fasa C.....	38
Gambar 4.11	Rangkaian ekivalen gangguan pada <i>system-source</i>	40
Gambar 4.12	Nilai puncak TRV dan RRRV pada gangguan <i>generator-source</i>	40
Gambar 4.13	Rangkaian ekivalen gangguan pada <i>system-source</i>	41
Gambar 4.14	Nilai puncak TRV dan RRRV pada gangguan <i>system-source</i>	41
Gambar 4.15	Nilai puncak TRV dan RRRV pada gangguan <i>system-source</i> setelah pemasangan <i>surge capacitor</i>	42
Gambar 4.16	Grafik Perbandingan TRV <i>Generator-source</i> (a) nilai puncak TRV (b) nilai waktu perpotongan TRV dan garis singgung kurva TRV (c) nilai RRRV	43
Gambar 4.17	Grafik Perbandingan TRV <i>System-source</i> (a) nilai puncak TRV (b) nilai waktu perpotongan TRV dan garis singgung kurva TRV (c) nilai RRRV	44
Gambar 4.18	Grafik Perbandingan TRV <i>System-source</i> akibat pemasangan <i>surge capacitor</i> (a) nilai puncak TRV (b) nilai waktu perpotongan TRV dan garis singgung kurva TRV (c) nilai RRRV	45

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Parameter TRV untuk <i>system-source faults</i>	15
Tabel 2.2 Parameter TRV untuk <i>generator-source faults</i>	16
Tabel 3.1 Spesifikasi Generator	23
Tabel 3.2 Data generator untuk simulasi <i>transient recovery voltage</i>	24
Tabel 3.3 Spesifikasi <i>generator transformer</i>	25
Tabel 3.4 Data <i>generator transformer</i> untuk simulasi TRV	26
Tabel 3.5 Spesifikasi <i>Unit Auxiliary Transformer</i>	26
Tabel 3.6 Data <i>unit auxiliary transformer</i> untuk simulasi TRV.....	27
Tabel 4.1 Data generator untuk simulasi TRV	40
Tabel 4.2 Data <i>generator transformer</i> untuk simulasi TRV	41
Tabel 4.3 <i>Transient Recovery Voltage Generator-source</i>	43
Tabel 4.4 <i>Transient Recovery Voltage System-source</i>	44
Tabel 4.5 <i>Transient Recovery Voltage System-source</i> dengan Penambahan <i>surge capacitor</i> 0,13 μ F pada <i>system-</i> <i>source</i> dengan Matlab.....	45

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik sudah menjadi kebutuhan yang tidak bisa dipisahkan dari kehidupan sehari-hari. Hampir semua aktivitas manusia saat ini menggunakan peralatan yang menggunakan energi listrik sebagai sumber energi utamanya. Penggunaan listrik oleh konsumen melalui proses yang cukup panjang, dimulai dari proses sistem pembangkitan tenaga listrik, sistem transmisi hingga sistem distribusi tenaga listrik. Semua proses tersebut menggunakan berbagai macam peralatan listrik sesuai dengan fungsinya masing-masing. Generator adalah salah satu peralatan yang sangat penting dalam sistem tenaga listrik. Generator memiliki peranan penting dalam sistem pembangkitan tenaga listrik. Oleh karena itu, generator harus dijaga peralatan maupun kontinuitas sistem pada area pembangkitan supaya tidak mengganggu keberlangsungan sistem tenaga listrik.

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Pacitan merencanakan pemasangan GCB untuk mengatasi potensi *blackout* jika terjadi kondisi *emergency level 4*. Di area pembangkitan terdapat *Unit Auxiliary Transformer (UAT)* yang berfungsi untuk menyalurkan seluruh kebutuhan tenaga peralatan listrik dan penerangan di area pembangkitan. Oleh karena itu, GCB akan dipasang antara generator dan *generator transformer*. Pemasangan GCB tersebut mengakibatkan suplai menuju UAT dapat disalurkan oleh *generator transformer* yang berfungsi sebagai *step-down transformer*.

Dalam pemasangan GCB tentunya harus memenuhi rating dan kemampuan GCB untuk memutus arus. Salah satu dari sekian banyak syarat yang harus dipenuhi dalam pemilihan GCB adalah *Transient Recovery Voltage (TRV)* ketika memutus arus hubung singkat.

TRV adalah salah satu fenomena tegangan tinggi yang terjadi pada sistem tenaga listrik. TRV merupakan salah satu parameter untuk mengetahui batas kemampuan pemutusan arus pada *circuit breaker*. Fenomena ini dapat mengakibatkan *restrike* dan *circuit breaker* gagal memutus arus [1].

Selain itu, TRV dapat menyebabkan stres tegangan pada isolasi *circuit breaker* dan akhirnya mengalami kegagalan isolasi. Selain itu, ada juga parameter lain yang digunakan yaitu adalah *Rate of Rise of Recovery*

Voltage (RRRV). Nilai RRRV diperoleh dengan cara mengambil nilai tegangan puncak TRV dibagi total waktu perpotongan garis singgung gelombang TRV dengan tegangan puncak. Nilai RRRV adalah faktor kunci untuk menentukan apakah gangguan bisa dituntaskan dengan baik [2].

1.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah dalam tugas akhir ini adalah:

1. Pemodelan sistem generator dan *grid* untuk analisis *Transient Recovery Voltage*.
2. Analisis *rate of rise of recovery voltage* pada *Generator Circuit Breaker* saat pemutusan arus hubung singkat.
3. Penggunaan analisis *rate of rise of recovery voltage* untuk pemasangan *Generator Circuit Breaker*.

1.3 Batasan Masalah

Dalam pengerjaan tugas akhir ini, batasan masalah yang harus diperhatikan adalah sebagai berikut:

1. Pemodelan sistem *Transient Recovery Voltage* menggunakan perangkat lunak ATPDraw dan perhitungan manual matlab.
2. Jenis gangguan adalah hubung singkat tiga fasa ke tanah.

1.4 Tujuan

Tujuan penyusunan tugas akhir ini, yaitu untuk menentukan spesifikasi *Generator Circuit Breaker* yang tepat untuk dipasang berdasarkan nilai *Transient Recovery Voltage* dan *Rate of Rise of Recovery Voltage* yang terjadi di PLTU Pacitan ketika terjadi gangguan hubung singkat.

1.5 Sistematika Penulisan

Bab satu berisi tentang latar belakang, permasalahan, batasan masalah, tujuan, metodologi, sistematika penulisan, manfaat, dan relevansi dari penulisan pada studi ini.

Bab dua berisi teori penunjang yang membahas tentang sistem tenaga listrik khususnya sistem pembangkitan tenaga listrik, *circuit breaker*, dan TRV.

Bab tiga membahas tentang pemodelan rangkaian TRV, metode pengambilan data menggunakan ATPDraw, dan metode pengolahan data yang akan digunakan dalam studi ini.

Bab empat berisi hasil simulasi pemodelan rangkaian TRV berdasarkan parameter gangguan *switching* tiga fasa serempak berupa gangguan hubung singkat. Hasil simulasi ini meliputi respon tegangan antar fasa tiap fasa ketika terjadinya gangguan, nilai TRV, dan nilai RRRV pada tiap fasa.

Bab lima berisi kesimpulan dari simulasi dan analisis yang dilakukan melalui sebuah rangkaian pemodelan TRV dan saran untuk pemilihan GCB yang tepat berdasarkan nilai TRV dan RRRV.

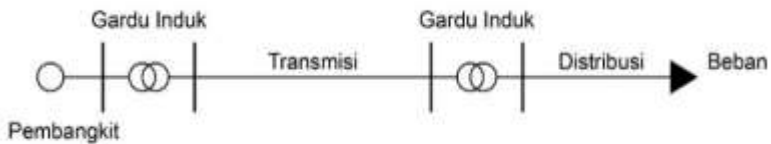
---Halaman ini sengaja dikosongkan---

BAB II

GENERATOR CIRCUIT BREAKER DAN TRANSIENT RECOVERY VOLTAGE

2.1 Sistem Tenaga Listrik

Energi listrik merupakan suatu bentuk energi sekunder yang sangat bermanfaat bagi kehidupan manusia saat ini. Energi listrik juga merupakan salah satu energi yang mudah dalam pengelolaan dan pemanfaatannya, hampir semua energi primer dapat diubah menjadi energi listrik.



Gambar 2.1 *Single line diagram* sistem tenaga listrik sederhana

Secara umum sistem tenaga listrik dapat dikatakan terdiri dari tiga bagian utama, yaitu:

- a. Pembangkit tenaga listrik
- b. Transmisi tenaga listrik
- c. Distribusi tenaga listrik

Sistem tenaga listrik adalah penyediaan tenaga listrik yang kompleks terdiri dari pusat pembangkit, saluran transmisi, dan sistem distribusi yang berfungsi untuk menyalurkan energi listrik dari pusat pembangkit ke pusat-pusat beban. Secara umum, sistem pembangkit dan sistem transmisi dikenal sebagai sumber tenaga listrik massal. Sedangkan sistem distribusi adalah saluran terakhir tenaga listrik sebelum sampai ke konsumen. Untuk memenuhi tujuan operasi sistem tenaga listrik, ketiga bagian tersebut satu dengan lainnya tidak dapat dipisahkan.

2.1.1 Sistem Pembangkit Tenaga Listrik

Sistem pembangkit tenaga listrik berfungsi untuk memproduksi dan membangkitkan tenaga listrik dari berbagai sumber energi primer atau bahan bakar, seperti PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap), PLTA (Pembangkit Listrik Tenaga Air), PLTG (Pembangkit Listrik Tenaga Gas), dan lain-lain.

Pada pembangkit tenaga listrik ini sumber-sumber energi alam dirubah oleh penggerak mula menjadi energi mekanis yang berupa

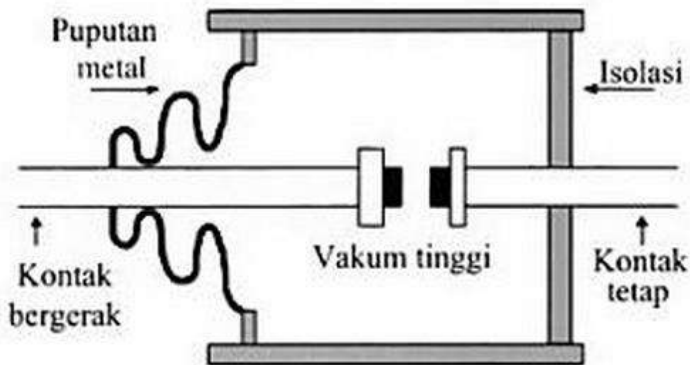
kecepatan atau putaran, selanjutnya energi mekanis tersebut dirubah menjadi energi listrik oleh generator.

Energi listrik diperoleh dari generator arus bolak-balik dengan frekuensi tertentu. Generator-generator di sistem pembangkit tenaga listrik di Indonesia menggunakan frekuensi 50 Hertz (Hz) dengan kapasitas daya yang beragam.

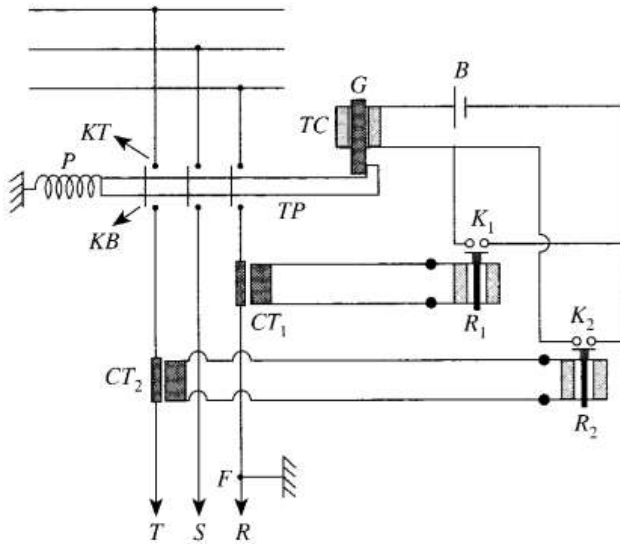
2.2 *Circuit Breaker*

Secara umum *circuit breaker* adalah peralatan saklar yang mampu menyalurkan arus maksimum sistem secara terus menerus dan mampu memutuskan arus dalam keadaan berbeban maupun ketika terjadinya hubung singkat. Fungsi dari *circuit breaker* adalah untuk mencegah terjadinya kerusakan pada peralatan listrik dan dapat mempertahankan kestabilan sistem [3].

