

**ANALISIS UNJUK KERJA *AUTORECLOSE*
DOUBLESHOT PADA RELAI JARAK *BAY LINE 2*
SANGATTA – MALOY**

TUGAS AKHIR

**Sebagai syarat untuk memperoleh gelar S1 (S1)
Pada Program Studi Teknik Elektro
Universitas Islam Sultan Agung**



Disusun oleh:

MUHAMMAD IRFAN NUR PRADITYA

NIM 30602200200

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG**

2025

***PERFORMANCE ANALYSIS OF DOUBLE-SHOT
AUTORECLOSE FUNCTION ON THE DISTANCE
RELAY OF BAY LINE 2 SANGATTA – MALOY***

FINAL PROJECT

***Proposed to complete the requirement to obtain an undergraduate degree (S1)
at Departement of Industrial Engineering, Faculty of Industrial Technology,
Universitas Islam Sultan Agung***



Arranged by:

MUHAMMAD IRFAN NUR PRADITYA

NIM 30602200200

**DEPARTEMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
SULTAN AGUNG ISLAMIC UNIVERSITY
SEMARANG**

2025

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Laporan Tugas Akhir dengan judul “ANALISIS UNJUK KERJA AUTORECLOSE DOUBLESHOT PADA RELAI JARAK BAY LINE 2 SANGATTA – MALOY” ini disusun oleh:

Nama : Muhammad Irfan Nur Praditya

NIM : 30602200200

Program Studi : Teknik Elektro

Telah disahkan dan disetujui oleh dosen pembimbing pada

Hari : Selasa

Tanggal : 5 Agustus 2025

Pembimbing I



Ir. Arief Marwanto, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIDN. 0628097501

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Elektro



Jenny Putri Hapsari, S.T., M.T. Ph.D.
NIDN. 0607018501

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

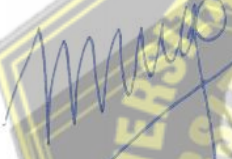
Laporan Tugas Akhir dengan judul “ANALISIS UNJUK KERJA AUTORECLOSE DOUBLESLOT PADA RELAI JARAK BAY LINE 2 SANGATTA – MALOY” ini telah dipertahankan di depan dosen penguji Tugas Akhir pada:

Hari : Selasa

Tanggal : 5 Agustus 2025

TIM PENGUJI

Anggota I


Munaf Ismail, S.T., M.T.

NIDN. 0613127302

Anggota II


Ir. Arief Marwanto, S.T., MEng., Ph.D.

NIDN. 0628097501

Ketua Penguji


Dedi Nugroho, S.T., M.T.

NIDN. 0617126602

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Irfan Nur Praditya
NIM : 30602200200
Judul Tugas Akhir : ANALISIS UNJUK KERJA AUTORECLOSE
DOUBLESHOT PADA RELAI JARAK BAY LINE 2
SANGATTA – MALOY

Dengan bahwa ini saya menyatakan bahwa judul dan isi Tugas Akhir yang saya buat dalam rangka menyelesaikan Pendidikan Strata Satu (S1) Teknik Elektro tersebut adalah asli dan belum pernah diangkat, ditulis ataupun dipublikasikan oleh siapapun baik keseluruhan maupun sebagian, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka, dan apabila di kemudian hari ternyata terbukti bahwa judul Tugas Akhir tersebut pernah diangkat, ditulis ataupun dipublikasikan, maka saya bersedia dikenakan sanksi akademis. Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sadar dan penuh tanggung jawab.

Semarang, 5 Agustus 2025

Yang Menyatakan



Muhammad Irfan Nur Praditya

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH

Saya yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Irfan Nur Praditya

NIM : 30602200200

Program Studi : Teknik Elektro

Fakultas : Teknologi Industri

Dengan ini menyatakan Karya Ilmiah berupa Tugas Akhir dengan judul :

“ANALISIS UNJUK KERJA AUTORECLOSE DOUBLESLOT PADA RELAI JARAK BAY LINE 2 SANGATTA – MALOY”

Menyetujui menjadi hak milik Universitas Islam Sultan Agung serta memberikan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif untuk disimpan, dialihmediakan, dikelola dalam pangkalan data dan dipublikasikan di internet dan media lain untuk kepentingan akademis selama tetap menyantumkan nama penulis sebagai pemilik hak cipta. Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh. Apabila di kemudian hari terbukti ada pelanggaran Hak Cipta/Plagiatisme dalam karya ilmiah ini, maka segala bentuk tuntutan hukum yang timbul akan saya tanggung secara pribadi tanpa melibatkan Universitas Islam Sultan Agung.

Semarang, 5 Agustus 2025

Yang Menyatakan



Muhammad Irfan Nur Praditya

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillahirobbilalamin segala puji syukur yang tak terhingga atas kehadiran Allah Subhanahu Wataala, yang telah melimpahkan rahmat serta hidayah- Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan sekaligus laporan tugas akhir yang berjudul “Analisis Unjuk Kerja Autoreclose Doubleshot Pada Relai Jarak Bay Line 2 Sangatta – Maloy” dengan sebaik-baiknya.

Proses penyusunan laporan tugas akhir ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak yang turut membantu dan mendukung agar terselesaikannya laporan ini. Maka dari itu penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Ibu dan Ayah, atas doa, harapan dan dukungan kepada saya di mana pun saya berada.
2. Bapak Prof. Dr. H. Gunarto, SH., MH selaku Rektor Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
3. Ibu Dr. Ir. Novi Marlyana, ST., MT., selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
4. Ibu Jenny Putri Hapsari, ST., MT., selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
5. Dosen Pembimbing saya, Bapak Ir. Arief Marwanto, ST., M.Eng., Ph.D., IPM yang telah memberikan bimbingan dan dukungan dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
6. Seluruh Dosen dan Karyawan Jurusan Teknik Elektro, Universitas Islam Sultan Agung Semarang atas ilmu, bimbingan, dan bantuannya sehingga penulis bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini.
7. Teman-teman seperjuangan Kelas Sore Unissula atas bantuan dan kebersamaan selama perkuliahan dan penyusunan Tugas Akhir ini.
8. Tim Proteksi, Metering dan Otomasi PT PLN (Persero) UPT Balikpapan atas ilmu, saran dan masukan dalam penyusunan Tugas Akhir ini.

9. Saudari Febiana Savitri Nur Alifah atas kepercayaan dan dukungan dalam setiap kondisi saya.

Penulis juga menyadari bahwa dalam penyusunan Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan, baik dari segi materi maupun penyajiannya. Penulis meminta maaf dan juga membutuhkan kritik maupun saran yang membangun dari berbagai pihak, sehingga kedepannya Tugas Akhir ini dapat menjadi lebih baik.

Akhirnya penulis berharap semoga laporan ini dapat memberikan manfaat dan wawasan bagi para pembaca dan khususnya bagi penulis juga, wallahua'alam bissowab.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh



DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
ABSTRAK	xv
<i>ABSTRACT</i>	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang Masalah.....	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Pembatasan Masalah.....	2
1.4. Tujuan Penelitian	2
1.5. Manfaat Penelitian	3
1.6. Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI.....	5
2.1. Tinjauan Pustaka	5
2.2. Landasan Teori.....	9
BAB III METODE PENELITIAN.....	26
3.1. Objek Penelitian.....	26
3.2. Diagram Alir Penelitian.....	27
3.3. Peralatan Pengujian.....	28
3.4. Data Penelitian	29
3.5. Pengujian Individu Relai Jarak	30
3.6. Pengujian Fungsi.....	35
3.7. Skenario Pengujian Fungsi.....	37
BAB IV PERHITUNGAN DAN ANALISIS	39
4.1 Perhitungan Setting Relai Jarak	39
4.2 Penerapan Fungsi <i>Autoreclose doubleshot</i>	43
4.3 Hasil Pengujian Individu.....	44
4.4 Analisis Unjuk Kerja Relai pada Kondisi Gangguan Permanen.....	57

4.5	Hasil Pengujian Fungsi	81
BAB V SIMPULAN DAN SARAN		85
5.1.	Simpulan	85
5.2.	Saran.....	85
DAFTAR PUSTAKA		87



DAFTAR TABEL

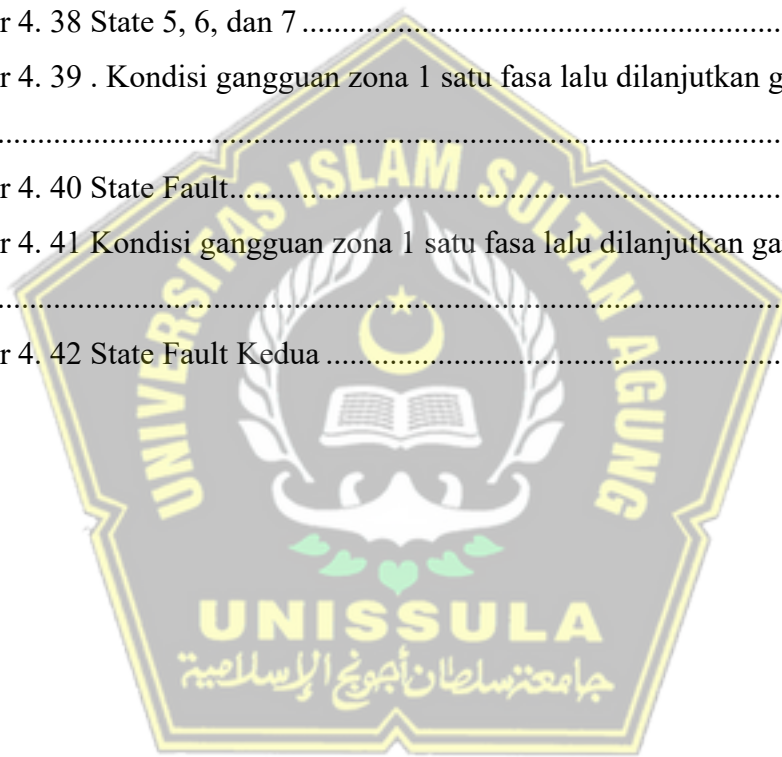
Tabel 3. 1 Data Teknik Penghantar	29
Tabel 3. 2 Data Impedansi Penghantar	29
Tabel 3. 3 Data Transformator GI Maloy	30
Tabel 3. 4 Data Peralatan Pengukuran	30
Tabel 4. 1 Setting Line 2 Sangatta-Maloy	42
Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Karakteristik Impedansi dan Waktu Kerja Zone 1	48
Tabel 4. 3 Hasil Pengujian Karakteristik Impedansi dan Waktu Kerja Zone 2	52
Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Karakteristik Impedansi dan Waktu Kerja Zone 3	56
Tabel 4. 5. Urutan State Gangguan Doubleshoot Phase-Ground.....	58
Tabel 4. 6 Hasil Simulasi Gangguan Double Satu Fasa.....	63
Tabel 4. 7 Urutan State Gangguan Doubleshoot Satu Fasa Berbeda.....	64
Tabel 4. 8 Gangguan Doubleshot Satu Fasa Berbeda (Evolving).....	68
Tabel 4. 9 Urutan State Gangguan Doubleshoot Dua Fasa.....	69
Tabel 4. 10 Gangguan Doubleshot Dua Fasa.....	74
Tabel 4. 11 Urutan State Gangguan Doubleshoot phase-ground kemudian phase-phase (Evolving)	75
Tabel 4. 12 Hasil Simulasi Gangguan Doubleshot Satu Fasa Kemudian Dua Fasa (Evolving)	80
Tabel 4. 13 Hasil Pengujian Autoreclose Doubleshot	82

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Elektromagnetik pada Trafo.....	11
Gambar 2. 2. Perbedaan inti besi trafo metering dan proteksi	11
Gambar 2. 3. Bagian - bagian VT	12
Gambar 2. 4. PMT Tegangan Menengah	13
Gambar 2. 5. PMT Tegangan Tinggi	14
Gambar 2. 6. PMT Tegangan Ekstra Tinggi	15
Gambar 2. 7. Single Line Diagram sistem proteksi bay penghantar.....	15
Gambar 2. 8. Single Line Diagram relai jarak	17
Gambar 2. 9. Kurva karakteristik Mho	17
Gambar 2. 10. Kurva karakteristik Quadrilateral	18
Gambar 2. 11. Daerah kerja relai jarak	19
Gambar 2. 12. Daerah kerja Zone 1	20
Gambar 2. 13. Daerah kerja Zone 2	21
Gambar 3. 1. Single Line Diagram GI 150 kV Sangatta	26
Gambar 3. 2. Diagram alir penelitian.....	28
Gambar 3. 3 Rangkaian arus (anak panah merah menunjukkan titik di mana kabel jack dipasang pada test plug)	31
Gambar 3. 4 Rangkaian tegangan (anak panah merah menunjukkan titik di mana kabel jack dipasang pada test plug).....	31
Gambar 3. 5 Rangkaian tripping (anak panah merah menunjukkan titik di mana kabel jack dipasang pada test plug).....	31
Gambar 3. 6 Ikon software NR PCS Studio.....	32
Gambar 3. 7 IP Relai diisi pada jendela Tel Device	32
Gambar 3. 8 Test Plug dipasang pada Test Block	33
Gambar 3. 9 CMC 356 dihubungkan dengan kabel jack	33
Gambar 3. 10 Omicron Advanced Distance	34
Gambar 3. 11 Memasukkan setting relai yang akan diuji.....	34
Gambar 3. 12 Menarik garis di sepanjang quadrilateral	35
Gambar 3. 13 Omicron State Sequencer	36
Gambar 3. 14 Pemodelan kondisi gangguan.....	37

Gambar 4. 1 Setting Autoreclose	43
Gambar 4. 2 Logic Blocking AR Zone 2 dan Zone 3	44
Gambar 4. 3 Form Hasil Uji Karakteristik Impedansi Zone 1 Phase to Ground ..	45
Gambar 4. 4 Form Hasil Uji Karakteristik Waktu Zone 1 Phase to Ground	45
Gambar 4. 5 Form Hasil Uji Karakteristik Waktu Zone 1 Phase to Ground	46
Gambar 4. 6 Form Hasil Uji Karakteristik Waktu Zone 1 Phase to Phase	47
Gambar 4. 7 Form Hasil Uji Karakteristik Impedansi Zone 1 Phase to Phase	47
Gambar 4. 8 Form Hasil Uji Karakteristik Waktu Zone 1 Phase to Phase	48
Gambar 4. 9 Form Hasil Uji Karakteristik Waktu Zone 2 R-Ground.....	49
Gambar 4. 10 Form Hasil Uji Karakteristik Impedansi Zone 2 Phase to Ground	49
Gambar 4. 11 Form Hasil Uji Karakteristik Waktu Zone 2 S-Ground dan T-Ground	50
Gambar 4. 12 Form Hasil Uji Karakteristik Impedansi Zone 2 Phase to Phase ...	50
Gambar 4. 13 Form Hasil Uji Karakteristik Impedansi Zone 2 Phase to Phase ...	51
Gambar 4. 14 Form Hasil Uji Karakteristik Waktu Zone 2 Phase to Phase	51
Gambar 4. 15 Form Hasil Uji Karakteristik Waktu Zone 2 Phase to Phase	52
Gambar 4. 16 Form Hasil Uji Karakteristik Impedansi Zone 3 Phase to Ground	53
Gambar 4. 17 Form Hasil Uji Karakteristik Waktu Zone 3 Phase to Ground	53
Gambar 4. 18 Form Hasil Uji Karakteristik Waktu Zone 3 Phase to Ground	54
Gambar 4. 19 Form Hasil Uji Karakteristik Impedansi Zone 3 Phase to Phase ...	54
Gambar 4. 20 Form Hasil Uji Karakteristik Impedansi Zone 3 Phase to Phase ...	55
Gambar 4. 21 Form Hasil Uji Karakteristik Waktu Zone 3	55
Gambar 4. 22 Kurva karakteristik Phase-Phase	56
Gambar 4. 23 Kurva Karakteristik Phase-Ground	57
Gambar 4. 24 Urutan State Gangguan Doubleshoot Satu Fasa pada State Sequencer	58
Gambar 4. 25 Set untuk State fault 1	59
Gambar 4. 26 State deadtime 1	60
Gambar 4. 27 State Fault Kedua	61
Gambar 4. 28 State 6. deadtime kedua dan reclaim time kedua	62
Gambar 4. 29 Urutan state kondisi dua gangguan zona 1 satu fasa.....	64

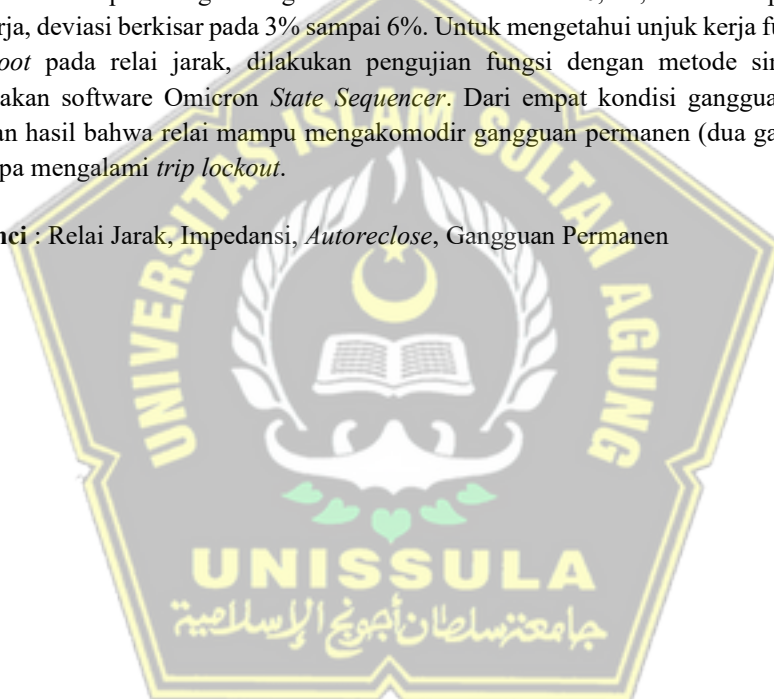
Gambar 4. 30 State 2. Fault 1	65
Gambar 4. 31 set untuk state deadtime	66
Gambar 4. 32 State Fault kedua	67
Gambar 4. 33 State deadtime kedua.....	68
Gambar 4. 34 Urutan kondisi dua gangguan dua fasa zona 1	70
Gambar 4. 35 State Fault pertama.....	71
Gambar 4. 36 State Deadtime	72
Gambar 4. 37 State Fault 2.....	72
Gambar 4. 38 State 5, 6, dan 7	74
Gambar 4. 39 . Kondisi gangguan zona 1 satu fasa lalu dilanjutkan gangguan dua fasa	76
Gambar 4. 40 State Fault.....	77
Gambar 4. 41 Kondisi gangguan zona 1 satu fasa lalu dilanjutkan gangguan dua fasa	78
Gambar 4. 42 State Fault Kedua	78



ABSTRAK

SUTT 150 kV memiliki potensi yang besar mengalami gangguan transmisi. Sebagian besar penyebab gangguan transmisi bersifat temporer yang akan segera hilang setelah Pemutus Tenaga (PMT) trip. Agar kesinambungan penyaluran tenaga listrik tetap terjaga maka PMT dicoba masuk kembali sesaat setelah kejadian trip (*reclose*) dan dalam kondisi siap (*healthy*) untuk memutus (*trip*) apabila gangguan masih ada setelah PMT masuk kembali (*reclose*). SUTT dengan saluran panjang rentan mengalami gangguan permanen atau gangguan yang terjadi lebih dari satu kali dalam waktu yang berdekatan. Tugas Akhir ini membahas setting relai jarak dan unjuk kerja fungsi *autoreclose* dalam mengakomodir gangguan permanen SUTT. Proses perhitungan dilakukan untuk mengetahui bagaimana *setting* relai jarak yang andal untuk SUTT 150 kV Sangatta – Maloy. Untuk mengetahui keandalan *setting* yang telah ditentukan, dilakukan pengujian karakteristik menggunakan *software* Omicron *Distance Operating Characteristic*. Hasil pengujian karakteristik impedansi menunjukkan deviasi antara nilai perhitungan dengan nilai aktual relai adalah 0,2%, sementara pada karakteristik waktu kerja, deviasi berkisar pada 3% sampai 6%. Untuk mengetahui unjuk kerja fungsi *autoreclose* *doubleshoot* pada relai jarak, dilakukan pengujian fungsi dengan metode simulasi gangguan menggunakan *software* Omicron *State Sequencer*. Dari empat kondisi gangguan yang diujikan, didapatkan hasil bahwa relai mampu mengakomodir gangguan permanen (dua gangguan berturut-turut) tanpa mengalami *trip lockout*.

