

**DAMPAK PENERAPAN PHASE LEADER FOLLOWER THREE PHASE
AUTO RECLOSER DI LINE 1 TRANSMISI 150 KV ISIMU – BOROKO**

OLEH:

WAYAN EKA SASTRA WIBAWA

T2117031

SKRIPSI



PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS ICHSAN GORONTALO

2022

HALAMAN PENGESAHAN

**DAMPAK PENERAPAN ADAPTIVE DEAD TIME AUTO RECLOSER DI
LINE 1 TRANSMISI 150 KV ISIMU – BOROKO**

OLEH:

WAYAN EKA SASTRA WIBAWA

T2117031

SKRIPSI

Untuk memenuhi salah satu syarat ujian guna memenuhi gelar sarjana dan telah
disetujui tim pembimbing pada tanggal 07 Mei 2022

Gorontalo, 07 Mei 2022

Pembimbing I

Pembimbing II



Muammar Zainuddin, ST., MT
NIDN. 0906018701



Steven Humena, ST., MT
NIDN. 0907118903

HALAMAN PERSETUJUAN

DAMPAK PENERAPAN ADAPTIVE DEAD TIME AUTO RECLOSER DI LINE 1 TRANSMISI 150 KV ISIMU – BOROKO

OLEH:

WAYAN EKA SASTRA WIBAWA
T2117031

SKRIPSI

Di periksa Oleh Panitia Ujian Strata Satu (S1)
Universitas Ichsan Gorontalo

1. Frengki Eka Putra Surusa, ST., MT
2. Amelya Indah Pratiwi, ST. MT
3. Ir. Stephan A. Hulukati, ST., MT., M.Kom
4. Muammar Zainuddin, ST., MT
5. Steven Humena, ST., MT



Gorontalo, Mei 2022

Mengetahui:

Dekan Fakultas Teknik

Sitti Sjola, ST. MT
NIDN. 0922027502

Ketua Program Studi Teknik Elektro

Frengki Eka Putra Surusa, ST. MT
NIDN. 0906018504

LEMBAR PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini

Nama : Wayan Eka Sastra Wibawa

NIM : T2117031

Kelas : Reguler Sore

Program Studi : Teknik Elektro

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Karya tulis saya (skripsi) ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (sarjana) baik di Universitas Ichsan Gorontalo maupun di Perguruan Tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan dari Tim pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah di publikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dicantumkan sebagai acuan dalam naskah disebutkan Nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidak benaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sangsi akademik berupa pencabutan gelar yang diperoleh karena karya tulis ini, serta sangsi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di Universitas Ichsan Gorontalo.

Gorontalo 7 Mei 2022



Wayan Eka Sastra Wibawa

KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur dipanjatkan kehadirat Tuhan yang Maha Esa, atas berkat limpahan Rahmat dan karunia-Nya sehingga **Skripsi** ini dapat terselesaikan dengan lancar dan tepat waktu. Adapun penyusunan proposal ini merupakan salah satu syarat yang harus dipenuhi untuk menyelesaikan studi di Fakultas Teknik Universitas Ichsan Gorontalo. Penulis menyadari begitu banyak hambatan dan tantangan yang ditemui namun melalui bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak maka penulis dapat menyelesaikan proposal skripsi/tugas akhir ini sebagaimana yang diharapkan. Untuk itu perkenankanlah penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Dr. Dra. Hj. Juriko Abdussamad, M.Si, selaku Ketua Yayasan Pengembangan Ilmu Pengetahuan Teknologi (YPIPT) Ichsan Gorontalo.
2. Bapak Dr. Abdul Gaffar Latjokke, M.Si, selaku Rektor Universitas Ichsan Gorontalo.
3. Bapak Amru Siola, ST., MT selaku Dekan Fakultas Teknik Unisan Gorontalo.
4. Bapak Frengki Eka Putra Surusa, ST., MT selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Unisan Gorontalo.
5. Bapak Muammar Zainuddin, ST., MT sebagai Pembimbing I
6. Bapak Steven Humena sebagai Pembimbing II
7. Bapak dan Ibu Dosen Universitas Ichsan Gorontalo, Pegawai Staf Administrasi Fakultas Teknik Universitas Ichsan Gorontalo Khususnya Jurusan Teknik Elektro.
8. Rekan-Rekan Pegawai ULTG Gorontalo.

9. Semua rekan-rekan mahasiswa Strata Satu (S1) Program Studi Teknik Elektro Universitas Ichsan Gorontalo, yang telah memberikan semangat, dukungan dan motivasi kepada penulis.

Akan menjadi sesuatu yang sangat berarti guna menyempurnakan Skripsi ini bila kritikan dan saran disampaikan pada penulis. Semoga Tuhan yang Maha Esa yang membalas budi baik dan kerelaan saudara.

Gorontalo, 7 Mei 2022



Wayan Eka Sastra Wibawa

ABSTRACT

WAYAN EKA SASTRA WIBAWA. T2117031. THE IMPACT OF THE APPLICATION OF THE ADAPTIVE DEAD TIME AUTO-RECLOSER ON THE LINE 1 TRANSMISSION OF 150 kV ISIMU – BOROKO

The 150 kV Boroko–Isimu air transmission line is one of the crucial lines in the electrical energy distribution stability to Gorontalo. It is the only transmission line connecting the Boroko Substation with the Isimu Substation directly. The fact is most of the disturbances in the transmission line are temporary. After having the results of the investigation and analysis, the application of the leader-follower autorecloser in the transmission line can minimize the time outages due to temporary disturbances. In this study, auto-recloser schemes are simulated for one cycle and two cycles and permanent and temporary disturbances on the BorokoIsimu transmission line using the ETAP 12.0 program. In the simulation, the response of the rotor angle and rotor speed of the generator, flow of active and reactive, and current power in the transmission network are observed. This study also searches the voltage and frequency stability of the buses at the Boroko and Isimu substations. The simulation results show that the rotor angle fluctuations and the highest rotor speed occur in the auto-reclose scheme with two cycles of permanent disturbance. The auto-reclose is successful if the second cycle results in larger fluctuations in system parameters compared to the auto-reclose with one cycle. The voltage on the Isimu bus is reduced by up to 84% when the Boroko-Isimu transmission line is disconnected. The recommended three-phase auto-reclose scheme to be applied to the Boroko-Isimu transmission line is the auto-reclose with one cycle with a lead time of 1 second. The leader-follower scheme is implemented by setting the Isimu Substation side as the leader side and the Boroko side as the follower, with synchro check activated on both lines.

Keywords: auto-recloser, system stability, 150 kV Gorontalo Transmission



ABSTRAK

WAYAN EKA SASTRA WIBAWA. T2117031. DAMPAK PENERAPAN ADAPTIVE DEAD TIME AUTO RECLOSER DI LINE 1 TRANSMISI 150 KV ISIMU – BOROKO

Line transmisi udara 150 kV Boroko–Isimu merupakan salah satu line yang krusial dalam stabilitas penyaluran energi listrik ke Gorontalo karena merupakan satu-satunya saluran transmisi yang menghubungkan secara langsung Gardu Induk Boroko dengan Gardu Induk Isimu. Melihat sebagian besar gangguan di saluran transmisi adalah gangguan temporer setelah dilihat dari hasil investigasi dan analisa gangguan maka dengan penerapan leader-follower autorecloser di saluran transmisi tersebut bisa meminimalkan waktu padam akibat gangguan temporer. Pada Penelitian ini disimulasikan skema autorecloser untuk satu siklus dan dua siklus dan untuk gangguan permanen dan temporer pada line transmisi Boroko-Isimu menggunakan program ETAP 12.0. Pada simulasi ini diamati respons sudut rotor dan kecepatan rotor pembangkit, aliran daya aktif, reaktif, dan arus pada jaringan transmisi, serta kestabilan tegangan dan frekuensi pada bus di GI Boroko dan Isimu. Hasil simulasi menunjukkan fluktuasi sudut rotor dan kecepatan rotor tertinggi terjadi pada skema autoreclose dengan dua siklus saat gangguan permanen. Autoreclose sukses saat siklus kedua menghasilkan fluktuasi parameter sistem yang lebih besar dibandingkan Autoreclose satu siklus. Tegangan di bus Isimu berkurang sampai 84% saat line transmisi Boroko-Isimu terputus. Skema Autoreclose tiga fasa yang disarankan untuk diterapkan pada line transmisi Boroko-Isimu adalah Autoreclose dengan satu siklus dengan dead time 1 detik. Skema leader-follower diterapkan dengan menetapkan sisi GI Isimu sebagai sisi leader dan sisi Boroko sebagai Follower, dengan synchrocheck diaktifkan pada kedua line.



Kata kunci: *Auto recloser*, Stabilitas sistem, Transmisi 150 KV Gorontalo

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
LEMBAR PERNYATAAN	iv
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI.....	ix
BAB I PENDAHULUAN.....	xii
1.1. Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Literatur Review.....	5
2.2 Dasar Teori	13
2.2.1 Sistem Tenaga Listrik	13
2.2.2 Sistem Proteksi.....	14

2.2.3	Peralatan Utama Sistem Proteksi	15
2.2.4	Jenis Gangguan di Sistem Tenaga Listrik.....	19
2.2.5	Automatic Recloser.....	21
2.2.6	Adaptive Autorecloser	25
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		28
3.1.	Kerangka Konsep Penelitian	28
3.2.	Objek Penelitian/Alat dan Bahan	30
3.3.	Lokasi dan Waktu Penelitian.....	31
3.4.	Alur Penelitian.....	31
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		35
4.1	Data Line Transmisi	35
4.2	Skema Simulasi Autoreclose.....	35
4.3	Hasil Simulasi	38
4.3.1	Sudut Rotor Pembangkit.....	38
4.3.2	Kecepatan Rotor.....	39
4.3.3	Daya Aktif, Reaktif, dan Arus Line Transmisi	41
4.3.4	Tegangan Bus Boroko dan Isimu.....	43
4.3.5	Kestabilan frekuensi Bus Boroko dan Isimu.....	44
4.4	Pengaruh PLTS terhadap operasi Autoreclose	45
4.4.2	Sudut rotor pembangkit.....	45

4.4.3	Arus Line Transmisi Boroko-Isimu	47
4.5	Pemilihan setting autorecloser line Boroko-Isimu	48
BAB V KESIMPULAN		50
5.1	Kesimpulan.....	50
5.2	Saran.....	50
DAFTAR PUSTAKA		51
LAMPIRAN - LAMPIRAN		

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 High Speed Ground Switching 1	8
Gambar 2.2 Prinsip Kerja Sistem Proteksi.....	15
Gambar 2.3 Trafo Arus 4 inti.....	16
Gambar 2.4 Trafo Arus	17
Gambar 2.5 Pemutus Tenaga	19
Gambar 2.6 Flowchart proses auto reclose	22
Gambar 2.7 Timing diagram proses autoreclose	24
Gambar 2.8 Timing diagram auto reclose 3 siklus untuk gangguan permanen	25
Gambar 2.9 Timing diagram auto reclose 4 siklus untuk gangguan sementara ...	25
Gambar 2.10 Proses jika autoreclose gagal 1	26
Gambar 2.11 Proses jika autoreclose sukses.....	27
Gambar 3.1 Single-line eksisting subsistem Gorontalo	28
Gambar 3.2 Diagram Konsep Penelitian.....	30
Gambar 3.3 Single Line Diagram Subsistem Gorontalo	32
Gambar 3.4 Diagram Leader – Follower untuk line 1 Boroko-Isimu.....	33
Gambar 3.5 Flowchart Penelitian.....	34
Gambar 4.1 Respons Sudut Rotor PLTG Maleo	38
Gambar 4.2 Respons Sudut Rotor PLTU Molotabu	38
Gambar 4.3 Respons Sudut Rotor PLTU Anggrek.....	39
Gambar 4.4 Kecepatan Rotor PLTG Maleo	39
Gambar 4.5 Kecepatan Rotor PLTU Molotabu	40
Gambar 4.6 Kecepatan Rotor PLTU Anggrek.....	40

Gambar 4.7 Daya Aktif Line Boroko-Isimu	41
Gambar 4.8 Daya Reaktif Line Boroko-Isimu	41
Gambar 4.9 Kestabilan Arus Line Boroko-Isimu	42
Gambar 4.10 Kestabilan Tegangan Bus Boroko.....	43
Gambar 4.11 Kestabilan Tegangan Bus Isimu	43
Gambar 4.12 Kestabilan Frekuensi Bus Isimu	44
Gambar 4.13 Kestabilan Frekuensi Bus Boroko.....	44
Gambar 4.14 Sudut Rotor PLTG Maleo setelah Penambahan PLTS	45
Gambar 4.15 Sudut Rotor PLTU Molotabu Setelah Penambahan PLTS	46
Gambar 4.16 Sudut Rotor PLTU Anggrek Setelah Penambahan PLTS.....	46
Gambar 4.17 Kestabilan Arus Line Boroko- Isimu Setelah Penambahan PLTS .	47
Gambar 4.18 Tegangan Bus Isimu Setelah Penambahan PLTS	47
Gambar 4.19 Tegangan Bus Boroko Setelah Penambahan PLTS	48

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tabel Operasi Autoreclose berdasarkan fasa terganggu pada konfigurasi double circuit	7
Tabel 2.2 Waktu minimum deionisasi 1	24
Tabel 4.1 Data Line Transmisi ULTG Gorontalo.....	35
Tabel 4.2 Data Pemutus Tenaga ULTG Gorontalo.....	35
Tabel 4.3 Skenario simulasi autoreclose Line Boroko-Isimu	37

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Menurut data statistik sekitar 80 – 85% gangguan di jaringan transmisi dan distribusi adalah gangguan temporer/ sementara, dengan petir sebagai penyebab gangguan tertinggi, selain penyebab lain seperti angin yang terlalu kencang atau pepohonan yang mengenai konduktor [1]. Gangguan temporer akan hilang setelah beberapa waktu tertentu setelah bagian line yang terganggu dibebaskan. Autoreclose atau PBO (Penutup Balik Otomatis) digunakan untuk mengembalikan jaringan ke kondisi sebelumnya setelah gangguan temporer hilang, sehingga kontinuitas penyaluran energi listrik terjaga. Somapriya (2012,) menyatakan penggunaan *Autoreclose* di sistem transmisi dan subtransmisi dimaksudkan selain untuk mengembalikan sistem ke konfigurasi normal dengan penggunaan sumber daya manusia minimal, dan untuk membatasi *outage time* dari line. Kemampuan restorasi sistem ini menjadi semakin penting jika diaplikasikan di jaringan transmisi yang merupakan titik interkoneksi dari beberapa pembangkit dan merupakan line yang kritis bagi reliabilitas penyaluran tenaga listrik di sistem tersebut.

Autorecloser dengan *adaptive dead time* adalah tipe autorecloser untuk jaringan transmisi yang juga dikenal dengan ‘leader-follower autoreclosing scheme’[2]. Pada skema ini sisi leader didefinisikan sebagai sisi transmisi yang menutup balik pertama setelah dead time tertentu. Follower, adalah sisi transmisi

yang menutup balik kedua dan hanya jika sisi leader berhasil menutup balik. Sisi leader digunakan untuk memverifikasi apakah gangguan sudah hilang saat dead time autoreclose. Jika gangguan masih ada, maka sisi leader akan membuka lagi PMT nya. Untuk kondisi seperti ini, sisi follower tidak akan menutup balik, sehingga bisa mengurangi *stress* yang tidak diinginkan pada PMT sisi follower, karena tidak perlu menutup saat gangguan masih ada di line transmisi

Line 1 Transmisi Isimu – Boroko merupakan line transmisi 150 kV yang menghubungkan Gardu Induk (GI) Isimu dengan Gardu Induk Boroko di sistem interkoneksi Sulawesi Utara dan Gorontalo (SulutGo). Melihat konfigurasi sistem saat ini, Line 1 merupakan saluran yang menghubungkan Gardu Induk Isimu dengan Gardu Induk Boroko secara langsung, sementara Line 2 merupakan saluran yang menghubungkan Gardu Induk Isimu dengan Gardu Induk Boroko melalui Gardu Induk Marisa dan Gardu Induk Anggrek. Apabila Line 1 mengalami gangguan hubung singkat maka sistem interkoneksi akan berdampak pada kondisi dinamik pada system tenaga. Mengingat Line 2 melewati dua Gardu Induk sebelum Gardu Induk Boroko sehingga kemungkinan terjadi gangguan baik gangguan peralatan maupun gangguan pada saluran transmisi lebih besar daripada Line 1. Menurut informasi awal dari PT. PLN (Persero) UP3B Minahasa bahwa Line 1 pada saluran transmisi GI. Isimu – GI. Boroko bersifat kritikal bagi kestabilan sistem interkoneksi SulutGo. Pada kondisi saat ini, fungsi *autoreclose* belum diaktifkan pada Line transmisi 1 GI. Isimu – GI. Boroko. Melihat pentingnya peran Line 1 transmisi Isimu – Boroko pada sistem interkoneksi SulutGO, maka pada tugas akhir ini akan dianalisa dampak penerapan *autoreclose*

dengan skema *Adaptive Dead Time* pada Line 1 Transmisi Isimu – Boroko. Dampak penerapan *Adaptive Dead Time Autoreclose* yang dianalisa dengan mengikuti standar IEEE Std. C37.104 [2]

1.2 Rumusan Masalah

- 1) Bagaimana dampak dari penerapan adaptive dead time auto reclose untuk Line 1 transmisi Isimu – Boroko dibandingkan dengan dengan kondisi eksisting (tanpa auto reclose)?
- 2) Berapa parameter setting auto reclose Line 1 Isimu – Boroko yang disarankan dengan memperhatikan peraturan dan peralatan yang ada?
- 3) Bagaimana skema leader-follower yang akan diterapkan di Line 1 Isimu – Boroko?