Bentuk konstruksi suatu *circuit breaker* isolasi vakum dapat dilihat pada gambar 2.2. Bagian utama suatu pemutus daya adalah kontak tetap dan kontak bergerak. Kontak bergerak bekerja secara manual atau dengan bantuan motor listrik atau yang lebih dikenal dengan sistem pneumatik. Jika kontak bergerak ditarik ke kiri, maka *circuit breaker* dalam kondisi terbuka, maupun sebaliknya[3].



Gambar 2.2 Skema konstruksi *circuit breaker* vakum



Gambar 2.3 Hubungan relai proteksi dengan *circuit breaker*

Keterangan :

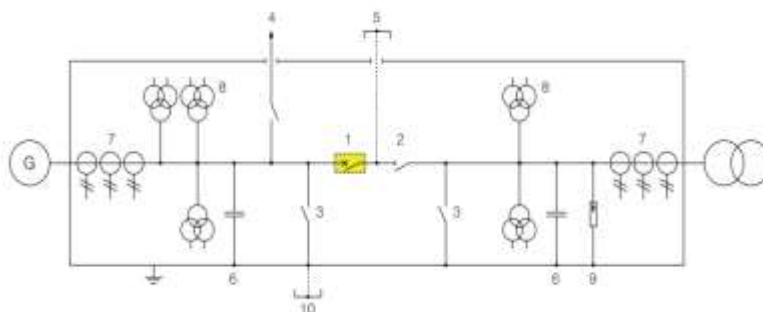
- P = Pegas
- KT = Kontak tetap *circuit breaker*
- KB = Kontak bergerak *circuit breaker*
- TP = Tungkai kontak bergerak
- TC = Kumaran pemutus
- G = Tungkai kumaran pemutus
- CT = Trafo arus
- R = Relai arus lebih
- K = Kontak relai
- B = Sumber arus searah

Hubungan kerja pemutus daya dengan relai proteksi diperlihatkan pada gambar 2.3. Ketika terjadi hubung singkat di fasa R. Maka arus di fasa R melonjak relatif besar. Arus yang besar ini melalui kumaran primer CT1, akibatnya arus yang mengalir di kumaran sekunder CT1 dan relai R1 juga semakin besar. Ketika arus tersebut melebihi setting arus relai maka relai bekerja menutup kontak K1, akibatnya arus mengalir

pada kumparan pemutus TC sehingga tungkai kumparan pemutus G tertarik ke atas. Akibatnya tungkai kontak bergerak TP tertarik ke kiri, sehingga kontak bergerak KB menjauh dari kontak tetap KT. Dan demikian terjadilah pemutusan rangkaian pada *circuit breaker* [3].

2.2.1 Pengertian *Generator Circuit Breaker* (GCB)

Generator circuit breaker (GCB) memiliki fungsi utama untuk untuk menyalurkan dan memisahkan generator dengan sistem. Selain itu GCB juga berfungsi untuk mengamankan generator dan generator transformer dari efek gangguan hubung singkat yang disebabkan oleh generator itu sendiri maupun sistem yang terhubung. *Single line diagram* tipikal untuk sistem GCB ditunjukkan pada gambar 2.4 [4].

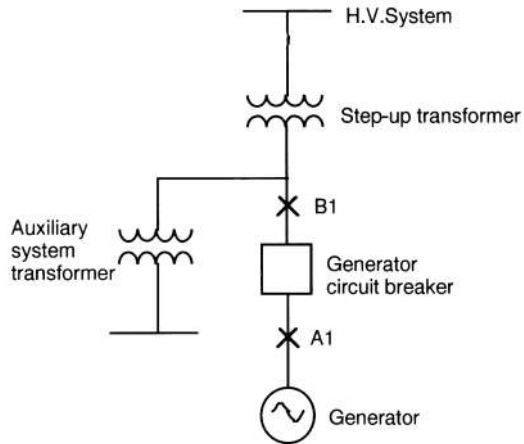


Gambar 2.4 *Single line diagram* tipikal untuk sistem *generator circuit breaker* [4].

Keterangan :

- 1 = *Generator circuit breaker*
- 2 = *Disconnect switch*
- 3 = *Earthing switch*
- 4 = *Starting switch* untuk koneksi SFC
- 5 = *Manual short-circuit connection*
- 6 = *Surge Capacitor*
- 7 = Trafo arus (CT)
- 8 = Trafo tegangan (PT)
- 9 = *Surge Arrester*
- 10 = *Motor-operated short circuiting link*

Konfigurasi dari sistem pembangkitan yang umum digunakan ditunjukkan pada gambar 2.5. Generator dan *generator transformer* pada dasarnya memiliki rating daya yang sama. *Unit Auxiliary Transformer* adalah sumber minor dari arus hubung singkat [5].



Gambar 2.5 Single line diagram tipe gangguan pada GCB

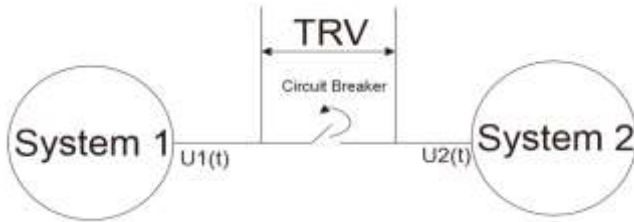
Terdapat dua tipe gangguan yang harus dipertimbangkan dalam pemilihan GCB yaitu :

- *System-source fault (A1)* adalah gangguan hubung singkat yang terjadi di antara generator dan GCB.
- *Generator-source fault (B1)* adalah gangguan hubung singkat yang terjadi di antara *generator transformer* dan GCB.

2.3 Transient Recovery Voltage (TRV)

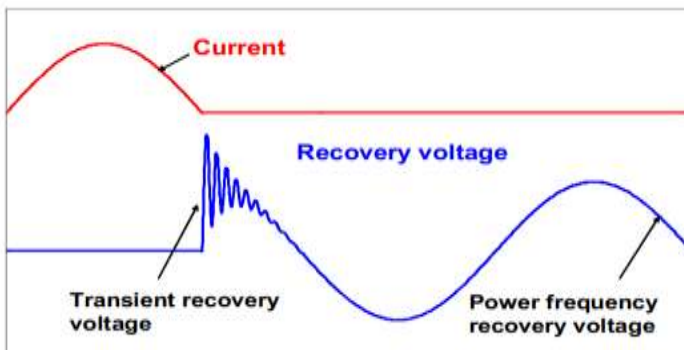
2.3.1 Pengertian Transient Recovery Voltage

Transient recovery voltage (TRV) adalah tegangan yang muncul di sekitar terminal pada kutub *circuit breaker* setelah terjadinya pemutusan arus. Sifat dari TRV tergantung terhadap komponen rangkaian yang terputus, seperti resistif, kapasitif atau induktif, maupun kombinasinya [1].



Gambar 2.6 *Transient recovery voltage pada circuit breaker*

TRV disebabkan oleh setiap gangguan, tetapi gangguan yang disebabkan oleh gangguan hubung singkat tiga fasa adalah yang paling berbahaya. Tipe dari TRV memiliki nilai tegangan dan frekuensi yang tinggi. Gambar 2.7 menunjukkan bentuk gelombang TRV [3].



Gambar 2.7 *Transient recovery voltage, arus, dan power frequency recovery voltage.*

Selain itu, ada juga parameter lain yang digunakan yaitu adalah *rate of rise of recovery voltage* (RRRV). Nilai RRRV diperoleh dengan cara mengambil nilai tegangan puncak transient recovery voltage dibagi total waktu perpotongan garis singgung gelombang TRV dengan tegangan puncak. Nilai RRRV adalah faktor kunci untuk menentukan apakah gangguan bisa dituntaskan dengan baik [2].

Pada perencanaan pemilihan GCB, karakteristik generator dan *generator transformer* yang terpasang akan menentukan bentuk gelombang dari TRV yang akan diputus oleh GCB. Gangguan hubung singkat tiga fasa adalah kasus yang menyebabkan terjadinya nilai arus

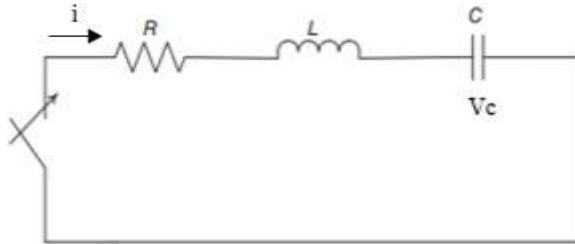
hubung singkat yang maksimum dan tingkat TRV yang tinggi. Dengan demikian metode untuk pemilihan GCB untuk menjaga sistem dan GCB itu sendiri harus dipertimbangkan.

2.3.2 Parameter dalam *Transient Recovery Voltage*

Fenomena transien yang terkait dengan TRV secara umum dapat dihubungkan dengan rangkaian RLC seri atau RLC paralel dengan kondisi tertentu. Transien yang paling berhubungan dengan pemutusan arus dapat ditentukan dengan rangkaian RLC dasar yaitu rangkaian RLC seri dan RLC paralel.

2.3.2.1 Rangkaian RLC Seri *Source-Free*

Rangkaian RLC seri ditunjukkan pada gambar 2.8. Tegangan transien pada kapasitor dapat digunakan untuk menghitung TRV ketika switching beban induktif dan tegangan transien yang menyebabkan *re-striking* [7].



Gambar 2.8 Rangkaian RLC seri *source-free*

Dengan menggunakan hukum arus Kirchoff pada gambar 2.7, maka didapatkan persamaan :

$$V_c(t) + Ri(t) + L \frac{di(t)}{dt} = 0 \quad (2.1)$$

Dimana $V_c(t)$ adalah tegangan pada kapasitor, maka :

$$\begin{aligned} i(t) &= \frac{dq(t)}{dt} \\ &= C \frac{dv_c(t)}{dt} \end{aligned} \quad (2.2)$$

Dengan mensubstitusi ke persamaan (2.1) maka :

$$\frac{d^2V_c(t)}{dt^2} + \frac{R}{L} \frac{dV_c(t)}{dt} + \frac{1}{LC} V_c(t) = 0 \quad (2.3)$$

Maka didapatkan koefisien,

$$a = 1, \quad b = \frac{R}{L}, \quad c = \frac{1}{LC}$$

$$\alpha = \frac{R}{2L} \text{ dan } \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

$$\beta = \sqrt{\left(\frac{R}{2L}\right)^2 - \frac{1}{LC}} \quad (2.4)$$

$$\beta = \sqrt{\alpha^2 - \omega_0^2} \quad (2.5)$$

TRV pada rangkaian RLC seri terjadi *overdamped* ketika

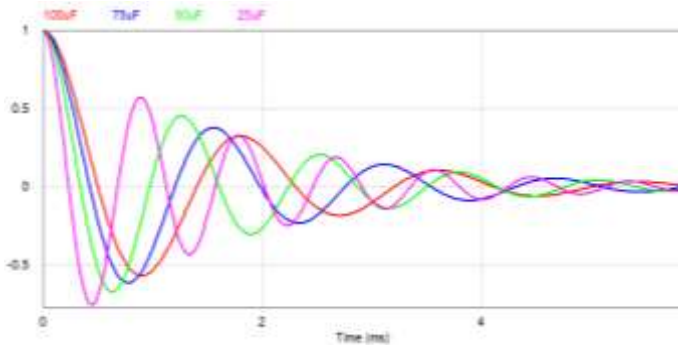
$$\alpha^2 > \omega_0^2 \text{ atau } R > 2\sqrt{\frac{L}{C}}$$

TRV pada rangkaian RLC seri terjadi *critically damped* ketika

$$\alpha^2 = \omega_0^2 \text{ atau } R = 2\sqrt{\frac{L}{C}}$$

TRV pada rangkaian RLC seri terjadi *underdamped* ketika

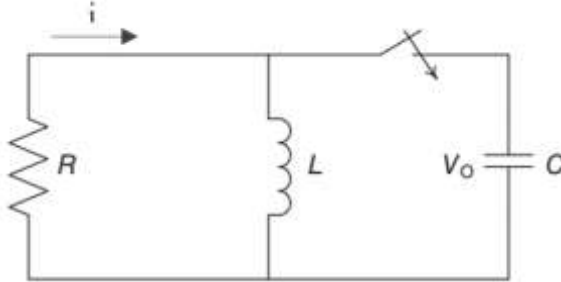
$$\alpha^2 < \omega_0^2 \text{ atau } R < 2\sqrt{\frac{L}{C}}$$



Gambar 2.9 Kurva *damping* pada rangkaian RLC seri

2.3.2.2 Rangkaian RLC Paralel Source-Free

Rangkaian RLC seri ditunjukkan pada gambar 2.10. Rangkaian ini merupakan variasi dari rangkaian seri yang telah dibahas pada bagian 2.3.2.1. dan dapat digunakan untuk pembahasan yang sama [7].