Kata kunci : Relai Jarak, Impedansi, *Autoreclose*, Gangguan Permanen



ABSTRACT

The 150 kV overhead transmission line (SUTT) is susceptible to transmission faults. Most faults are temporary and will disappear shortly after the Circuit Breaker (CB) trips. To maintain the continuity of power transmission, the CB is set to reclose shortly after a trip, and it must remain in a Healthy state, ready to trip again if the fault persists after reclosing. SUTT lines located in hilly and forested areas are prone to permanent faults or repeated faults in a short period of time. SUTT with long transmission lines are vulnerable to permanent faults or repeated disturbances occurring within a short time interval. This final project discusses the distance relay setting and the performance of the autoreclose function in handling permanent faults on the 150 kV Sangatta–Maloy transmission line. Calculations were performed to determine a reliable setting, and Individual Testing was conducted using the Omicron Distance Operating Characteristic software. The impedance characteristic test revealed a deviation of 0.2% between calculated and actual relay values, while the time delay deviation ranged from 3% to 6%. To assess the autoreclose function under doubleshoot conditions, fault simulation tests were performed using Omicron State Sequencer. Based on four simulated fault scenarios, the relay demonstrated the capability to handle permanent faults—represented by two consecutive disturbances—without entering a trip lockout condition.

Keywords : Distance Relay, Impedance, Autoreclose, Permanent Faults



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Penyaluran atau transmisi adalah bagian penting dalam sistem kelistrikan yang berperan menghubungkan pembangkit dengan pelanggan [1]. Salah satu pengamanan utama (*main protection*) yang digunakan pada sistem transmisi adalah relai jarak (*distance relay*) [2]. Menurut SPLN relai jarak atau *distance relay* adalah relai penghantar yang prinsip kerjanya berdasarkan pengukuran impedansi penghantar [3]. Apabila nilai impedansi gangguan lebih kecil dari impedansi *setting* relai, maka relai akan bekerja [4].

SUTT memiliki potensi yang besar mengalami gangguan transmisi, sebagian besar penyebab gangguan tersebut bersifat temporer yang akan segera hilang setelah Pemutus Tenaga (PMT) trip [5]. Agar kesinambungan penyaluran tenaga listrik tetap terjaga maka PMT dicoba masuk kembali sesaat setelah kejadian trip (*reclose*) dan dalam kondisi siap (*healthy*) untuk memutus (trip) apabila gangguan masih ada setelah PMT masuk kembali (*reclose*) [3]. Penyetelan relai jarak terdiri dari tiga daerah atau *zone* pengamanan, penyetelan *zone 1* yang disetel 80% dari impedansi penghantar, *zone 2* yang disetel 120% dari impedansi penghantar, dan *zone 3* yang disetel 160% dari impedansi penghantar [6].

Dengan kondisi sistem transmisi yang masih radial dan banyaknya tegakan pohon yang berada di sekitar jaringan transmisi, membuat SUTT Sangatta-Maloy rentan mengalami gangguan berturut-turut yang mengakibatkan PMT trip dan berdampak pada kualitas penyaluran tenaga listrik dan meningkatnya TLOF (*Transmission Line Outage Frequency*).

Autoreclose Doubleshot (AR Doubleshot) adalah fungsi proteksi yg mengakomodir gangguan dengan dua siklus percobaan masuk kembali (*reclose*) untuk memastikan bahwa gangguan tersebut benar-benar temporer. Sementara *Autoreclose Singleshoot* adalah fungsi proteksi yang mengakomodir gangguan dengan satu siklus percobaan masuk kembali (*reclose*) untuk memastikan gangguan

temporer [7]. *Autoreclose Doubleshot* mampu mengoptimalkan kerja proteksi jarak dalam mengakomodir gangguan melalui respon PMT dengan dua siklus percobaan *reclose* guna mencegah padam bay penghantar.

Maka dari itu dengan adanya aktivasi fungsi proteksi *AR Doubleshot* pada SUTT Sangatta – Maloy diharapkan dapat menjadi pilihan yang tepat untuk mencegah padam bay penghantar akibat gangguan temporer.

1.2. Rumusan Masalah

Berkaitan dengan menjaga kesinambungan penyaluran tenaga listrik, maka permasalahan yang akan dibahas adalah:

1. Apa penyebab bay penghantar mengalami final trip?
2. Bagaimana *setting* relai jarak Line 2 Sangatta-Maloy dalam mengakomodir gangguan berturut-turut?
3. Bagaimana unjuk kerja relai jarak Line 2 Sangatta-Maloy dalam mengakomodir gangguan berturut-turut?

1.3. Pembatasan Masalah

Sebagai fokus penelitian pada pemecahan masalah yang dikaji maka penelitian yang dilakukan memiliki batasan masalah, yaitu:

1. Relai proteksi yang menjadi pokok pembahasan adalah relai jarak.
2. Fungsi proteksi yang menjadi pokok pembahasan adalah fungsi penutupan kembali otomatis atau *auto reclose*.
3. Sistem transmisi yang menjadi konsentrasi utama dalam pembahasan adalah SUTT 150 kV Sangatta-Maloy.

1.4. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah maka dapat ditentukan tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui penyebab bay penghantar mengalami final trip.
2. Menentukan *setting* relai jarak Line 2 Sangatta-Maloy untuk mengakomodir gangguan berturut-turut.

3. Mengetahui unjuk kerja relai jarak Line 2 Sangatta-Maloy dalam mengakomodir gangguan berturut-turut.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh bagi pembaca maupun penulis setelah melakukan penelitian adalah:

1. Menambah wawasan mengenai penyaluran tenaga listrik khususnya fungsi proteksi *autoreclose*.
2. Mengurangi frekuensi padam penghantar akibat gangguan temporer.
3. Sebagai acuan bagi perusahaan dalam mengatasi permasalahan padam penghantar akibat gangguan temporer.

1.6. Sistematika Penulisan

BAB I

PENDAHULUAN

Pada bab ini dijelaskan latar belakang masalah, perumusan masalah, pembatasan masalah, tujuan, manfaat, dan sistematika penulisan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

Bab ini memuat tinjauan dari pustaka tentang transmisi tenaga listrik dan relai proteksi yang dijadikan rujukan untuk memecahkan masalah dan menyusun hipotesis untuk tugas akhir ini. Bab ini juga memuat uraian teori-teori yang digunakan sebagai dasar dalam melakukan penelitian.

BAB III

METODE PENELITIAN

Bab ini memuat metode yang digunakan untuk memecahkan masalah, penjelasan mengenai objek penelitian serta data-data dan peralatan yang digunakan dalam penelitian. Pada bab ini juga dijabarkan perhitungan untuk menemukan nilai *setting* dan pengujian relai yang digunakan untuk menganalisis unjuk kerja relai proteksi.

BAB IV

HASIL DAN ANALISIS

Pada bab ini, hasil pengujian karakteristik dan fungsi dijabarkan dalam bentuk tabel untuk memudahkan analisis mengenai unjuk kerja relai jarak.

BAB V PENUTUP

Pada bab ini, simpulan berupa solusi dari masalah diuraikan secara singkat dan jelas berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan. Bab ini juga memuat saran atau ide yang didapat selama melakukan penelitian dan diharapkan berguna untuk penelitian di masa depan.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Penyusunan penelitian ini menggunakan acuan dari beberapa penelitian sebelumnya yang memiliki pembahasan mengenai relai jarak dan fungsi *autorelclose*.

Dalam jurnal yang berjudul *EVALUASI SETTING RELE JARAK GARDU INDUK UNGARAN JARINGAN 150kV ARAH KRAPYAK-2* yang terbit di Politeknik Negeri Semarang Vol.10 No.1 ORBITH menghitung *setting* relai jarak kemudian melakukan simulasi melalui perhitungan untuk mengetahui keandalan *setting* relai yang diuji. Hasil yang didapat adalah *setting* relai jarak yang diterapkan PLN telah sesuai berdasarkan perhitungan teoritis [6].

Dalam jurnal yang berjudul *ANALISIS SETTING DAN KOORDINASI RELE JARAK PADA GI 150 KV PANDEAN LAMPER ARAH SRONDOL* yang terbit di Universitas Diponegoro, menggunakan software DigSILENT untuk menguji *setting* relai distance dari PLN. Didapatkan temuan bahwa *setting* relai jarak yang tidak sesuai standar dengan zone 1 memiliki jangkauan 79%, zone 2 sebesar 183,6%, di mana pada standar zone 1 seharusnya memiliki *setting* 80%-90%, zone 2 120%-150%. Kemudian dilakukan perhitungan dan pengujian ulang dan didapatkan *setting* relai jarak yang sesuai standar [4].

Jurnal yang berjudul *KAJIAN RELE JARAK DAN ARUS LEBIH PADA SADA SALURAN UDARA TEGANGAN TINGGI GARDU INDUK 150kV SRONDOL* yang terbit di Sekolah Tinggi Teknik PLN, menggunakan menghitung *setting* relai jarak dan relai arus lebih pada GI 150 kV Sron dol. Hasil yang didapat adalah *setting* relai jarak dan koordinasi antara relai jarak dan relai arus lebih [8].

SPLN T5.002:2021 POLA PROTEKSI SALURAN TRANSMISI PT PLN (Persero) yang diterbitkan oleh PT PLN (Persero) untuk memberikan pedoman yang terarah dan seragam bagi perencanaan, pengembangan maupun penyempurnaan instalasi proteksi saluran transmisi tegangan tinggi 66 kV, 150 kV, 275 kV dan 500 kV [3].

Skripsi berjudul *ANALISIS RESETTING RELAI JARAK SALURAN KABEL TEGANGAN TINGGI (SKTT) 150 KV PLUMPANG - KANDANG SAPI #2 PADA GARDU INDUK 150 KV PLUMPANG* yang diterbitkan di Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang melakukan perhitungan *resetting* pada relai jarak SKTT 150 kV Plumpang – Kandang Sapi #2. Setelah dilakukan *resetting* didapatkan hasil yang sudah sesuai dengan yang diinginkan. Daerah proteksi zona 1, zona 2, dan zona 3 dilakukan pengujian terhadap simulasi gangguan dan didapatkan ketepatan respon relai jarak bekerja pada zona 2 setelah dilakukan simulasi gangguan yang sama [2].

Paper *EVALUASI NILAI SETTING RELE JARAK SEBAGAI PROTEKSI SALURAN UDARA TEGANGAN TINGGI 150 KV MENGGUNAKAN DIGSILENT POWER FACTORY* yang diterbitkan oleh IT PLN, menghitung *setting* relai jarak kemudian melakukan pemodelan dengan menggunakan Digsilent Power Factory. Didapatkan zona 1 ($Z_f < 2,562 \Omega$). Waktu jeda trip untuk zona 1 adalah 0 detik (instant trip); Zona 2 jika nilai impedansi terbaca oleh rele lebih dari impedansi zona 1 namun kurang dari impedansi zona 2 ($2,562\Omega < Z_f < 4,611 \Omega$). Waktu jeda trip untuk zona 2 adalah 0,4 detik; Zona 3, jika nilai impedansi terbaca oleh rele lebih dari impedansi zona 2 namun kurang dari impedansi zona 3 ($4,611\Omega < Z_f < 7,854\Omega$). Waktu jeda trip untuk zona 3 adalah 1,6 detik [9].

Paper *AUTO-RECLOSE RELAY SIMULATION FOR RESEARCH AND EDUCATION* yang diterbitkan pada Proceeding 4th International Conference on Electrical, Electronics and System Engineering, ICEESE 2018, melakukan pemodelan relai *autoreclose* menggunakan software MatlabSimulink. Didapatkan model yang dibuat sesuai dengan skema yang diharapkan dan menghasilkan bentuk gelombang yang sama dengan peralatan proteksi [10].

Paper yang berjudul *IMPROVED FAULT LOCATION THROUGH ANALYSIS OF SYSTEM PARAMETERS DURING AUTORECLOSE OPERATIONS ON TRANSMISSION LINES*, yang terbit pada jurnal IEEE Transactions on Power Delivery, menggambarkan metode baru berbasis impedansi untuk menentukan lokasi gangguan pada saluran transmisi dengan pendekatan single-ended. Metode ini didemonstrasikan menggunakan model simulasi *Electromagnetic Transients*

Program/Alternate Transients Program dan didapatkan teknik estimasi lokasi gangguan dengan akurasi yang tinggi [7].

Paper berjudul *DESIGN OF REAL-TIME POWER TRANSMISSION SYSTEM DISTURBANCE REPORTING FROM PROTECTIVE RELAY USING WHATSAPP*, merancang sistem pelaporan gangguan transmisi pada sistem tenaga listrik dari relai proteksi secara real-time menggunakan media WhatsApp. Dalam perancangannya, sistem ini menggunakan Open Platform Communications (OPC) sebagai komunikasi antara relai proteksi dengan sistem pelaporan, dengan menggunakan protokol IEC61850. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem pelaporan gangguan transmisi ini mampu memberikan pelaporan secara real-time melalui media WhatsApp [1].

Dalam paper berjudul *ADAPTIVE AUTOECLOSURE TO INCREASE SYSTEM STABILITY AND REDUCE STRESS TO CIRCUIT BREAKERS* yang terbit pada 70th Annual Conference for Protective Relay Engineers (CPRE) mengulas tentang metode untuk mendeteksi pemadaman arus gangguan kedua dengan memantau tegangan berdasarkan gangguan real yang terjadi. Jika arus gangguan kedua tidak ada, maka perintah *autoreclose* akan diberikan [5].

Dalam paper berjudul *ANALISA PERUBAHAN SETTING RELE JARAK PADA SALURAN TRANSMISI GARDU INDUK 150KV PONOROGO KE BLITAR* yang terbit di Jurnal SinarFe7 mengulas tentang perubahan *setting* rele jarak yang terdapat pada saluran 70kV Ponorogo-Blitar dan membandingkan dengan hasil perhitungan sesuai standar kemudian disimulasikan menggunakan software DigSilent 14.1.3. Standar yang digunakan adalah standar IEC 60255-121:2014. Hasil simulasi menunjukkan bahwa rele jarak memiliki nilai *setting* yang tidak sesuai dengan standar [11].

Dalam paper berjudul *KOORDINASI PROTEKSI ARUS LEBIH PADA PENYULANG DISTRIBUSI 20KV GI PAUH LIMO*, yang terbit di Jurnal Nasional Teknik Elektro, menghitung *setting* waktu kerja relay arus lebih pada incoming GI Pauh Limo dan penyulang. Menentukan apakah sistem proteksi sudah bekerja saling berkoordinasi dengan baik antara sisi incoming dengan sisi penyulang (feeder) dengan menentukan I *setting* dan TMS yang tepat [12].

Dalam skripsi yang berjudul *ANALISA KOORDINASI SISTEM PROTEKSI PENYULANG 20 KV TLP.1 GI TELUK PANDAN MENGGUNAKAN SOFTWARE ETAP 16.00*, melakukan perhitungan waktu kerja dan simulasi menggunakan software ETAP dan hasilnya yaitu sistem kerja sudah sesuai dengan menerapkan nilai *setting* rekomendasi pada relai Incoming berupa Time Multiple *Setting* (TMS) sebesar 0,2 dan *setting* arus sebesar 1000 Ampere [13].

Dalam paper yang berjudul *KOORDINASI RELE JARAK SEBAGAI PENGAMAN UTAMA DENGAN RELE ARUS LEBIH PADA SALURAN UDARA TEGANGAN TINGGI 150 KV BALONGBENDO - 150 KV SEKARPUTIH*, yang terbit Jurnal Kilat, melakukan perancangan sistem proteksi kombinasi rele jarak dan rele arus lebih. Gangguan 3 fasa disimulasikan menggunakan Disgilent Power Factory 15.1. Dari hasil simulasi didapatkan rele jarak pada GI Balongbendo akan trip pada detik ke 0,02,0,02, dan 0,42 untuk gangguan 3 fasa pada jarak 15%,50% dan 85% dari GI Balongbendo. Sedangkan rele arus lebih akan trip pada detik ke 0,88,1,05 dan 1,30. Sedangkan pada GI Sekarputih, rele akan trip pada detik ke 0,42,0,02, dan 0,02. Sedangkan rele arus lebih akan trip pada detik ke 1,46,1,07 dan 0,88 [14].