1.3 Tujuan Penelitian

- 1) Menganalisa dampak dari penerapan dead time auto reclose dibandingkan dengan kondisi eksisting
- 2) Menentukan setting auto reclose untuk line 1 Isimu – Boroko
- 3) Menentukan cara penerapan skema leader-follower di line 1 Isimu – Boroko dengan memperhatikan konfigurasi jaringan dan peralatan

1.4 Batasan Masalah

- 1) Penelitian menggunakan data jaringan dan konfigurasi eksisting sekarang.
- 2) Penelitian dibatasi hanya di Line transmisi 1 150 kV jurusan Isimu – Boroko

- 3) Penelitian ini hanya membahas dampak dari operasi autoreclose tiga fasa (*three phase autoreclose*) pada system dengan satu siklus/ *single shot*

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi pertimbangan kepada PT. PLN (Persero) UPT Manado dan UP2B Minahasa untuk menerapkan Adaptive dead time auto reclose di jaringan transmisinya, khususnya line 1 transmisi Isimu – Boroko.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Literatur Review

Berbagai penelitian tentang penerapan auto recloser di saluran transmisi sudah dilakukan, dengan meneliti beberapa aspek sistem tenaga listrik terkait dengan operasi auto recloser.

Penelitian oleh G.R.H.U Somapriya dengan judul "*Determining Suitable Settings For Auto Reclosing Schemes of The Sri Lankan Transmission System*" dari University of Sri Lanka tahun 2012 menentukan setting auto recloser pada sistem transmisi Sri Lanka.[3]. Setting proteksi yang tidak direview sejak tahun 1995 dan sistem transmisi yang telah berkembang menjadi alasan penulis untuk mereview dan menentukan setting auto reclose di sistem tersebut. Review dilakukan pada Setting eksisting dan data gangguan sistem dari tahun 2006 sampai 2012. Pertama analisa stability sistem dilakukan pada konfigurasi sistem eksisting dengan setting eksisting dan setting yang ditawarkan dengan program PSSE. Berdasarkan hasil simulasi dan data gangguan maka setting Auto Reclose ditentukan untuk line transmisi 220 kV dan 132 kV. Dari hasil penelitian ini penulis menemukan sebagian besar gangguan transient dibebaskan dalam waktu 100ms, sehingga dead time untuk masing-masing saluran transmisi bisa ditentukan dengan mempertimbangkan pengaruh saluran terhadap stabilitas sistem secara keseluruhan. Dari penelitian ini, penulis menjelaskan factor – factor yang mempengaruhi penentuan dead time yaitu tegangan, waktu operasi dari PMT dan relay.

Penelitian selanjutnya oleh Jorg Blumschein, Yilmas Yelgin, dan Andrea Ludwig dari Siemens AG dan 50Hertz Transmission GmbH tahun 2017 berjudul *"Adaptive Autoreclosure to Increase System Stability And Reduce Stress to Circuit Breakers"*. [1] Pada penelitian ini menjelaskan keuntungan dari sistem Adaptive Dead Time AutoReclosure untuk mengurangi stress pada PMT sehingga PMT tidak harus menutup balik pada gangguan permanen, dan single pole autoreclosing dengan deteksi secondary arc atau busur api sekunder. Metode yang dilakukan adalah membandingkan skema Adaptive Dead Time dengan skema Auto Reclose dua sisi dan mereview parameter yang dapat menjadi tanda adanya secondary arc. Berdasarkan hasil penelitian, Adaptive Autoreclosure dapat mengurangi stress pada PMT karena jika PMT follower tidak mendeteksi tegangan normal yang menjadi tanda reclose berhasil di sisi PMT leader maka PMT follower tidak akan menutup balik pada gangguan permanen. Dead time yang diperlukan agar secondary arc atau busur api sekunder hilang pada sistem perusahaan 50Hertz adalah 1.2 s dengan waktu terlalu lama agar secondary arc habis adalah 0.8 s. Dari penelitian ini penulis menjelaskan faktor – faktor yang mempengaruhi penentuan dead time adalah waktu gangguan, tegangan sistem, dan arus gangguan. Penulis juga menjelaskan kenapa banyak perusahaan listrik hanya menggunakan single shot autoreclose. Stress yang diterima oleh PMT akibat menutup balik di gangguan kadang tidak dapat dijustifikasi oleh naiknya tingkat sukses dengan operasi autoreclose lebih dari sekali.

Jurnal selanjutnya oleh Tetsuya Miyoshi dan Atsushi Kasai membahas Autoreclose multifasa pada Saluran Udara Tegangan Extra Tinggi (SUTET) transmisi 500 kV dan 1000 kV. Jurnal yang berjudul "*The Application and Benefits of Multi-phase Auto-reclosing*" membahas keuntungan dari penerapan Autoreclose multifasa pada sistem transmisi double circuit.[4] Prinsip kerja dari Autoreclose Multifasa adalah minimal harus ada dua fasa berbeda yang masih terhubung dengan jaringan, maka seluruh fasa-fasa lainnya yang trip bisa. Autoreclose satu fasa dan tiga fasa termasuk dalam metode ini. Contohnya jika salah satu sirkit pada konfigurasi double circuit trip tiga fasa dan yang lainnya hanya trip satu fasa maka autoreclose tiga fasa dan satu fasa akan terjadi.

Tabel 2.1 Tabel Operasi Autoreclose berdasarkan fasa terganggu pada konfigurasi double circuit

No	Fault phase						Tripping and reclosing	
	#1 line			#2 line			#1 line	#2 line
	A	B	C	A	B	C		
1	x			—	—	—	1 ϕ T→R	
2	x	x		—	—	—	3 ϕ FT	
3	x	x	x	—	—	—	3 ϕ FT	
4	x						1 ϕ T→R	
5	x			x			1 ϕ T→R	1 ϕ T→R
6	x	x					2 ϕ T→R	
7	x				x		1 ϕ T→R	1 ϕ T→R
8	x	x		x			2 ϕ T→R	1 ϕ T→R
9	x	x		x	x		3 ϕ FT	3 ϕ FT
10	x	x	x				3 ϕ T→R	
11	x	x				x	2 ϕ T→R	1 ϕ T→R
12	x	x			x	x	2 ϕ T→R	2 ϕ T→R
13	x	x	x	x			3 ϕ T→R	1 ϕ T→R
14	x	x	x	x	x		3 ϕ FT	3 ϕ FT
15	x	x	x	x	x	x	3 ϕ FT	3 ϕ FT

x:Fault

—:The line is out of service

1 ϕ T→R: single-phase tripping and reclosing

2 ϕ T→R: two-phase tripping and reclosing

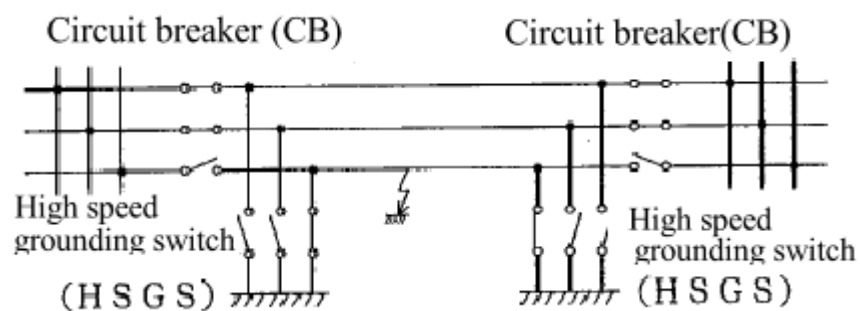
3 ϕ T→R: three-phase tripping and reclosing

3 ϕ FT : three-phase final tripping

Kelebihan dari Autoreclose Multifasa adalah bisa menutup balik pada gangguan temporer pada beberapa gangguan pada konfigurasi *double circuit*

dimana autoreclose satu fasa akan gagal menutup balik pada gangguan lebih dari satu fasa, dan autoreclose tiga fasa akan gagal menutup balik pada gangguan yang mengenai kedua sirkit.

Untuk bisa mengaplikasikan Autoreclose multifasa maka dibutuhkan kepastian interkoneksi sistem pada kedua sisi saluran dan kemampuan untuk membedakan fasa yang terganggu (*discriminate the faulted phase*). Semakin tinggi level tegangan, maka semakin lama waktu yang dibutuhkan untuk mengembalikan kemampuan insulasi antar *pole* dari *PMT* atau *Circuit Breaker*. Kemampuan untuk memastikan interkoneksi dan diskriminasi fasa yang terganggu sudah dimiliki oleh relay proteksi differensial PCM. Data arus setiap fasa dikirim ke dua sisi saluran dan relay mengoperasikan sistem proteksi sesuai data tersebut. Sedangkan untuk menghilangkan dengan cepat Secondary arc current atau arus busur api sekunder, dilakukan dengan dua metode yaitu dengan menggunakan reaktor sebagai kompensasi urutan nol dan dengan mentanahkan langsung fasa yang terganggu dengan High Speed Ground Switch (HSGS).



Gambar 2.1 High Speed Ground Switching 1

Sistem HSGS memerlukan kecepatan dan keandalan untuk melakukan prosedur berikut :

1. Terjadi gangguan

2. PMT membuka pada fasa yang terganggu
3. Menutup HSGS pada fasa yang terganggu
4. Pemadamkan busur api sekunder
5. Membuka HSGS
6. Menutup kembali PMT

Dari studi lapangan di Jepang pada sistem 275 kV didapat data sebagai berikut :

- a. Nilai efektif dari tegangan induksi dari fasa yang tidak terganggu sekitar 15-20 kV
- b. Nilai efektif dari arus HSGS saat operasi adalah sekitar 55 A
- c. Dibutuhkan waktu 30 ms untuk memadamkan busur api sekunder.
Jeda waktu ini dihitung dari saat PMT ditripan sampai munculnya tegangan induksi.

Karena untuk level tegangan 275 kV waktu pemadaman busur api sekunder sangat singkat, HSGS tidak terlihat efektif dalam memadamkan busur api sekunder. Namun dalam jurnal ini penulis menemukan tegangan induksi hilang saat HSGS dimasukkan, sehingga HSGS seharusnya bisa memadamkan busur api sekunder.

Menurut jurnal ini, Jepang telah mengaplikasikan Autoreclose multifasa sejak tahun 1960 dan tingkat kesuksesan autoreclose untuk konfigurasi double circuit jika dibandingkan dengan autoreclose satu fasa dan tiga fasa adalah lebih besar 30%.

Shang dalam jurnal yang berjudul "*Fault Nature Identification for Single-phase Adaptive Reclosure on Double Circuit EHV Transmission Lines with Shunt Reactors*" meneliti tentang metode identifikasi jenis gangguan pada jaringan SUTET dengan konfigurasi *double circuit* dengan shunt reactor. [5] Pada konfigurasi *double circuit* dengan shunt reactor, identifikasi gangguan lebih sulit dilakukan karena tegangan dan arus gangguan yang lebih kecil akibat kompensasi shunt reactor. Identifikasi gangguan perlu dilakukan agar saluran transmisi tidak perlu menutup saat gangguan permanen yang berpotensi merusak peralatan. Metode yang peneliti gunakan dalam jurnal ini adalah dengan memodelkan gangguan transient pada saluran. Saat fasa yang terganggu trip, tegangan fasa-fasa di shunt reactor bisa di kalkulasi. Perbedaan tegangan hasil kalkulasi dengan tegangan yang terukur digunakan untuk menentukan apakah gangguan tersebut bersifat temporer atau permanen. Pada gangguan temporer nilai perbedaan ini sedikit karena model kalkulasi yang digunakan tepat. Sedangkan pada gangguan permanen, maka nilai perbedaan ini lebih besar karena model kalkulasi yang digunakan adalah model kalkulasi gangguan transient atau temporer. Dalam penerapannya, untuk meningkatkan akurasi, amplitude ratio; rasio antara tegangan hasil kalkulasi dengan tegangan terukur di shun reactor.

$$U_{LA} - U'_{LA} \approx 0 \text{ untuk gangguan temporer atau transien}$$

$$U_{LA} = \text{Tegangan kalkulasi}$$

$$U'_{LA} = \text{Tegangan terukur}$$

Sedangkan untuk gangguan permanen $U_{LA} - U'_{LA} \neq 0$. Untuk menghilangkan efek dari error, maka selisih dari U_{LA} dengan U'_{LA} dibagi dengan nilai tegangan di neutral reactor U_{LN} .

$$\frac{|U_{LA} - U'_{LA}|}{|U_{LN}|}$$

Hasil dari penelitian ini, jika dibandingkan dengan hasil simulasi EMPT maka metode ini bisa dengan tepat menentukan jenis gangguan, tidak tergantung dari resistansi gangguan dan jarak gangguan dan memiliki tingkat keakuratan yang tinggi.

Penelitian selanjutnya oleh Dias dan Tavares dengan judul "*Comparison Between Traditional Single-Phase Auto Reclosing And Adaptive Technique Based On Harmonic Content*" meneliti tentang perbandingan autoreclosing satu fasa dengan metode tradisional dan dengan prosedur fast adaptive. [6]. Penelitian dilakukan di sistem transmisi di Brazil dengan level tegangan 138 kV dan 500 kV. Peneliti melihat kekurangan dari autoreclose satu fasa dengan dead time tetap dimana kadang dead time 500 ms sampai 1 detik dinilai terlalu lama, karena proses pemadaman api membutuhkan waktu kurang dari waktu tersebut. Kestabilan sistem juga menjadi perhatian peneliti melihat saluran harus beroperasi tidak normal dalam tersebut. Metode *Fast adaptive single phase auto reclosing* yang digunakan peneliti adalah berdasarkan pengukuran *harmonic content* dari tegangan fasa ke tanah fasa yang terganggu. *Harmonic content* dari tegangan dan arus dari busur api sekunder dianalisa setiap tes dan *harmonic signature* nya ditentukan dengan analisa statistik. *Harmonic content* dari tegangan lebih signifikan dari arus, dan komponen yang lebih signifikan adalah harmonisa orde

ganjil, order ke 3, ke 5, dan ke 7. Tegangan harmonisa di terminal akan melemah dan mengalami pergeseran fasa sepanjang jaringan, semakin jauh gangguan dari bus, semakin kecil tegangan harmonisa.

Skema berdasarkan THD atau *Total Harmonic Disorder* dari tegangan fasa ke ground dikembangkan oleh peneliti. Jika nilai THD awal lebih kecil dari batas yang ditentukan maka relay akan mengirimkan perintah trip tiga fasa dan blok fungsi autoreclose. Sedangkan jika nilai THD berada diatas nilai batas setelah beberapa waktu, maka gangguan dinyatakan sebagai gangguan temporer dan setelah nilai THD berkurang sampai dibawah batas, maka relay akan memberikan perintah untuk melakukan single phase autoreclosing. Sebuah Electrical Quantity Meter digunakan untuk menghitung THD per fasa sesuai dengan persamaan berikut:

$$\therefore THD_x = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{ht} HX_n^2}}{HX_1} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dengan X adalah nilai tegangan input (Va, Vb,Vc); ht adalah total jumlah harmonisa; HX_n adalah nilai efektif dari masing-masing harmonisa; HX_1 adalah nilai efektif dari fundamental; n adalah orde harmonisa.