Gambar 2.10 Rangkaian RLC paralel *source-free*

Dengan menggunakan hukum arus Kirchoff pada gambar 2.8, maka didapatkan persamaan :

$$\frac{V(t)}{R} + \frac{1}{L} \int v(t) dt + C \frac{dv(t)}{dt} = 0 \quad (2.6)$$

Dimana $v(t)$ adalah tegangan yang ada di setiap elemen, maka :

$$\frac{d^2v(t)}{dt^2} + \frac{1}{RC} \frac{dv(t)}{dt} + \frac{1}{LC} v(t) = 0 \quad (2.7)$$

Batas kondisi saat waktu nol adalah :

$$v(0) = V_0 \quad (2.8)$$

Dan

$$\frac{dv(0)}{dt} = \frac{V_0}{RC} \quad (2.9)$$

Maka didapatkan koefisien,

$$a = 1, \quad b = \frac{1}{RC}, \quad c = \frac{1}{LC}$$

$$\alpha = \frac{1}{2RC} \quad \text{dan} \quad \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

TRV pada rangkaian RLC paralel terjadi *overdamped* ketika

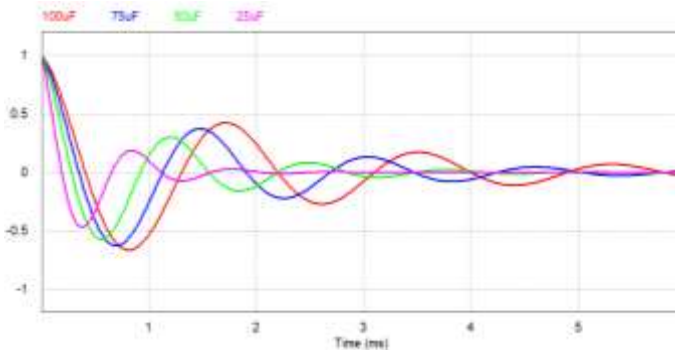
$$\alpha^2 > \omega_0 \quad \text{atau} \quad R < \frac{1}{2} \sqrt{\frac{L}{C}}$$

TRV pada rangkaian RLC paralel terjadi *critically damped* ketika

$$\alpha^2 = \omega_0 \quad \text{atau} \quad R = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{L}{C}}$$

TRV pada rangkaian RLC paralel terjadi *underdamped* ketika

$$\alpha^2 < \omega_0 \text{ atau } R > \frac{1}{2} \sqrt{\frac{L}{C}}$$



Gambar 2.11 Kurva *damping* pada rangkaian RLC paralel

2.3.3 Proses Terjadinya *Transient Recovery Voltage*

Ketika *circuit breaker* memutus arus, terbentuk busur api yang berlangsung pada sela kontak yang menyebabkan medium yang berada di antara sela kontak bersifat sebagai konduktor. Ketika *circuit breaker* digunakan untuk memutus arus bolak balik, maka ada saatnya ketika arus sama dengan nol dan pada saat itu busur api akan padam. Kemudian media pada sela kontak akan meningkatkan kekuatan dielektriknya dan memulihkan dirinya menjadi isolasi. Pada saat yang bersamaan, tegangan yang ada pada sela kontak yang sangat kecil menjadi relatif besar yang sama dengan tegangan ketika sela kontak terbuka. Tegangan sela kontak selama terjadinya pemadaman busur api disebut dengan TRV[4].

2.3.4 Faktor yang Mempengaruhi *Transient Recovery Voltage*

Transient recovery voltage dipengaruhi oleh berbagai parameter dalam sistem yang akan diputus. Beberapa faktor yang mempengaruhi adalah [1] [2] :

1. Induktansi dan kapasitansi pada sistem.
2. Tingkat arus hubung singkat pada sistem.
3. Kapasitansi pada peralatan listrik.

2.3.5 Efek dari *Transient Recovery Voltage*

Transient recovery voltage terjadi pada *circuit breaker* dalam waktu yang sangat singkat dan memiliki nilai yang sangat tinggi. Fenomena ini dapat menyebabkan :

1. Kegagalan isolasi

TRV adalah tegangan yang muncul di sekitar terminal *circuit breaker* ketika memutus arus dan sangat berbahaya ketika terjadinya gangguan hubung singkat [1]. *Transient recovery voltage* menyebabkan isolasi pada *circuit breaker* mengalami stres tegangan dan akhirnya mengalami kegagalan pada isolasi *circuit breaker* tersebut.

2. Kegagalan memutus arus (*Re-strike*)

TRV menimbulkan medan elektrik pada sela kontak. Tingginya nilai TRV dapat meningkatkan kuat medan elektrik. Jika kuat medan elektrik meningkat lebih cepat daripada kenaikan kekuatan dielektrik media pada sela kontak, maka media pada sela kontak akan mengalami kegagalan isolasi sehingga busur api timbul lagi. Dan ini yang menyebabkan *circuit breaker* gagal memutus arus [3].

2.3.6 *Transient Recovery Voltage* pada *Generator Circuit Breaker*

Dalam merencanakan pemilihan GCB tentunya harus mengetahui fenomena apa yang akan terjadi. Salah satunya adalah *Transient Tecovery Voltage* (TRV). Nilai TRV didefinisikan dengan bentuk gelombang dari *Rate TRV*, waktu delay, dan tegangan puncak (E2) yang telah tercantum di tabel 2.1 dan 2.2. Rumus dan metode untuk menentukan *Rate TRV* dapat dilihat pada gambar 2.12 [5].

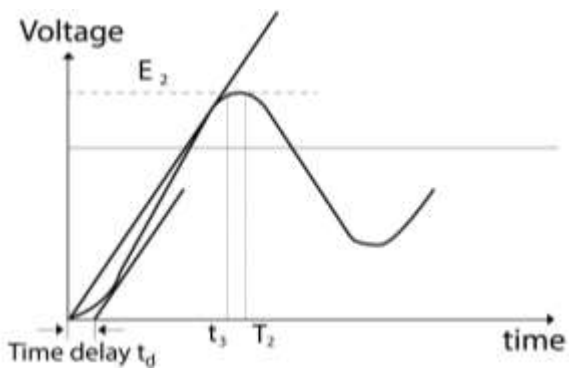
Tabel 2.1 Parameter TRV untuk *system-source faults*

Rating Transformator (MVA)	T2 (μs)	TRV	
		E2-Tegangan Puncak (kV)	Rate TRV (kV/us)
<100	0,62 V	1,84 V	3,5
101-200	0,54 V	1,84 V	4,0
201-400	0,48 V	1,84 V	4,5

Rating Transformator (MVA)	T2 (μ s)	TRV	
		E2-Tegangan Puncak (kV)	Rate TRV (kV/us)
401-600	0,43 V	1,84 V	5,0
601-1000	0,39 V	1,84 V	5,5
>1000	0,36 V	1,84 V	6,0

Tabel 2.2 Parameter TRV untuk *generator-source faults*

Rating Transformator (MVA)	T2 (μ s)	TRV	
		E2-Tegangan Puncak (kV)	Rate TRV (kV/us)
<100	1,35 V	1,84 V	1,6
101-400	1,20 V	1,84 V	1,8
401-800	1,08 V	1,84 V	2,0
>800	0,98 V	1,84 V	2,2



Gambar 2.12 Kurva TRV yang harus diatasi untuk memutus gangguan hubung singkat tiga fasa.

Keterangan :

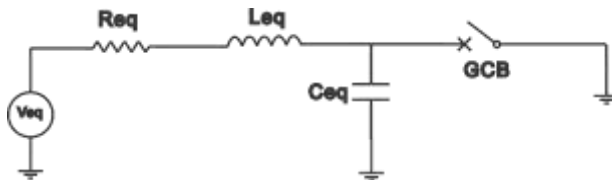
T2 = Waktu untuk mencapai tegangan puncak E2

E2 = Nilai tegangan puncak *transient recovery voltage*

t3 = Titik perpotongan dari garis singgung kurva *transient recovery voltage* yang dimulai dari asal sumbu waktu dengan nilai puncak *transient recovery voltage* pada waktu puncak.

2.3.7 Perhitungan Manual TRV pada Generator Circuit Breaker

Perhitungan *Transient recovery voltage* (TRV) dapat dilakukan dengan menggunakan simulasi komputer dengan memodelkan peralatan pembangkit listrik dengan parameternya. Perhitungan ini bersumber dari buku Generator Circuit Breaker Application Guide ABB berdasarkan standar IEEE C37.013-1997. Pemodelan perhitungan TRV ditunjukkan pada gambar 2.13. Dimana V_{eq} adalah nilai tegangan rms pada sumber tegangan dan R_{eq} , L_{eq} , dan C_{eq} adalah masing-masing nilai resistansi, induktansi, dan kapasitansi dari rangkaian untuk perhitungan TRV [4].



Gambar 2.13 Rangkaian satu fasa untuk perhitungan TRV ketika gangguan di terminal.

Berikut adalah persamaan untuk perhitungan manual TRV pada GCB :

V_{eq} dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$V_{eq} = V_{max} \frac{3 Z_0}{2 Z_0 + Z_1} \approx 1.5 V_{max} \quad (2.10)$$

Keterangan :

V_{eq} = Tegangan ekivalen

V_{max} = Tegangan tertinggi ketika terjadi gangguan

Z_0 = Impedansi urutan nol rangkaian tiga fasa

Z_1 = Impedansi urutan positif rangkaian tiga fasa

Leq dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$Leq = 1.5 L_1 \quad (2.11)$$

Keterangan :

Leq = Induktansi ekivalen

L₁ = Induktansi urutan positif rangkaian tiga fasa

Req dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$Req = 1.5 R_1 \quad (2.12)$$

Keterangan :

Req = Resistansi ekivalen

R₁ = Resistansi urutan positif rangkaian tiga fasa

Ceq dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$Ceq = \frac{C_0 + 2C_1}{3} \quad (2.13)$$

jika C₀ = C₁ maka Ceq = C₁ = C₀

Keterangan :

Ceq = Kapasitansi ekivalen

C₀ = Kapasitansi urutan nol rangkaian tiga fasa

C₁ = Kapasitansi urutan positif rangkaian tiga fasa

$$U_{TRV(t)} = \sqrt{2} V_{eq} \left[\cos(\omega t) - e^{-\frac{Req}{2Leq}t} \cos(vt) \right] \quad (2.14)$$

$$V = \sqrt{\frac{1}{LeqCeq} - \frac{Req^2}{4Leq^2}} \approx \sqrt{\frac{1}{LeqCeq}} \quad (2.15)$$

Dengan mengasumsikan $\frac{1}{LeqCeq} \gg \frac{Req^2}{4Leq^2}$

Dengan mengasumsikan $\cos(\omega t) - 1$ pada waktu puncak TRV ($v \gg \omega$) maka TRV dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$U_{TRV}(t) = \sqrt{2} V_{eq} \left[1 - e^{-\frac{Req}{2Leq}t} \cos(vt) \right] \quad (2.16)$$

Waktu ketika mencapai nilai puncak TRV adalah

$$T_2 = \pi \sqrt{Leq Ceq} \quad (2.17)$$

Nilai puncak E_2 TRV adalah

$$E_2 = \sqrt{2} V_{eq} \left[1 - e^{-\frac{Req}{2Leq}T_2} \cos(v T_2) \right] \quad (2.18)$$

$$E_2 = \sqrt{2} V_{eq} \left[1 + e^{-\frac{Req}{2} \pi \sqrt{\frac{Ceq}{Leq}}} \right] \quad (2.19)$$

BAB III

PEMODELAN *TRANSIENT RECOVERY VOLTAGE* (TRV) PLTU PACITAN

3.1 Profil PLTU Pacitan

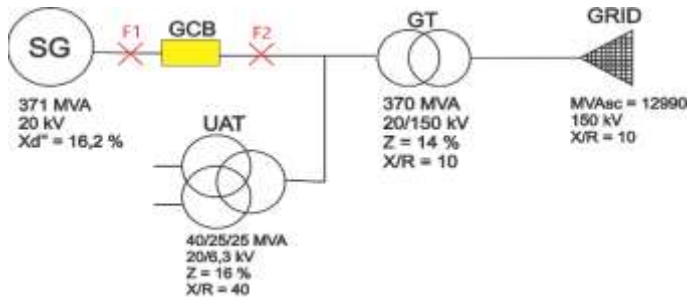
Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Pacitan merupakan salah satu pembangkit listrik berbahan bakar batubara yang dimiliki oleh PT. Pembangkitan Jawa-Bali (PJB). PLTU Pacitan berlokasi di laut selatan Pulau Jawa tepatnya di jalan Pacitan – Trenggalek Km. 55 Desa Sukorejo, Kecamatan Sudimoro, Provinsi Jawa Timur. PLTU ini mempunyai 2 unit pembangkit yang kapasitas total tenaga listriknya sebesar $2 \times 315 \text{ MW} = 630 \text{ MW}$. Energi yang dihasilkan oleh PLTU Pacitan ini disalurkan melalui Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV.