Dalam paper berjudul *STUDI KEBUTUHAN PERENCANAAN PEMASANGAN BUSBAR PROTEKSI PADA GARDU INDUK DUMAIPT PLN (PERSERO) UPT PEKANBARU*. Yang terbit pada Jurnal Teknik, 15(2), 94–103. Menghitung impedansi pada masing-masing Busbar, menentukan *setting* rele OCR, Menganalisa arus hubung singkat dan rele yang terpasang pada busbar proteksi. Melakukan Validasi data dengan menggunakan Software DigSILENT. Didapatkan *setting* Buspro dan *setting* relai arus lebih [15].

Penelitian yang dilakukan oleh penulis berfokus menganalisis unjuk kerja relai jarak pascaaktivasi fungsi proteksi *autoreclose doubleshot* dalam menghadapi gangguan berturut-turut untuk mencegah bay penghantar padam akibat gangguan temporer.

2.2. Landasan Teori

2.2.1 Sistem Tenaga Listrik

Saluran transmisi adalah salah satu bagian dari sistem tenaga listrik yang berperan sebagai penyalur tenaga listrik dari pembangkit menuju pelanggan [4][1].

Sistem transmisi beroperasi pada tegangan yang lebih tinggi dari tegangan pembangkitan. Hal tersebut dikarenakan sistem transmisi berfungsi untuk menyalurkan tenaga listrik pada jarak yang cukup panjang melalui konduktor.

Pada jarak saluran yang jauh, terdapat rugi-rugi daya berupa panas bertambah dengan arus yang besar. Untuk mengurangi masalah tersebut, digunakan nilai tegangan yang lebih tinggi sehingga arus pada konduktor nilainya menjadi kecil [2]. Nilai tegangan yang lebih tinggi didapat setelah dinaikkan oleh transformator *step up*.

Untuk mencegah terjadinya gangguan pada sistem tenaga listrik, diperlukan sistem proteksi untuk melakukan pengamanan pada peralatan-peralatan yang terpasang pada sistem tenaga listrik.

Gangguan bisa terjadi akibat petir, binatang atau bahkan kesalahan *setting* proteksi [5]. Untuk mengurangi dampak dan mengamankan peralatan yang disebabkan oleh hubung singkat dengan cepat, diperlukan proses koordinasi yang baik pada sistem.

2.2.2 Gangguan pada Sistem Transmisi

Sebuah sistem tenaga listrik dapat dikatakan handal apabila sistem tersebut mampu mengatasi gangguan listrik yang timbul baik dari dalam peralatan (gangguan permanen) maupun faktor luar peralatan (gangguan temporer) dengan cepat, aman, dan selektif tanpa harus melakukan pemadaman total [12].

Gangguan pada sistem transmisi dapat disebabkan oleh gangguan sistem (System Fault) dan gangguan non sistem (non system fault).

1. Gangguan Sistem (System Fault)

Gangguan sistem merupakan gangguan yang berasal dari instalasi sistem tenaga listrik seperti pada generator, transformator, Saluran Udara Tegangan Tinggi

(SUTT), Saluran Kabel Tegangan Tinggi (SKTT), Busbar dan lain sebagainya. Gangguan sistem dapat dikelompokkan sebagai gangguan permanen dan gangguan sesaat (temporer).

a. Gangguan Permanen

Gangguan yang tidak dapat normal/pulih dengan sendirinya sehingga diperlukan suatu tindakan agar saluran dapat beroperasi normal. Contohnya tower SUTT roboh [16].

b. Gangguan sesaat (temporer)

Gangguan yang dapat normal/hilang dengan sendirinya setelah dilakukan pemisahan/pemutusan gangguan oleh sistem proteksi. Misalnya sambaran petir, ayunan pohon atau hewan yang menyentuh konduktor [16]. Pada keadaan ini PMT dapat segera dimasukkan kembali secara otomatis dengan *Autoreclose relay* [10].

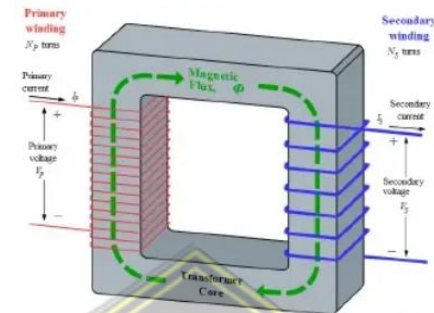
2. Gangguan non sistem (NonSystem Fault)

Gangguan non sistem terjadi ketika relai mengirim kontak trip ke PMT tanpa adanya anomali atau gangguan di instalasi [17]. Hal ini bisa terjadi karena kerusakan komponen relai, hubung singkat pada rangkaian tripping atau bahkan kesalahan manusia [2].

2.2.3 Transformator Daya

Trafo merupakan peralatan statis dimana rangkaian magnetik dan belitan yang terdiri dari dua atau lebih belitan, secara induksi elektromagnetik, mentransformasikan daya (arus dan tegangan) sistem AC ke sistem arus dan tegangan lain pada frekuensi yang sama (IEC60076 -1 tahun 2011).

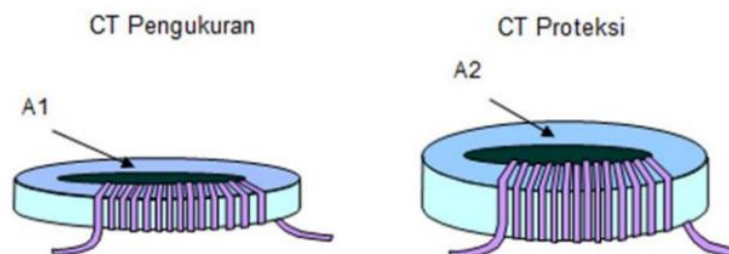
Trafo menggunakan prinsip elektromagnetik yaitu hukum ampere dan induksi faraday, dimana perubahan arus atau medan listrik dapat membangkitkan medan magnet dan perubahan medan magnet / fluks medan magnet dapat membangkitkan tegangan induksi [13].



Gambar 2. 1 Elektromagnetik pada Trafo

2.2. 4 *Transformator Arus / Current Transformer (CT)*

Transformator Arus peralatan yang dirancang untuk mengukur arus pada instalasi tenaga listrik di sisi primer, seperti pada sistem Tegangan Ekstra Tinggi (TET), Tegangan Tinggi (TT), dan Tegangan Menengah (TM). CT berfungsi mengubah arus tinggi menjadi arus rendah yang lebih mudah diukur secara akurat dan presisi, untuk mendukung kebutuhan pengukuran dan proteksi [18]. Berdasarkan inti besi atau core nya, trafo arus dibedakan menjadi dua yaitu Trafo arus untuk keperluan metering dan proteksi. Perbedaan mendasar dari keduanya terletak pada inti besi atau *core* yang lebih besar pada trafo arus proteksi apabila dibandingkan dengan trafo arus *metering*, seperti tertampang pada Gambar 2.

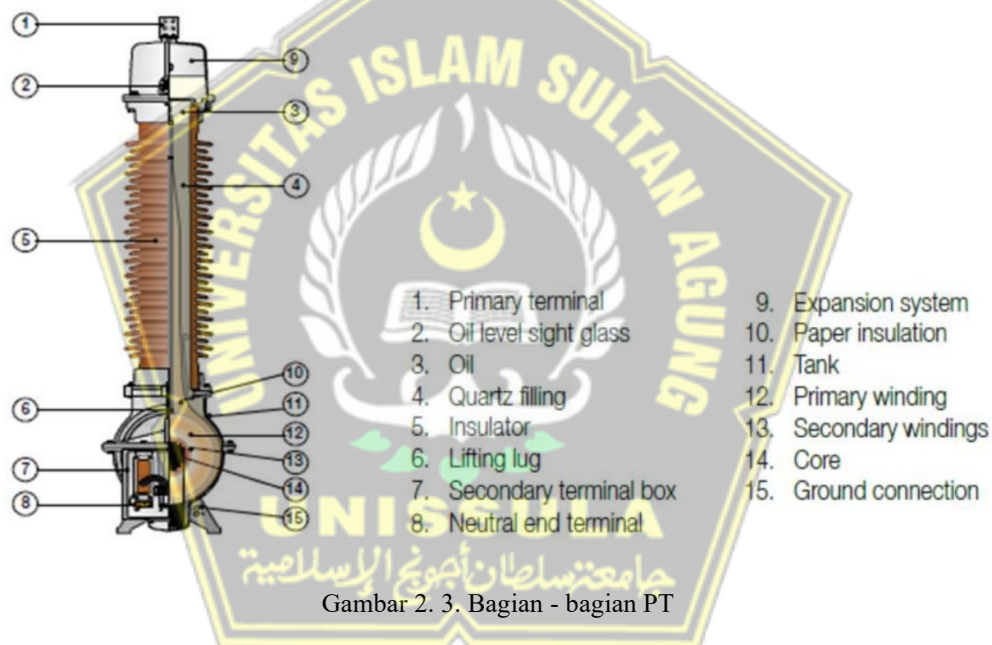


Gambar 2. 2. Perbedaan inti besi trafo metering dan proteksi

Dari perbedaan besar inti besi atau core Trafo arus tersebut sehingga titik saturasi atau titik jenuh dari kinerja Trafo arus berbeda, pada Trafo arus metering lebih rendah titik saturasinya dibandingkan dengan Trafo arus proteksi [15].

2.2.5 Transformator Tegangan /Potential Transformer (PT)

Trafo tegangan adalah peralatan yang digunakan untuk menurunkan tegangan sistem yang lebih tinggi menjadi tegangan yang lebih rendah, sehingga dapat digunakan pada indikator, perangkat pengukur, meteran, dan relai proteksi [18].



Fungsi dari trafo tegangan yaitu:

- Mentransformasikan besaran tegangan sistem dari yang tinggi ke besaran tegangan listrik yang lebih rendah sehingga dapat digunakan untuk peralatan proteksi dan pengukuran yang lebih aman, akurat dan teliti.
- Mengisolasi bagian primer yang tegangannya sangat tinggi dengan bagian sekunder yang tegangannya rendah untuk digunakan sebagai sistm proteksi dan pengukuran peralatan dibagian primer.

2.2. 6 Pemutus Tenaga (PMT) / Circuit Breaker (CB)

PMT berdasarkan IEEE C37.100:1992 (*Standard definitions for power switchgear*) adalah merupakan peralatan saklar/*switching* mekanis, yang dirancang untuk menutup, mengalirkan dan memutus arus beban dalam kondisi operasi normal sesuai dengan ratingnya. Selain itu, perangkat ini juga mampu menutup, mengalirkan untuk durasi tertentu, dan memutus arus beban selama kondisi abnormal atau gangguan tertentu sesuai dengan ratingnya [18].

Fungsi utama PMT adalah sebagai alat pembuka atau penutup suatu rangkaian listrik dalam kondisi berbeban, serta mampu membuka atau menutup saat terjadi arus gangguan (hubung singkat) pada jaringan atau peralatan lain [2].

Pemutus tenaga (*Circuit Breaker*) dapat dibedakan menjadi 4 yaitu:

1) Pemutus tenaga tegangan rendah (*Low Voltage*)

PMT tegangan rendah sering ditemukan di panel hubung bagi. PMT jenis ini memiliki *rating* 0,1 s/d 1 kV [18].

2) Pemutus tenaga tegangan menengah (*Medium Voltage*)

Pemutus tenaga tegangan menengah ini biasa digunakan di gardu induk, baik pada titik masuk kabel yang terhubung ke *busbar* (*Incoming Cubicle*) maupun pada titik keluar setiap *busbar* (*Outgoing Cubicle*) yang menyuplai penyulang keluar dari gardu induk. Pemutus tenaga ini mempunyai *range* tegangan 1 kV sampai dengan 35 kV [18].



Gambar 2. 4. PMT Tegangan Menengah

3) Pemutus tenaga tegangan tinggi (*High Voltage*)

Dengan *range* tegangan 35 kV sampai dengan 245 kV (SPLN). Pemutus Tenaga tegangan tinggi pada umumnya berada pada Gardu Induk tegangan tinggi 70 kV dan 150 kV, untuk jenis isolasi atau dielektrik pada saat ini sudah menggunakan gas SF₆ karena pemakaian yang lebih efektif dalam memadamkan busur api akibat switching di Pemutus tenaga [2].

Pada saat terjadi gangguan di saluran udara tegangan tinggi (SUTT), PMT tegangan tinggi pada umumnya akan diperintahkan oleh relai untuk menutup kembali secara otomatis (*autoreclose*), baik 1 *pole* atau 3 *pole*, setelah gangguan berhasil dilokalisir. Apabila gangguan masih bisa dirasakan oleh relai, PMT akan diperintahkan untuk *final trip* atau biasa disebut *trip lockout* [18].



Gambar 2. 5. PMT Tegangan Tinggi

4) Pemutus tenaga tegangan ekstra tinggi (*Extra High Voltage*).

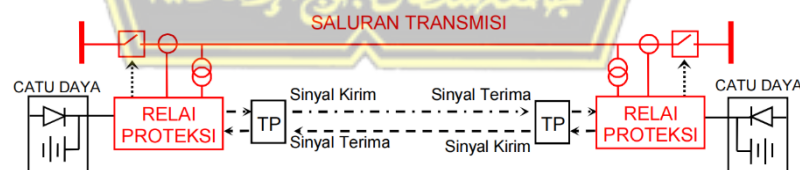
Pemutus tenaga jenis ini biasanya dipasang di GITET (Gardu Induk Tegangan Ekstra Tinggi) yang sudah memiliki bermacam-macam peralatan canggih. Salah satunya *Gas Circuit Breaker*. *Gas Circuit Breaker* merupakan pemutus tenaga yang menggunakan gas SF₆ sebagai bahan pemadam busur api. pemutus tenaga ini memiliki range tegangan lebih besar dari 245 kV [2].



Gambar 2. 6. PMT Tegangan Ekstra Tinggi

2.2.7 Sistem Proteksi

Sistem proteksi adalah seperangkat peralatan yang berfungsi untuk mendeteksi adanya gangguan atau kondisi tidak normal pada sistem tenaga listrik, dengan tujuan memutus atau mengisolasi gangguan, mengatasi kondisi tidak normal, serta memberikan sinyal atau tanda indikasi. Pada Gambar 5 dijelaskan komponen yang termasuk sistem proteksi bay penghantar antara lain transformator arus (CT), transformator tegangan (VT), relai proteksi, pemutus tenaga (PMT), catudaya (*power supply*), rangkaian pengawatan (*wiring*) dan teleproteksi [18].



Gambar 2. 7. Single Line Diagram sistem proteksi bay penghantar

Sebuah sistem proteksi disyaratkan untuk memenuhi kriteria sebagai berikut:

1. Sensitif

Sistem proteksi harus dapat merasakan adanya ketidaknormalan/gangguan pada jaringan tenaga listrik berapapun kecilnya gangguan tersebut [2]. Studi

koordinasi sistem proteksi harus dilakukan untuk menentukan sensitivitas *setting* dan memastikan relai bekerja dengan benar [16].

2. Andal

Kemungkinan suatu sistem proteksi dapat bekerja benar sesuai fungsi yang diinginkan dalam kondisi dan jangka waktu tertentu. Keandalan sistem proteksi terbagi dua yaitu kepercayaan (*dependability*) dan keterjaminan (*security*)[16].

- a. Keterpercayaan (*Dependability*): Derajat kepastian suatu sistem proteksi tidak mengalami gagal kerja pada kondisi yang diperlukan dalam jangka waktu tertentu. (SPLN T5 002-1 2010)
- b. Keterjaminan (*Security*): Derajat kepastian suatu sistem proteksi tidak mengalami kesalahan kerja pada kondisi yang ditentukan dalam jangka waktu tertentu (IEV 448-12-06) (SPLN T5.002-1: 2010).

3. Selektif

Dalam memisahkan bagian yang terganggu, sistem proteksi tidak boleh menyebabkan pemutusan/pemadaman jaringan yang lebih luas pada jaringan yang tidak terganggu [2].

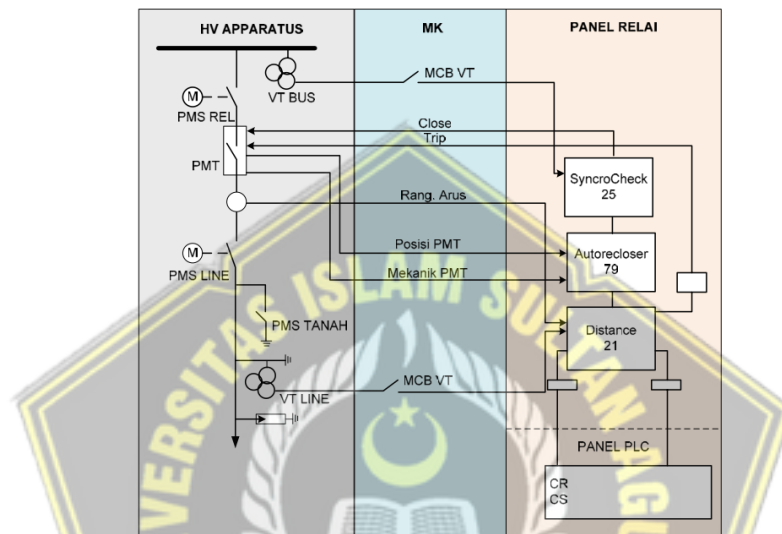
4. Cepat

Sistem proteksi dapat memberikan respon sesuai waktu yang diinginkan oleh sistem tenaga listrik.

Sistem proteksi disyaratkan harus bekerja dengan cepat, selektif dan andal sehingga dapat mengamankan peralatan dan sistem dari kerusakan atau *breakdown* yang mungkin timbul akibat adanya gangguan.

2.2. 8 Relai Jarak (*Distance Relay*)

Relai jarak berfungsi sebagai proteksi utama pada saluran udara tegangan tinggi (SUTT). Relai jarak bekerja dengan membagi tegangan dan arus untuk mengetahui impedansi penghantar [6]. Apabila nilai impedansi gangguan lebih kecil dari impedansi *setting* relai, maka relai akan bekerja seperti yang digambarkan pada Gambar 2.8 [6]. Relai jarak memiliki beberapa karakteristik seperti quadrilateral, mho, reaktans, adaptive mho, dll [2].

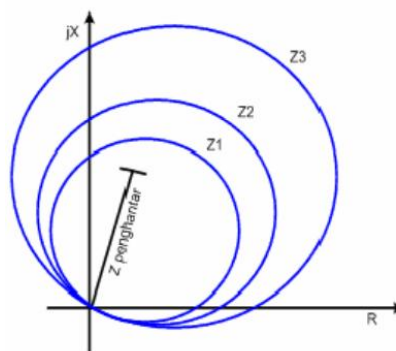


Gambar 2. 8. Single Line Diagram relai jarak

Karakteristik Relai Jarak merupakan penerapan langsung dari prinsip dasar relai jarak, karakteristik ini biasa digambarkan didalam diagram R-X. Ada empat macam karakteristik relai jarak, antara lain:

1. Karakteristik Mho

Kurva karakteristik Mho dapat dilihat pada Gambar 9.