Skema tersebut kemudian disimulasikan di program RTDs. Gangguan satu fasa dengan panjang jaringan dan nilai neutral reactor yang berbeda-beda disimulasikan dengan skema dead time tetap dan FASPAR. Hasil penelitian menunjukkan skema dead time tetap tidak bisa membedakan gangguan permanen sehingga saluran menutup dengan kondisi gangguan masih ada. FASPAR dapat

mengidentifikasi gangguan dengan waktu 289-321 ms. Waktu ini lebih cepat daripada dead time dari skema tradisional (500 ms).

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Sistem Tenaga Listrik

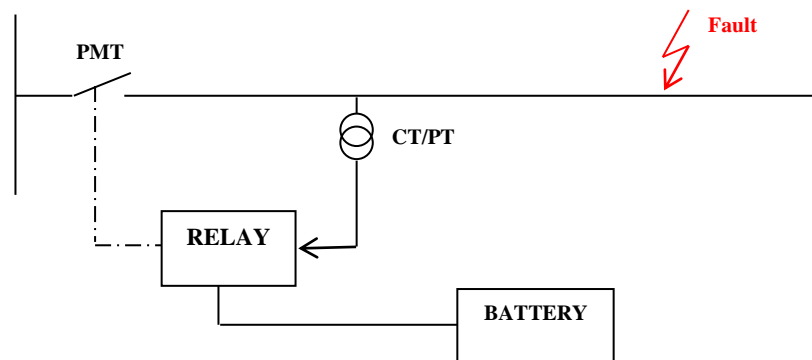
Sistem Tenaga Listrik bisa dikatakan terdiri dari sistem pembangkitan, sistem transmisi, sistem sub transmisi, dan sistem distribusi. Sistem pembangkitan dan transmisi umumnya disebut sebagai bulk power supply , sementara sistem sub transmisi dan distribusi adalah peralatan untuk menyalurkan tenaga listrik ke konsumen. Bulk Power Transmission atau transmisi tenaga terdiri dari jaringan tegangan tinggi (70 sampai 700 kV) yang didesain untuk menghubungkan pembangkit dengan utilitas tenaga listrik dan menyalurkan daya listrik dari pembangkit ke pusat beban[7]. Pada sistem ini, energy listrik yang telah dinaikan level tegangannya pada pusat pembangkitan akan disalurkan ke gardu induk-gardu induk melalui penghantar dengan berbagai jenis dan kapasitas. Khusus untuk saluran transmisi, tegangan operasi yang digunakan merupakan tegangan tinggi atau ekstra tinggi sebesar 70 kV sampai dengan 500 kV. Pada gardu induk, tegangan dapat dinaikkan ataupun diturunkan menggunakan trafo *step down* mengikuti kebutuhan konsumen yang terdiri dari konsumen rumah tangga, komersial, industry dan fasilitas umum dengan kebutuhan tegangan operasi yang berbeda-beda serta dinaikkan kembali (*step up*) apabila akan diteruskan ke gardu induk dengan tegangan operasi yang lebih tinggi.

2.2.2 Sistem Proteksi

Fungsi dari sistem proteksi pada dasarnya yaitu untuk mengamankan sistem ketenagalistrikan dari berbagai jenis gangguan yang terjadi agar kontinuitas penyaluran energi listrik tidak terganggu, mencegah terjadinya kerusakan pada peralatan serta memastikan kontinuitas pelayanan energi listrik untuk konsumen tetap handal [8]. Salah satu bagian dari sistem ketenagalistrikan yang rentan terjadi gangguan adalah saluran transmisi. Jenis konduktor/penghantar yang digunakan pada sistem ini umumnya menggunakan saluran udara (konduktor tanpa isolasi) sebagai media penyaluran energi listrik. Hal ini memungkinkan terjadi gangguan terhadap konduktor itu sendiri. Gangguan-gangguan pada sistem ketenagalistrikan khususnya pada saluran transmisi terdiri dari 2 jenis yaitu gangguan sistem serta gangguan non-sistem. Gangguan yang disebabkan oleh gagalnya suatu peralatan atau sistem tertentu biasa disebut dengan gangguan sistem. Jenis gangguan ini bisa berasal dari jumper atau konduktor yang putus, Isolator tembus dan kerusakan-kerusakan pada komponen transmisi lainnya. Sedangkan untuk gangguan non-sistem biasa disebut juga gangguan alam pada umumnya disebabkan oleh petir, pohon yang berkontak langsung dengan konduktor, bencana alam lainnya di sekitar tower transmisi serta *human error*.

Prinsip kerja dari suatu sistem proteksi dimulai dari elemen pengukur (CT/PT) yang berperan mentransformasikan nilai besaran arus atau tegangan dari primer ke sekunder kemudian diteruskan ke rele pengaman. Rele pengaman akan membandingkan hasil pengukuran dari CT dan atau PT dengan nilai setelan yang

ada pada rele untuk menentukan apakah besaran-besaran yang mengalir pada sistem yang diamankan masih dalam keadaan normal atau tidak. Apabila rele merasakan adanya gangguan pada sistem yang termasuk dalam daerah pengamanannya, maka rele tersebut akan mengirimkan sinyal perintah untuk trip kepada Pemutus Tenaga (PMT) untuk bekerja agar gangguan yang terjadi tidak meluas dan mempengaruhi sistem lainnya yang masih dalam keadaan normal seperti pada Gambar 2.1.



Gambar 2.2 Prinsip Kerja Sistem Proteksi

2.2.3 Peralatan Utama Sistem Proteksi

Beberapa peralatan utama dalam suatu sistem proteksi seperti Rele Pengaman, PMT, CT/PT, Catu Daya dan peralatan bantu lainnya difungsikan secara bersamaan dengan tujuan mengamankan sistem ketenagalistrikan, seperti pada Gambar 2.2.

a) Elemen Pengukur

Trafo Arus (*Current Transformer/CT*) dan atau Trafo Tegangan (*Potential Transformer/PT*) termasuk pada elemen pengukur dalam suatu sistem proteksi. Hal ini dikarenakan fungsi utama dari peralatan ini yaitu mengukur/mengetahui

nilai besaran yang mengalir dalam suatu sistem. Selain sebagai pengukur, peralatan ini juga berfungsi dalam sistem proteksi. Umumnya pada trafo arus atau trafo tegangan mempunyai inti yang berbeda-beda. Trafo arus atau trafo tegangan yang dipasang pada sistem memiliki 2 atau lebih inti untuk penggunaan yang berbeda (1 inti untuk pengukuran dan inti lainnya untuk proteksi) [9].

Contoh :

- Trafo arus dengan 4 inti pada sistem 150 kV :

$$\frac{645P_1 - 1200P_2}{5_{1S} - 5_{2S} - 5_{3S} - 5_{4S}} \text{ A} \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan :

645_{P1} = Penandaan inti primer, P1 untuk 645

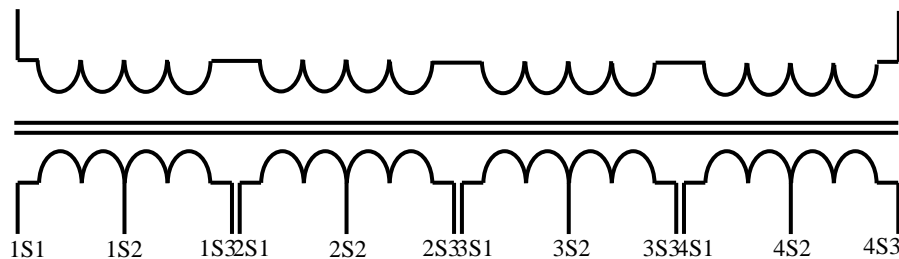
1200_{P2} = Penandaan inti primer, P2 untuk 1200

5_{1S} = Penandaan inti sekunder, 1S untuk fungsi pengukuran

5_{2S} = Penandaan inti sekunder, 2S untuk fungsi proteksi (rele arus lebih)

5_{3S} = Penandaan inti sekunder, 3S untuk fungsi proteksi (rele jarak)

5_{4S} = Penandaan inti sekunder, 4S untuk fungsi proteksi (rele bus)



Gambar 2.3 Trafo Arus 4 inti

- Trafo tegangan dengan 2 inti pada sistem 150 kV :

$$\frac{150000/\sqrt{3}}{\frac{100}{\sqrt{3}} S_1 - \frac{100}{\sqrt{3}} S_2} \text{ V} \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan :

$150000/\sqrt{3}$ = Penandaan inti primer

$\frac{100}{\sqrt{3}}_{S1}$ = Penandaan inti sekunder, S1 untuk fungsi pengukuran

$\frac{100}{\sqrt{3}}_{S2}$ = Penandaan inti sekunder, S2 untuk fungsi proteksi

Prinsip kerja dari CT/PT pada sistem proteksi yaitu mentransformasikan nilai suatu besaran (arus atau tegangan) dari nilai primer ke sekunder [10] untuk kemudian dikirimkan ke rele pengaman sebagai pembanding dengan nilai setelan rele. Untuk rele jarak atau *Distance Relay*, elemen pengukur yang digunakan umumnya lebih dari 3 sesuai fabrikasi rele. Elemen-elemen pengukur ini digunakan untuk setelan zona pengamanan rele jarak [11].



Gambar 2.4 Trafo Arus

b) Rele Proteksi

Pada rele proteksi, nilai besaran yang tadi diterima dari Trafo Arus atau Trafo Tegangan dibandingkan dengan nilai pada settingan rele untuk menentukan apakah pada sistem yang diamankan mengalami gangguan atau masih normal. Perangkat rele proteksi terdiri dari berbagai macam merk dan tipe serta jenis dengan fungsi yang berbeda-beda sesuai dengan kebutuhan penggunaannya. Setiap

sistem atau peralatan ketenagalistrikan tertentu memiliki jenis rele proteksi tersendiri, pada umumnya sebagai berikut :

➤ Jenis-Jenis Rele Proteksi Berdasarkan Pemasangan

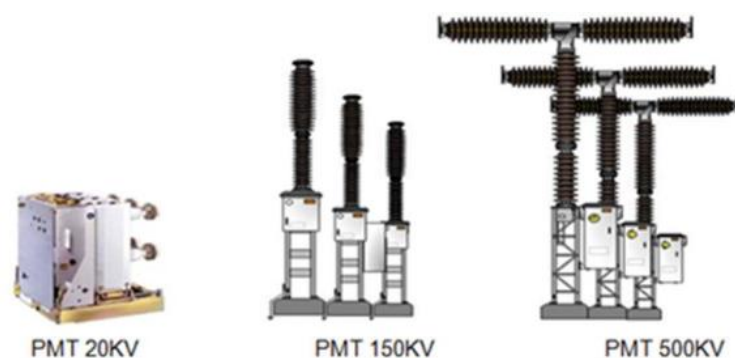
- Generator
 - Rele Pembanding (*Differential Relay*)
 - Rele Tegangan Lebih (*Over Voltage Relay*)
 - Rele Arus Lebih (*Over Current Relay*)
 - Rele Gangguan Tanah (*Ground Fault Relay*)
- Transformator
 - Rele Pembanding (*Differential Relay*)
 - Rele Arus Lebih (*Over Current Relay*)
 - Rele Gangguan Tanah (*Ground Fault Relay*)
 - Rele Mekanik
- Saluran Transmisi
 - Rele Jarak (*Distance Relay*)
 - Rele Arus Lebih (*Over Current Relay*)
 - Rele Gangguan Tanah (*Ground Fault Relay*)
- Saluran Distribusi
 - Rele Arus Lebih (*Over Current Relay*)
 - Rele Gangguan Tanah (*Ground Fault Relay*)

c) Pemutus Tenaga

Fungsi dari pemutus tenaga (PMT) yaitu untuk memisahkan dua bagian yang sebelumnya bertegangan *dengan* kondisi berbeban ataupun tidak

berbeban untuk keperluan tertentu seperti pada kegiatan pemeliharaan peralatan, *uprating* ataupun dalam keadaan gangguan [12].

Pada sistem proteksi, *PMT* berfungsi untuk memisahkan bagian yang mengalami gangguan dengan bagian yang masih dalam keadaan normal. Hal ini bertujuan agar gangguan tidak meluas dan menyebabkan kerusakan serta kerugian pada peralatan yang lebih parah.



Gambar 2.5 Pemutus Tenaga

d) Catu Daya

Catu daya berfungsi untuk memberikan suplay tegangan pada perangkat rele pengaman untuk dapat beroperasi / *energize*. Umumnya perangkat rele pengaman membutuhkan tegangan sebesar 24 sampai 110 DCV atau 220 ACV sesuai spesifikasi pada rele tersebut.

2.2.4 Jenis Gangguan di Sistem Tenaga Listrik

Jenis gangguan di sistem tenaga listrik Pada Saluran Udara terdapat beberapa jenis gangguan yaitu :

a. Gangguan Transient

Karakteristik gangguan transient adalah gangguan akan hilang setelah dead time yang pendek atau gangguan akan hilang tanpa adanya

tindakan yang dilakukan. Petir adalah penyebab utama tipe gangguan ini. Tegangan yang terinduksi di saluran menyebabkan terjadinya busur api di antar keping-keping isolator. Busur api ini jarang bisa hilang dengan sendirinya, sehingga saluran harus ditripkan dulu untuk mendisipasi jalur gangguan dan kemudian bisa masuk kembali tanpa munculnya kembali gangguan. Saluran *double circuit* rentan terkena gangguan petir karena efek petir dirasakan kedua jaringan. Selain petir, angin yang kencang, kontak sementara dengan pohon atau binatang juga bisa menjadi penyebab gangguan transient ini.

b. Gangguan semi permanen

Gangguan ini memerlukan lebih dari satu interval dead time agar gangguan hilang. Contoh gangguan ini adalah cabang dari pohon yang jatuh mengenai jaringan. Cabang ini mungkin akan terbakar ketika line ditutup kembali. Lebih dari 10% atau lebih operasi reclose sukses dalam *second shot*. Lebih dari itu, tingkat kesuksesan *reclose* hanya naik 1 sampai 2 %.

c. Gangguan Permanen

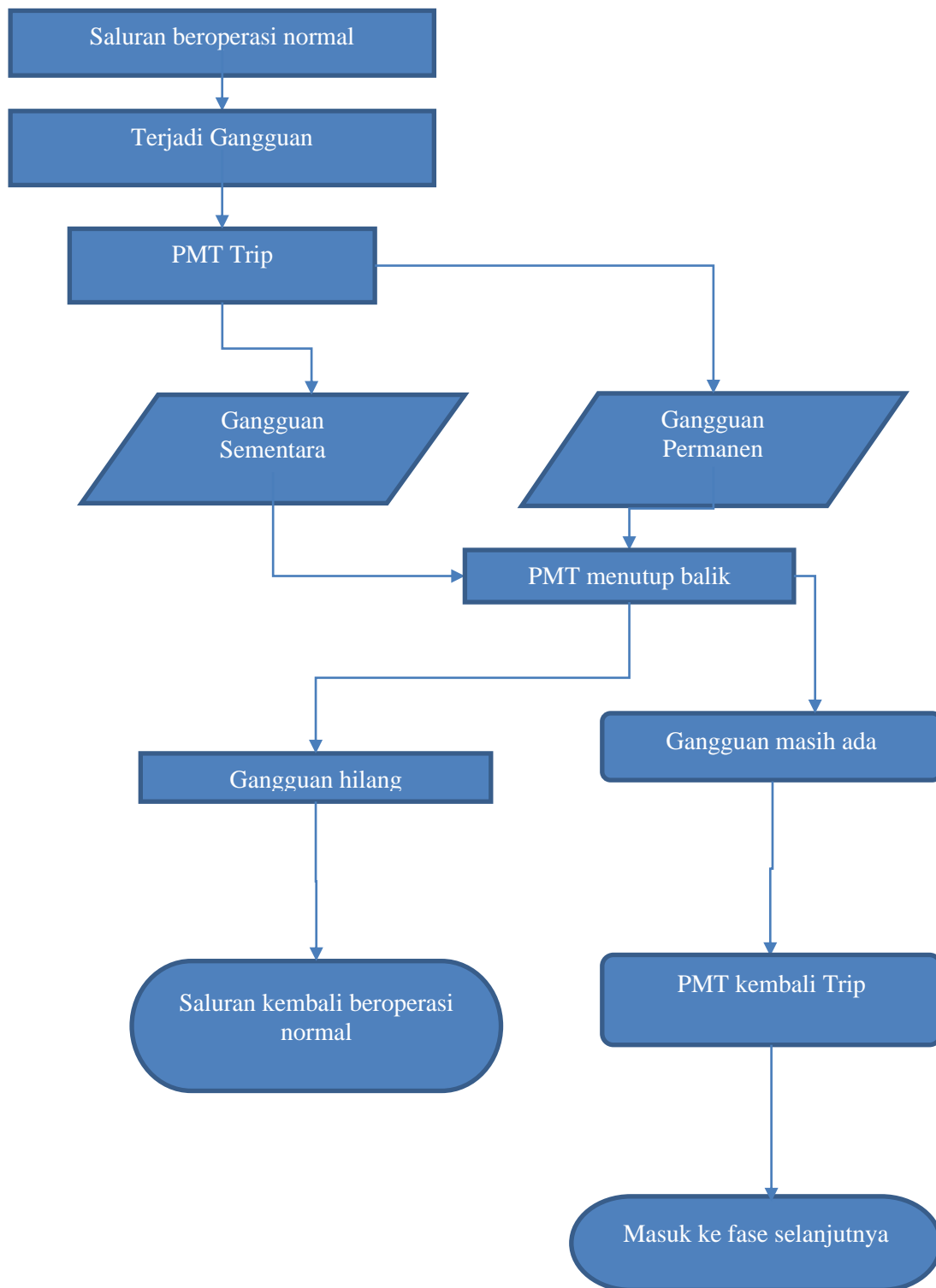
Gangguan permanen seperti putusnya konduktor, tower roboh, pohon yang tersandar di saluran harus ditelusuri sebelum penyebab gangguan bisa dihilangkan dan kerusakan diperbaiki. Pekerjaan ini memakan banyak waktu dan menambah beban sistem di jaringan yang masih beroperasi normal. (Nysten, *ASEA Journal*, 1979).