Gambar 3.1 Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Pacitan (2X315 MW)

3.2 Sistem Pembangkitan Listrik di PLTU Pacitan

Dalam bab ini akan dilakukan pembahasan mengenai sistem pembangkitan yang ada di PLTU Pacitan. Sistem pembangkitan yang dimaksud adalah *single line diagram* sederhana yang terdiri dari beberapa peralatan yang sangat vital dalam proses pembangkitan dan pengiriman energi listrik. Gambar 3.2 adalah *single line diagram* sederhana di PLTU Pacitan.



Gambar 3.2 Single Line Diagram Sederhana PLTU Pacitan

Keterangan :

- SG = Generator
- GCB = Generator Circuit Breaker
- GT = Generator Transformer
- UAT = Unit Auxiliary Transformer
- GRID = Grid PLN 150 kV

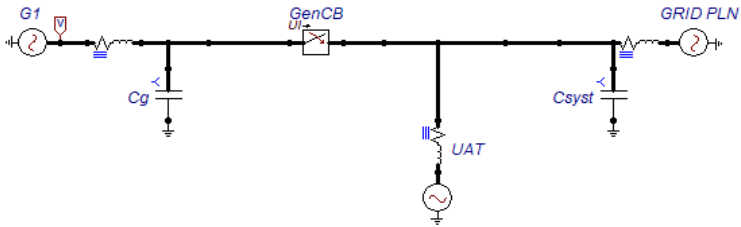
PLTU Pacitan memiliki generator dengan kapasitas 371 MVA dengan tegangan 20 kV. Energi listrik yang dihasilkan akan dinaikkan tegangannya terlebih dahulu dari 20 kV menjadi 150 kV sebelum disalurkan ke grid PLN melalui *generator transformer* berkapasitor 370 MVA. Pada sistem pembangkitan terdapat *Unit Auxiliary Transformer* (UAT) *step-down* 20/6.3 kV 25 MVA sebagai suplai pemakaian sendiri untuk alat-alat bantu unit pembangkitan dan penerangan .

Saat ini PLTU Pacitan merencanakan pemasangan *Generator Circuit Breaker* (GCB) untuk mengatasi potensi *blackout* jika terjadi kondisi *emergency level 4* yaitu ketika dua generator dan *Station Service Transformer* (SST) tidak bekerja. GCB akan dipasang antara generator dan *generator transformer*. Dengan pemasangan GCB tersebut suplai dari SST dapat digantikan oleh *generator transformer* yang berfungsi sebagai *step-down transformer*.

3.3 Pemodelan Rangkaian *Transient Recovery Voltage* (TRV)

Fenomena TRV pada GCB di PLTU Pacitan dapat ditunjukkan dengan menggunakan pemodelan rangkaian pada studi ini. Pemodelan rangkaian dilakukan menggunakan perangkat lunak ATPDraw (*Alternative Transient Program*). Terdapat dua kondisi pada studi ini

yaitu keadaan ketika GCB memutus saluran ketika terjadinya gangguan pada titik F1 (*system-source*) dan gangguan pada titik F2 (*generator-source*).



Gambar 3.3 Rangkaian pemodelan *transient recovery voltage* di PLTU Pacitan pada ATPDraw

Pada gambar 3.3 parameter dari rangkaian sistem merupakan fokus utama pada studi ini. Pemodelan rangkaian rangkaian TRV terdiri dari sumber tegangan tiga fasa yang diketanahkan. Sumber ini memiliki resistansi, reaktansi, dan kapasitansi yang diperoleh dari datasheet generator. Kemudian sumber tegangan di hubungkan dengan *switch* tiga fasa yang memodelkan GCB yang akan dipasang pada studi ini. GCB ini terhubung dengan resistansi dan reaktansi *generator transformer step-up* 20/150 kV 370 MVA yang dihitung dari *datasheet generator transformer*. Transformator ini memiliki kapasitansi parasitik yang diketanahkan.

Selain itu terdapat UAT (*Unit Auxiliary Transformer*) *step-down* 20/6.3 kV 25 MVA dipasang paralel dengan *generator transformer* yang berfungsi untuk pemakaian sendiri pada sistem pembangkitan. Pada sistem keadaan normal seluruh kebutuhan tenaga listrik untuk peralatan mengambil daya dari generator untuk memasok alat-alat bantu unit pembangkit yang bersangkutan, seperti pompa, pendingin, motor pompa minyak pelumas dan penerangan disuplai oleh UAT ini.

3.3.1 Data Generator

Sistem Pembangkitan tenaga listrik di PLTU Pacitan menggunakan generator dengan rating tegangan 20 kV yang berkapasitas 371,7 MVA dengan faktor daya 0,85 untuk membangkitkan energi listrik. Generator ini memiliki spesifikasi sebagai berikut :

Tabel 3.1 Spesifikasi Generator

Parameter	Satuan	Nilai
Rating Daya	MVA	371,7

Parameter	Satuan	Nilai
Tegangan	kV	20
Resistansi belitan stator	Ω	0,001658
Kapasitansi	μF	0,225
X_d'' sat	%	16.2

Data dari tabel 3.1 dapat dihitung parameter yang dibutuhkan untuk digunakan pada simulasi.

Untuk menghitung Z_{base} pada generator dapat menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$Z_B = \frac{(KV_{baseLL})^2}{MVA_{base}}$$

$$Z_B = \frac{20^2}{371.7}$$

$$Z_B = 1.076136669 \Omega$$

Setelah mendapatkan Z_{base} dihitung reaktansi pada generator dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$X = Z_B \times X_d'' \text{ sat}$$

$$X = 1.076136669 \Omega \times 0.162 \text{ p. u}$$

$$X = 0,17433414 \Omega$$

Untuk menghitung nilai induktansi pada generator menggunakan persamaan :

$$X_L = 2 \pi f L$$

$$L = \frac{0.17433414}{2 \pi 50}$$

$$L = 0,554923273 \text{ mH}$$

Tabel 3.2 Data generator untuk simulasi TRV

Parameter	Satuan	Nilai
Tegangan	kV	20
Resistansi setiap fasa	Ω	0,001658
Kapasitansi setiap fasa	μF	0.225
Induktansi setiap fasa	mH	0,554923273

Untuk parameter resistansi dan kapasitansi masing-masing sebesar 0,001658 Ω dan 0.225 μF yang diperoleh dari *datasheet* generator. Untuk induktansi pada generator diperoleh 0.554923273 *mH* yang

didapatkan dari perhitungan diatas. Dari data dan perhitungan diperoleh parameter yang dibutuhkan untuk mensimulasikan TRV di PLTU pacitan.

3.3.2 Data Generator Transformer

PLTU Pacitan menggunakan *generator transformer* berkapasitas 370 MVA yang berfungsi untuk menaikkan tegangan dari 20 kV ke 150 kV supaya bisa ditransmisikan pada grid PLN dengan spesifikasi *generator transformer* sebagai berikut :

Tabel 3.3 Spesifikasi *generator transformer*

Parameter	Satuan	Nilai
Rating Daya	MVA	370
Tegangan	kV	150/20
Z	%	14
X/R	p.u	10

Data dari tabel 3.3 dapat dihitung data-data yang dibutuhkan untuk digunakan pada simulasi..

Untuk menghitung Z_{base} pada *generator transformer* dapat menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$Z_B = \frac{(KV_{baseLL})^2}{MVA_{base}}$$

$$Z_B = \frac{20^2}{370}$$

$$Z_B = 1.081081081 \Omega$$

Setelah mendapatkan Z_{base} dihitung reaktansi pada *generator transformer* dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$X = Z_B \times Z$$

$$X = 1.081081081 \Omega \times 0.14 \text{ p.u}$$

$$X = 0.151351351 \Omega$$

Untuk menghitung nilai induktansi pada *generator transformer* menggunakan persamaan :

$$X_L = 2 \pi f L$$

$$L = \frac{0.151351351}{2 \pi 50}$$

$$L = 0.481766721 \text{ mH}$$

Untuk menghitung nilai resistansi pada *generator transformer* menggunakan perbandingan X/R dari persamaan :

$$\frac{X}{R} = \frac{10}{1}$$

$$R = \frac{0.151351351}{10}$$

$$R = 0.015135135 \Omega$$

Tabel 3.4 Data *generator transformer* untuk simulasi TRV

Parameter	Satuan	Nilai
Tegangan	kV	20
Resistansi setiap fasa	Ω	0,015135135
Induktansi setiap fasa	mH	0,481766721
Kapasitansi setiap fasa	μ F	0,017

Dari perhitungan diatas didapatkan nilai resistansi *generator transformer* sebesar 0,015135135 Ω dan nilai induktansi sebesar 0,481766721 untuk setiap fasanya. Untuk kapasitansi *generator transformer* diasumsikan 0,017 μ F yang merupakan kapasitansi parasitik *generator transformer* dengan rating daya 370 MVA. Dari data dan perhitungan diperoleh parameter yang dibutuhkan untuk mensimulasikan TRV di PLTU pacitan.

3.3.3 Data *Unit Auxiliary Transformer (UAT)*

PLTU Pacitan menggunakan UAT 25 MVA yang berfungsi untuk menurunkan tegangan dari 20 kV ke 6,3 kV yang berfungsi untuk menyuplai daya listrik untuk pemakaian sendiri pada sistem pembangkitan. Pada sistem keadaan normal seluruh kebutuhan tenaga listrik untuk peralatan listrik dan penerangan disuplai oleh UAT ini yang memiliki spesifikasi sebagai berikut :

Tabel 3.5 Spesifikasi *Unit Auxiliary Transformer*

Parameter	Satuan	Nilai
Rating Daya	MVA	25
Tegangan	kV	20
Z	%	16
X/R	p.u	0,4

Data dari tabel 3.5 dapat dihitung data-data yang dibutuhkan untuk digunakan pada simulasi.

Untuk menghitung Z_{base} pada UAT dapat menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$Z_B = \frac{(KV_{baseLL})^2}{MVA_{base}}$$

$$Z_B = \frac{20^2}{25}$$

$$Z_B = 16 \Omega$$

Setelah mendapatkan Z_{base} dihitung reaktansi pada UAT dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$X = Z_B \times Z$$

$$X = 16 \Omega \times 0.16 \text{ p. u}$$

$$X = 2.56 \Omega$$

Untuk menghitung nilai induktansi pada UAT menggunakan persamaan :

$$X_L = 2 \pi f L$$

$$L = \frac{2.56}{2 \pi 50}$$

$$L = 8.148739969 \text{ mH}$$

Untuk menghitung nilai resistansi pada UAT menggunakan perbandingan X/R dari persamaan :

$$\frac{X}{R} = \frac{40}{1}$$

$$R = \frac{2.56}{40}$$

$$R = 0.064 \Omega$$

Tabel 3.6 Data *unit auxiliary transformer* untuk simulasi TRV

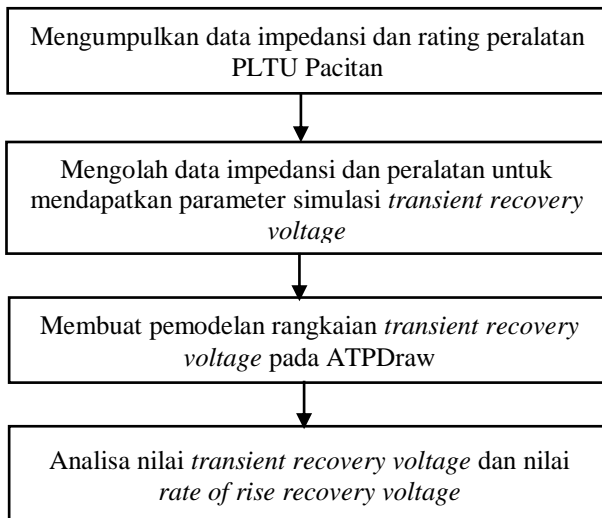
Parameter	Satuan	Nilai
Tegangan	kV	20
Resistansi setiap fasa	Ω	0,064
Induktansi setiap fasa	mH	8,148739969

3.4 Pengambilan Data

Pada studi ini, proses pengambilan data dilakukan menggunakan perangkat lunak ATPDraw. ATPDraw adalah sebuah perangkat lunak yang dapat digunakan untuk mensimulasikan rangkaian dengan fenomena transien. Terdapat dua kondisi pada studi ini yaitu keadaan ketika *generator circuit breaker* memutus saluran ketika terjadinya gangguan pada titik F1 (*system source*) dan gangguan pada titik F2 (*generator source*).