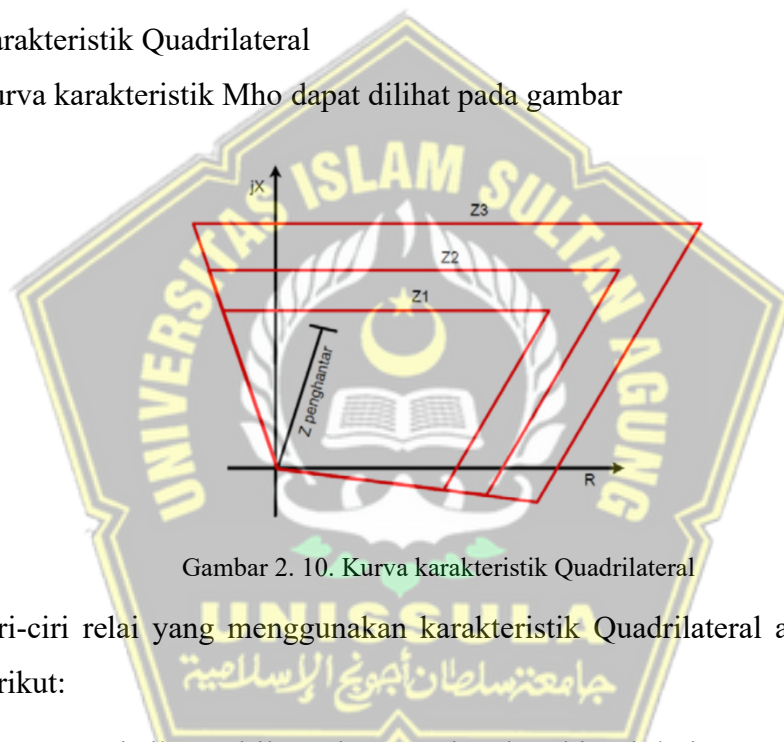
Gambar 2. 9. Kurva karakteristik Mho

Ciri-ciri dari relai yang menggunakan karakteristik Mho adalah sebagai berikut:

- a. Mempunyai karakter sifat *directional*
- b. Terbatas ketika mengantisipasi gangguan tanah high resistance. Gangguan high resistance mempunyai nilai R_f (tahanan gangguan) yang tinggi dan mengakibatkan relai bekerja di luar zona proteksinya.
- c. Umumnya digunakan untuk gangguan fasa-fasa.

2. Karakteristik Quadrilateral

Kurva karakteristik Mho dapat dilihat pada gambar



Gambar 2. 10. Kurva karakteristik Quadrilateral

Ciri-ciri relai yang menggunakan karakteristik Quadrilateral adalah sebagai berikut:

- a. Karakteristik quadrilateral merupakan kombinasi dari 3 macam komponen yaitu: reactance, berarah dan resistif.
- b. Dengan seting jangkauan resistif cukup besar maka karakteristik relai quadrilateral dapat mengantisipasi gangguan tanah dengan tahanan tinggi (*high resistance*).
- c. Umumnya pada relai elektromekanik dan statis kecepatan relai dengan karakteristik quadrilateral lebih lambat dari jenis mho.
- d. Bisa digunakan untuk karakteristik gangguan fasa-fasa dan fasa- tanah.

2.2.9 Pemilihan Zona Proteksi

Dalam membuat *setting*, pertama-tama ditetapkan dahulu nilai impedansi di sistem tenaga (primer). Impedansi sekunder dihitung dengan perkalian rasio CT dan PT pada persamaan [2].

$$CT = \frac{CT \text{ Primer}}{CT \text{ Sekunder}} \quad (1)$$

$$PT = \frac{PT \text{ Primer}}{PT \text{ Sekunder}} \quad (2)$$

$$n = \frac{CT}{PT} \quad (3)$$

keterangan :

CT primer = Arus nominal sisi primer (Ampere)

CT sekunder = Arus nominal sisi sekunder (Ampere)

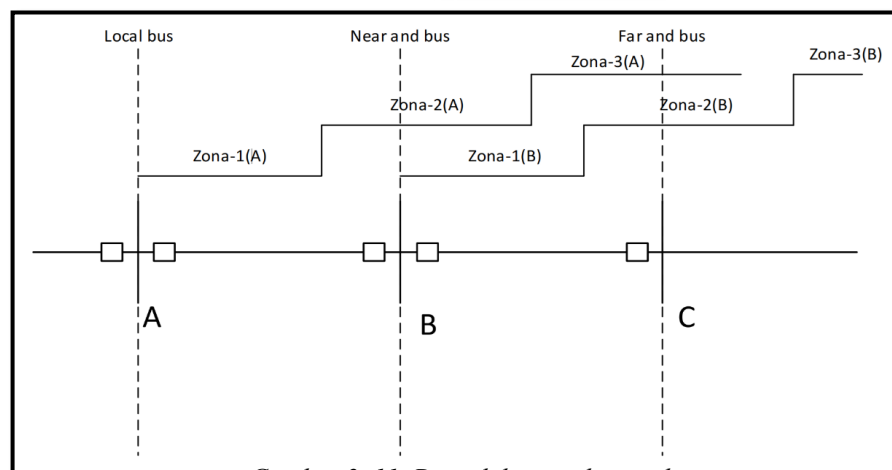
PT primer = Tegangan nominal sisi primer (Volt)

PT sekunder = Tegangan nominal sisi sekunder (Volt)

CT = Rasio transformator arus

PT = Rasio transformator tegangan

n = Rasio CT dan PT



Gambar 2. 11. Daerah kerja relai jarak

Daerah kerja relai jarak umumnya dibagi menjadi 3 zona yang dikordinasikan dengan seksi berikutnya agar tidak terjadi *overlapping* seperti yang ditunjukkan dengan Gambar 11.

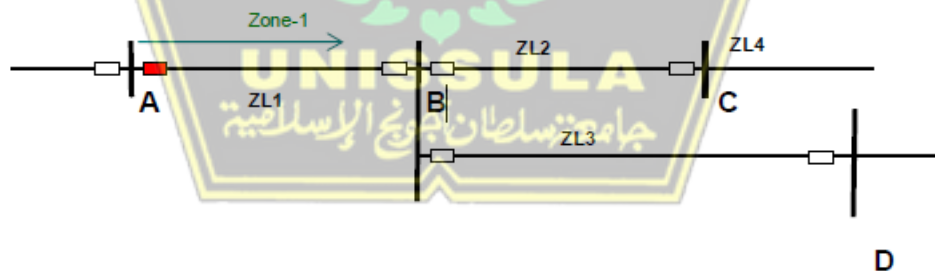
Dalam menentukan zona maka nilai impedansi panjang saluran sistem transmisi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Z_L = \text{Panjang saluran} \times Z1 \text{ saluran per km} \quad (4)$$

1. Jangkauan Zona 1

Setting jangkauan zona-1 harus mencakup seluruh segmen penghantar yang diamankan, dan memperhitungkan kesalahan-kesalahan relai, CT dan VT, sehingga diharapkan tidak melampaui batas segmen yang diamankan. Oleh karena itu jangkauan Zona-1 *disetting* antara 80% - 85% dari impedansi Line (ZL1).

Untuk relai jenis elektromekanik / statis dipilih 80 %, sedangkan untuk relai jenis numerik dapat dipilih 85%. Jika konfigurasi penghantar hanya 1 (satu) sirkit radial langsung memasok transformator tenaga (GI ujung), maka jangkauan zona-1 *disetting* sampai dengan $95\% \times ZL1$ [2].



Gambar 2. 12. Daerah kerja Zone 1

$$\text{Zona-1} = 0.8 \times ZL_{11} \quad (5)$$

keterangan:

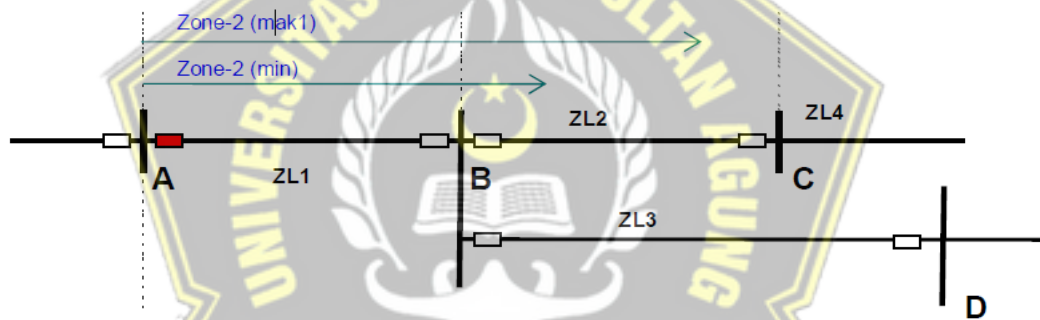
Zona 1 = Impedansi zona-1 (Ω)

ZL_{11} = Impedansi urutan positif saluran utama (Ω)

Nilai jangkauan impedansi atau reaktansi ini dihitung dalam nilai primer dan dikonversi ke nilai sekunder, kemudian dimasukkan dalam tap value *setting* sesuai dengan merek dan jenis relai.

2. Jangkauan Zona 2

Jangkauan Zona-2 harus mencakup melebihi busbar di GI-B, maka Zona-2 minimum adalah 120% dari ZL1. Jangkauan zona-2 juga harus mencakup penghantar di depannya dan berfungsi sebagai pengaman cadangan jauh relai jarak di GI-B. Zona-2 maksimum harus menjangkau 80% jaringan di depan yang paling pendek Z2 maks = 80% (ZL1 + 80% ZL2). Tetapi jangkauan zona-2 tidak boleh melebihi 50% impedansi Transformator tenaga yang ada di gardu induk depan (GI B).[9] Seperti pada gambar 4 [2].



Gambar 2. 13. Daerah kerja Zone 2

$$\text{Zona-2 min} = 1,2 \cdot ZL_{11} \quad (6)$$

$$\text{Zona-2 mak1} = 0,8 (ZL_{11} + 0,8 \cdot ZL_{21}), \quad (7)$$

$$\text{Zona-2 mak1} = 0,8 (ZL_{11} + 0,8 \cdot ZL_{21}), \quad (8)$$

$$\text{Zona-2 mak2} = ZL_{11} + 0,5 \cdot X_t \quad (9)$$

$$X_t = \frac{Z\% \times V^2}{S} \quad (10)$$

keterangan:

Zona-2 min = Impedansi Zona-2 minimum (Ω)

Zona-2 mak1 = Impedansi Zona-2 maksimum (Ω)

Zona-2 mak2 = Impedansi Zona-2 maksimum 50 % impedansi transformator (Ω)

ZL11 = Impedansi urutan positif saluran utama (Ω)

ZL21 = Impedansi urutan positif saluran terpendek GI depannya (Ω)

Xt = Impedansi transformator (Ω)

3. Jangkauan Zona 3

Zona 3 disetel dengan jangkauan mencapai impedansi saluran sampai dengan 2 (dua) gardu induk terjauh di depannya. Sehingga Zona-3 berfungsi juga sebagai pengaman cadangan Zona-2, baik di daerah pengamanannya maupun pada jaringan di depannya [2].

$$\text{Zona-3 min} = 1,2 (ZL11 + ZL31) \quad (11)$$

$$\text{Zona-3 mak} = 0,8 (ZL11 + 0,5 \cdot Xt) \quad (12)$$

keterangan:

Zona-3 min = Impedansi Zona-3 minimum (Ω)

Zona-3 mak = Impedansi Zona-3 maksimum mempertimbangkan impedansi transformator (Ω)

ZL11 = Impedansi urutan positif saluran utama (Ω)

ZL31 = Impedansi urutan positif saluran terpanjang GI di depannya (Ω)

Xt = Impedansi transformator (Ω)

2.2. 10 Relai Penutup Balik Otomatis (*Autoreclose Relay*)

Relai penutup balik otomatis (*Autoreclose relay*) adalah salah satu relai utama yang digunakan untuk menutup kembali PMT setelah trip akibat gangguan. Relai ini mendapat sinyal trip dari relai proteksi utama (LCD atau relai jarak) dan memulai timer untuk menutup kembali PMT. Setelah waktu yang ditentukan berlalu, relai ini akan mengirimkan sinyal ke PMT untuk menutup kembali setelah semua kondisi yang telah ditetapkan terpenuhi, sehingga bay penghantar tersebut kembali normal. Jika gangguan masih ada selama waktu penutupan kembali, relai utama akan mengirimkan sinyal trip lagi, sehingga PMT akan trip lockout [11]. *Autoreclose* memiliki tiga *mode* berdasarkan sistem penggerak PMT.

1. 1 Pole AR/Single Pole AR (SPAR)

Penerapan *mode* ini harus memperhatikan sistem penggerak PMT yang menggunakan mekanisme penggerak per-fasa. Sistem ini hanya memungkinkan reclose pada gangguan satu fasa (PMT trip pada satu fasa, lalu reclose pada fasa yang terganggu). Sebaliknya, gangguan dua fasa dan tiga fasa akan memblokir *reclose*, sehingga ketiga fasa PMT akan trip [16].

2. 3 Pole/Three Pole AR (TPAR)

Penerapan *mode* ini harus memperhatikan sistem penggerak PMT dimana sistem penggeraknya sudah per-fasa/*Single pole driving mechanism* dan kondisi PMT. Pada pola ini gangguan 1 fasa dan 2 fasa yang *reclose* (PMT *trip* 1 fasa, *close* 1 fasa sesuai fasa yang terganggu, pada gangguan 2 fasa, PMT *trip* 3 fasa *close* 3 fasa) [16].

3. 1/3 Pole/Singe-three Pole AR (STPAR)

Penerapan *mode* ini memerlukan perhatian terhadap mekanisme penggerak per-fasa pada PMT serta kondisi keseluruhan PMT. Untuk gangguan satu fasa, PMT akan *trip* dan *reclose* hanya pada fasa yang terganggu. Sedangkan untuk gangguan dua fasa, PMT akan trip pada ketiga fasa dan reclose pada ketiga fasa tersebut [16].

2.2. 11 Autoreclose Multishot

Relai jarak pada umumnya mempunyai *setting autoreclose singleshoot* [17]. Namun pada umumnya manufaktur relai menambahkan fitur *autoreclose* lebih dari satu kali pada relai hingga empat kali percobaan *reclose* [17].

1. 1 Pole AR/Single Pole AR (SPAR)

Untuk *autoreclose multi-shot* dalam mode 1-pole AR, tindakan *autoreclose* pertama menggunakan 1-pole AR, sementara *reclose* berikutnya beralih ke 3-pole AR. Dalam kasus gangguan temporer pada satu fasa di SUTT, relai proteksi akan mengirim sinyal *trip* dan memulai *1-pole AR*. Setelah *deadtime reclose* pertama habis, relai akan mengirimkan perintah *reclose*, dan fungsi *auto-reclosure* akan diatur ulang setelah waktu *reclaim* mempersiapkan pemulihan berikutnya.

Jika gangguan bersifat permanen, relai akan mengirim sinyal *trip* lagi setelah *autoreclose* dan kemudian memulai *3-pole AR*. Pada tahap ini, *deadtime* kedua berjalan selama waktu yang ditentukan. Setelah *deadtime* habis, jika kondisi untuk *reclose* terpenuhi, sistem akan mengirimkan pulsa *reclose* selanjutnya. Siklus ini diulangi hingga *reclose* berhasil atau jumlah maksimum *reclose* yang diizinkan tercapai [17].

2. *3 Pole/Three Pole AR (TPAR)*

Dalam mode *3-pole AR* dengan fungsi *multi-shot*, relai proteksi akan mengirimkan sinyal trip ketika terjadi gangguan sementara, yang menginisiasi *3-pole AR*. Setelah *deadtime* pertama berakhir, relai akan mengirimkan sinyal *reclose*. *Autoreclose* kemudian akan memulai ulang setelah waktu *reclaim*, mempersiapkan upaya *reclose* berikutnya.

Untuk gangguan permanen, relai akan mengirim sinyal *trip* lagi setelah menyelesaikan *reclose*, dan siklus *3-pole AR* baru akan dimulai setelah kontak *trip* terlepas. Setelah *deadtime AR* berakhir, relai akan mengirimkan sinyal *reclose* berikutnya. Siklus ini akan terus diulangi hingga *reclose* berhasil atau jumlah maksimum upaya *reclose* tercapai [17].

3. *1/3 Pole/Singe-three Pole AR (STPAR)*

Dalam mode *autoreclose multi-shot* untuk *1/3-pole AR*, relai akan mengirimkan sinyal *trip* ketika terjadi gangguan temporer pada SUTT kemudian memulai AR. Setelah *deadtime reclose* pertama berakhir, relai akan mengirimkan sinyal *reclose*. Fungsi *autoreclose* akan memulai ulang setelah waktu *reclaim* menyiapkan *reclose* berikutnya.

Untuk gangguan permanen, relai akan mengirim sinyal *trip* setelah *reclose* dilakukan. Pada tahap ini, *3-pole AR* akan diinisiasi setelah kontak *trip* terlepas (*drop-off*). Ketika *deadtime AR* berakhir, relai akan mengirimkan sinyal *reclose* selanjutnya. Proses ini berlanjut hingga *reclose* berhasil atau jumlah maksimum upaya *reclose* tercapai [17].