2.2.5 Automatic Recloser

Kestabilan sistem tenaga listrik dapat diartikan sebagai kemampuan untuk kembali ke equilibrium state setelah terkena gangguan. Karena sebagian besar gangguan di saluran transmisi adalah gangguan sementara maka, setelah gangguan dihilangkan dengan membuka PMT line yang terkena gangguan, maka saluran yang terkena gangguan bisa dinormalkan kembali setelah memberikan waktu yang cukup untuk menghilangkan busur api gangguan di antara kontak PMT. Kemampuan ini dikenal sebagai Automatic Recloser. (Machowski et al, Power System Dynamics : Stability and Control). Urutan kejadian dalam proses auto reclose dapat dijabarkan sebagai berikut :

1. Kedua line beroperasi normal (sebelum terjadinya gangguan)
2. Terjadi gangguan
3. Line yang terdampak gangguan trip
4. Line yang terganggu PMT nya menutup kembali secara otomatis (Auto Reclose).

Dari sini, jika gangguan adalah gangguan sementara maka kejadian selanjutnya adalah line yang terganggu akan kembali masuk ke sistem dan beroperasi normal, sistem akan beroperasi dengan dua line. Sedangkan jika gangguan adalah gangguan permanen maka line yang terganggu akan trip kembali.



Gambar 2.6 *Flowchart* proses *auto reclose*

Ada dua keuntungan dari Auto Recloser yaitu Mengurangi waktu padam untuk konsumen, dan meningkatkan kestabilan sistem. Autoreclose bisa dilakukan pada satu fasa atau ketiga fasa secara sekaligus. Autoreclose bisa dilakukan untuk satu fasa ataupun tiga fasa. Autoreclose satu fasa hanya akan mentripkan fasa yang terganggu saat gangguan satu fasa, sedangkan autoreclose tiga fasa akan mentripkan semua fasa saat terjadi gangguan.

Untuk proses auto reclose, Technical Manual Relay Micom P442 menjabarkan dalam empat parameter utama yaitu proses trip, dead time, close time, dan reclaim time (*Technical Manual Micom p44x*, 2011).

- a. Proses trip adalah proses dimana PMT mentripkan jaringan karena relay merasakan gangguan dan mengirimkan sinyal trip ke PMT.
- b. Dead time adalah jeda waktu dimana jaringan terbuka sampai sinyal untuk PMT menutup kembali dikirimkan relay. Lamanya deionisasi busur api gangguan mempengaruhi setting dead time ini, dengan diakhir dead time, gangguan sudah hilang. Dead time dipengaruhi oleh lamanya gangguan (waktu deionisasi) dan karakteristik PMT.

Technical Manual dari Micom P44x menspesifikasikan waktu minimal deionisasi untuk beberapa level tegangan sebagai berikut :

Tabel 2.2 Waktu minimum deionisasi 1

Line Voltage (kV)	Minimum De-Energization time (s)
66	0.1
110	0.15
132	0.17
220	0.28
275	0.3
400	0.5

Sedangkan Elmore, menyebutkan waktu minimal untuk dead time adalah sesuai dengan rumus berikut [13] :

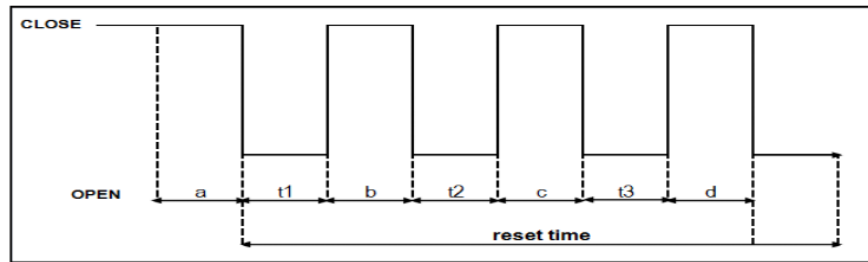
$$td = 10.5 + \frac{kV}{34.5} \text{ (cycle)} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dengan kV adalah tegangan sistem.

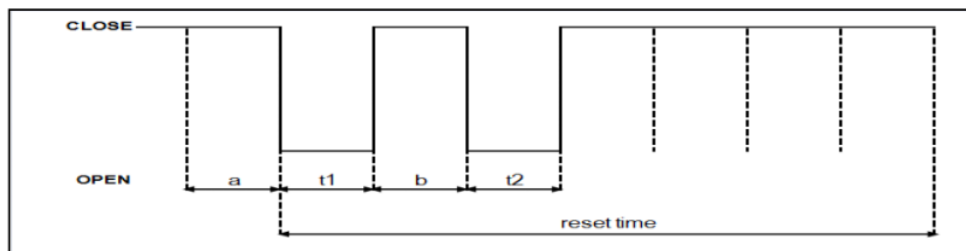
- Close time adalah waktu yang diperlukan dari sejak sinyal close dikirimkan oleh relay ke PMT sampai PMT menutup kembali.
- Reclaim time adalah jeda waktu dari sejak sinyal close dikirimkan relay sampai proses auto reclose dianggap sukses dan siklus auto reclose diulang kembali di akhir reclaim time. Jika gangguan terjadi saat reclaim time bekerja, maka proses autoreclose akan melanjutkan ke shot berikutnya. Reclaim time harus mengakomodasi kemampuan pemutusan PMT dan siklus kerja PMT, terutama charging time mekanik PMT, sehingga PMT siap untuk bekerja di akhir reclaim time.



Gambar 2.7 Timing diagram proses autoreclose



Gambar 2.8 Timing diagram auto reclose 3 siklus untuk gangguan permanen



Gambar 2.9 Timing diagram auto reclose 4 siklus untuk gangguan sementara

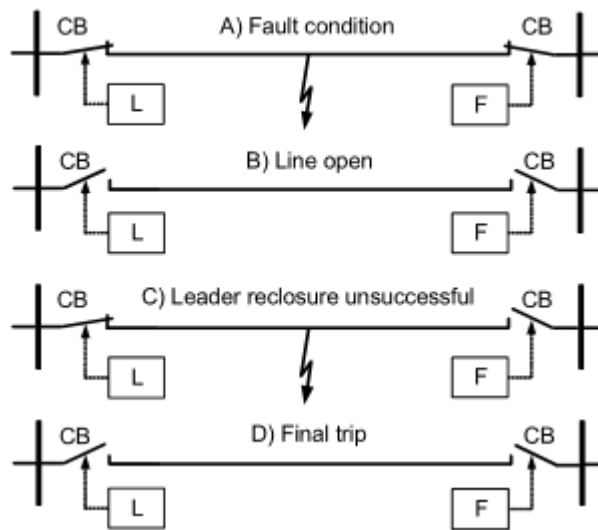
PMT akan terus menutup balik sesuai jumlah shots yang disetting di fungsi autoreclose. Jika setelah dead time shot terakhir gangguan masih terasa, maka autoreclose akan masuk ke kondisi lockout, dimana PMT tidak akan menutup balik kembali, seperti diagram di gambar 2.8. Jika gangguan sudah hilang saat PMT menutup balik di shot pertama atau kedua pada setting 3 shot, maka setelah reclaim time, relay akan mereset fungsi autoreclose untuk memulai lagi dari awal saat gangguan lain terjadi.

2.2.6 Adaptive Autorecloser

Dalam skema *adaptive dead time Autoreclose* atau *leader-follower Autoreclose scheme* satu sisi dari jaringan menjadi leader dan sisi lainnya menjadi follower. Leader adalah terminal yang menutup pertama, dan follower adalah terminal yang hanya akan menutup jika terminal leaders sukses dalam

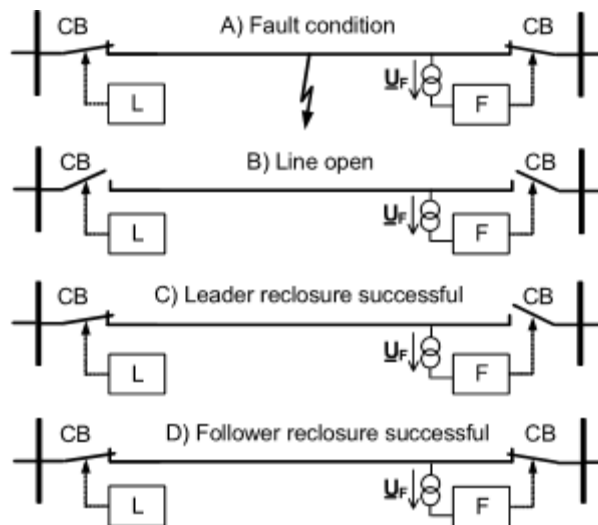
autoreclose. Relay di sisi leader digunakan untuk menentukan apakah gangguan sudah hilang saat dead time. [1]

Pada skema ini sisi leader digunakan untuk memverifikasi masih ada atau tidaknya gangguan di saluran. Jika gangguan masih ada maka sisi leader akan membuka lagi. Pada keadaan ini PMT sisi follower tidak menutup balik.



Gambar 2.10 Proses jika autoreclose gagal 1

Gambar 2.10 menunjukkan proses ketika autoreclose gagal yang mengindikasikan gangguan permanen. Relay di sisi *Leader* mendeteksi gangguan dan mentripkan PMT di sisi Leader. Setelah dead time tertentu maka PMT sisi *Leader* akan menutup balik, namun karena gangguan masih dirasakan maka PMT sisi Leader akan trip kembali.



Gambar 2.11 Proses jika autoreclose sukses

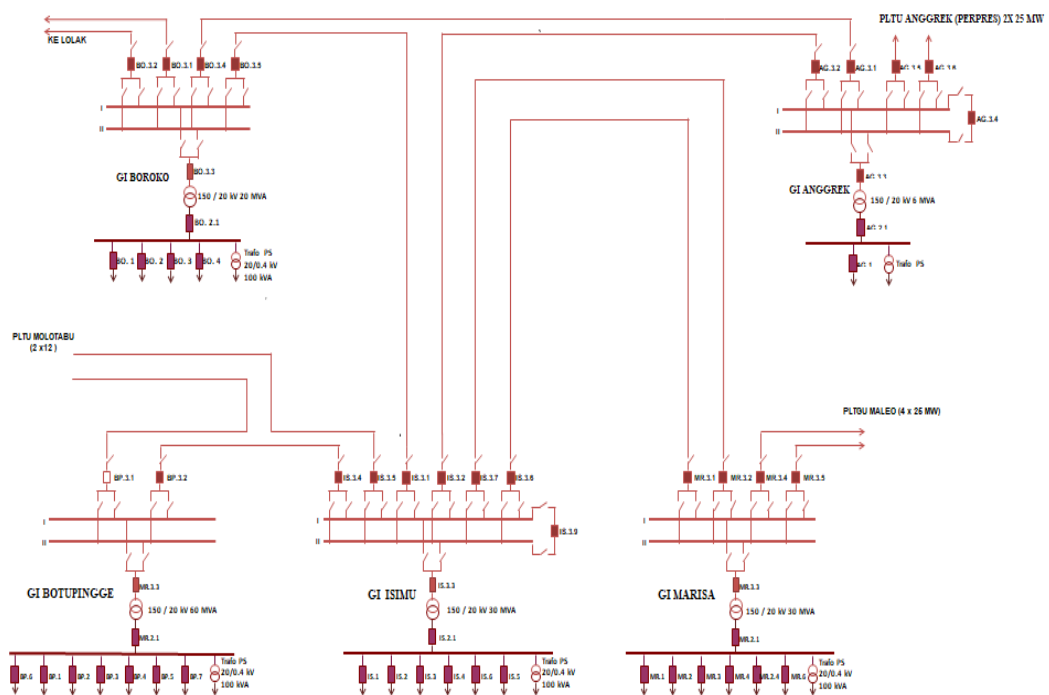
Gambar 2.11 menunjukkan proses jika autoreclose sukses, dapat dilihat jika gangguan sudah tidak ada saat PMT leader menutup balik, maka PMT follower akan mendeteksi tegangan sistem sudah normal dan menutup balik tanpa dead time. Adaptive reclosure memerlukan Trafo Tegangan di PMT follower dan saluran di sisi leader harus lebih kuat dari sisi follower dari sisi stabilitas. Selain dengan mendeteksi tegangan saluran, jika terdapat komunikasi antar relay di sisi Leader dengan Follower maka Adaptive Autoreclosure dapat disetting dengan close command dari relay sisi Leader saat auto reclose berhasil di sisi Leader.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Kerangka Konsep Penelitian

Pada subsistem Gorontalo (bagian dari sistem interkoneksi Sulawesi Utara, Tengah, dan Gorontalo), terdiri dari 5 Gardu Induk, yaitu Gardu Induk Isimu, Gardu Induk Boroko, Gardu Induk Anggrek, Gardu Induk Marisa, dan Gardu Induk Botupingge.



Gambar 3.1 Single-line eksisting subsistem Gorontalo

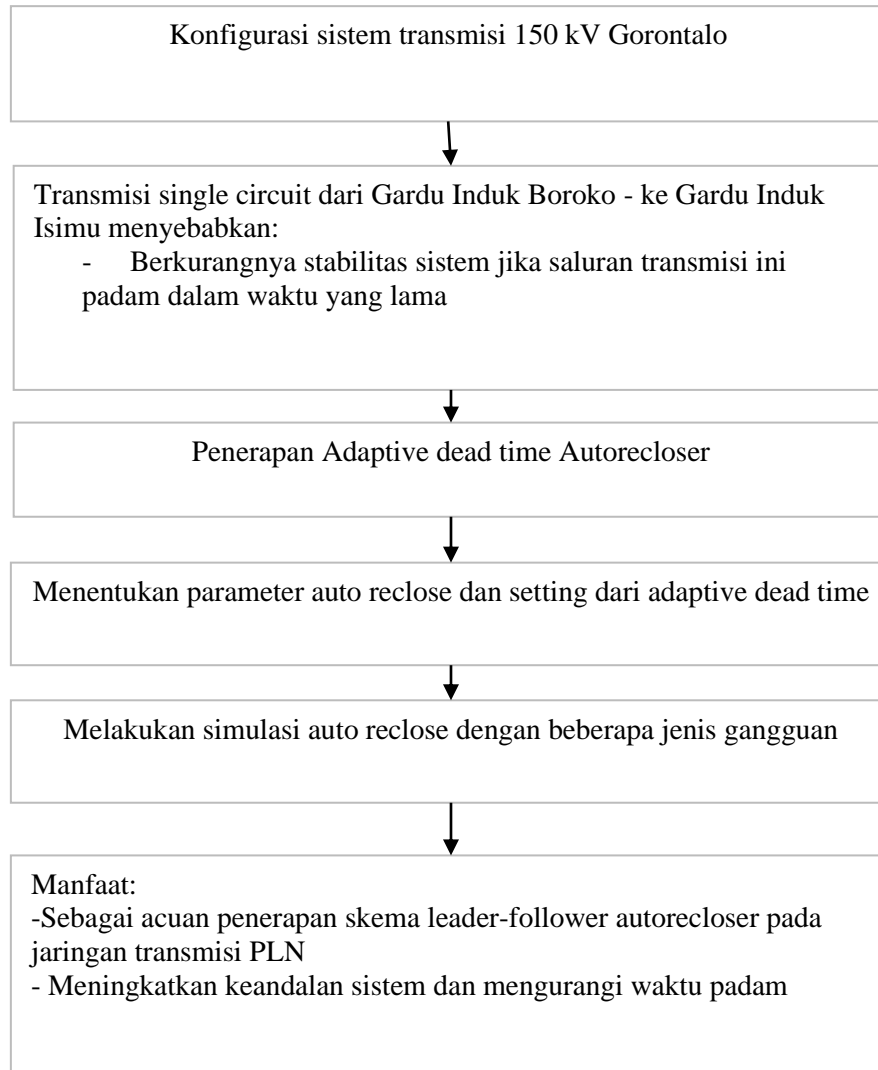
Saluran transmisi dari Gardu Induk Boroko ke Gardu Induk Isimu terdiri dari 1 saluran transmisi (single circuit). Untuk proteksi transmisi subsistem Gorontalo menggunakan proteksi jarak sebagai proteksi utama dan proteksi arus

lebih sebagai proteksi cadangan dengan autorecloser dimatikan untuk seluruh saluran transmisi di subsistem Gorontalo.