3.5 Pengolahan Data

Proses pengolahan data pada studi ini dilakukan menggunakan metode pada standar IEEE C37.013-1997. Data hasil respon tegangan yang didapatkan dari simulasi ATPDraw dapat dianalisa nilai *transient recovery voltage* dan nilai *rate of rise recovery voltage* berdasarkan standar IEEE C37.013-1997. Gambar 3.3 menunjukkan alur pengerjaan studi ini.



Gambar 3.4 Flowchart pengambilan dan pengolahan data

BAB IV

ANALISIS HASIL SIMULASI TRANSIENT RECOVERY VOLTAGE (TRV) PLTU PACITAN

4.1 Hasil Simulasi TRV menggunakan ATPDraw

4.1.1 Kondisi Normal

Berdasarkan rangkaian yang disimulasikan pada gambar 3.2, dapat didapatkan hasil respon tegangan saat kondisi normal. Pada saat kondisi normal, tidak dilakukan *trigger switching* pada rangkaian sehingga tidak terjadi fenomena *Transient Recovery Voltage (TRV)*. Simulasi berlangsung selama 0.25 detik dengan sumber sebesar 20 kV. Hasil respon tegangan pada simulasi menampilkan keadaan stabil atau *steady state* dengan perbedaan sudut fasa sebesar 120° untuk setiap fasanya

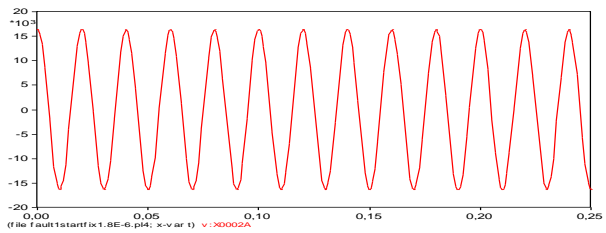
Sumber tegangan yang digunakan adalah tegangan bolak-balik (AC) rms *line-line* ($V_{L-L-rms}$) 20 kV, 50 Hz. Sehingga nilai tegangan *line-netral* (V_{L-Nrms}) pada tiap fasa adalah:

$$V_{L-Nrms} = \frac{V_{L-Lrms}}{\sqrt{3}} \quad (4.1)$$
$$V_{L-Nrms} = \frac{20000 \text{ V}}{\sqrt{3}} = 11.547,01 \text{ V}$$

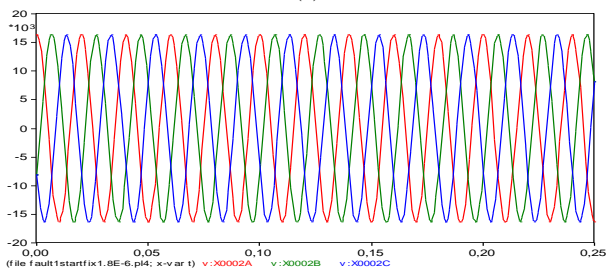
Tegangan puncak *line-netral* ($V_{peak_{L-netral}}$) pada tiap fasa adalah:

$$V_{L-Npeak} = V_{L-Nrms} \times \sqrt{2} \quad (4.2)$$
$$V_{L-Npeak} = 16.329,93 \times \sqrt{2} = 16.329,93 \text{ V}$$

Gambar 4.1 merupakan respon tegangan hasil simulasi rangkaian pada saat kondisi normal. Tegangan puncak hasil simulasi sudah sesuai dengan hasil perhitungan sebelumnya. Terlihat pada respon tegangan pada kondisi normal masih berbentuk sinusoidal. Tidak terdapat kenaikan tegangan dalam bentuk gelombangnya. Gambar 4.2 merupakan respon arus hasil simulasi rangkaian pada saat kondisi normal.



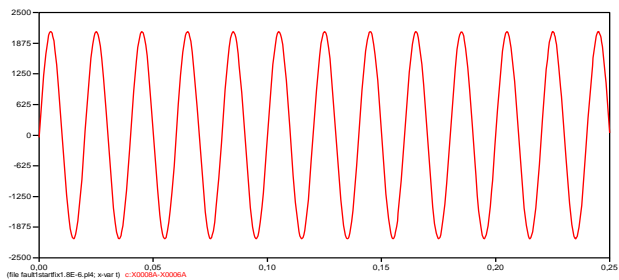
(a)



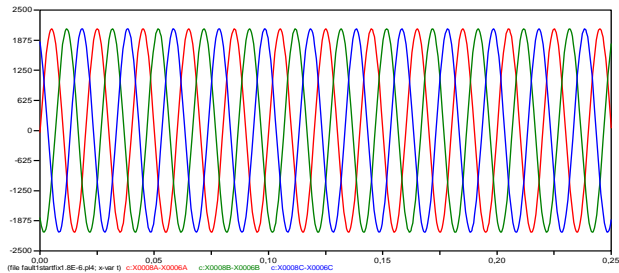
(b)

Gambar 4.1 Generator Circuit Breaker 3 fasa pada saat kondisi normal (a) respon tegangan fasa A (b) respon tegangan fasa ABC.

Gambar 4.2 merupakan respon arus hasil simulasi rangkaian pada saat kondisi normal.



(a)

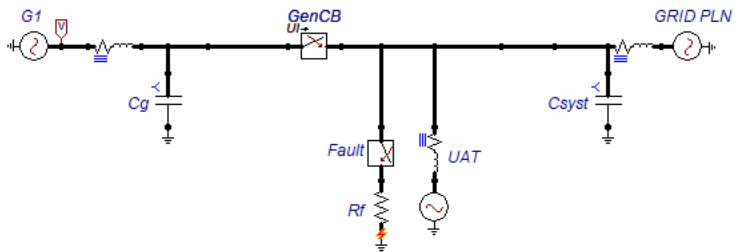


(b)

Gambar 4.2 Generator Circuit Breaker 3 fasa pada saat kondisi normal (a) respon arus fasa A (b) respon arus fasa ABC.

4.1.2 Kondisi Gangguan pada Generator-source

Berdasarkan rangkaian yang disimulasikan pada gambar 4.3, dapat dilihat respon tegangan akibat kondisi gangguan hubung singkat pada generator-source. Kondisi gangguan generator-source adalah gangguan hubung singkat yang terjadi di antara GCB dan generator transformer. Pada studi ini dilakukan simulasi pemodelan transient recovery voltage dengan menggunakan switch tiga fasa serempak sebagai pemodelan GCB. Simulasi berlangsung selama 0,25 detik dengan kondisi gangguan hubung singkat terjadi pada detik 0.005 lalu GCB akan memutus rangkaian pada detik ke 0.03.

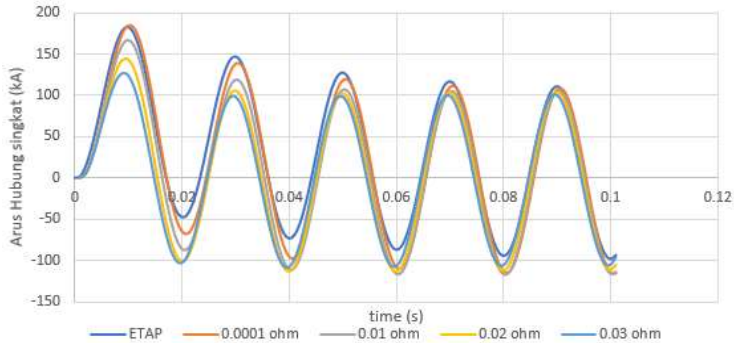


Gambar 4.3 Rangkaian pemodelan TRV gangguan pada generator- source

4.1.2.1 Respon Arus Hubung Singkat Tiga Fasa

Ketika terjadi gangguan pada generator-source GCB akan akan memutus arus hubung singkat sistem yang puncaknya mencapai 183,98 kA. Untuk itu diperlukan penambahan fault resistance (Rf) pada simulasi

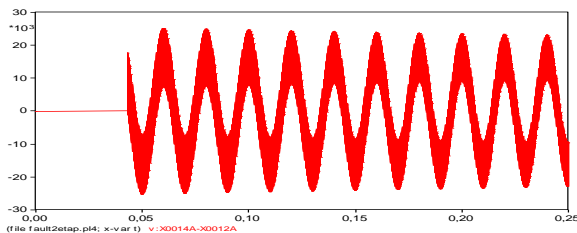
gangguan hubung singkat ATPDraw untuk mengatur besarnya arus hubung singkat yang akan diputus GCB. Nilai R_f yang digunakan adalah yang mendekati nilai arus puncak hubung singkat berdasarkan simulasi pada perangkat lunak ETAP. Berikut adalah pengaruh nilai R_f terhadap besarnya arus hubung singkat.



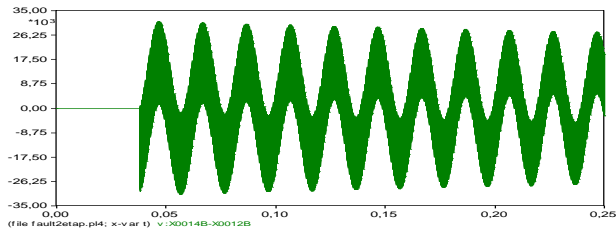
Gambar 4.4 Pengaruh nilai R_f terhadap arus hubung singkat pada *generator-source*

4.1.2.2 Respon Transient Recovery Voltage Tiga Fasa

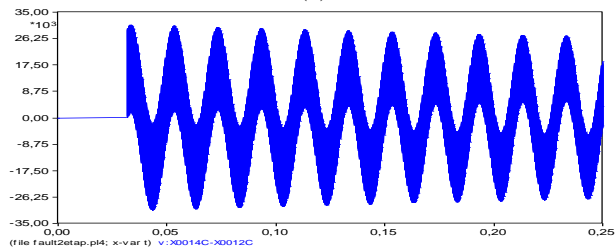
Gambar 4.5 Menunjukkan plot hasil respon TRV tiap fasa ketika terjadi hubung singkat tiga fasa ke tanah yang terjadi GCB menggunakan simulasi ATPDraw. TRV yang terjadi di GCB ini disebabkan oleh reaktansi dan kapasitansi yang berasal dari generator. Berikut respon arus hubung singkat dan TRV yang merupakan hasil simulasi ketika terjadi hubung singkat tiga fasa ke tanah dengan *fault resistance* (R_f) 0.0001 Ω . GCB akan memutus arus hubung singkat sistem yang puncaknya mencapai 183,98 kA.