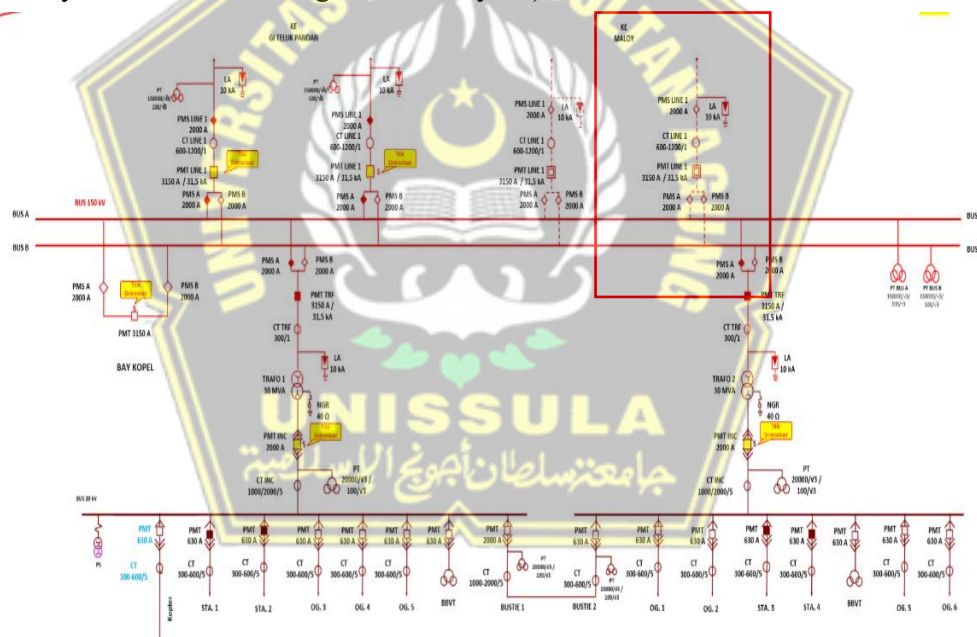
BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Objek Penelitian

Objek yang dibahas pada penelitian ini berada di Gardu Induk 150 kV Sangatta yang berada di Kecamatan Sangatta Selatan, Kabupaten Kutai Timur, Provinsi Kalimantan Timur.

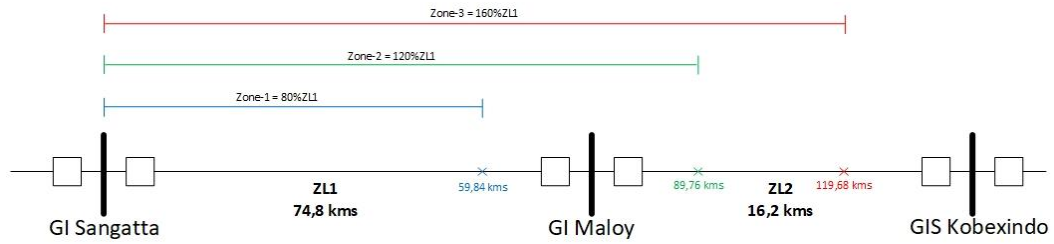
Gardu Induk 150 kV Sangatta adalah salah satu aset dari PT PLN (Persero) ULTG Bontang yang menjadi bagian dari UPT Balikpapan. GI 150 kV Sangatta mendapat pasokan tegangan dari Gardu Induk 150 kV Teluk Pandan (melalui SUTT Sangatta – Teluk Pandan #1 dan SUTT Sangatta – Teluk Pandan #2) dan menyalurkan tegangan ke arah Gardu Induk 150 kV Maloy (melalui SUTT Sangatta – Maloy #1 dan SUTT Sangatta – Maloy #2).



Gambar 3. 1. *Single Line Diagram* GI 150 kV Sangatta

Single Line Diagram dari Gardu Induk 150 kV ditampilkan pada Gambar 3.1. GI Sangatta memiliki empat *bay line*, dua *line* arah GI Teluk Pandan, dua *line* arah GI Maloy, dan dua *bay* transformator serta satu *bay coupler*.

Daerah kerja relai jarak bay line 2 Sangatta-Maloy dibagi menjadi 3 zona yang dikordinasikan dengan seksi berikutnya agar tidak terjadi *overlapping* seperti yang ditunjukkan dengan Gambar 3.2.

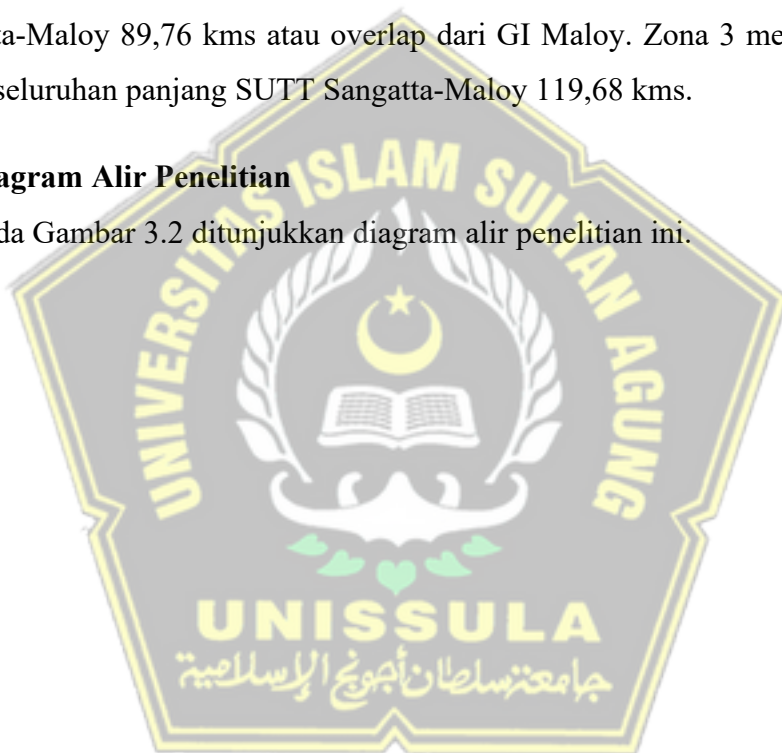


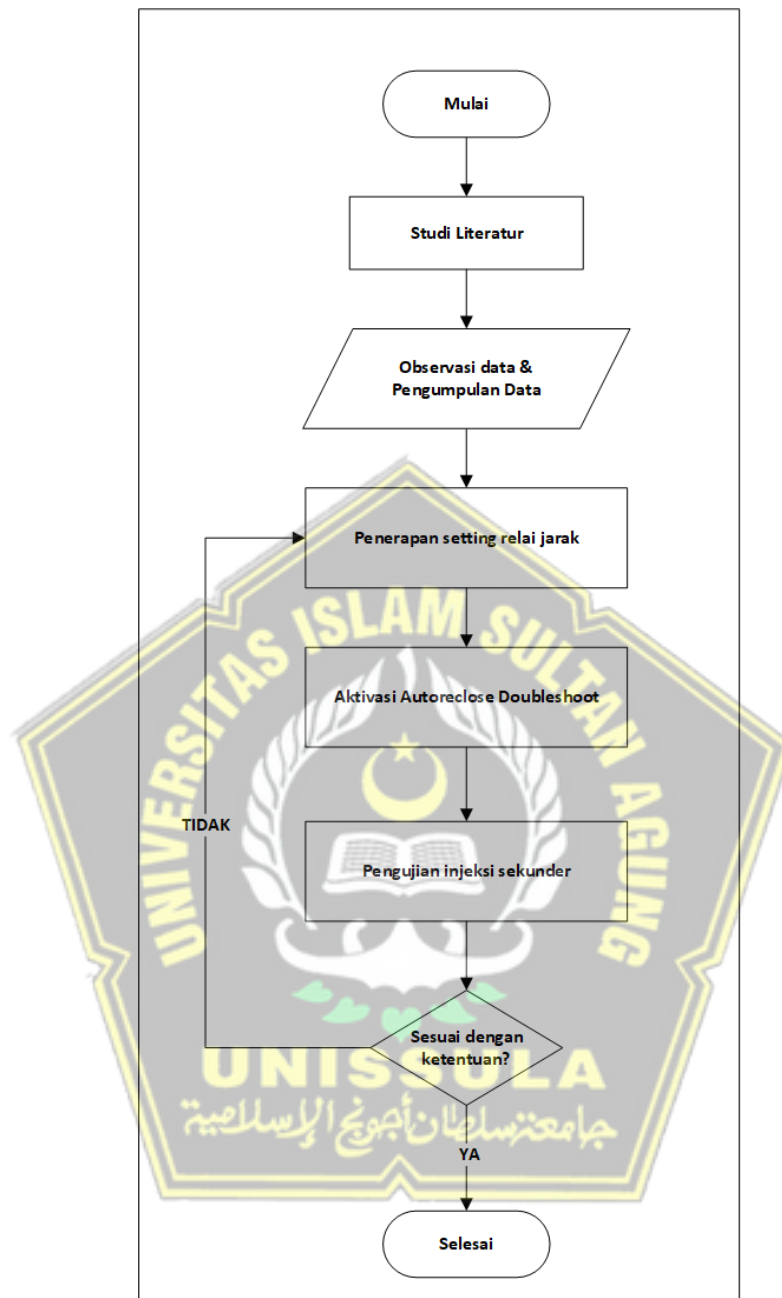
Gambar 3. 2 Zona pengamanan relai jarak SUTT Sangatta Maloy

Zona 1 mencakup 80% dari keseluruhan panjang SUTT Sangatta-Maloy atau sepanjang 59,84 kms. Zona 2 mencakup 120% dari keseluruhan panjang SUTT Sangatta-Maloy 89,76 kms atau overlap dari GI Maloy. Zona 3 mencakup 160% dari keseluruhan panjang SUTT Sangatta-Maloy 119,68 kms.

3.2. Diagram Alir Penelitian

Pada Gambar 3.2 ditunjukkan diagram alir penelitian ini.





Gambar 3. 3. Diagram alir penelitian

3.3. Peralatan Pengujian

Peralatan yang digunakan pada saat melakukan penelitian Aktivasi *Autoreclose Doubleshot* pada Relai Jarak *Bay Line 2* Sangatta - Maloy adalah sebagai berikut:

1. Data *setting* relai LCD dan relai jarak *Bay Line 2* Sangatta – Maloy.
2. Laptop.

3. Alat injeksi sekunder Omicron CMC 356.
4. Software relai NR PCS Studio 900.

3.4. Data Penelitian

3.4.1 Data penghantar

Data teknik penghantar dibutuhkan untuk menentukan karakteristik relai dan skema proteksi yang akan diterapkan pada saluran transmisi. Berikut data penghantar yang dibutuhkan untuk dapat menghitung dan menentukan *setting* proteksi yang akan diterapkan pada relai jarak penghantar Sangatta – Maloy.

Tabel 3. 1 Data Teknik Penghantar

Saluran Transmisi	Tipe Konduktor	Kapasitas Arus (CCC)	Panjang Saluran	Jenis Saluran
Sangatta – Maloy	ACSR 2X250 - AS	1200 A	74,803 kms	SUTT
Maloy - Kobexindo	ACSR 2X250 - AS	1200 A	16,20 kms	SUTT

Pada Tabel 3.1 terdapat dua saluran yang memengaruhi dalam perhitungan sistem proteksi penghantar Sangatta – Maloy #2 yaitu saluran Sangatta – Maloy itu sendiri dan saluran Maloy – Kobexindo di mana keduanya merupakan SUTT (saluran udara tegangan tinggi) 150 kV.

Tabel 3. 2 Data Impedansi Penghantar

Saluran Transmisi	Impedansi Urutan Positif/Negatif (Ω/km)	Impedansi Urutan Nol (Ω/km)
Sangatta – Maloy	0,062 + j0,275	0,511 + j1,537
Maloy - Kobexindo	0,062 + j0,275	0,511 + j1,537

Tabel 3.2 menunjukkan data impedansi penghantar yang digunakan untuk menghitung *setting* dan menentukan zona proteksi relai jarak. Nilai impedansi dipengaruhi oleh bahan konduktor dan kualitas pembuatan pada konduktor itu

sendiri. Impedansi penghantar yang baik adalah yang mempunyai impedansi yang kecil sehingga rugi daya pada kabel tidak terlalu besar.

3.4.2 Data Trafo

Transformator daya memengaruhi *setting* relai jarak karena jangkauan zona-2 tidak boleh melebihi 50% impedansi transformator tenaga yang ada di gardu induk *remote*, dalam hal ini, GI Maloy. Berikut data transformator daya pada GI Maloy.

Tabel 3. 3 Data Transformator GI Maloy

Merk	ELSWEDY ELECTRIC
Kapasitas	30 MVA
Tegangan Nominal	150 – 22 kV
Hubungan Belitan	YNyn0 + d
Impedansi	12,313 %

3.4.3 Data CT VT

Relai jarak akan membaca parameter tegangan dan arus dari peralatan pengukuran yang memiliki rasio tertentu. Peralatan pengukuran ini harus dipastikan benar rasionya untuk dijadikan input pembacaan pada relay. Peralatan pengukuran pada penelitian ini yaitu CT (*Current Transformer*) dan VT (*Voltage Transformer*) yang terpasang pada GI 150 kV Sangatta bay penghantar Sangatta – Maloy #2.

Tabel 3. 4 Data Peralatan Pengukuran

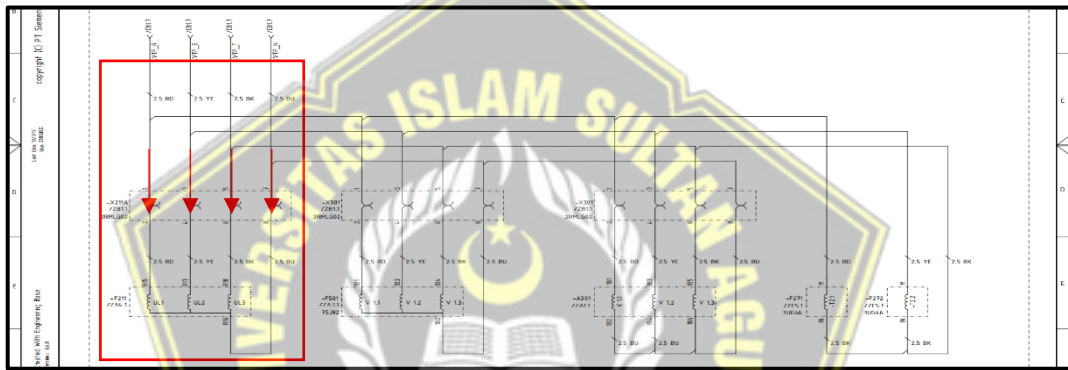
Peralatan Ukur	Rasio	
	Primer	Sekunder
CT	1200 A	1 A
VT	150000 V	100 V

3.5. Pengujian Individu Relai Jarak

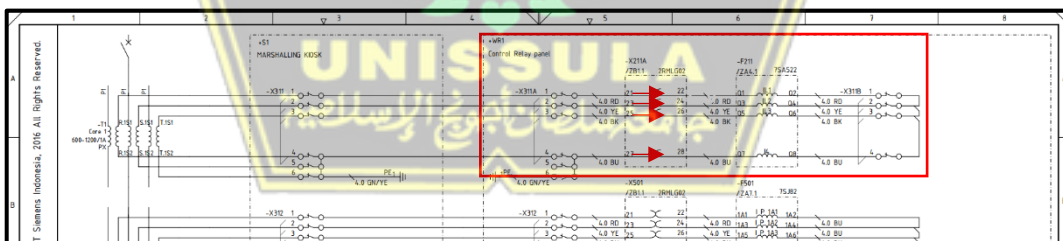
Pengujian individu dilakukan untuk mengetahui karakteristik impedansi dan waktu tunda di mana relai akan bekerja atau merasakan gangguan. Oleh karena itu, pengujian ini juga disebut sebagai pengujian karakteristik.

Pada pengujian individu, relai diberikan sampel titik-titik impedansi, yang apabila sesuai dengan *setting*, akan direspon oleh relai dengan bekerjanya kontak *trip*. Kemudian alat uji akan mengumpulkan data pada titik impedansi dan waktu tunda mana saja relai tersebut bekerja.

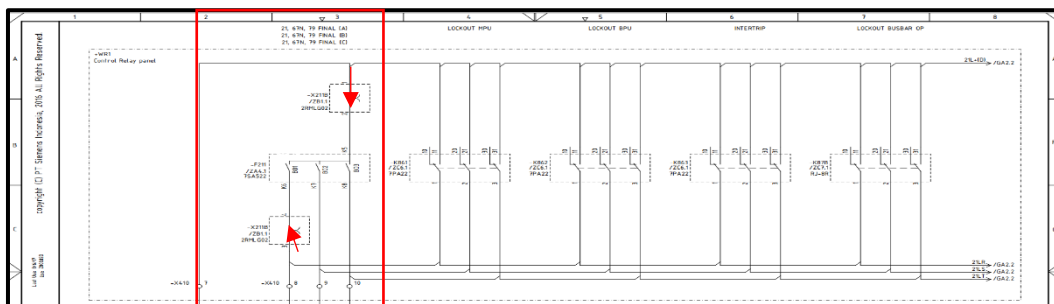
Sampel impedansi sendiri didapatkan melalui injeksi tegangan dan arus sekunder yang diatur besarnya menggunakan alat uji. Untuk itu, pada pengujian individu, setidaknya ada tiga rangkaian yang digunakan untuk mendapatkan karakteristik impedansi dan waktu tunda, antara lain rangkaian arus, rangkaian tegangan dan rangkaian tripping.



Gambar 3. 5 Rangkaian tegangan (anak panah merah menunjukkan titik di mana kabel jack dipasang pada test plug)



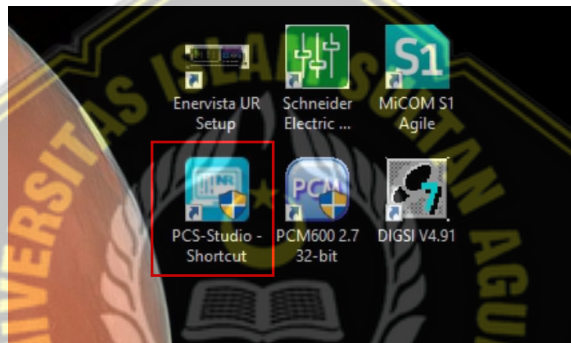
Gambar 3. 4 Rangkaian arus (anak panah merah menunjukkan titik di mana kabel jack dipasang pada test plug)



Gambar 3. 6 Rangkaian tripping (anak panah merah menunjukkan titik di mana kabel jack dipasang pada test plug)

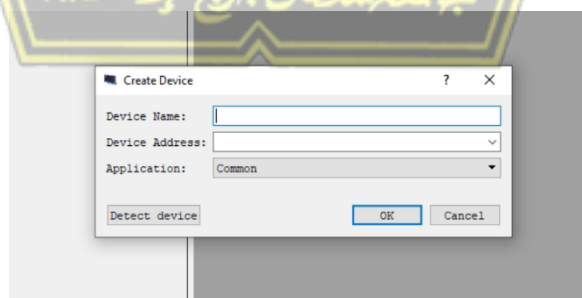
Untuk melakukan pengujian relai jarak, diperlukan *file setting* yang telah diterapkan relai. *File* tersebut didapatkan dengan mengunduh dari relai secara *online* sebagai berikut:

- 1) Peralatan yang digunakan untuk mengunduh *setting* pada relai NR PCS 931S antara lain laptop, kabel ethernet, *software* PCS Studio (*manufactured for NR Relay*).
- 2) Menyambungkan laptop dengan relai melalui *port* ethernet menggunakan kabel ethernet.
- 3) Menyamakan segmen IP relai dengan segmen IP laptop.
- 4) Membuka *software* NR PCS Studio.