Melihat bahwa Gardu Induk Isimu dan Gardu Induk Boroko hanya dihubungkan langsung oleh satu saluran transmisi maka gangguan pada saluran transmisi ini yang menyebabkan saluran padam harus bisa diminimalisir demi menjaga stabilitas penyaluran energi listrik ke Gorontalo. Penerapan autorecloser pada jaringan ini dapat mengurangi waktu padam saluran transmisi dan meningkatkan keandalan sistem tenaga listrik, dengan mengeliminasi waktu yang diperlukan untuk memastikan jenis gangguan (permanen atau temporer).

Maka pada penelitian ini, akan ditentukan setting autoreclose dengan menggunakan skema *leader-follower* untuk mengurangi stress pada PMT saluran transmisi. Untuk itu, akan dilakukan evaluasi terhadap gangguan yang pernah terjadi di saluran transmisi untuk mencari waktu gangguan (fault duration) untuk menentukan dead time. Kemudian skema autoreclose ini disimulasikan dengan beberapa jenis gangguan untuk melihat dampak terhadap stabilitas sistem.

Berikut kerangka konsep dari penelitian ini:



Gambar 3.2 Diagram Konsep Penelitian

3.2. Objek Penelitian/Alat dan Bahan

Objek yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah Line transmisi GI Boroko ke GI Isimu yang akan disimulasikan dalam program ETAP versi 12.0.

Selain itu data-data yang dibutuhkan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. Data Penghantar Transmisi:

- Jenis penghantar

- Panjang penghantar
- Impedansi penghantar transmisi
- b. Data teknis peralatan
 - PMT
 - Relay Proteksi Jarak/Distance

3.3. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan pada saluran transmisi 150 kV Line 1 Isimu

– Boroko antara Gardu Induk Boroko dan Gardu Induk Isimu di Gorontalo. waktu penelitian yaitu dari Januari 2019 – Maret 2022.

3.4. Alur Penelitian

Tahapan – tahapan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1) Mengumpulkan Data

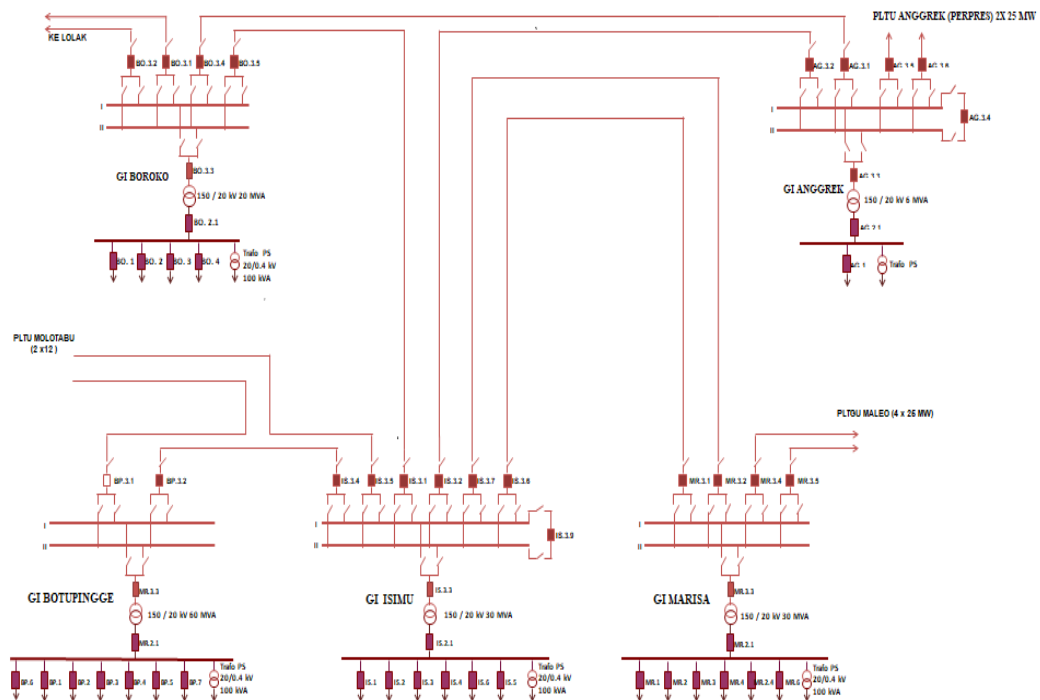
Tahap kedua adalah mengumpulkan data-data yang diperoleh dari PT. PLN (Persero) Unit Induk Pembangkitan dan Penyaluran Sulawesi, UP3B Minahasa ULTG Gorontalo sebagai bahan dasar analisa dan penentuan setting autoreclose.

2) Analisa/ Pengolahan Data

Tahap selanjutnya adalah menganalisa atau mengolah data yang sudah dikumpulkan diantaranya adalah menentukan setting autoreclose, mensimulasikan proses Autoreclose dengan beberapa dead time. Adapun tahapan – tahapan penentuan adalah sebagai berikut:

a. Pemodelan Sistem

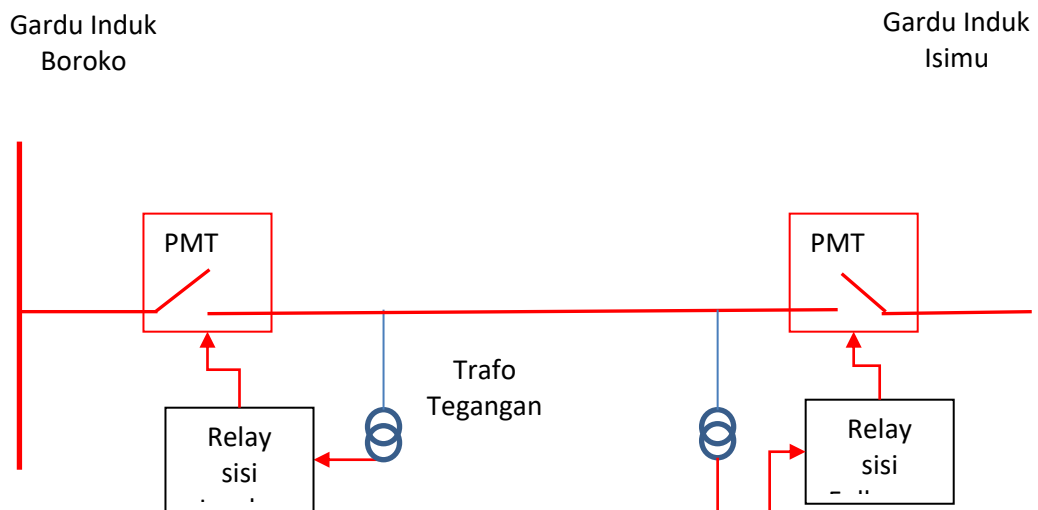
Subsistem Gorontalo terdiri dari 5 buah Gardu Induk, yaitu Gardu Induk Isimu, Gardu Induk Anggrek, Gardu Induk Marisa, Gardu Induk Boroko, Gardu Induk Botupingge, dengan 20 saluran transmisi.



Gambar 3.3 Single Line Diagram Subsistem Gorontalo

Aliran daya dari sistem Sulawesi Utara pertama-tama sampai ke Gardu Induk Boroko dari Gardu Induk Lolak. Dari Gardu Induk Boroko, terdapat dua saluran transmisi yang menyalurkan daya keluar dari Gardu Induk Boroko yaitu Line 1 Boroko – Isimu dan Line 2 Boroko Anggrek. Kondisi saat ini, Line 1 Transmisi Boroko – Isimu langsung menghubungkan Gardu Induk Boroko dengan Gardu Induk Isimu, sedangkan Line 2 menyuplai daya ke ke Gardu Induk Anggrek. Dari Gardu Induk Anggrek, aliran daya diteruskan melalui satu saluran transmisi ke Arah Gardu Induk Marisa. Satu saluran transmisi keluar dari Gardu Induk Marisa menuju ke Gardu Induk Isimu. Melihat arah aliran daya yaitu dari Gardu Induk Boroko, maka relay dari Gardu

Induk Boroko akan difungsikan sebagai *leader*, sedangkan relay di Gardu Induk Isimu sebagai *Follower*. Trafo tegangan terpasang di kedua sisi line, sehingga fungsi synchrocheck bisa diaktifkan baik di sisi *leader* maupun *follower*.



Gambar 3.4 Diagram Leader – Follower untuk line 1 Boroko-Isimu

b. Menghitung setting *autoreclose*

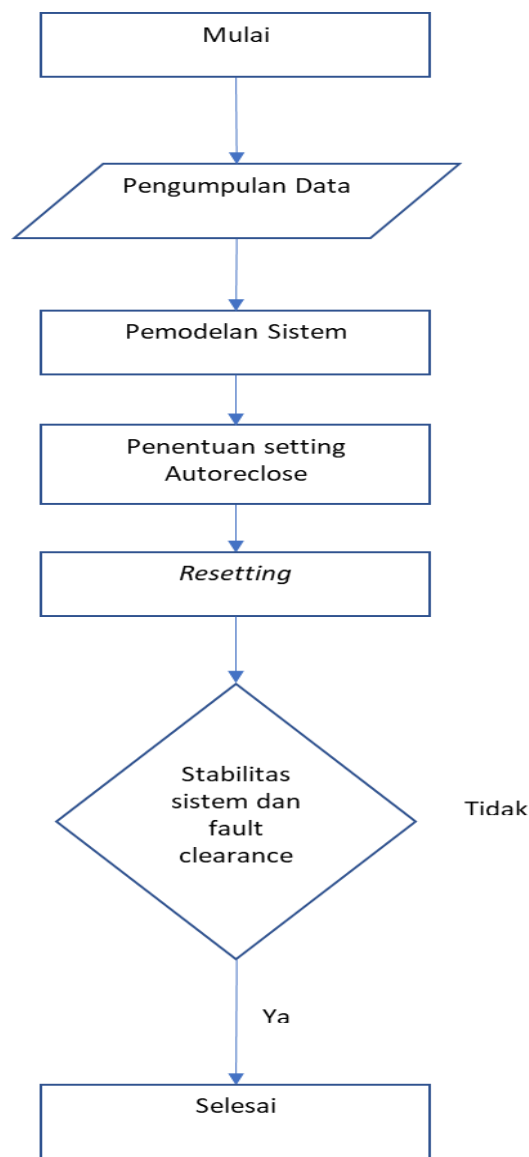
Minimum dead time ditentukan dengan persamaan 2.3 yaitu:

$$td = 10.5 + \frac{kV}{34.5} \text{ (cycle)}$$

Dengan KV adalah tegangan sistem dalam Kilo Volt. Hasil minimum dead time ini kemudian dibandingkan dengan data fault duration, data rating PMT kedua GI, dengan mempertimbangkan peranan saluran dalam stabilitas sistem tenaga listrik di Sistem Sulawesi Utara – Gorontalo. Setting dead time yang terlalu cepat akan menyebabkan PMT melakukan *autoreclose* saat gangguan belum hilang, sedangkan setting dead time yang terlalu lama akan berpengaruh terhadap stabilitas sistem yang harus beroperasi satu line. Parameter setting *autoreclose* lain seperti *reclaim time* disesuaikan dengan siklus kerja PMT yang digunakan.

c. Mensimulasikan proses autoreclose

Dengan data yang telah dikumpulkan maka konfigurasi sistem akan dimodelkan. Kemudian akan disimulasikan gangguan fasa ke tanah dan fasa – fasa. Setelah proteksi bekera dan line trip, maka gangguan akan dihilangkan dan PMT line akan dimasukkan kembali sesuai dengan setting dead time yang ditentukan. Yang diamati adalah efek ke sistem saat line trip dan saat line masuk kembali ke sistem.



Gambar 3.5 Flowchart Penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Line Transmisi

Tabel 4.1 Data Line Transmisi ULTG Gorontalo

No	Transmisi / Jurusan	Panjang (kms)	Jenis	Z (ohm)	Θ (deg)	Relay Proteksi
1	Boroko-Isimu	74.083	ACSR 240mm ²	29.87356	73.03	Micom P442
2	Anggrek-Boroko	59.54	ACSR 240mm ²	24.00918	73.03	Nari
3	Anggrek-Marisa	136.095	ACSR 240mm ²	54.87956	73.03	Nari
4	Marisa-Isimu	110.25	ACSR 240mm ²	44.45771	73.03	Micom P442
5	Marisa-PLTG Maleo	1.8	ACSR 240mm ²	0.72584	73.03	GE Multilin D60
6	Isimu-Botupingge	36.9	ACSR 240mm ²	14.87972	73.03	ABB REL 670
7	Isimu-Molotabu	43.2	ACSR 240mm ²	17.42016	73.03	Micom P442
8	Botupingge-Molotabu	20.2	ACSR 240mm ²	8.145539	73.03	ABB REL 670

Tabel 4.2 Data Pemutus Tenaga ULTG Gorontalo

No	Nama Gardu Induk	Merk	Type	Rated Voltage	Rated Current	Rated CB	Urutan Operasi
				(kV)	(kA)	(kA)	
1	Gardu Induk Boroko	AREVA	GL 313	170	3150	40	O-0.3s-CO-3 menit-CO resp. CO-15s-CO
3	Gardu Induk Marisa	AREVA	GL 313	170	3150	40	O-0.3s-CO-3 menit-CO resp. CO-15s-CO
4	Gardu Induk Botupingge	ABB	LTB170	170	3150	40	O-0.3s-CO-3 menit-CO resp. CO-15s-CO
5	Gardu Induk Anggrek	SIEMENS	3AP1	170	3150	40	O-0.3s-CO-3 menit-CO resp. CO-15s-CO
5	Gardu Induk Isimu	AREVA	GL 313	170	3150	40	O-0.3s-CO-3 menit-CO resp. CO-15s-CO

4.2 Skema Simulasi Autoreclose

Skema autoreclose yang digunakan adalah skema leader-follower, dengan sisi GI Isimu sebagai leader dan sisi GI Boroko sebagai follower dengan

mempertimbangkan beban line dan konfigurasi jaringan. Dead time yang digunakan adalah sebesar 3 detik sesuai dengan dead time yang diterapkan di PLN untuk autoreclose 3 phasa dengan 1 siklus dan 2 siklus. Dead time ini sudah lebih dari waktu minimum deionisasi pada Tabel 2.1 atau sesuai dengan persamaan 2.3 yang mensyaratkan dead time minimal untuk tegangan 150 kv sebesar:

$$td = 10.5 + \frac{kV}{34.5} \text{ (cycle)}$$

$$td = 10.5 + \frac{150}{34.5} \text{ (cycle)}$$

$$td = 14.8478 \text{ (cycle)} = 296.95 \text{ ms}$$

Urutan operasi PMT di GI Boroko dan Isimu juga mensyaratkan jeda sebesar 300 ms setelah PMT dibuka untuk operasi “Close Open” atau PMT tutup dan buka tanpa jeda waktu, yang dalam hal ini diperlukan untuk operasi autorecloser multi siklus.

Skema *autoreclose* dilakukan dengan fitur transient stability analysis dalam ETAP, dengan pengaturan pada menu events. Simulasi dijalankan selama 20 detik.