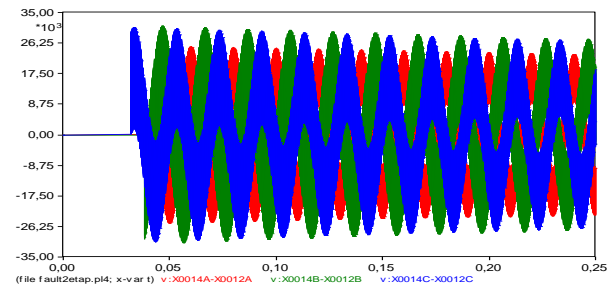
(a)



(b)



(c)

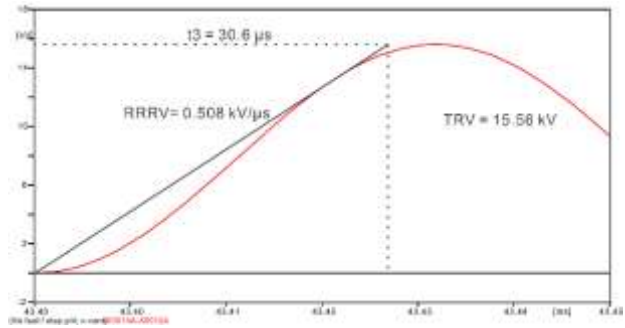


(d)

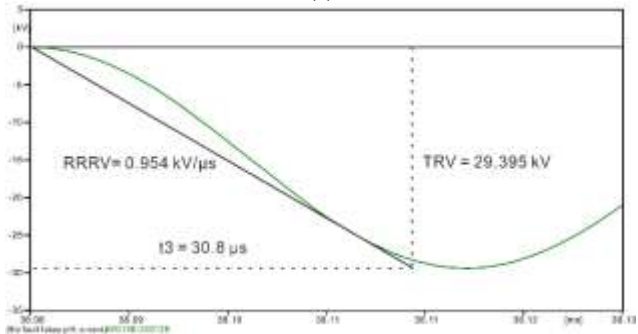
Gambar 4.5 (a) respon TRV fasa A (b) respon TRV fasa B (c) respon TRV fasa C (d) respon TRV fasa ABC

4.1.2.3 Analisis TRV dan RRRV Gangguan pada Generator-source

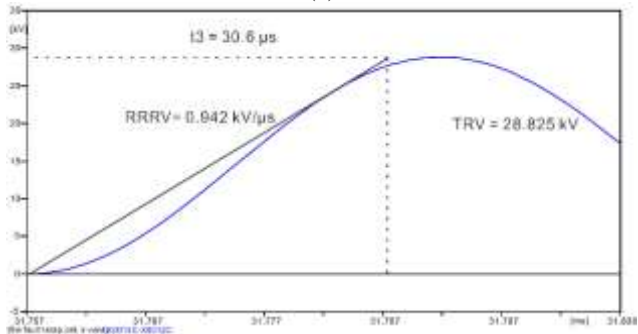
Analisis TRV dan RRRV pada GCB mengacu pada standar IEEE C37.013-1997. Nilai RRRV merupakan standar yang digunakan untuk menentukan kemampuan kekuatan dielektrik GCB. Berikut adalah nilai TRV dan RRRV pada GCB yang mengacu pada standar standar IEEE C37.013-1997 yang diperoleh melalui analisis grafis.



(a)



(b)



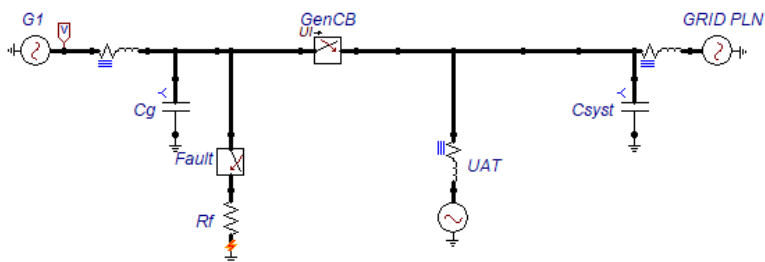
(c)

Gambar 4.6 Nilai puncak TRV dan RRRV pada gangguan *generator-source*. a) fasa A (b) fasa B (c) fasa C

Gambar 4.6 Menunjukkan analisa grafis TRV dan RRRV pada GCB ketika terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa yang terjadi pada kondisi *generator-source*. Pada saat gangguan ini GCB akan memutus arus hubung singkat sistem yang puncaknya mencapai 189.439 kA. Nilai puncak TRV pada fasa A, fasa B, dan fasa C masing-masing adalah 17,92 kV, 29,75 kV, dan 28,992 kV. Nilai RRRV fasa A, fasa B, dan fasa C masing-masing adalah 0,585 kV/ μ s, 0,954 kV/ μ s, dan 0,945 kV/ μ s. Nilai RRRV yang paling tinggi terjadi pada gangguan *generator-source* adalah sebesar 0,954 kV/ μ s. Nilai RRRV yang terjadi ketika terjadi gangguan ini masih dibawah standar IEEE C37.013-1997 yaitu 1,8 kV/ μ s untuk kapasitas *generator transformer* 370 MVA.

4.2.2 Kondisi Gangguan pada *System-source*

Berdasarkan rangkaian yang disimulasikan pada gambar 4.7, dapat dilihat respon tegangan akibat kondisi gangguan hubung singkat pada *system-source*. Kondisi gangguan *system-source* adalah gangguan hubung singkat yang terjadi di antara GCB dan generator. Pada studi ini dilakukan simulasi pemodelan TRV dengan menggunakan *switch* tiga fasa serempak sebagai pemodelan GCB. Simulasi berlangsung selama 0,25 detik dengan kondisi gangguan hubung singkat terjadi pada detik 0.005 lalu GCB akan memutus arus pada detik ke 0.03.

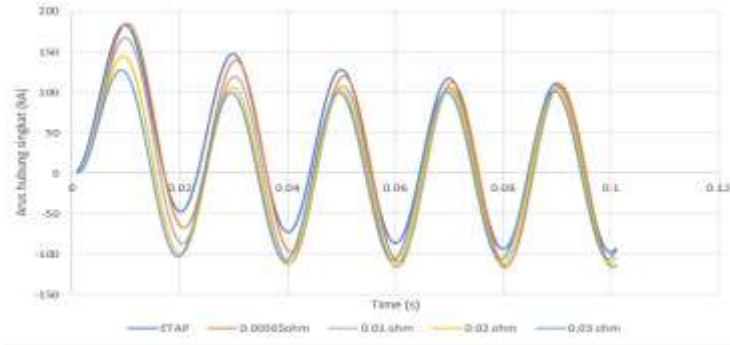


Gambar 4.7 Rangkaian pemodelan TRV pada *system – source*

4.2.2.1 Respon Arus Hubung Singkat Tiga Fasa

Ketika terjadi gangguan pada *system-source* GCB akan memutus arus hubung singkat sistem yang puncaknya mencapai 186,4 kA. Untuk itu diperlukan penambahan *fault resistance* (R_f) pada simulasi gangguan hubung singkat ATPDraw untuk mengatur besarnya arus hubung singkat yang akan diputus GCB.. Nilai R_f yang digunakan adalah yang mendekati

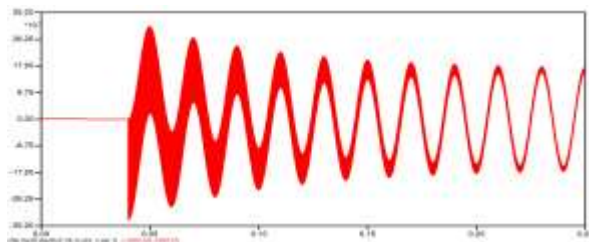
nilai arus puncak hubung singkat berdasarkan simulasi pada perangkat lunak ETAP. Berikut adalah pengaruh nilai R_f terhadap besarnya arus hubung singkat.



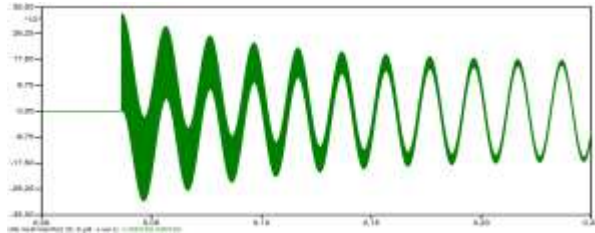
Gambar 4.8 Pengaruh nilai R_f terhadap arus hubung singkat pada *system-source*

4.2.2.2 Respon Transient Recovery Voltage Tiga Fasa

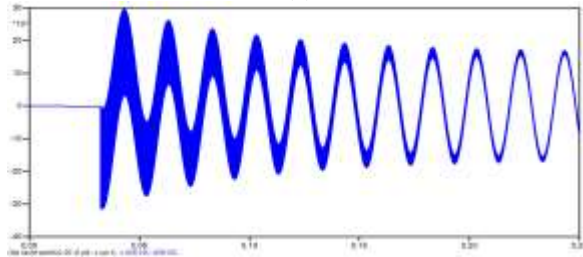
Gambar 4.9 Menunjukkan plot hasil respon TRV tiap fasa ketika terjadi hubung singkat tiga fasa ke tanah yang terjadi pada GCB menggunakan simulasi ATPDraw. TRV yang terjadi di generator circuit breaker ini disebabkan oleh reaktansi dan kapasitansi yang berasal dari *grid* dan UAT. Berikut respon arus hubung singkat dan TRV yang merupakan hasil simulasi ketika terjadi hubung singkat tiga fasa ke tanah dengan *fault resistance* (R_f) 0.00365Ω . GCB akan memutus arus hubung singkat sistem yang puncaknya mencapai 186,4 kA.



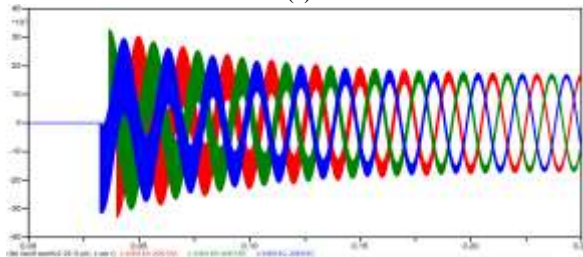
(a)



(b)



(c)

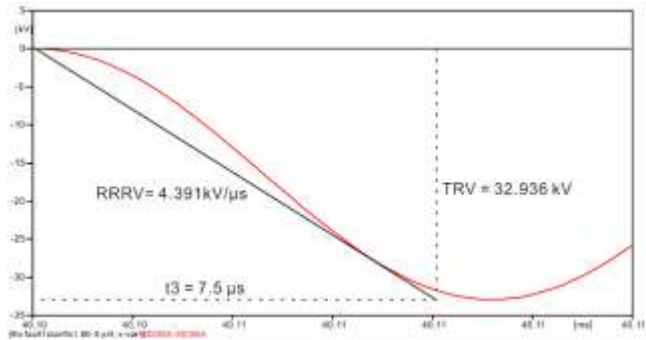


(d)

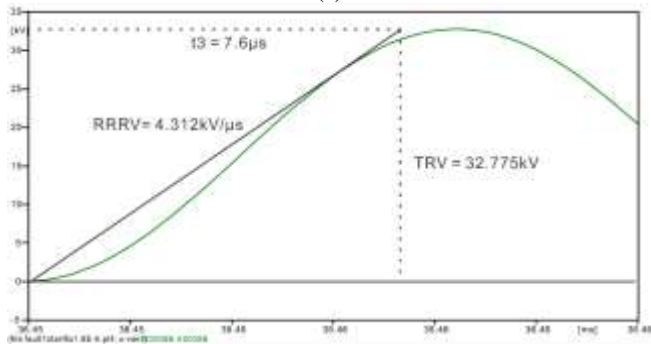
Gambar 4.9 (a) respon TRV fasa A (b) respon TRV fasa B (c) respon TRV fasa C (d) respon TRV fasa ABC

4.2.2.3 Analisis TRV dan RRRV Gangguan pada System - source

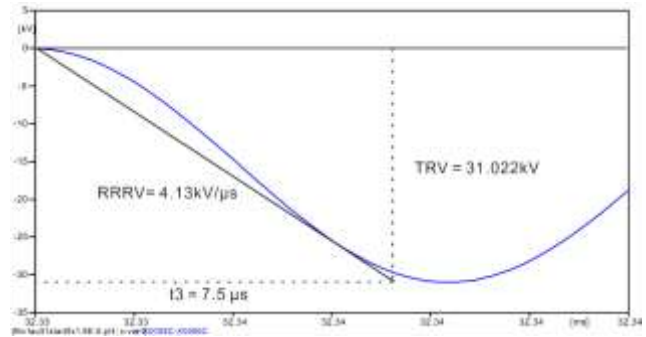
Analisis TRV dan RRRV pada GCB mengacu pada standar IEEE C37.013-1997. Nilai RRRV merupakan standar yang digunakan untuk menentukan kemampuan kekuatan dielektrik GCB. Berikut adalah adalah nilai TRV dan RRRV pada GCB yang mengacu pada standar standar IEEE C37.013-1997 yang diperoleh melalui analisis grafis.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.10 Nilai puncak TRV dan RRRV pada gangguan *system-source*. a) fasa A (b) fasa B (c) fasa C

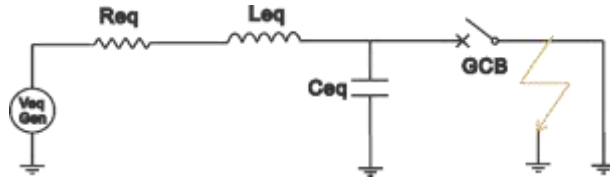
Gambar 4.10 menunjukkan analisa grafis TRV dan RRRV pada GCB ketika terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa yang terjadi pada kondisi *system-source*. Pada saat gangguan ini GCB akan memutuskan arus hubung singkat sistem yang puncaknya mencapai 186.4 kA. Nilai puncak TRV pada fasa A, fasa B, dan fasa C masing-masing adalah 32,936 kV, 32,775 kV, dan 31,022 kV. Nilai RRRV fasa A, fasa B, dan fasa C masing-masing adalah 4,391 kV/ μ s, 4,312 kV/ μ s, dan 4,13 kV/ μ s. Nilai RRRV yang paling tinggi terjadi pada gangguan *system-source* adalah sebesar 4,391 kV/ μ s. Nilai RRRV yang terjadi ketika terjadi gangguan ini masih dibawah standar IEEE C37.013-1997 yaitu 4,5 kV/ μ s untuk kapasitas *generator transformer* 370 MVA.