Gambar 3. 7 Ikon software NR PCS Studio

- 5) Membuka *file project* dari GI yang akan diuji.
- 6) Memilih *Tools*, kemudian *Online Status Tool*, kemudian *Tel Device*
- 7) Mengisi IP relai yang akan diunduh *file setting*-nya.



Gambar 3. 8 IP Relai diisi pada jendela Tel Device

- 8) Pada nama device, klik kanan kemudian memilih “Online RIO”.
- 9) Pada jendela baru, klik kanan pada “File” kemudian pilih “Export RIO”.
- 10) Menyimpan dengan bentuk XRIO

Tahapan Pengujian:

- 1) Peralatan yang dibutuhkan untuk melakukan pengujian yaitu laptop, alat uji *Omicron CMC 356*, kabel *power supply*, kabel *USB type A to type B*, kabel *jack*, kabel *grounding* peralatan, dan *test plug*.
- 2) *Test plug* dipasang pada *test block* relai.



Gambar 3. 9 Test Plug dipasang pada Test Block



Gambar 3. 10 CMC 356 dihubungkan dengan kabel jack

- 3) Kabel *jack* dipasang dari alat uji *omicron CMC 356* ke *test plug*. Berdasarkan wiring pada gambar 3.2 – 3.4, posisi kabel *jack* pada *test plug* adalah sebagai berikut.

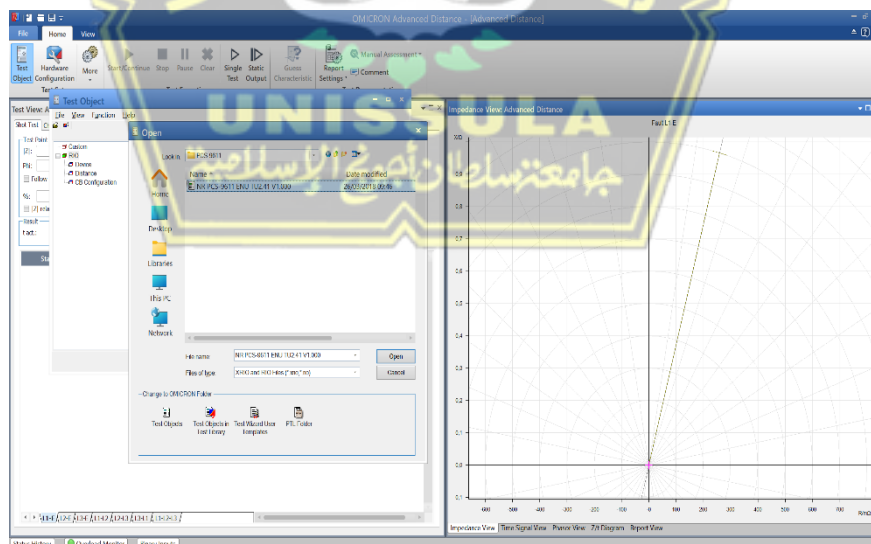
Rangkaian	Test Block	Test Plug
Tegangan (R, S, T, N)	X211A	2, 4, 6, 8
Arus (R, S, T, N)	X211A	22, 24, 26, 28
Tripping	X211B	2, 4

- 4) Kabel *power supply* dan kabel *grounding* dipasang pada alat uji *omicron CMC 356*.
- 5) Pengujian menggunakan *Test Universe 3.20* pada laptop, lalu dipilih menu *Advanced Distance*.



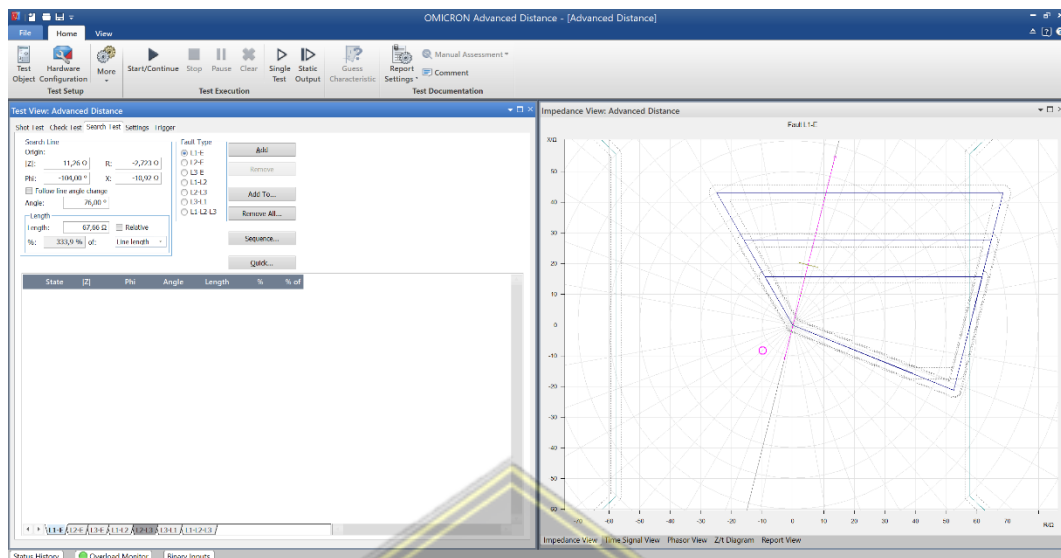
Gambar 3. 11 Omicron Advanced Distance

- 6) Memasukkan *setting* relai yang telah diunduh dengan membuka menu *Test Object*, memilih *Import*, lalu memilih *setting* relai yang sudah disiapkan.



Gambar 3. 12 Memasukkan setting relai yang akan diuji

- 7) Menarik garis di sepanjang quadrilateral zona proteksi dan di luar zona proteksi sebagaimana gambar 3.11.



Gambar 3. 13 Menarik garis di sepanjang quadrilateral

- 8) Hal yang sama dilakukan pada pengujian fasa-fasa.
- 9) Lalu klik add, kemudian klik start untuk memulai pengujian.
- 10) Menunggu hingga selesai pengujian.
- 11) Setelah pengujian selesai, *report* hasil pengujian disimpan dalam bentuk PDF.

3.6. Pengujian Fungsi

Pengujian fungsi berfungsi untuk mengetahui unjuk kerja relai jarak saat dihadapkan pada kondisi gangguan. Pengujian fungsi dilakukan dengan cara memberikan simulasi kondisi gangguan dengan menggunakan software *Omicron CMC 356 State Sequencer*. Software *Omicron CMC 356 State Sequence* mengondisikan gangguan melalui sampel impedansi yang didapat melalui perhitungan tegangan, arus dan waktu tunda.

Sampel impedansi sendiri didapatkan melalui injeksi tegangan dan arus sekunder yang diatur besarannya menggunakan alat uji. Untuk itu, pada pengujian fungsi, diperlukan rangkaian arus rangkaian tegangan untuk mendapatkan impedansi yang diinginkan.

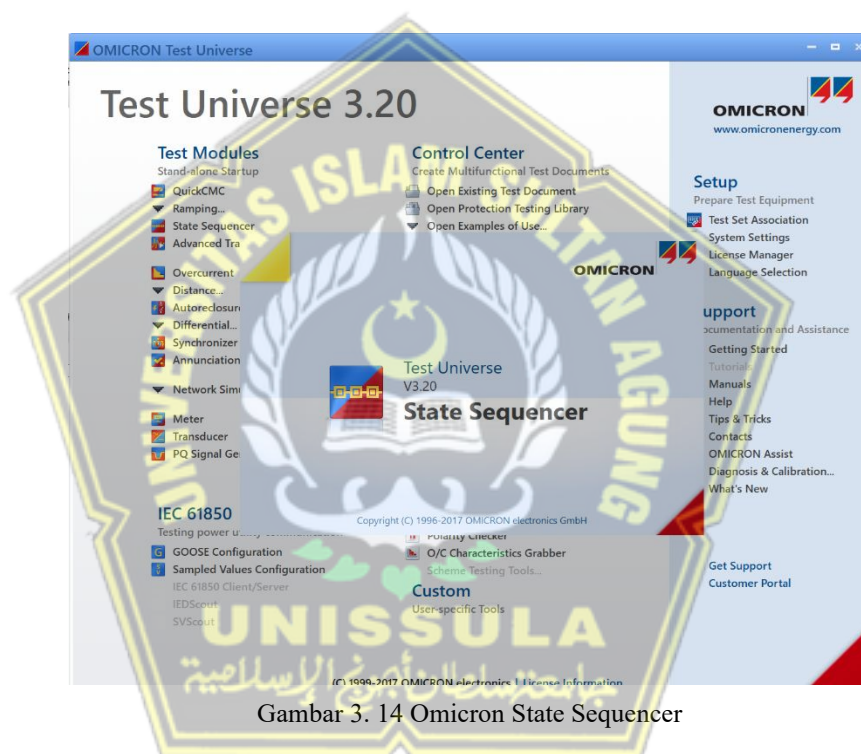
- 1) Peralatan yang dibutuhkan untuk melakukan pengujian yaitu, laptop, alat uji *Omicron CMC 356*, kabel *power supply*, kabel *USB type A to type B*, kabel *jack*, kabel grounding peralatan, dan *test plug*.
- 2) *Test plug* dipasang pada *test block* relai.

- 3) Kabel *jack* dari alat uji *omicron* CMC 356 dirangkai ke *test block*.

Berdasarkan wiring pada gambar 3.2 – 3.4, posisi kabel *jack* pada test plug adalah sebagai berikut.

Rangkaian	Test Block	Test Plug
Tegangan (R, S, T, N)	X211A	2, 4, 6, 8
Arus (R, S, T, N)	X211A	22, 24, 26, 28

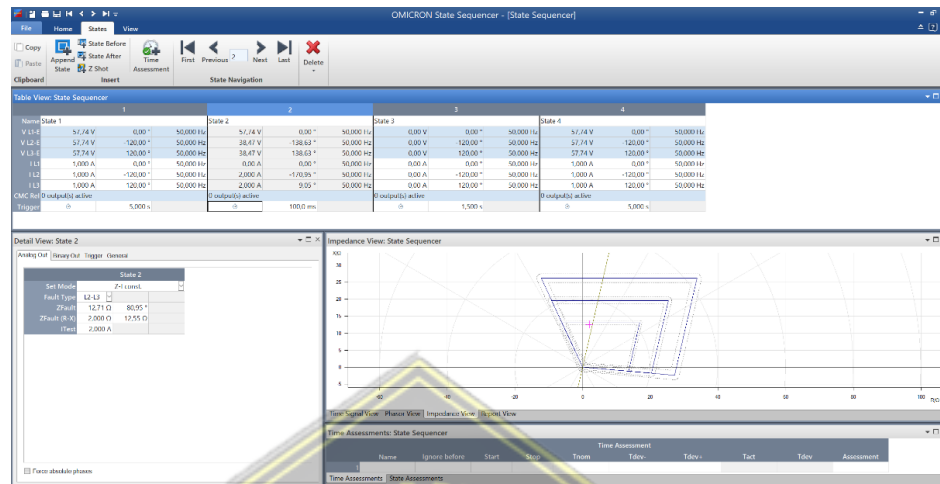
- 4) Kabel *power supply* dan kabel *grounding* dipasang alat uji *omicron* CMC 356.
 5) Menu *State Sequencer* digunakan pada *software Test Universe 3.20*.



Gambar 3. 14 Omicron State Sequencer

- 6) *Setting* relai dimasukkan dengan membuka menu *Test Object, Import*, lalu dipilih *setting* relai yang sudah diunduh.

- 7) Untuk melakukan pemodelan kondisi gangguan, “states” disusun sedemikian rupa menurut kondisi-kondisi saat terjadinya gangguan.



Gambar 3. 15 Pemodelan kondisi gangguan

- 8) Sebagai contoh, pada Gambar 3.13 ditunjukkan pemodelan untuk kondisi normal (*state 1*) kemudian terjadi gangguan *phase to phase* pada *zone 1* (*state 2*) yang akan mengakibatkan PMT *trip* (*state 3*) lalu *reclose* 3 (tiga) fasa (*state 4*).
- 9) Hasil pengujian disimpan dan dicatat pada formulir uji.

3.7. Skenario Pengujian Fungsi

Pengujian fungsi dilakukan dengan memberikan kondisi yang menyerupai gangguan sebenarnya. Pada penelitian ini digunakan 4 (empat) kondisi gangguan untuk mengetahui unjuk kerja fungsi autoreclose doubleshot pada relai jarak bay line 2 Sangatta-Maloy. Kondisi tersebut antara lain:

1. Kondisi dua gangguan berturut-turut zona 1 *phase-ground* pada fasa yang sama.
Pada kondisi ini disimulasikan gangguan pada fasa R pada kedua gangguan. Respon PMT yang diharapkan adalah PMT reclose pada fasa R untuk gangguan pertama, dan reclose tiga fasa untuk gangguan kedua.
2. Kondisi dua gangguan berturut-turut zona 1 *phase-ground* pada fasa yang berbeda (*doubleshot evolving*).

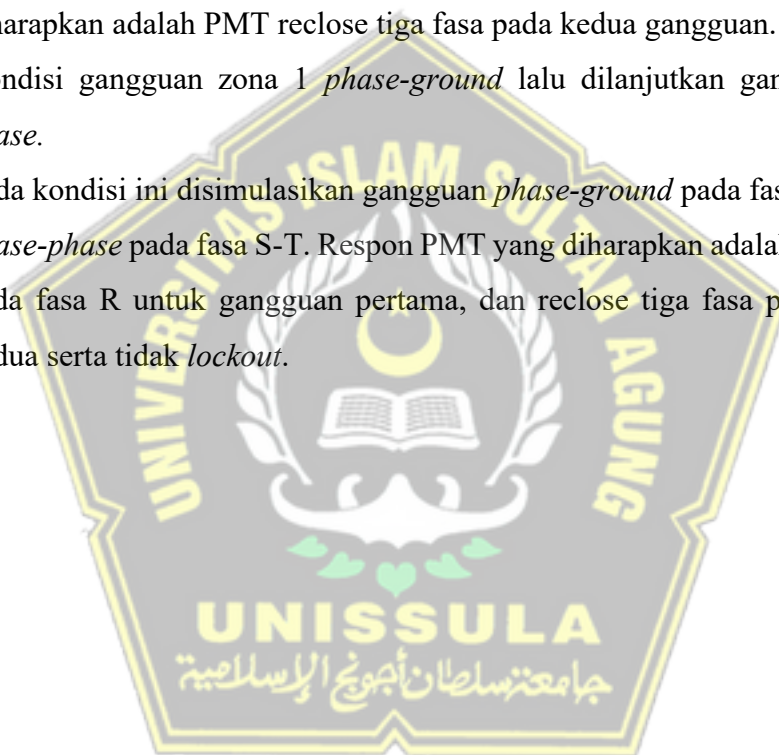
Pada kondisi ini disimulasikan gangguan pertama pada fasa S dan gangguan kedua pada fasa T. Respon PMT yang diharapkan adalah PMT reclose pada fasa S untuk gangguan pertama, dan reclose tiga fasa pada gangguan kedua serta tidak *lockout*.

3. Kondisi dua gangguan berturut-turut zona 1 *phase-phase* pada fasa yang berbeda.

Pada kondisi ini disimulasikan gangguan *phase-phase* pada R-S untuk gangguan pertama dan fasa S-T untuk gangguan kedua. Respon PMT yang diharapkan adalah PMT reclose tiga fasa pada kedua gangguan.

4. Kondisi gangguan zona 1 *phase-ground* lalu dilanjutkan gangguan *phase-phase*.

Pada kondisi ini disimulasikan gangguan *phase-ground* pada fasa R kemudian *phase-phase* pada fasa S-T. Respon PMT yang diharapkan adalah PMT reclose pada fasa R untuk gangguan pertama, dan reclose tiga fasa pada gangguan kedua serta tidak *lockout*.



BAB IV PERHITUNGAN DAN ANALISIS

4.1 Perhitungan Setting Relai Jarak

Pemilihan zona proteksi berdasarkan hitungan dan pertimbangan kondisi dari sistem penyaluran listrik itu sendiri. Rumus-rumus yang digunakan berdasarkan Buku Pedoman dan Petunjuk Sistem Proteksi Transmisi dan Gardu Induk PT PLN (Persero).