Dalam penelitian ini disimulasikan 5 kondisi pada line Isimu-Boroko yaitu kondisi :

- a. Scheme 1 Kondisi eksisitng (tanpa autoreclose)
- b. Scheme 2 Autoreclose sukses (gangguan temporer) dengan dead time 3s 1 siklus
- c. Scheme 3 Autoreclose gagal(gangguan permanen) dengan dead time 3 s 1 siklus

- d. Scheme 4 Autoreclose sukses dengan dead time 5 detik 1 siklus
- e. Scheme 5 Autoreclose gagal dengan dead time 5 detik 1 siklus

Tabel 4.3 Skenario simulasi autoreclose Line Boroko-Isimu

Scheme	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	Gangguan
1	1	1.1	1.2	-	-	-	-	Temporer
2	1	1.1	1.2	4.3	5.4		-	Temporer
3	1	1.1	1.2	4.3	4.4	-	-	Permanen
4	1	1.1	1.2	4.3	4.4	7.5	8.6	Temporer
5	1	1.1	1.2	4.3	4.4	7.5	7.6	Permanen

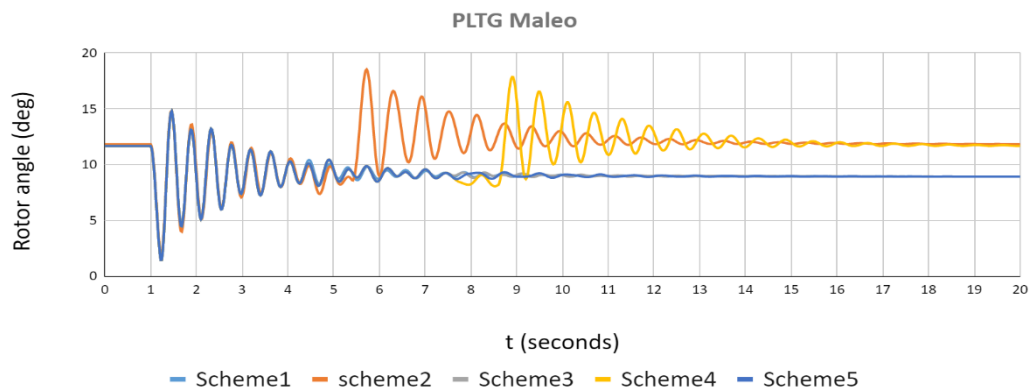
Dalam table 4.3, t1 adalah waktu gangguan diberikan ke line transmisi yaitu pada detik ke 1. Selanjutnya t2 adalah waktu Ketika PMT di GI Boroko lepas, diikuti dengan t3 untuk PMT di GI Isimu pada 1.2 detik. Delay sebesar 100 ms dimaksudkan sebagai asumsi jeda waktu operasi teleproteksi skema PUTT GI Boroko dengan GI Isimu. Untuk Skenario 1, setelah t3 maka gangguan dihilangkan. Untuk Skenario 2, gangguan dihilangkan di t3 dan PMT di GI Isimu sebagai leader end akan dimasukkan pada t4 setelah jeda dead time sebesar 3 detik. PMT pada sisi follower end yang dalam hal ini pada GI Boroko dimasukkan pada t5 yaitu 1 detik setelah PMT di GI Isimu dimasukkan. Pada Skenario 2, untuk mensimulasikan reclose gagal karena gangguan masih dirasakan relay proteksi (gangguan permanen), maka gangguan Kembali diberikan ke line transmisi setelah t4 dan PMT pada GI Isimu dibuka kembali pada t5 dan gangguan dihilangkan. Skenario 4 mensimulasikan recloser 2 siklus, dengan reclose sukses pada dead time ke dua. Setelah t5 atau setelah PMT sisi Isimu dibuka, maka gangguan dihilangkan dan PMT di GI Isimu dimasukkan kembali pada t6 yaitu setelah dead time siklus ke dua. PMT di GI Boroko kemudian

dimasukkan pada t7. Pada Skenario 5 yang mensimulasikan reclose gagal untuk recloser 2 siklus, maka setelah t6, gangguan kembali diberikan ke line transmisi dan PMT di GI Isimu dilepas, kemudian gangguan dihilangkan.

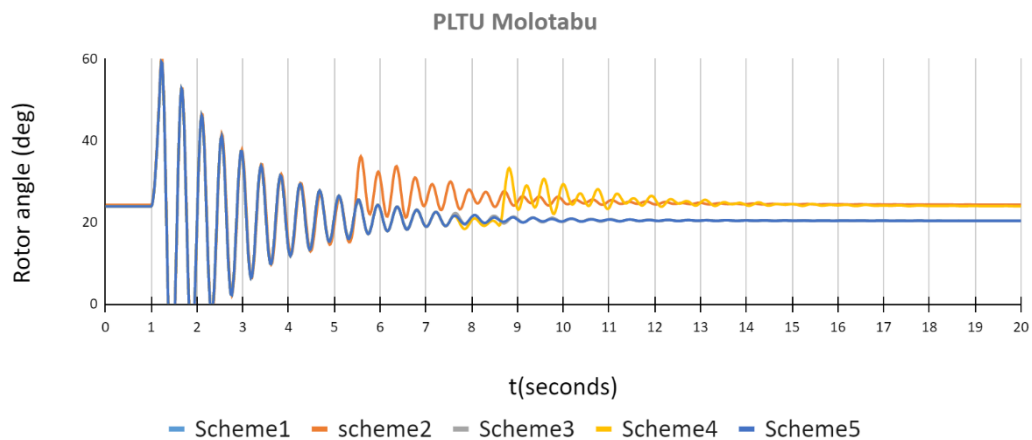
Dampak yang diamati dalam penelitian ini adalah dampak skenario simulasi terhadap Sudut rotor dan kecepatan rotor pembangkit PLTG Maleo dan PLTU Molotabu. Selain itu, dampak terhadap line transmisi Boroko-Isimu pada parameter daya aktif, daya reaktif, tegangan dan frekuensi juga diamati.

4.3 Hasil Simulasi

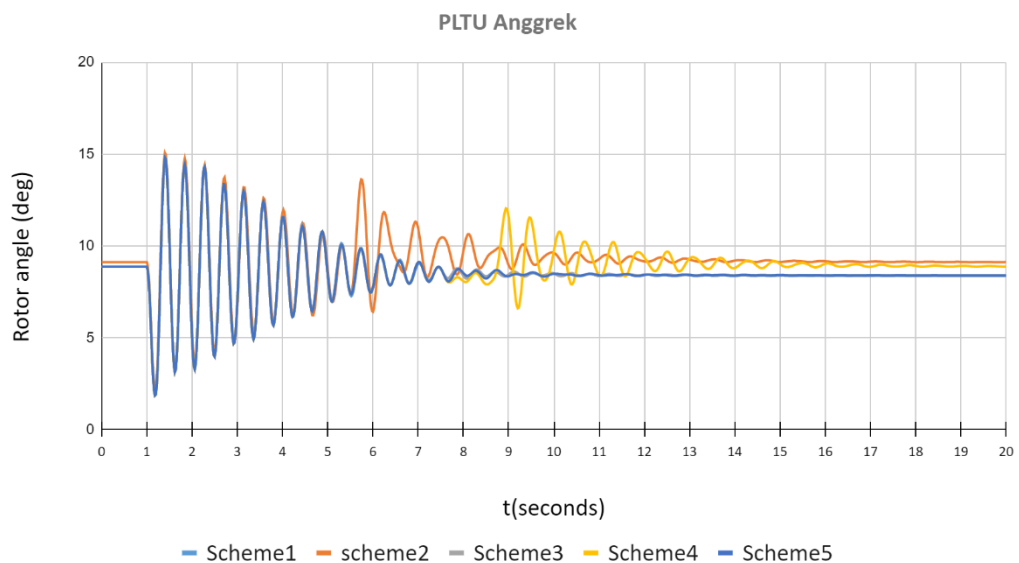
4.3.1 Sudut Rotor Pembangkit



Gambar 4.1 Respons Sudut Rotor PLTG Maleo



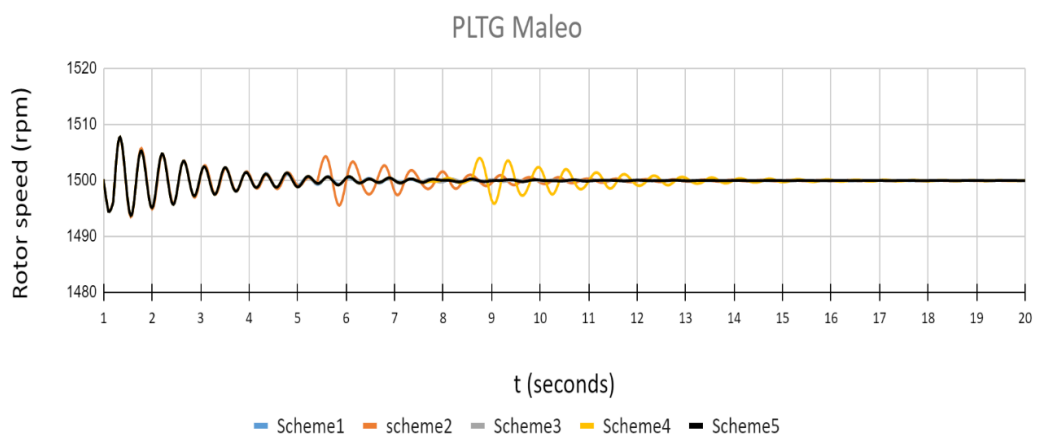
Gambar 4.2 Respons Sudut Rotor PLTU Molotabu



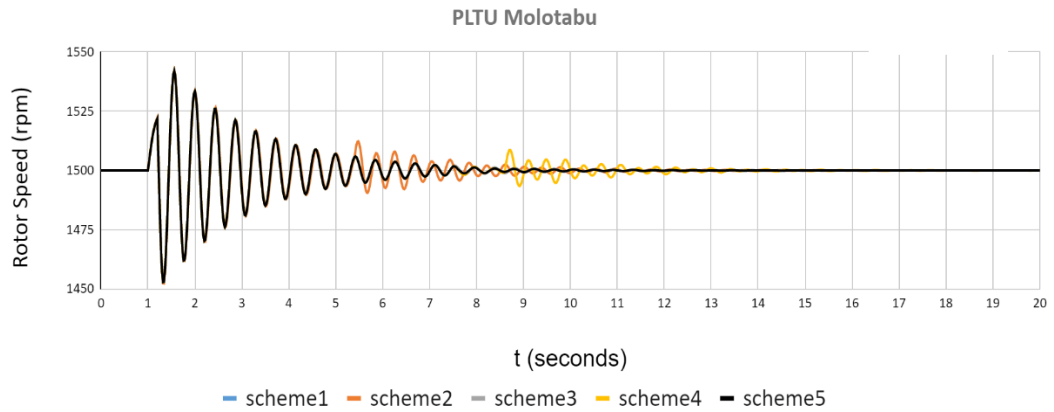
Gambar 4.3 Respons Sudut Rotor PLTU Angrek

Gambar 4.1, 4.2, dan 4.3 memperlihatkan hasil simulasi respons sudut rotor PLTG Maleo, PLTU Molotabu, dan PLTU Angrek untuk Scheme 1 sampai Scheme 5. Melihat dari bentuk gelombang sudut rotor pembangkit, ketiga pembangkit masih stabil terhadap gangguan transient yang disimulasikan. Terdapat osilasi pada gelombang sudut rotor pada scheme 2 dan 4 akibat operasi recloser, dan osilasi yang lebih besar terlihat pada Scheme 4 dimana reclose sukses baru terjadi pada siklus ke dua.

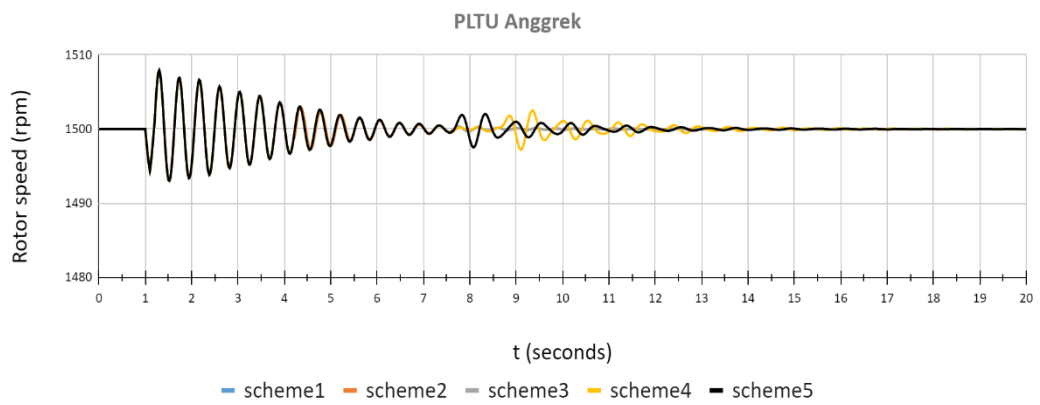
4.3.2 Kecepatan Rotor



Gambar 4.4 Kecepatan Rotor PLTG Maleo



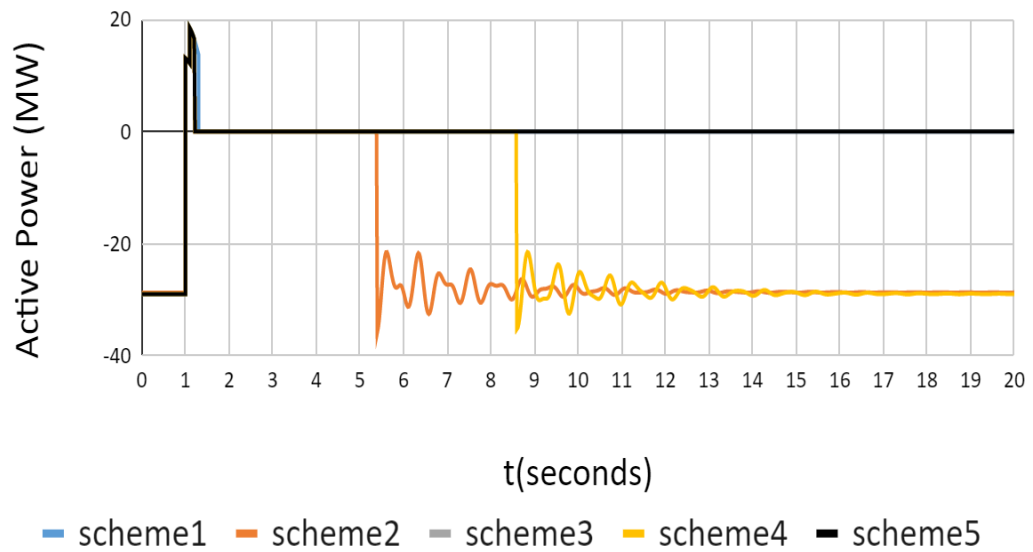
Gambar 4.5 Kecepatan Rotor PLTU Molotabu



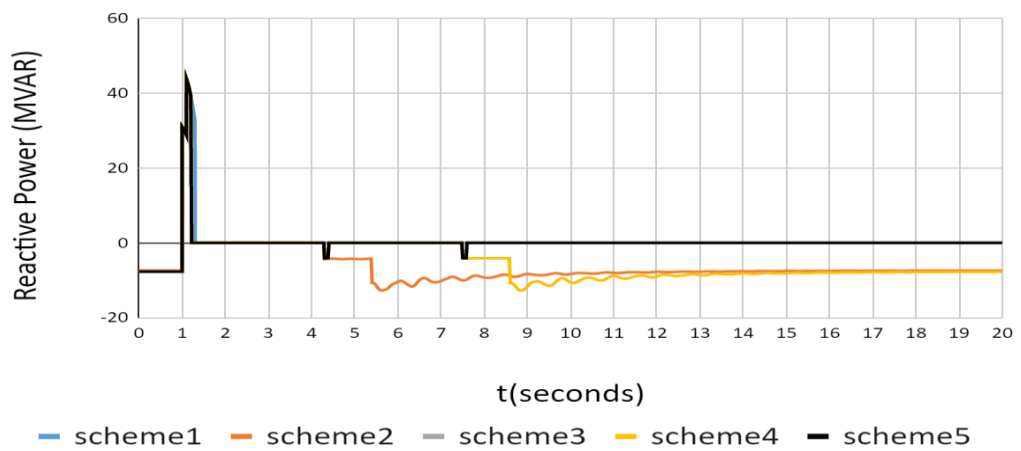
Gambar 4.6 Kecepatan Rotor PLTU Anggrek

Gambar 4.4, 4.5, dan 4.6 menunjukkan respon kecepatan rotor pembangkit terhadap gangguan transient scheme 1 sampai 5. Kecepatan rotor kembali pada keadaan semula untuk semua scheme, namun Scheme 4 dan 5 menyebabkan osilasi yang lebih besar dari scheme 1, 2 dan 3 pada PLTG Maleo, waktu untuk kecepatan rotor kembali stabil lebih lama pada scheme 2,4 dan 5. Pada PLTU Molotabu, terjadi osilasi kecepatan rotor yang lebih besar dari PLTG Maleo dan PLTU Anggrek untuk semua scheme, dan scheme 4 menghasilkan osilasi yang lebih besar dari scheme lainnya.