4.2 Perhitungan Manual Analisis *Transient Recovery Voltage* (TRV)

Perhitungan *Transient recovery voltage* (TRV) dilakukan dengan menggunakan simulasi Matlab dengan menggunakan parameter yang didapatkan dari *datasheet* generator dan *generator transformer* di PLTU Pacitan. Perhitungan ini menggunakan persamaan bersumber dari buku *Generator Application Guide* ABB berdasarkan standar IEEE C37.013-1997. Analisis TRV dapat dihitung dan disimulasikan dengan menggunakan persamaan 2.19.

4.2.1 Kondisi Gangguan pada *Generator-source*

Rangkaian ekuivalen untuk analisis TRV pada kondisi gangguan *Generator-source* dapat ditunjukkan pada gambar 4.11. Nilai R_{eq} dan L_{eq} yang digunakan adalah nilai resistansi dan induktansi yang diperoleh dari *datasheet* impedansi generator dengan mengasumsikan nilai impedansi urutan positif (Z_1) sama dengan nilai impedansi urutan nol (Z_0). Nilai kapasitansi parasitik generator didapatkan dari *datasheet* generator dengan mengasumsikan nilai kapasitansi parasitik generator urutan nol (C_0) dan kapasitansi parasitik urutan positif (C_1) sama sehingga nilai $C_{eq}=C_1$. Nilai V_{eq} diambil dari nilai tegangan sistem fasa ke netral.

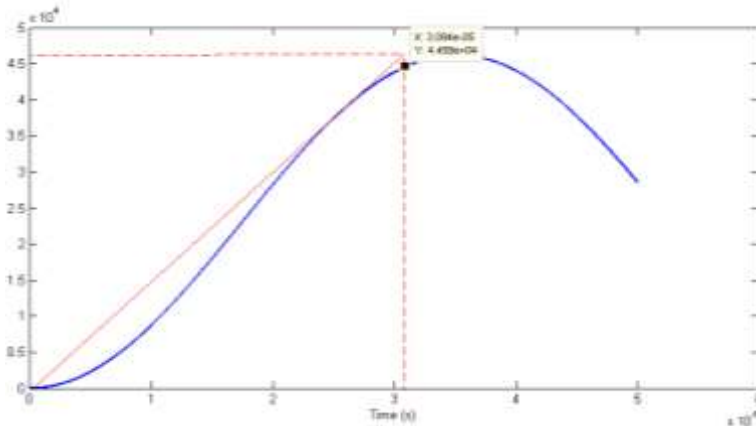


Gambar 4.11 Rangkaian ekivalen gangguan pada *system-source*

Hasil simulasi TRV ketika terjadi gangguan pada kondisi *generator-source* dapat dilihat pada gambar 4.12. Nilai TRV dan RRRV diperoleh dari analisis grafis sebagai berikut :

Tabel 4.1 Data generator untuk simulasi TRV

Parameter	Satuan	Nilai
V_{eq}	kV	20
R_{eq}	Ω	0,001658
C_{eq}	mH	0,554932
L_{eq}	μF	0,225

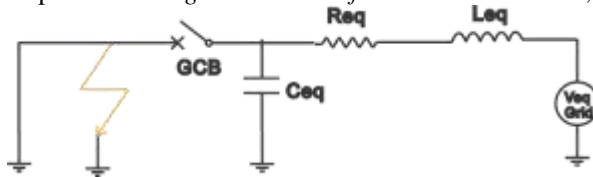


Gambar 4.12 Nilai puncak TRV dan RRRV pada gangguan *generator-source*.

Nilai puncak TRV (E_2) adalah 46,18 kV. Dan nilai waktu perpotongan TRV (E_2) dan garis singgung kurva TRV (t_3) adalah 30,8 μs . Maka nilai RRRV adalah 1,499 kV/ μs .

4.2.2 Kondisi Gangguan pada System-source

Rangkaian ekuivalen untuk analisis TRV pada kondisi gangguan *system-source* dapat ditunjukkan pada gambar 4.8. Nilai R_{eq} dan L_{eq} yang digunakan adalah nilai resistansi dan reaktansi yang diperoleh dari *datasheet generator transformer* berkapasitas 370 MVA. Nilai kapasitansi parasitik dari *generator transformer* diasumsikan $0,017 \mu\text{F}$.

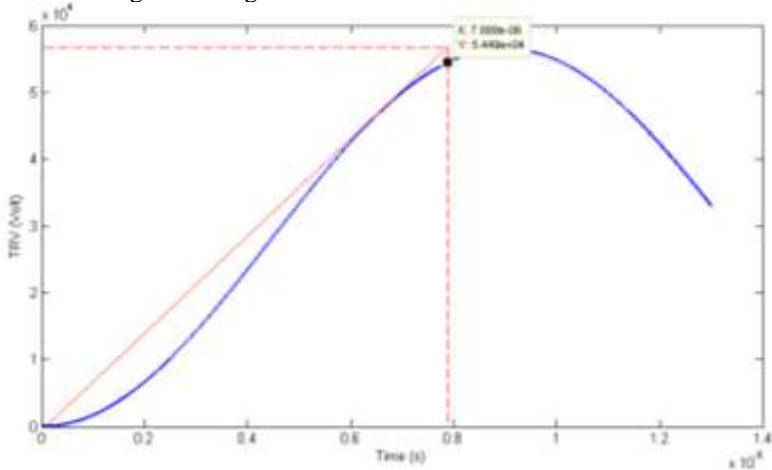


Gambar 4.13 Rangkaian ekuivalen gangguan pada *system-source*

Tabel 4.2 Data *generator transformer* untuk simulasi TRV

Parameter	Satuan	Nilai
V_{eq}	kV	20
R_{eq}	Ω	0,015135135
C_{eq}	mH	0,481766721
L_{eq}	μF	0,017

Hasil simulasi TRV ketika terjadi gangguan pada kondisi *system-source* dapat dilihat pada gambar 4.14. Nilai TRV dan RRRV diperoleh dari analisis grafis sebagai berikut :



Gambar 4.14 Nilai puncak TRV dan RRRV pada gangguan *system-source*.

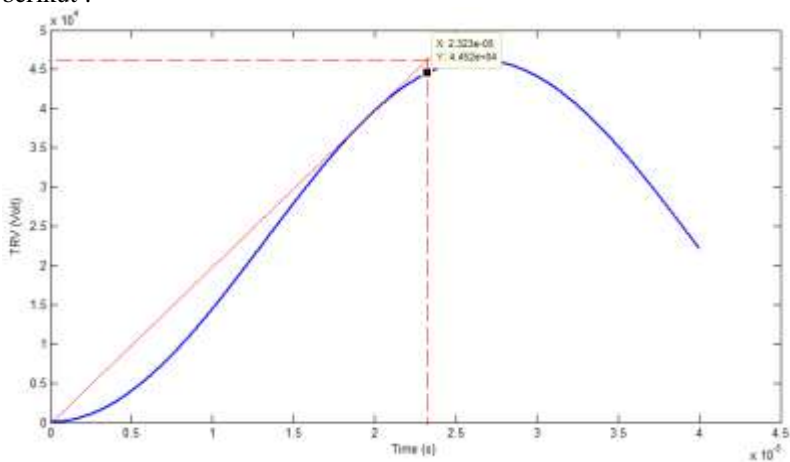
Nilai puncak TRV (E2) adalah 46,18 kV. Nilai waktu perpotongan TRV (E2) dan garis singgung kurva TRV yaitu (t_3) adalah 7,88 μ s. Maka nilai RRRV adalah 5,86 kV/ μ s.

4.2.3 Pemasangan *Surge Capacitor*

Hasil simulasi dan analisis didapatkan nilai puncak TRV (E2) adalah 97,86 kV. Dan nilai RRRV *generator-source* dan *sytem-source* masing-masing adalah 3,166 kV/ μ s dan 10,752 kV/ μ s. Berdasarkan standar IEEE C37.013-1997 nilai tipikal RRRV dari GCB dengan kapasitas 370 MVA adalah 4,5 kV/ μ s pada gangguan *system-source*. Nilai RRRV pada hasil analisis pada gangguan *system-source* masih diatas kemampuan GCB untuk menahan TRV. Oleh karena itu maka perlu dipasang *surge capacitor* untuk menurunkan nilai RRRV ketika terjadi gangguan hubung singkat.

Untuk mengurangi RRRV ketika gangguan *system source*, *surge capacitor* dipasang di antara GCB dan *generator transformer*. Untuk menentukan nilai *surge capacitor* yang akan dipasang ditentukan dengan nilai yang tersedia di pasaran yaitu 0,13 μ F.

Hasil simulasi TRV ketika terjadi gangguan pada kondisi *system-source* dengan pemasangan *surge capacitor* 0,13 μ F dapat dilihat pada gambar 4.15. Nilai TRV dan RRRV diperoleh dari analisis grafis sebagai berikut :

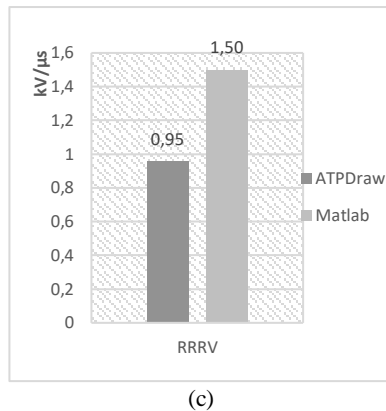
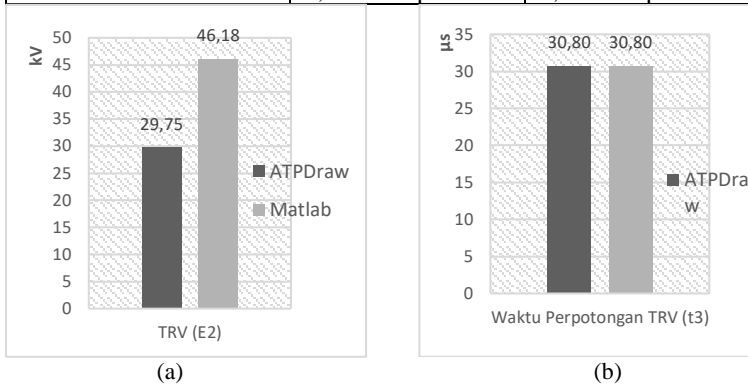


Gambar 4.15 Nilai puncak TRV dan RRRV pada gangguan *system-source* setelah pemasangan *surge capacitor*.