1. Rasio transformator ukur

$$CT = \frac{CT \text{ Primer}}{CT \text{ Sekunder}} \quad (1)$$

$$CT = \frac{1200}{1} \quad (2)$$

$$PT = \frac{PT \text{ Primer}}{PT \text{ Sekunder}} \quad (3)$$

$$PT = \frac{150000}{100}$$

$$n = \frac{CT}{PT} \quad (3)$$

$$= \frac{1200/1}{150000/100}$$

$$= 0,8$$

2. Impedansi trafo GI 150 KV Maloy (gardu induk remote)

$$X_t = \frac{Z\% \times V^2}{S} \quad (10)$$

$$= \frac{11,67 \% \times 150000^2}{30000}$$

$$= 87,525 \approx 90 \Omega$$

3. Impedansi penghantar

$$Z_{L11} = \text{panjang saluran Sangatta-Maloy} \times \text{impedansi urutan positif} \quad (4)$$

$$Z_{L11} = 74,803 \times (0,062 + j0,275)$$

$$= 4,638 + j20,571$$

$$Z_{L10} = 74,803 \times (0,511 + j1,537)$$

$$Z_{L10} = \text{panjang saluran Sangatta-Maloy} \times \text{impedansi urutan nol} \quad (4)$$

$$Z_{L10} = 74,803 \times (0,511 + j1,537)$$

$$= 38,224 + j114,972$$

$$Z_{L21} = \text{panjang saluran Maloy Kobexindo} \times \text{impedansi urutan positif} \quad (4)$$

$$Z_{L21} = 16,20 \times (0,801 + j3,563)$$

$$= 12,976 + j57,722$$

4. Faktor kompensasi urutan nol

$$K_0 = \frac{Z_{L10} - Z_{L11}}{3Z_{L11}} \quad (13)$$

$$= \frac{38,224 + j114,972 - (4,638 + j20,571)}{3(4,638 + j20,571)}$$

$$= \frac{33,586 + j94,399}{13,914 + j61,713}$$

$$= 1,572 - j0,19$$

$$= 1,5836 \angle -6,87^\circ$$

$$K_R = \frac{1}{3} \left(\frac{R_{10}}{R_{11}} - 1 \right) \quad (14)$$

$$= \frac{1}{3} \left(\frac{38,224}{4,638} - 1 \right)$$

$$= 2,414$$

$$K_X = \frac{1}{3} \left(\frac{X_{10}}{X_{11}} - 1 \right) \quad (15)$$

$$= \frac{1}{3} \left(\frac{114,972}{20,571} - 1 \right)$$

$$= 1,530$$

5. Impedansi zona proteksi gangguan antar fasa

$$\text{Zona-1} = 0,8 \times Z_{L11} \quad (5)$$

$$= 0,8 \times 4,638 + j20,571 \times 0,8$$

$$\begin{aligned}
 &= \mathbf{13,43 \angle 77,29^\circ \Omega} \\
 \text{Zona 2min} &= 1,2 \times Z_{L11} \times n \\
 &= 1,2 \times 4,638 + j20,571 \times 0,8 \\
 &= 0,96 \times 21,087 \angle 77,29^\circ \\
 &= \mathbf{20,15 \angle 77,29^\circ \Omega}
 \end{aligned} \tag{6}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Zona 2max1} &= 0,8 (Z_{L11} + 0,8 \times Z_{L21}) \\
 &= 0,8 (4,638 + j20,571 + 0,8 \times 12,976 + j57,722) \\
 &= 0,8 (4,638 + j20,571 + 2,275 + j10,128) \\
 &= 0,8 (6,913 + j30,698) \\
 &= 0,8 (31,47 \angle 77,31^\circ) \\
 &= \mathbf{25,17 \angle 77,31^\circ \Omega}
 \end{aligned} \tag{7}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Zona 3min} &= 1,6 \times Z_{L11} \times n \\
 &= 1,6 \times 4,638 + j20,571 \times 0,8 \\
 &= 1,28 \times 21,087 \angle 77,29^\circ \\
 &= \mathbf{26,86 \angle 77,29^\circ \Omega}
 \end{aligned} \tag{11}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Zona 3max} &= 0,8 \times (Z_{L11} + 0,5X_t) \times n \\
 &= 0,8 (4,638 + j20,571 + 45) \times 0,8 \\
 &= 0,64 (49,638 + j20,571) \\
 &= 0,64 (53,732 \angle 22,51^\circ) \\
 &= \mathbf{34,38 \angle 22,51^\circ \Omega}
 \end{aligned} \tag{12}$$

6. Jangkauan resistif gangguan tanah

$$R_{mL11} = \frac{0,8 (RL10 + (2 \times RL11))}{3} \times n \tag{16}$$

$$= \frac{0,8 (38,224 + (2 \times 4,638))}{3} \times n$$

$$= 10,133 \Omega$$

Asumsi tahanan gangguan RF = 40 Ω

$$R1' = R_{mL11} + (RF \times n) \tag{17}$$

$$= 10,133 + (40 \times 0,8)$$

$$= 42,133\Omega$$

$$R1 = R_{mL11} + \left(\frac{RF}{2} \times 0,8\right) \quad (18)$$

$$= 10,133 + \left(\frac{40}{2} \times 0,8\right)$$

$$= 26,133\Omega$$

$$R1'' = (2 \times R_{mL11}) + (RF \times n) \quad (19)$$

$$= (2 \times 10,133) + (40 \times 0,8)$$

$$= 52,266\Omega$$

$$R2 = \frac{V_{pp}}{\sqrt{3} CCC} \quad (20)$$

$$= \frac{150000}{\sqrt{3} 1200}$$

$$= 72,168\Omega$$

Pemilihan jangkauan resistif = $R1 < R1' < R2$

Zona-1 R (Ph-G) = 26,133 Ω

Zona-2 R (Ph-G) = 42,133 Ω

Zona-3 R (Ph-G) = 52,266 Ω

7. Pemilihan *setting* time delay tiap zona

Zona 1 = 0 s

Zona 2 = 0,6 s

Zona 3 = 1 s

Dari perhitungan di atas didapatkan nilai *setting* relai jarak dengan *setting* ditampilkan pada tabel 4.1

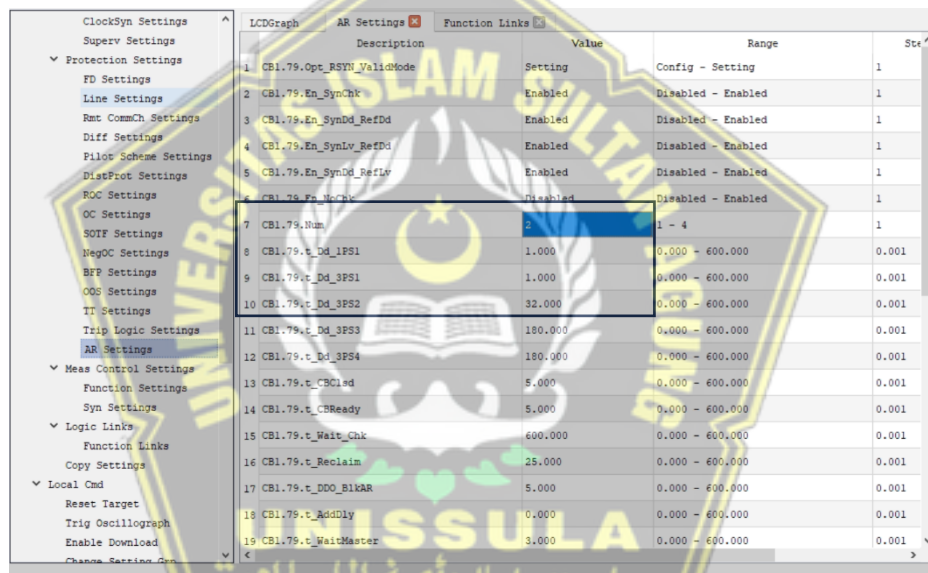
Tabel 4. 1 *Setting* Line 2 Sangatta-Maloy

<i>Setting</i> Relai Proteksi Line 2 Sangatta – Maloy			
Parameter	<i>Setting</i>	Parameter	<i>Setting</i>
Primary Current	1200 A	Primary Voltage	150 kV
Secondary Current	1 A	Secondary Voltage	100 V
Panjang Saluran	74,803 kms	K0	1,572

Line Angle	77°	Angle (K0)	-6.87°
Kr	2,4138	Kx	1,529
Zone 1.Z	13,43 Ω	Operating delay	0 s
Zone 2.Z	20,15 Ω	Operating delay	0,6 s
Zone 3.Z	26,86 Ω	Operating delay	1 s

4.2 Penerapan Fungsi *Autoreclose doubleshot*

Aktivasi fungsi *autoreclose doubleshot* dilakukan melalui software PCS Studio pada menu *Protection* dan submenu *AR Setting* seperti ditampilkan pada gambar dan

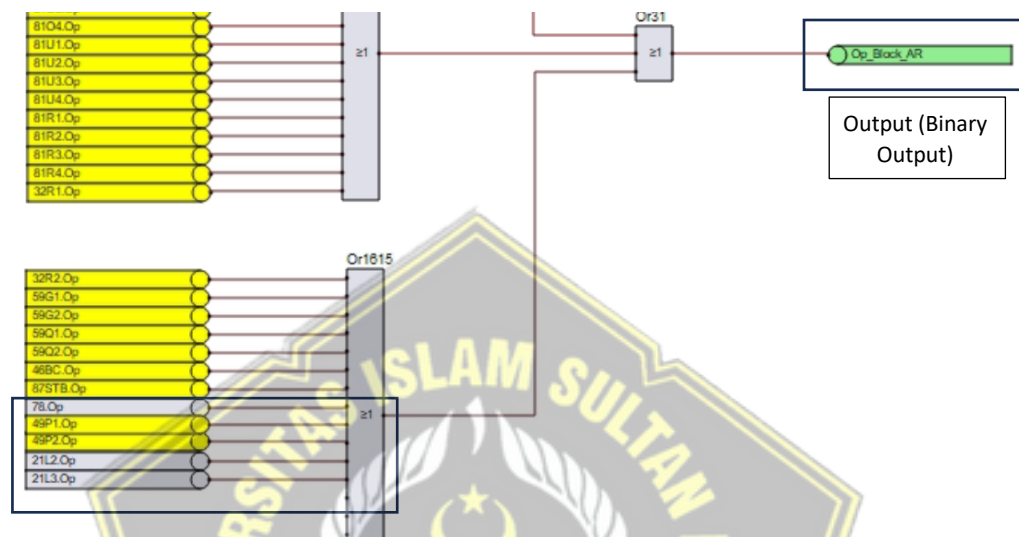


Gambar 4. 1 Setting Autoreclose

menginput *number of shot* sebanyak 2 (dua) seperti pada Gambar 4.1.

Pada Gambar 4.1 terlihat parameter CB1.79 Num diinput “2” untuk mengaktifkan *autoreclose* sebanyak dua kali. Kemudian di bawahnya terdapat parameter CB1.79.t_Dd1PS1 yang mana merupakan *setting deadtime* pertama untuk *reclose* satu fasa dan CB1.79.t_Dd3PS1 untuk *reclose* tiga fasa. Sedangkan untuk *deadtime* kedua diset melalui parameter CB1.79.t_Dd3PS3.

Untuk memastikan bahwa hanya *zone 1* yang akan mengakibatkan *autoreclose*, *zone 2* dan *zone 3* perlu dihubungkan pada *logic Block AR*. Hal tersebut bertujuan ketika relai merasakan gangguan *zone 2* dan *zone 3*, maka akan memicu *Block AR* sehingga *autoreclose* tidak terjadi.



Gambar 4. 2 Logic Blocking AR Zone 2 dan Zone 3

Dapat dilihat pada diagram *logic* di Gambar 4.2 terdapat 21L2OP dan 21L3OP. Kode tersebut adalah kode untuk fungsi proteksi distance *zone 2* dan *zone 3*. Kedua fungsi tersebut dihubungkan kepada *logic* ≥ 1 atau OR yang mempunyai output Op_Block_AR yang akan mengaktifkan *blocking autoreclose*.

4.3 Hasil Pengujian Individu

Setelah dilakukan pengujian karakteristik pada relai jarak Line 2 Sangatta-Maloy dengan langkah-langkah pengujian pada bab tiga, didapatkan hasil pengujian berupa nilai impedansi aktual dan waktu kerja aktual pada masing-masing *zone*.

1. Zone 1 Phase to Ground

Nilai Impedansi atau Z_{act} zone 1 untuk gangguan fasa ke tanah atau *phase to ground* dapat diketahui melalui hasil pengujian pada Gambar 4.3.

Search Test: Fault Type L1-E

Zone	Z act	Phi act	R act	X act	Assessed Qty.	Nom.	Dev.	Result
Z1 G	13,39 Ω	77,00 °	3,012 Ω	13,05 Ω	Z	13,43 Ω	-0,3207 %	Passed
Z2 G	20,08 Ω	77,00 °	4,518 Ω	19,57 Ω	Z	20,15 Ω	-0,3207 %	Passed
Z3 G	26,78 Ω	77,00 °	6,024 Ω	26,09 Ω	Z	26,86 Ω	-0,3207 %	Passed

Search Test: Fault Type L2-E

Zone	Z act	Phi act	R act	X act	Assessed Qty.	Nom.	Dev.	Result
Z1 G	13,39 Ω	77,00 °	3,012 Ω	13,05 Ω	Z	13,43 Ω	-0,3207 %	Passed
Z2 G	20,08 Ω	77,00 °	4,518 Ω	19,57 Ω	Z	20,15 Ω	-0,3207 %	Passed
Z3 G	26,78 Ω	77,00 °	6,024 Ω	26,09 Ω	Z	26,86 Ω	-0,3207 %	Passed

Search Test: Fault Type L3-E

Zone	Z act	Phi act	R act	X act	Assessed Qty.	Nom.	Dev.	Result
Z1 G	13,39 Ω	77,00 °	3,012 Ω	13,05 Ω	Z	13,43 Ω	-0,3207 %	Passed
Z2 G	20,08 Ω	77,00 °	4,518 Ω	19,57 Ω	Z	20,15 Ω	-0,3207 %	Passed
Z3 G	26,78 Ω	77,00 °	6,024 Ω	26,09 Ω	Z	26,86 Ω	-0,3207 %	Passed

Gambar 4. 3 Form Hasil Uji Karakteristik Impedansi Zone 1 Phase to Ground

Dapat diketahui dari hasil pengujian, karakteristik impedansi relai untuk zone 1 fasa *R to ground* (ditulis sebagai L1-E), *S to ground* (ditulis sebagai L2-E) dan *T to ground* (ditulis sebagai L3-E) adalah sebesar 13,39 Ω . Jika dari hasil perhitungan pada sub-bab 4.1 impedansi nominal relai adalah 13,43 Ω , maka didapatkan persentase deviasi sebesar 0,3207%.

Test Results

Check Test: Fault Type L1-E

| Z |: 0,00 Ω Phi: 0,00 ° Angle: 77,00 ° Result: Passed
Length: 27,13 Ω %: 101,00 % % of: All zones

Z	Phi	t nom	t act.	Dev.	I Test	Result
1,091 Ω	77,00 °	0,00 s	27,50 ms	27,50 ms	500,0 mA	Passed
12,74 Ω	77,00 °	0,00 s	45,80 ms	45,80 ms	500,0 mA	Passed
14,12 Ω	77,00 °	600,0 ms	633,1 ms	5,517 %	500,0 mA	Passed
19,11 Ω	77,00 °	600,0 ms	633,1 ms	5,517 %	500,0 mA	Passed
21,18 Ω	77,00 °	1,000 s	1,033 s	3,26 %	500,0 mA	Passed
25,49 Ω	77,00 °	1,000 s	1,035 s	3,5 %	500,0 mA	Passed

Check Test: Fault Type L2-E

| Z |: 0,00 Ω Phi: 0,00 ° Angle: 77,00 ° Result: Passed
Length: 27,13 Ω %: 101,00 % % of: All zones

Z	Phi	t nom	t act.	Dev.	I Test	Result
1,091 Ω	77,00 °	0,00 s	30,00 ms	30,00 ms	500,0 mA	Passed
12,74 Ω	77,00 °	0,00 s	46,90 ms	46,90 ms	500,0 mA	Passed
14,12 Ω	77,00 °	600,0 ms	630,5 ms	5,083 %	500,0 mA	Passed
19,11 Ω	77,00 °	600,0 ms	633,3 ms	5,55 %	500,0 mA	Passed
21,18 Ω	77,00 °	1,000 s	1,034 s	3,4 %	500,0 mA	Passed
25,49 Ω	77,00 °	1,000 s	1,034 s	3,37 %	500,0 mA	Passed

Gambar 4. 4 Form Hasil Uji Karakteristik Waktu Zone 1 Phase to Ground

Check Test: Fault Type L3-E

| Z |: 0,00 Ω Phi: 0,00 ° Angle: 77,00 ° Result: Passed
 Length: 27,13 Ω %: 101,00 % % of: All zones

Z	Phi	t nom	t act.	Dev.	ITest	Result
1,091 Ω	77,00 °	0,00 s	32,90 ms	32,90 ms	500,0 mA	Passed
12,74 Ω	77,00 °	0,00 s	47,40 ms	47,40 ms	500,0 mA	Passed
14,12 Ω	77,00 °	600,0 ms	629,8 ms	4,967 %	500,0 mA	Passed
19,11 Ω	77,00 °	600,0 ms	635,2 ms	5,867 %	500,0 mA	Passed
21,18 Ω	77,00 °	1,000 s	1,032 s	3,19 %	500,0 mA	Passed
25,49 Ω	77,00 °	1,000 s	1,032 s	3,22 %	500,0 mA	Passed

Gambar 4. 5 Form Hasil Uji Karakteristik Waktu Zone 1 *Phase to Ground*

Waktu kerja atau *t act.* Zone 1 untuk gangguan fasa ke tanah dapat diketahui melalui hasil pengujian di bawah. Hasil pengujian zone 1 ditandai dengan *t nom* sebesar 0.00 s dan impedansi dalam kisaran 13 Ω .

Dapat diketahui dari hasil pengujian pada Gambar 4.4, waktu kerja relai untuk zone 1 fasa R to ground (ditulis sebagai *L1-E*) sebesar 45,80 ms, S to ground (ditulis sebagai *L2-E*) sebesar 46,90 ms dan T to ground (ditulis sebagai *L3-E*) adalah sebesar 47,40 ms.

Meskipun pada *setting* waktu kerja relai untuk zone 1 adalah 0 s, tetapi karena faktor mekanis pada konduktor seperti kontak kabel dengan skun kabel dan kekencangan baut sehingga membuat waktu kerja aktual relai jarak dapat mempunyai waktu yang lebih lama dari pada waktu kerja *setting*nya.

Semua data hasil pengujian karakteristik impedansi dan waktu kerja zone 1 phase to ground dirangkum pada tabel 4.2.

2. Zone 1 Phase to Phase

Nilai Impedansi atau *Z act.* zone 1 untuk gangguan antar fasa dapat diketahui melalui hasil pengujian pada Gambar 4.6.

Dapat diketahui dari hasil pengujian, karakteristik impedansi relai untuk zone 1 fasa R to S (ditulis sebagai *L1-L2*) sebesar 13,39 Ω , S to T (ditulis sebagai *L2-L3*) sebesar 13,30 Ω dan T to R (ditulis sebagai *L3-L1*) adalah sebesar 13,39 Ω . Didapatkan persentase deviasi pada fasa R-S dan T-R sebesar 0,3207% sedangkan fasa S-T sebesar 0,9622%.