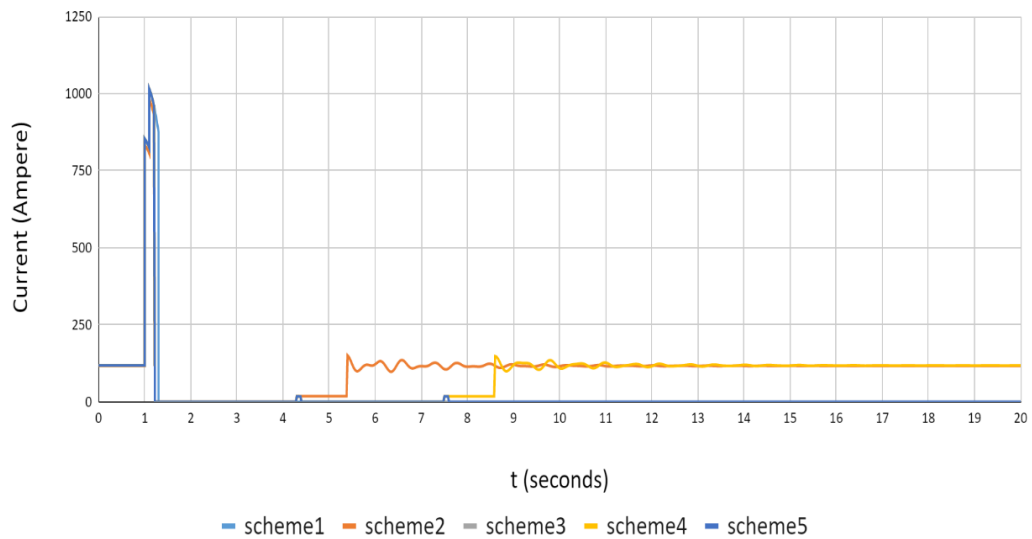
4.3.3 Daya Aktif, Reaktif, dan Arus Line Transmisi



Gambar 4.7 Daya Aktif Line Boroko-Isimu



Gambar 4.8 Daya Reaktif Line Boroko-Isimu

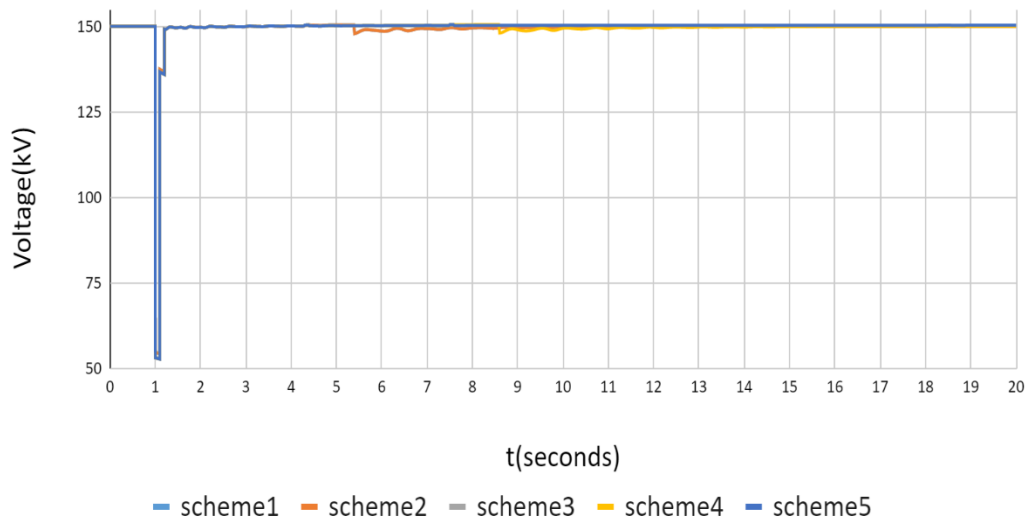


Gambar 4.9 Kestabilan Arus Line Boroko-Isimu

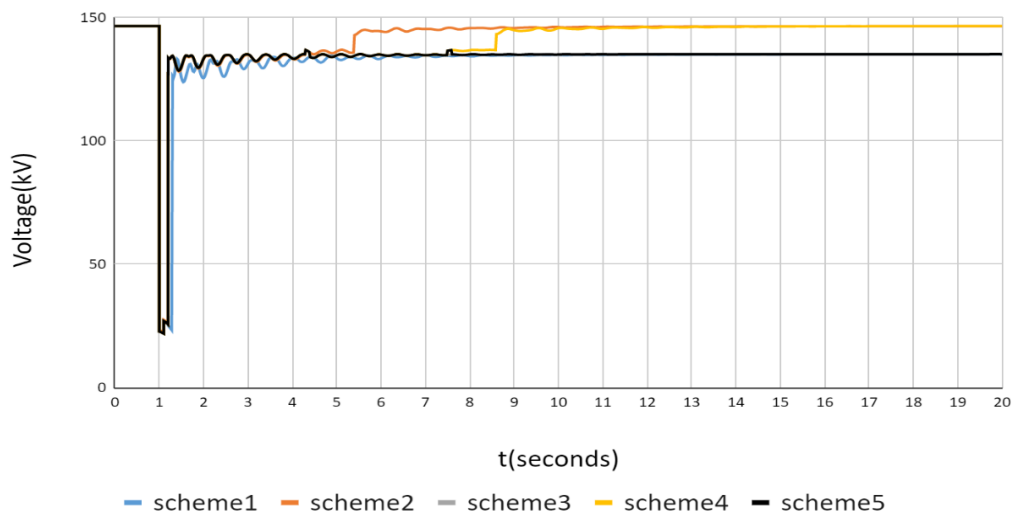
Gambar 4.7 dan 4.8 memperlihatkan aliran daya aktif dan reaktif line transmisi Boroko-Isimu selama simulasi. Pada scheme 2 dan 4, aliran daya kembali terhubung, sedangkan pada scheme lainnya, aliran daya terputus. Pada scheme 2 dan 4, aliran daya kembali terhubung akibat operasi autoreclose, dengan scheme 2 yaitu skenario dengan reclose satu siklus menghasilkan waktu tersingkat pemulihan aliran daya.

Gambar 4.9 memperlihatkan kestabilan arus pada semua skema simulasi. Sama seperti aliran daya, aliran arus kembali normal hanya pada scheme 2 dan 4, pada skenario reclose sukses. Scheme 3,4 dan 5 memperlihatkan arus gangguan kembali mengalir di saluran transmisi saat PMT dimasukkan pada kondisi gangguan belum hilang.

4.3.4 Tegangan Bus Boroko dan Isimu



Gambar 4.10 Kestabilan Tegangan Bus Boroko

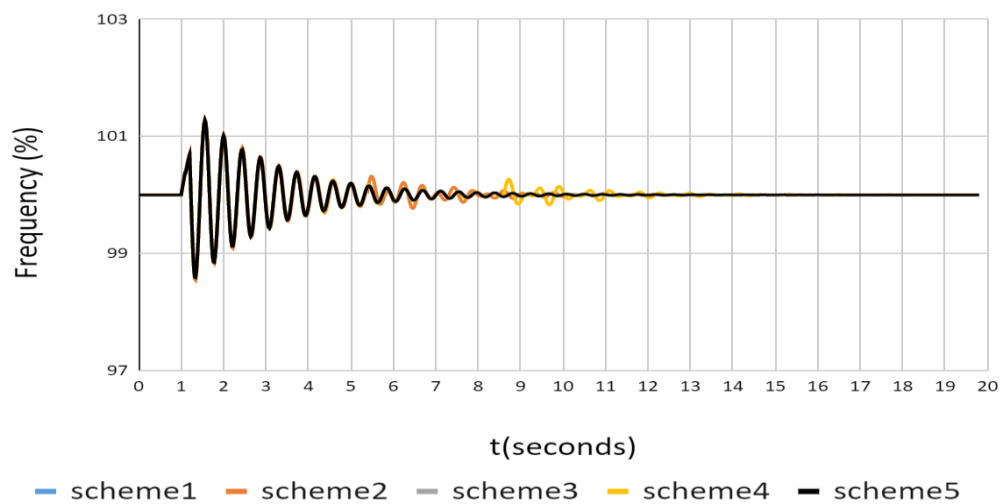


Gambar 4.11 Kestabilan Tegangan Bus Isimu

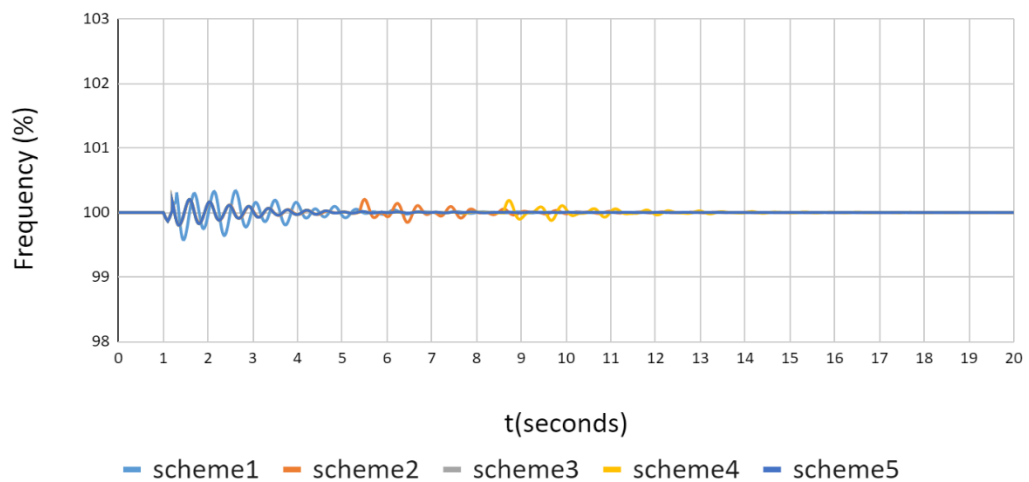
Gambar 4.10 dan 4.11 memperlihatkan kestabilan tegangan pada Bus GI Boroko dan GI Isimu selama simulasi untuk semua skema. Pada Bus Boroko, semua skema memperlihatkan level tegangan kembali ke level 100% (kondisi awal sebelum gangguan) dan drop tegangan terjadi saat gangguan diberikan ke line Boroko-Isimu. Sedangkan untuk Bus Isimu pada scheme 2 dan 4, tegangan

kembali ke level awal sebelum gangguan setelah operasi reclose sukses (PMT sisi follower dimasukkan), sedangkan pada scheme 1,3,dan 5, tegangan stabil di 135 kV, dimana menurut Aturan Jaringan Sulawesi, variasi maksimal tegangan sistem adalah sebesar +5%, 10% [14], sehingga nilai tersebut melewati tepat di batas tegangan yang diperbolehkan.

4.3.5 Kestabilan frekuensi Bus Boroko dan Isimu



Gambar 4.12 Kestabilan Frekuensi Bus Isimu



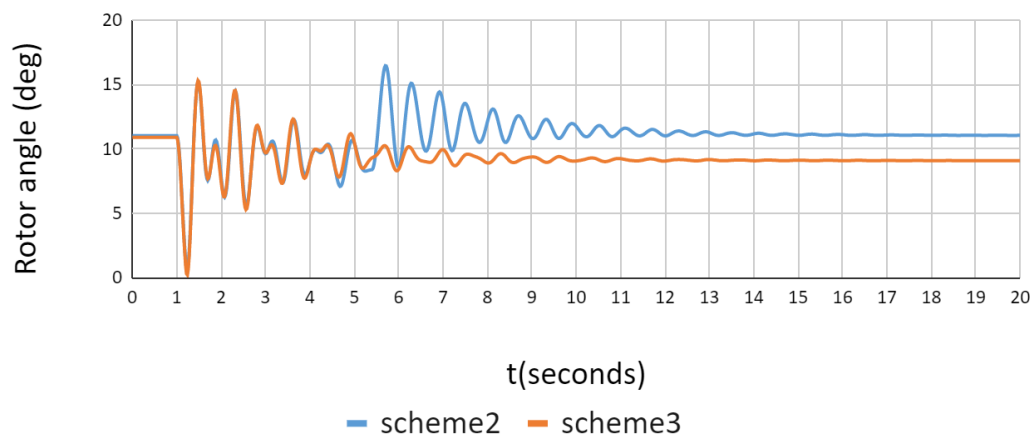
Gambar 4.13 Kestabilan Frekuensi Bus Boroko

Gambar 4.12 dan 4.13 memperlihatkan kestabilan frekuensi pada bus saat simulasi dijalankan. Dari semua skema, fluktuasi terbesar frekuensi adalah sebesar 102% atau 51 hz untuk fluktuasi tertinggi dan 98% atau 49 hz untuk fluktuasi terendah, keduanya terjadi di bus Isimu saat PMT di sisi Isimu lepas pada t3. Menurut grid code Sulawesi [14], fluktuasi frekuensi pada jaringan ada pada batas 52-47 hertz, sehingga fluktuasi pada level tersebut masih masuk dalam batas aturan grid code.

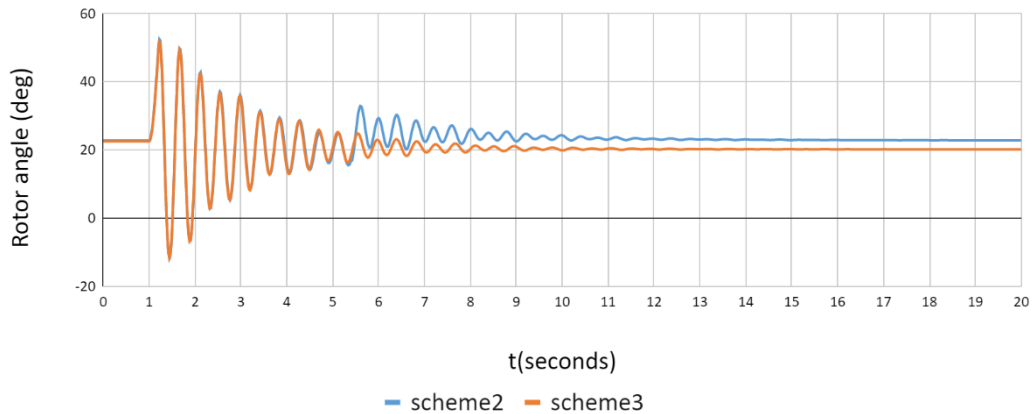
4.4 Pengaruh PLTS terhadap operasi *Autoreclose*

Untuk melihat pengaruh PLTS terhadap operasi autoreclose, maka dimodelkan PLTS sebesar 3x 3125 MVA yang terhubung dengan Bus 150 KV GI Isimu. Simulasi kemudian dijalankan kembali untuk skenario scheme2 dan scheme4.