Nilai puncak TRV (E2) adalah 46,18 kV. Dan nilai waktu perpotongan TRV (E2) dan garis singgung kurva TRV yaitu (t3) adalah 23,23 μ s. Maka nilai RRRV adalah 1,987 kV/ μ s

Tabel 4.3 *Transient Recovery Voltage Generator-source*

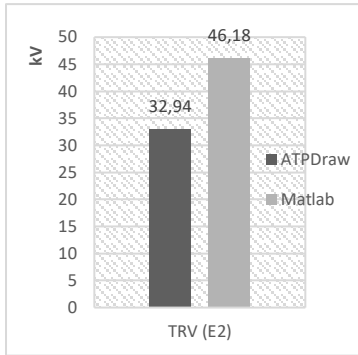
Parameter	ATPDraw	Matlab
TRV (E2)	29,75 kV	46,18 kV
Waktu perpotongan (t3)	30,8 μ s	30,8 μ s
RRRV	0,954 kV/ μ s	1,499 kV/ μ s



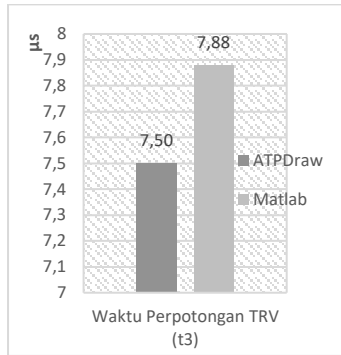
Gambar 4.16 Grafik Perbandingan TRV *Generator-source* (a) nilai puncak TRV (b) nilai waktu perpotongan TRV dan garis singgung kurva TRV (c) nilai RRRV

Tabel 4.4 *Transient Recovery Voltage System-source*

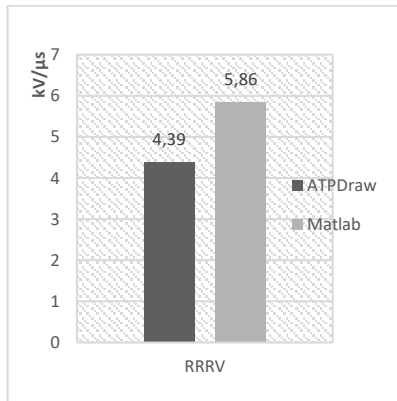
Parameter	ATPDraw	Matlab
TRV (E2)	32,936	46,18 kV
Waktu perpotongan (t3)	7,5 μ s	7,88 μ s
RRRV	4,391 kV/ μ s	5,86 kV/ μ s



(a)



(b)

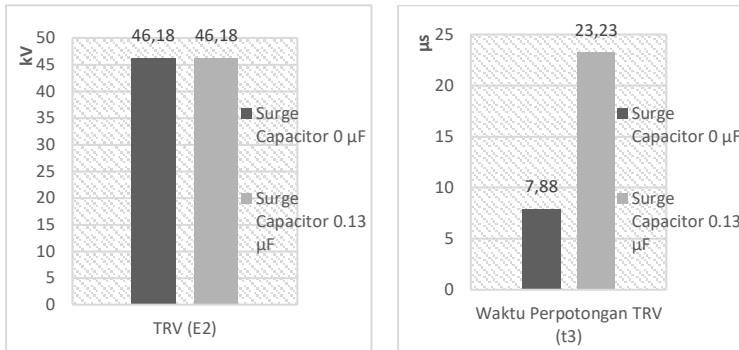


(c)

Gambar 4.17 Grafik Perbandingan TRV *System-source* (a) nilai puncak TRV (b) nilai waktu perpotongan TRV dan garis singgung kurva TRV (c) nilai RRRV

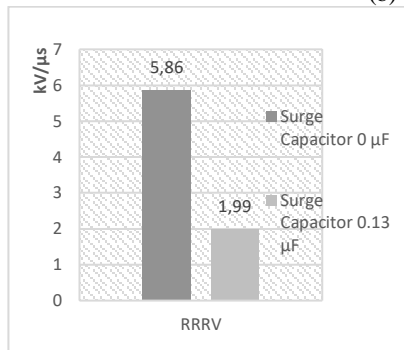
Tabel 4.5 *Transient Recovery Voltage System-source* dengan penambahan *surge capacitor* 0,13 μF pada *system-source* dengan Matlab

Parameter	Surge Capacitor 0 μF	Surge Capacitor 0,13 μF
TRV (E2)	46,18 kV	46,18 kV
Waktu perpotongan (t_3)	7,88 μs	23,23 μs
RRRV	5,86 kV/ μs	1,987 kV/ μs



(a)

(b)



(c)

Gambar 4.18 Grafik Perbandingan TRV *System-source* akibat pemasangan *surge capacitor* (a) nilai puncak TRV (b) nilai waktu perpotongan TRV dan garis singgung kurva TRV (c) nilai RRRV

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan analisis mengenai studi pemasangan *generator circuit breaker* (GCB) dengan mempertimbangkan *Transient Recovery Voltage* (TRV), didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil simulasi menggunakan ATPDraw, nilai puncak TRV dan RRRV yang didapatkan ketika gangguan pada *generator-source* adalah masing-masing sebesar 29,395 kV dan 0,95 kV/ μ s. Sedangkan pada hasil menggunakan perhitungan manual pada Matlab, nilai puncak TRV dan RRRV didapatkan adalah masing-masing sebesar 46,18 kV dan 1,499 kV/ μ s.
2. Berdasarkan hasil simulasi menggunakan ATPDraw, nilai puncak TRV dan RRRV yang didapatkan ketika gangguan pada *system-source* adalah masing-masing sebesar 32,936 kV dan 4,391 kV/ μ s. Sedangkan pada hasil menggunakan perhitungan manual pada Matlab, nilai puncak TRV dan RRRV didapatkan adalah masing-masing sebesar 46,18 kV dan 5,86 kV/ μ s.
3. Perhitungan manual pada Matlab ketika gangguan *system-source* ketika terjadi gangguan, didapatkan nilai RRRV 5,86 kV/ μ s yang melebihi standar. Oleh karena itu perlu dipasang *surge capacitor* 0,13 μ F yang sudah tersedia di pasaran untuk menurunkan nilai RRRV. Nilai RRRV setelah dipasang *surge capacitor* adalah 1,987 kV/ μ s. Nilai RRRV turun hingga 66,09%.
4. Dari analisis hasil simulasi TRV. Dengan syarat pemasangan *surge capacitor* 0,13 μ F, PLTU Pacitan seharusnya memasang GCB dengan tingkat RRRV 1,8 kV/ μ s ketika terjadi gangguan *generator source* dan 4,5 kV/ μ s ketika terjadi gangguan *system source*.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan dari tugas akhir ini untuk studi masa yang akan datang adalah melakukan studi untuk menemukan persamaan matematis yang mempertimbangkan besarnya arus hubung singkat untuk menentukan nilai TRV dan RRRV. Selain itu melakukan studi dengan membandingkan nilai TRV dan RRRV akibat tipe gangguan hubung singkat yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R.W.Alexander and D.Dufourne, "Transient Recovery Voltage for High Voltage Circuit Breaker" IEEE Tutorial, October 16 th 2008, Calgary, Canada.
- [2] Swindler, D.L.; Schwartz, P.; Hamer, P.S.; Lambert, S.R., "Transient recovery voltage considerations in the application of medium-voltage circuit breakers," Industry Applications, IEEE Transactions on , vol.33, no.2, pp.383-388, Mar/Apr 1997
- [3] B. L. Tobing, "Peralatan Tegangan Tinggi," p. 238
- [4] G. C. Dieter Braun and M. P. Kurt Dahinden, *Generator Circuit Breakers – Application Guide*, 2nd ed. Switzerland: ABB Switzerland Ltd.
- [5] IEEE Std C37.013-1997 (R2008) "IEEE Standard for AC High-Voltage Generator Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis"
- [6] David F. Peelo, "Current Interruption Transients Calculation", United Kingdom: Wiley Publishing, 2014.
- [7] P.A Aditya, B.S. Munir, and A.A. Kusuma, "Recovery Voltage Study of Capacitor Bank Switching for 150 kV Electrical System in Indonesia" 2017 International Conference on Electrical Engineering and Computer Science (ICECOS), 2017.
- [8] S.Y. Leung, Laurence A. Snider and Cat S. M. Wong, 2005, "SF6 Generator Circuit Breaker Modeling", International Conference on Power Systems Transients (IPST'05), Montreal, Canada.

---Halaman ini sengaja dikosongkan---

LAMPIRAN

Tabel data teknik *medium voltage vacuum generator circuit breaker*

Technical data				
Rated values and related capabilities	IEEE C37.013	Units	Circuit breaker type	
	clause		H83 - 17.5	H83 - 24.0
Rated maximum voltage (V)	5.1	kV	17.5	24.0
Power frequency	5.2	Hz	50/60	50/60
Rated continuous current (self-cooled)	5.3	A	6,300, 8,000, 10,000, 12,500	6,300, 8,000, 10,000, 12,500
Rated dielectric strength (withstand voltage)	5.4.2 C37.013a, Table 4	kV kV peak	50, 60 110, 125	60, 70 125, 145
1. Power frequency (dry)				
2. Full wave impulse (1.2 x 50)				
Rated short-circuit duty cycle	5.5		CO-30 min-CO	CO-30 min-CO
Rated short-circuit current				
1. System source (100% I)	5.8.1	kA sym %	80, 100 70, 75	80, 100 65, 75
• dc component				
• Asymmetrical (total)	5.8.2.3	kA rms %	112, 146 40, 63 130 84, 132	112, 146 40, 63 130 84, 132
2. Generator source				
• dc component				
• Asymmetrical (total)				
Close and latch capability (274% I)		kA peak	219, 274	219, 274
Short-time current carrying capability (100% I)	5.8.2.7	kA sym	80, 100	80, 100
Short-time current duration	5.8.2.7	s	3	3
Transient recovery voltage (TRV) rating	5.9			
System source	C37.013a, Table 5	kV kV/μs μs	32.2 4.5 8.4	44.2 4.5 11.5
1. E _p peak voltage				
2. RRVV (TRV rate)				
3. T _p time-to-peak				
Generator source	C37.013a, Table 6	kV kV/μs μs	32.2 1.8 21	44.2 1.8 28.8
1. E _p crest voltage				
2. RRVV (TRV rate)				
3. T _p time-to-peak				
Out-of-phase	C37.013a, Table 9	kV kV/μs μs	45.5 4.1 13	62.4 4.1 17.9
1. E _p crest voltage				
2. RRVV (TRV rate)				
3. T _p time-to-peak				
Rated load-current switching capability	5.10	A	6,300, 8,000, 10,000, 12,500	6,300, 8,000, 10,000, 12,500
Out-of-phase current switching capability	5.12	kA	40, 50	40, 50
Mechanical endurance		operations	10,000	10,000
Continuous current switching endurance		operations	10,000	10,000

Surge Capacitor

Specialty Capacitors

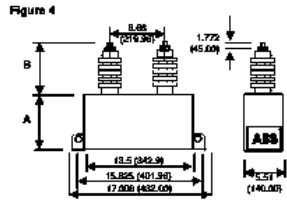
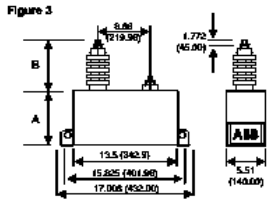
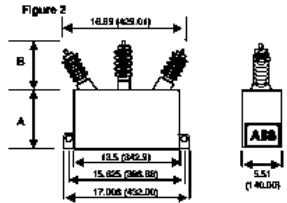
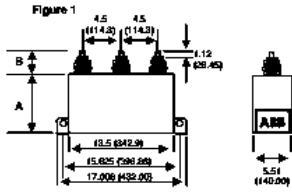


SPECIFICATIONS

Standard Design Dimensions and Weights

All dimensions and weights are approximate. Dimensions are specified in inches (mm).

Reference	Rated Voltage	No. of Poles	μ Per Pole	Figure	A Inches (mm)	B Inches (mm)	Weight Lbs. (kg)
2GUS031803A1	7200/4160	3	0.500	2	8.23 (208)	10.25 (260)	48 (22)
2GUS031801A2	7200	1	0.500	3	8.26 (156)	9.45 (240)	30 (14)
2GUS031801A3	13,800	1	0.250	3	7.24 (184)	9.45 (240)	34 (15)
2GUS031801A4	24,000	1	0.130	3	10.20 (256)	10.66 (271)	47 (21)
2GUS031801A5	24,000	1	0.063	3	15.12 (384)	10.66 (271)	66 (30)
2GUS031801A6	14,400	2	0.500	4	11.18 (284)	10.66 (271)	55 (25)
2GUS031803A7	4180/2400	3	0.500	1	7.64 (194)	4.84 (123)	34 (15)
2GUS031803A9	13,800/7960	3	0.250	2	12.76 (324)	10.25 (260)	56 (26)
2GUS031801A15	13,800	1	0.750	3	11.18 (284)	9.45 (240)	48 (22)



All ABB products are Industrial[®] enabled.
Contact your ABB Sales Representative or visit our website at www.abb.com.



Power Quality

RIWAYAT HIDUP



Yogi Prianda Ferdani, lahir di Padang pada tanggal 22 Agustus 1997. Anak bungsu dari tiga bersaudara. Yogi menempuh pendidikan dasar di SD Baiturrahmah 1 Padang pada tahun 2003, kemudian melanjutkan sekolah di SMP Negeri 1 Padang pada tahun 2009, setelah itu melanjutkan pendidikan menengah atas di SMA Negeri 1 Padang dan lulus tahun 2015. Pada tahun 2015, Yogi melanjutkan studi S1 di Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknologi Elektro

Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Bidang studi yang diambil yaitu Teknik Sistem Tenaga. Selama kuliah penulis aktif sebagai asisten Laboratorium Tegangan Tinggi.

Penulis dapat dihubungi pada email: ferdaniyogi@gmail.com.