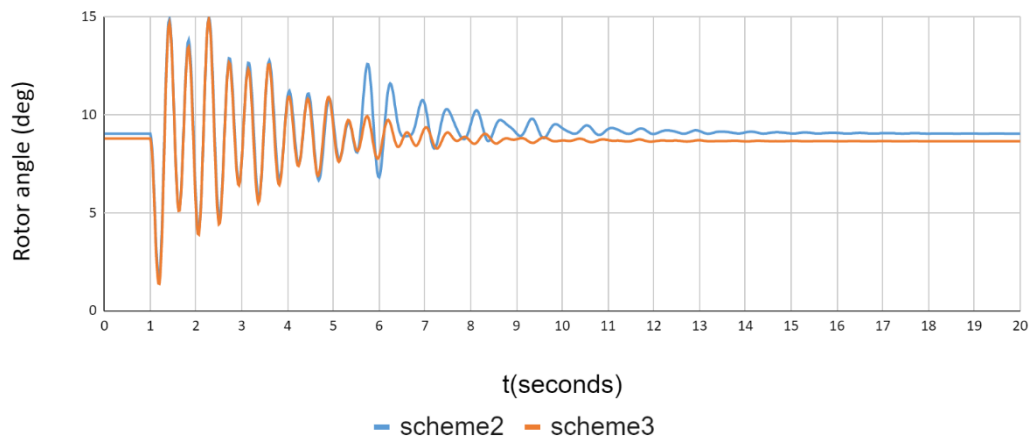
4.4.1 Sudut rotor pembangkit



Gambar 4.14 Sudut Rotor PLTG Maleo setelah Penambahan PLTS



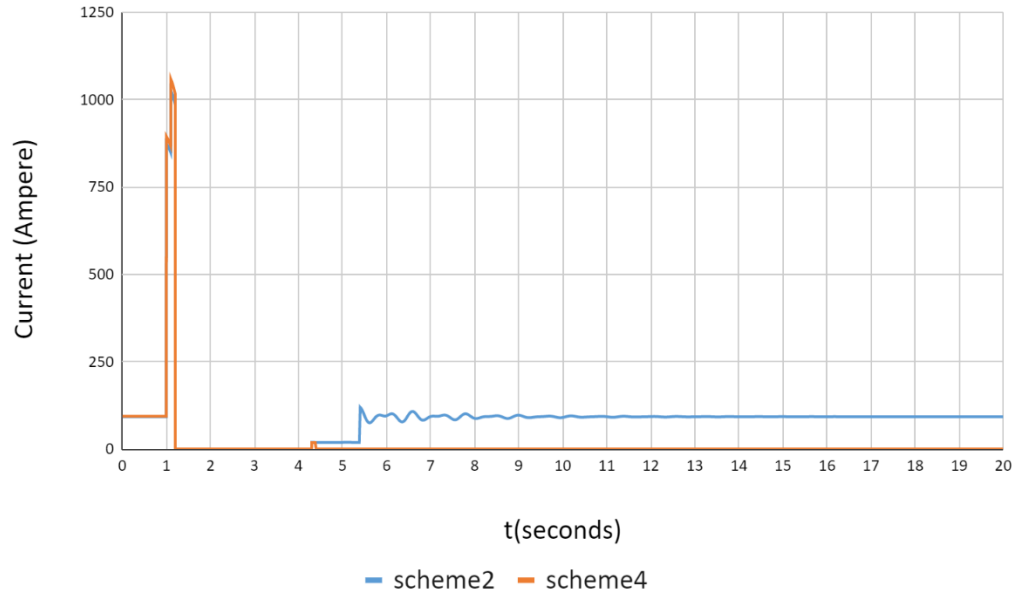
Gambar 4.15 Sudut Rotor PLTU Molotabu Setelah Penambahan PLTS



Gambar 4.16 Sudut Rotor PLTU Anggrek Setelah Penambahan PLTS

Gambar 4.14,4.15.4.16 memperlihatkan perbandingan sudut pembangkit PLTG Maleo, PLTU Molotabu dan PLTU anggrek setelah penambahan PLTS. Pada scheme2 dengan scheme4, sudut rotor pembangkit pada kedua skema masih stabil. Terdapat perbedaan sudut rotor dari kondisi tanpa penambahan PLTS, namun tidak signifikan. Osilasi yang dihasilkan dari operasi reclose pada scheme 2 tidak terlalu berbeda dari kondisi tanpa penambahan PLTS.

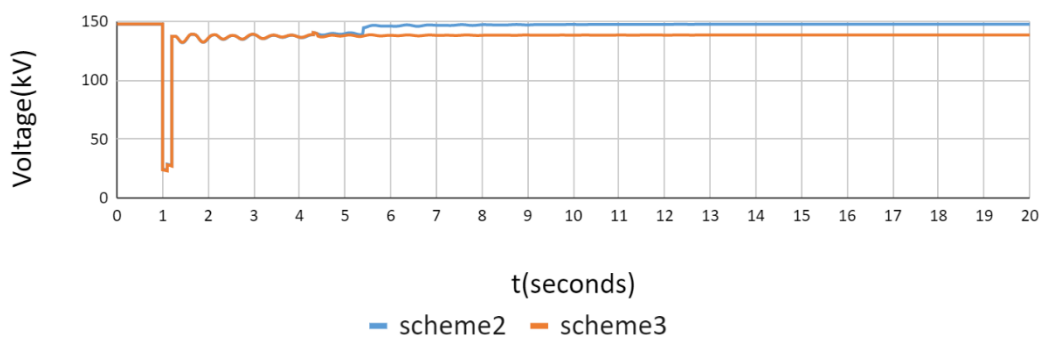
4.4.2 Arus Line Transmisi Boroko-Isimu



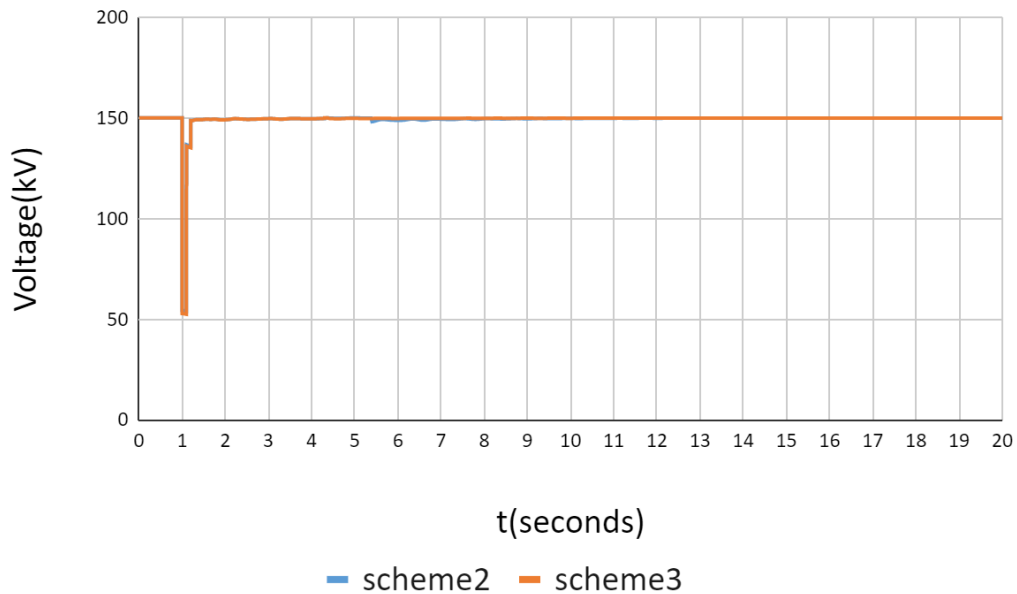
Gambar 4.17 Kestabilan Arus Line Boroko- Isimu Setelah Penambahan PLTS

Gambar 4.17 menunjukkan perbandingan arus line Boroko-Isimu untuk scheme2 dan scheme4. Arus gangguan pada line Boroko-Isimu mengalami kenaikan sebesar 4% setelah penambahan PLTS.

4.4.3 Tegangan Line Boroko-Isimu



Gambar 4.18 Tegangan Bus Isimu Setelah Penambahan PLTS



Gambar 4.19 Tegangan Bus Boroko Setelah Penambahan PLTS

Gambar 4.18 dan 4.19 memperlihatkan kondisi tegangan Bus Isimu dan Boroko setelah penambahan PLTS untuk scheme2 dan scheme3. Setelah penambahan PLTS, tegangan pada bus Boroko dan bus Isimu bertambah sebesar 3 kV pada scheme2 dan scheme3. Tambahan tegangan ini membuat tegangan stabil pada scheme4 yang merupakan skenario reclose gagal menjadi sebesar 139 kV atau 92.6% dari tegangan nominal bus.

4.4 Pemilihan setting autorecloser line Boroko-Isimu

Melihat hasil simulasi, maka skema yang paling stabil adalah pada scheme 2, baik dari segi sudut rotor, kecepatan rotor, kestabilan tegangan, arus dan frekuensi pada pembangkit dan transmisi Boroko-Isimu. Scheme 3 sebagai skenario kegagalan autoreclose 1 siklus, menghasilkan osilasi yang lebih stabil daripada scheme 5 sebagai skenario autoreclose 2 siklus, dikarenakan pemasangan PMT pada line yang masih terganggu hanya dilakukan satu kali.

Dengan mempertimbangkan keuntungan dari yang terlihat saat autoreclose berhasil pada skema 2 dan resiko saat autoreclose tidak berhasil pada skema 3, maka setting autoreclose yang diterapkan pada line Boroko-Isimu adalah autoreclose 1 siklus/single cycle/1 shots, dengan dead time 3 detik. Reclaim time disesuaikan dengan urutan operasi PMT, dalam hal ini sesuai dengan spesifikasi PMT pada tabel 4.2, reclaim time disetting pada 3 menit.

Skema autoreclose yang digunakan adalah adaptive leader follower, dengan sisi GI Isimu sebagai sisi Leader dan sisi Boroko sebagai Follower. Voltage synchrocheck diaktifkan dengan jeda waktu minimal 1 detik.

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Hasil simulasi penerapan leader follower autoreclose pada line transmisi Boroko-Isimu menunjukkan penerapan autoreclose bisa memperbaiki kondisi kestabilan system saat terjadi gangguan temporer secara otomatis. Dibandingkan dengan kondisi tanpa skema autorecloser, saat terjadi gangguan temporer kondisi system tidak bisa langsung kembali ke kondisi awal. Osilasi sudut rotor terbesar terjadi saat autoreclose gagal pada skema autoreclose dua siklus. Pada skema tanpa autoreclose dan reclose gagal, tegangan pada bus Isimu akan turun sampai 84%, mengindikasikan kondisi line Boroko-Isimu berefek kepada level tegangan bus Isimu secara signifikan. Setting Autoreclose yang disarankan sesuai dengan hasil simulasi adalah autoreclose satu siklus dengan waktu tunda 3 detik.

5.2 Saran

Selama melakukan kegiatan penelitian dan penulisan skripsi ini, penulis ingin memberikan saran kepada Universitas Ichsan agar memperbanyak bentuk kerjasama akademis dengan PLN untuk meningkatkan kompetensi mahasiswa khususnya pada jurusan Teknik Elektro.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Blumschein, Y. Yelgin, and A. Ludwig, “Adaptive autoreclosure to increase system stability and reduce stress to circuit breakers,” *70th Annual Conference for Protective Relay Engineers, CPRE 2017*, pp. 1–8, 2017, doi: 10.1109/CPRE.2017.8090004.
- [2] IEEE Power & Energy Society, “IEEE Guide for Automatic Reclosing of Circuit Breakers for AC Distribution and Transmission Lines,” 2012 doi: 10.1109/ieeestd.2012.6232415.
- [3] G. R. H. U. Somapriya, “Determining Suitable Settings for Auto Reclosing Schemes of the Sri Lankan Transmission System Determining Suitable Settings for Auto,” *University of Moratuwa*, no. September, p. 61, 2012.
- [4] T. Miyoshi and A. Kasai, “The Application and Benefits of Multi-phase Auto-Reclosing,” *10th IET International Conference on Developments in Power System Protection (DPSP)*, pp. 1–5, 2010.
- [5] L. Shang, “Fault nature identification for single-phase adaptive reclosure on double circuit EHV transmission lines with shunt reactors,” *2010 International Conference on High Voltage Engineering and Application, ICHVE 2010*, no. 09, pp. 509–512, 2010, doi: 10.1109/ICHVE.2010.5640714.
- [6] O. Dias and M. C. Tavares, “Comparison between traditional single-phase auto reclosing and adaptive technique based on harmonic content measurement,” *IET Generation, Transmission & Distribution*, vol. 11, no. 4, pp. 905–914, 2017, doi: 10.1049/iet-gtd.2016.0849.

- [7] T. Gonen, *Electrical Power Transmission System Engineering: Analysis and Design, Third Edition*. 2014. doi: 10.1063/1.1597978.
- [8] A. Hidayat, “Analisa Setting Rele Arus Lebih dan Rele Gangguan Tanah pada Penyulang Topan Gardu Induk Teluk Betung,” *Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro Analisa*, vol. 7, no. 5, pp. 5–28, 2013.
- [9] N. 605. k/DIR/2010 Lampiran Keputusan Direksi PT. PLN (Persero), *Buku Pedoman Trafo Arus*, no. 0520–2.K/DIR. 2010, p. 3.
- [10] P. T. P. L. N. Persero, “Buku Pedoman Pemeliharaan Trafo Arus (CT),” no. 0520, pp. 2–3, 2014.
- [11] M. Syafar, “Studi Keandalan Distance Relay Jaringan 150 kV GI Tello - GI Pare-pare,” *Teknik Elektro Universitas Islam Makassar*, vol. 5, no. 2, pp. 1–8, 2010.
- [12] N. 605. k/DIR/2010 Lampiran Keputusan Direksi PT. PLN (Persero), *Buku Pedoman Pemutus Tenaga*, no. 0520–2.K/DIR. 2014.
- [13] W. Elmore, *Abb protection book*. 1994.
- [14] Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral Indonesia, “Aturan Jaringan Sistem Tenaga Listrik,” 2020.

PAPER NAME

SKRIPSI

AUTHOR

Wayan Eka

WORD COUNT

8454 Words

CHARACTER COUNT

50734 Characters

PAGE COUNT

71 Pages

FILE SIZE

2.2MB

SUBMISSION DATE

Jun 14, 2022 5:13 PM GMT+8

REPORT DATE

Jun 14, 2022 5:15 PM GMT+8

● 4% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

- 2% Internet database
- Crossref database
- 3% Submitted Works database
- 0% Publications database
- Crossref Posted Content database

● Excluded from Similarity Report

- Bibliographic material
- Small Matches (Less than 25 words)

● 4% Overall Similarity

Top sources found in the following databases:

- 2% Internet database
- Crossref database
- 3% Submitted Works database
- 0% Publications database
- Crossref Posted Content database

TOP SOURCES

The sources with the highest number of matches within the submission. Overlapping sources will not be displayed.

1	coursehero.com Internet	1%
2	LL Dikti IX Turnitin Consortium on 2019-07-19 Submitted works	1%
3	LL Dikti IX Turnitin Consortium on 2019-07-19 Submitted works	<1%
4	scribd.com Internet	<1%
5	LL Dikti IX Turnitin Consortium on 2019-07-27 Submitted works	<1%



**KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN,
RISET, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ICHSAN GORONTALO
FAKULTAS TEKNIK**

SK MENDIKNAS NOMOR 84/D/O/2001
Jl. Ahmad Nadjamuddin No. 17. Telp. (0435) 829975 Fax. (0435) 829976 Gorontalo.

SURAT REKOMENDASI BEBAS PLAGIASI
No. 135/FT-UIG/VI/2022

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Amelya Indah Pratiwi. ST., MT
NIDN : 0907028701
Jabatan : Wakil Dekan I/Tim Verifikasi Fakultas Teknik

Dengan ini menerangkan bahwa :

Nama Mahasiswa : Wayan Eka Sastra Wibawa
NIM : T21.17.031
Program Studi : Elektro
Fakultas : Teknik
Judul Skripsi : Analisa Dampak Penerapan Adaptive Dead Time
Autorecloser Di Line I Transmisi Isimu-Boroko.

Sesuai hasil pengecekan tingkat kemiripan skripsi melalui aplikasi **Turnitin** untuk judul skripsi di atas diperoleh hasil *Similarity* sebesar 4%, berdasarkan Peraturan Rektor No. 32 Tahun 2019 tentang Pendeteksian Plagiat pada Setiap Karya Ilmiah di Lingkungan Universitas Ichsan Gorontalo dan persyaratan pemberian surat rekomendasi verifikasi calon wisudawan dari LLDIKTI Wil. XVI, bahwa batas kemiripan skripsi maksimal 30%, untuk itu skripsi tersebut di atas dinyatakan **BEBAS PLAGIASI** dan layak untuk diujikan.

Demikian surat rekomendasi ini dibuat untuk digunakan sebagaimana mestinya.

Gorontalo, 21 Juni 2022

Tim Verifikasi,

Mengetahui
Dekan,

Amru Siola, ST., MT
NIDN: 0922027502


Amelya Indah Pratiwi. ST., MT
NIDN. 0907028701

Terlampir :
Hasil Pengecekan Turnitin

**BIODATA CALON WISUDAWAN
UNIVERSITAS ICHSAN GORONTALO**

Nama : Wayan Eka Sastra Wibawa

Nim : T2117031

Jenis Kelamin : Laki-Laki

Tempat Tgl Lahir : Denpasar, 7 September 1992

Pekerjaan : Pegawai BUMN

Agama : Hindu

Suku Bangsa : Indonesia

Alamat : Br. Kedua, Desa Baha, Mengwi, Badung, Bali

Fakultas : Teknik

Program Studi : Elektro

Jenjang Pendidikan : S1

No. HP : 082247957609

IPK : -

Tanggal Yudisium : -

Ukuran Toga : M

Email : wayanekasastrawibawa@gmail.com

**Judul Skripsi : DAMPAK PENERAPAN PHASE LEADER FOLLOWER
THREE PHASE AUTO RECLOSER DI LINE 1 TRANSMISI 150 KV ISIMU –
BOROKO**