Zone	Z act	Phi act	R act	X act	Assessed Qty.	Nom.	Dev.	Result
Z1 P	13,39 Ω	77,00 °	3,012 Ω	13,05 Ω	Z	13,43 Ω	-0,3207 %	Passed
Z2 P	20,08 Ω	77,00 °	4,518 Ω	19,57 Ω	Z	20,15 Ω	-0,3207 %	Passed
Z3 P	26,78 Ω	77,00 °	6,024 Ω	26,09 Ω	Z	26,86 Ω	-0,3207 %	Passed

Search Test: Fault Type L2-L3

Zone	Z act	Phi act	R act	X act	Assessed Qty.	Nom.	Dev.	Result
Z1 P	13,30 Ω	77,00 °	2,993 Ω	12,96 Ω	Z	13,43 Ω	-0,9622 %	Passed
Z2 P	20,08 Ω	77,00 °	4,518 Ω	19,57 Ω	Z	20,15 Ω	-0,3207 %	Passed
Z3 P	26,78 Ω	77,00 °	6,024 Ω	26,09 Ω	Z	26,86 Ω	-0,3207 %	Passed

Search Test: Fault Type L3-L1

Zone	Z act	Phi act	R act	X act	Assessed Qty.	Nom.	Dev.	Result
Z1 P	13,39 Ω	77,00 °	3,012 Ω	13,05 Ω	Z	13,43 Ω	-0,3207 %	Passed
Z2 P	20,08 Ω	77,00 °	4,518 Ω	19,57 Ω	Z	20,15 Ω	-0,3207 %	Passed
Z3 P	26,78 Ω	77,00 °	6,024 Ω	26,09 Ω	Z	26,86 Ω	-0,3207 %	Passed

Search Test: Fault Type L1-L2-L3

Zone	Z act	Phi act	R act	X act	Assessed Qty.	Nom.	Dev.	Result
Z1 P	13,39 Ω	77,00 °	3,012 Ω	13,05 Ω	Z	13,43 Ω	-0,3207 %	Passed
Z2 P	20,08 Ω	77,00 °	4,518 Ω	19,57 Ω	Z	20,15 Ω	-0,3207 %	Passed
Z3 P	26,78 Ω	77,00 °	6,024 Ω	26,09 Ω	Z	26,86 Ω	-0,3207 %	Passed

Gambar 4. 7 Form Hasil Uji Karakteristik Impedansi Zone 1 Phase to Phase

Waktu kerja atau t_{act} . Zone 1 untuk gangguan antar fasa dapat diketahui melalui hasil pengujian di bawah. Hasil pengujian zone 1 ditandai dengan t_{nom} sebesar 0.00 s dan impedansi dalam kisaran 13 Ω .

Check Test: Fault Type L1-L2

| Z |: 0,00 Ω Phi: 0,00 ° Angle: 77,00 ° Result: Passed
Length: 27,13 Ω %: 101,00 % % of: All zones

Z	Phi	t nom	t act.	Dev.	ITest	Result
1,091 Ω	77,00 °	0,00 s	31,60 ms	31,60 ms	500,0 mA	Passed
12,74 Ω	77,00 °	0,00 s	44,10 ms	44,10 ms	500,0 mA	Passed
14,12 Ω	77,00 °	600,0 ms	633,1 ms	5,517 %	500,0 mA	Passed
19,11 Ω	77,00 °	600,0 ms	634,3 ms	5,717 %	500,0 mA	Passed
21,18 Ω	77,00 °	1,000 s	1,032 s	3,16 %	500,0 mA	Passed
25,49 Ω	77,00 °	1,000 s	1,035 s	3,45 %	500,0 mA	Passed

Check Test: Fault Type L2-L3

| Z |: 0,00 Ω Phi: 0,00 ° Angle: 77,00 ° Result: Passed
Length: 27,13 Ω %: 101,00 % % of: All zones

Z	Phi	t nom	t act.	Dev.	ITest	Result
1,091 Ω	77,00 °	0,00 s	33,30 ms	33,30 ms	500,0 mA	Passed
12,74 Ω	77,00 °	0,00 s	44,10 ms	44,10 ms	500,0 mA	Passed
14,12 Ω	77,00 °	600,0 ms	633,0 ms	5,5 %	500,0 mA	Passed
19,11 Ω	77,00 °	600,0 ms	635,5 ms	5,917 %	500,0 mA	Passed
21,18 Ω	77,00 °	1,000 s	1,034 s	3,36 %	500,0 mA	Passed
25,49 Ω	77,00 °	1,000 s	1,036 s	3,55 %	500,0 mA	Passed

Gambar 4. 6 Form Hasil Uji Karakteristik Waktu Zone 1 Phase to Phase

Check Test: Fault Type L3-L1

| Z |: 0,00 Ω Phi: 0,00 ° Angle: 77,00 ° Result: Passed
 Length: 27,13 Ω %: 101,00 % % of: All zones

Z	Phi	t nom	t act.	Dev.	ITest	Result
1,091 Ω	77,00 °	0,00 s	29,00 ms	29,00 ms	500,0 mA	Passed
12,74 Ω	77,00 °	0,00 s	43,90 ms	43,90 ms	500,0 mA	Passed
14,12 Ω	77,00 °	600,0 ms	633,1 ms	5,517 %	500,0 mA	Passed
19,11 Ω	77,00 °	600,0 ms	633,7 ms	5,617 %	500,0 mA	Passed
21,18 Ω	77,00 °	1,000 s	1,034 s	3,38 %	500,0 mA	Passed
25,49 Ω	77,00 °	1,000 s	1,035 s	3,5 %	500,0 mA	Passed

Check Test: Fault Type L1-L2-L3

| Z |: 0,00 Ω Phi: 0,00 ° Angle: 77,00 ° Result: Passed
 Length: 27,13 Ω %: 101,00 % % of: All zones

Z	Phi	t nom	t act.	Dev.	ITest	Result
1,091 Ω	77,00 °	0,00 s	30,30 ms	30,30 ms	500,0 mA	Passed
12,74 Ω	77,00 °	0,00 s	42,80 ms	42,80 ms	500,0 mA	Passed
14,12 Ω	77,00 °	600,0 ms	633,8 ms	5,633 %	500,0 mA	Passed
19,11 Ω	77,00 °	600,0 ms	633,2 ms	5,533 %	500,0 mA	Passed
21,18 Ω	77,00 °	1,000 s	1,033 s	3,26 %	500,0 mA	Passed
25,49 Ω	77,00 °	1,000 s	1,035 s	3,5 %	500,0 mA	Passed

Gambar 4. 8 Form Hasil Uji Karakteristik Waktu Zone 1 Phase to Phase

Dapat diketahui dari hasil pengujian pada Gambar 4.6 dan 4.8, waktu kerja relai untuk zone 1 fasa *R to ground* (ditulis sebagai *L1-E*) sebesar 44,10 ms, *S to ground* (ditulis sebagai *L2-E*) sebesar 44,10 ms dan *T to ground* (ditulis sebagai *L3-E*) adalah sebesar 43,90 ms.

Meskipun pada *setting* waktu kerja relai untuk zone 1 adalah 0 s, tetapi waktu kerja 0 s sulit tercapai karena adanya tahanan kontak di sepanjang rangkaian sinyal *tripping* terutama kontak kabel dengan skun kabel dan kekencangan baut sehingga membuat waktu kerja aktual relai jarak dapat mempunyai waktu yang lebih lama dari pada waktu kerja *settingnya*.

Semua data hasil pengujian karakteristik impedansi dan waktu kerja zone 1 phase to phase dirangkum pada tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Karakteristik Impedansi dan Waktu Kerja Zone 1

Fasa	Nilai Setting			Nilai Hasil Uji			Deviasi	
	Z (Ω)	Sudut	t (s)	Z (Ω)	Sudut	t (s)	Z (%)	t (s)
Zone 1 R-S	13,43	77°	0	13,39	77°	0,044	0,3	0,04
Zone 1 S-T	13,43	77°	0	13,3	77°	0,044	0,3	0,04
Zone 1 T-R	13,43	77°	0	13,39	77°	0,043	0,3	0,04

Zone 1 R-G	13,43	77°	0	13,39	77°	0,045	0,3	0,05
Zone 1 S-G	13,43	77°	0	13,39	77°	0,046	0,3	0,05
Zone 1 T-G	13,43	77°	0	13,39	77°	0,047	0,3	0,05

3. Zone 2 Phase to Ground

Nilai Impedansi atau Z_{act} zone 2 untuk gangguan fasa ke tanah dapat diketahui melalui hasil pengujian sebagaimana Gambar 4.9.

Search Test: Fault Type L1-E

Zone	Z act	Phi act	R act	X act	Assessed Qty.	Nom.	Dev.	Result
Z1 G	13,39 Ω	77,00 °	3,012 Ω	13,05 Ω	Z	13,43 Ω	-0,3207 %	Passed
Z2 G	20,08 Ω	77,00 °	4,518 Ω	19,57 Ω	Z	20,15 Ω	-0,3207 %	Passed
Z3 G	26,78 Ω	77,00 °	6,024 Ω	26,09 Ω	Z	26,86 Ω	-0,3207 %	Passed

Search Test: Fault Type L2-E

Zone	Z act	Phi act	R act	X act	Assessed Qty.	Nom.	Dev.	Result
Z1 G	13,39 Ω	77,00 °	3,012 Ω	13,05 Ω	Z	13,43 Ω	-0,3207 %	Passed
Z2 G	20,08 Ω	77,00 °	4,518 Ω	19,57 Ω	Z	20,15 Ω	-0,3207 %	Passed
Z3 G	26,78 Ω	77,00 °	6,024 Ω	26,09 Ω	Z	26,86 Ω	-0,3207 %	Passed

Search Test: Fault Type L3-E

Zone	Z act	Phi act	R act	X act	Assessed Qty.	Nom.	Dev.	Result
Z1 G	13,39 Ω	77,00 °	3,012 Ω	13,05 Ω	Z	13,43 Ω	-0,3207 %	Passed
Z2 G	20,08 Ω	77,00 °	4,518 Ω	19,57 Ω	Z	20,15 Ω	-0,3207 %	Passed
Z3 G	26,78 Ω	77,00 °	6,024 Ω	26,09 Ω	Z	26,86 Ω	-0,3207 %	Passed

Gambar 4. 10 Form Hasil Uji Karakteristik Impedansi Zone 2 Phase to Ground

Check Test: Fault Type L1-E

|Z|: 0,00 Ω Phi: 0,00 ° Angle: 77,00 ° Result: Passed
Length: 27,13 Ω %: 101,00 % % of: All zones

Z	Phi	t nom	t act.	Dev.	ITest	Result
1,091 Ω	77,00 °	0,00 s	27,50 ms	27,50 ms	500,0 mA	Passed
12,74 Ω	77,00 °	0,00 s	45,80 ms	45,80 ms	500,0 mA	Passed
14,12 Ω	77,00 °	600,0 ms	633,1 ms	5,517 %	500,0 mA	Passed
19,11 Ω	77,00 °	600,0 ms	633,1 ms	5,517 %	500,0 mA	Passed
21,18 Ω	77,00 °	1,000 s	1,033 s	3,26 %	500,0 mA	Passed
25,49 Ω	77,00 °	1,000 s	1,035 s	3,5 %	500,0 mA	Passed

Gambar 4. 9 Form Hasil Uji Karakteristik Waktu Zone 2 R-Ground

Dapat diketahui dari hasil pengujian, karakteristik impedansi relai untuk zone 2 fasa R to ground (ditulis sebagai L1-E), S to ground (ditulis sebagai L2-E) dan T to ground (ditulis sebagai L3-E) adalah sebesar 20,08 Ω . Jika dari hasil perhitungan

pada sub-bab 4.1 impedansi nominal relai adalah $20,24 \Omega$, maka didapatkan persentase deviasi sebesar $0,3207\%$.

Check Test: Fault Type L2-E

| Z |: 0,00 Ω Phi: 0,00 ° Angle: 77,00 ° Result: Passed
Length: 27,13 Ω %: 101,00 % % of: All zones

Z	Phi	t nom	t act.	Dev.	I Test	Result
1,091 Ω	77,00 °	0,00 s	30,00 ms	30,00 ms	500,0 mA	Passed
12,74 Ω	77,00 °	0,00 s	46,90 ms	46,90 ms	500,0 mA	Passed
14,12 Ω	77,00 °	600,0 ms	630,5 ms	5,083 %	500,0 mA	Passed
19,11 Ω	77,00 °	600,0 ms	633,3 ms	5,55 %	500,0 mA	Passed
21,18 Ω	77,00 °	1,000 s	1,034 s	3,4 %	500,0 mA	Passed
25,49 Ω	77,00 °	1,000 s	1,034 s	3,37 %	500,0 mA	Passed

Check Test: Fault Type L3-E

| Z |: 0,00 Ω Phi: 0,00 ° Angle: 77,00 ° Result: Passed
Length: 27,13 Ω %: 101,00 % % of: All zones

Z	Phi	t nom	t act.	Dev.	I Test	Result
1,091 Ω	77,00 °	0,00 s	32,90 ms	32,90 ms	500,0 mA	Passed
12,74 Ω	77,00 °	0,00 s	47,40 ms	47,40 ms	500,0 mA	Passed
14,12 Ω	77,00 °	600,0 ms	629,8 ms	4,967 %	500,0 mA	Passed
19,11 Ω	77,00 °	600,0 ms	635,2 ms	5,867 %	500,0 mA	Passed
21,18 Ω	77,00 °	1,000 s	1,032 s	3,19 %	500,0 mA	Passed
25,49 Ω	77,00 °	1,000 s	1,032 s	3,22 %	500,0 mA	Passed

Gambar 4. 11 Form Hasil Uji Karakteristik Waktu *Zone 2* S-Ground dan T-Ground

Waktu kerja atau *t act. zone 2* untuk gangguan fasa ke tanah dapat diketahui melalui hasil pengujian di bawah. Hasil pengujian *zone 2* ditandai dengan *t nom* sebesar 600 ms dan impedansi dalam kisaran 20Ω .

Dapat diketahui dari hasil pengujian pada Gambar 4.10 dan 4.11, waktu kerja relai untuk *zone 2* fasa *R to ground* (ditulis sebagai *L1-E*) sebesar 633,1 ms, *S to ground* (ditulis sebagai *L2-E*) sebesar 633,3 ms dan *T to ground* (ditulis sebagai *L3-E*) adalah sebesar 635,2 ms. Didapatkan rata-rata persentase deviasi sebesar $5,5 \%$

Data hasil pengujian karakteristik impedansi dan waktu kerja *zone 2 phase to ground* dirangkum pada tabel 4.3.

4. Zone 2 Phase to Phase

Zone	Z act	Phi act	R act	X act	Assessed Qty.	Nom.	Dev.	Result
Z1 P	13,39 Ω	77,00 °	3,012 Ω	13,05 Ω	Z	13,43 Ω	-0,3207 %	Passed
Z2 P	20,08 Ω	77,00 °	4,518 Ω	19,57 Ω	Z	20,15 Ω	-0,3207 %	Passed
Z3 P	26,78 Ω	77,00 °	6,024 Ω	26,09 Ω	Z	26,86 Ω	-0,3207 %	Passed

Search Test: Fault Type L2-L3

Zone	Z act	Phi act	R act	X act	Assessed Qty.	Nom.	Dev.	Result
Z1 P	13,30 Ω	77,00 °	2,993 Ω	12,96 Ω	Z	13,43 Ω	-0,9622 %	Passed
Z2 P	20,08 Ω	77,00 °	4,518 Ω	19,57 Ω	Z	20,15 Ω	-0,3207 %	Passed
Z3 P	26,78 Ω	77,00 °	6,024 Ω	26,09 Ω	Z	26,86 Ω	-0,3207 %	Passed

Gambar 4. 12 Form Hasil Uji Karakteristik Impedansi *Zone 2 Phase to Phase*

Search Test: Fault Type L3-L1

Zone	Z act	Phi act	R act	X act	Assessed Qty.	Nom.	Dev.	Result
Z1 P	13,39 Ω	77,00 °	3,012 Ω	13,05 Ω	Z	13,43 Ω	-0,3207 %	Passed
Z2 P	20,08 Ω	77,00 °	4,518 Ω	19,57 Ω	Z	20,15 Ω	-0,3207 %	Passed
Z3 P	26,78 Ω	77,00 °	6,024 Ω	26,09 Ω	Z	26,86 Ω	-0,3207 %	Passed

Search Test: Fault Type L1-L2-L3

Zone	Z act	Phi act	R act	X act	Assessed Qty.	Nom.	Dev.	Result
Z1 P	13,39 Ω	77,00 °	3,012 Ω	13,05 Ω	Z	13,43 Ω	-0,3207 %	Passed
Z2 P	20,08 Ω	77,00 °	4,518 Ω	19,57 Ω	Z	20,15 Ω	-0,3207 %	Passed
Z3 P	26,78 Ω	77,00 °	6,024 Ω	26,09 Ω	Z	26,86 Ω	-0,3207 %	Passed

Gambar 4. 13 Form Hasil Uji Karakteristik Impedansi Zone 2 Phase to Phase

Nilai Impedansi atau Z_{act} zone 2 untuk gangguan antar fasa dapat diketahui melalui hasil pengujian pada Gambar 4.12 dan 4.13.

Dapat diketahui dari hasil pengujian pada Gambar 4.12 dan 4.13, karakteristik impedansi relai untuk zone 2 fasa R-S ($L1-L2$) sebesar 20,06 Ω , S- T ($L2-L3$) sebesar 20,06 Ω dan T-R ($L3-L1$) adalah sebesar 20,06 Ω . Didapatkan persentase deviasi sebesar 0,3207%.

Waktu kerja atau t_{act} zone 2 untuk gangguan antar fasa dapat diketahui melalui hasil pengujian di bawah. Hasil pengujian zone 2 ditandai dengan t_{nom} sebesar 600 ms dan impedansi dalam kisaran 20 Ω .

Check Test: Fault Type L1-L2

| Z | : 0,00 Ω Phi: 0,00 ° Angle: 77,00 ° Result: Passed
Length: 27,13 Ω %: 101,00 % % of: All zones

Z	Phi	t nom	t act.	Dev.	ITest	Result
1,091 Ω	77,00 °	0,00 s	31,60 ms	31,60 ms	500,0 mA	Passed
12,74 Ω	77,00 °	0,00 s	44,10 ms	44,10 ms	500,0 mA	Passed
14,12 Ω	77,00 °	600,0 ms	633,1 ms	5,517 %	500,0 mA	Passed
19,11 Ω	77,00 °	600,0 ms	634,3 ms	5,717 %	500,0 mA	Passed
21,18 Ω	77,00 °	1,000 s	1,032 s	3,16 %	500,0 mA	Passed
25,49 Ω	77,00 °	1,000 s	1,035 s	3,45 %	500,0 mA	Passed

Check Test: Fault Type L2-L3

| Z | : 0,00 Ω Phi: 0,00 ° Angle: 77,00 ° Result: Passed
Length: 27,13 Ω %: 101,00 % % of: All zones

Z	Phi	t nom	t act.	Dev.	ITest	Result
1,091 Ω	77,00 °	0,00 s	33,30 ms	33,30 ms	500,0 mA	Passed
12,74 Ω	77,00 °	0,00 s	44,10 ms	44,10 ms	500,0 mA	Passed
14,12 Ω	77,00 °	600,0 ms	633,0 ms	5,5 %	500,0 mA	Passed
19,11 Ω	77,00 °	600,0 ms	635,5 ms	5,917 %	500,0 mA	Passed
21,18 Ω	77,00 °	1,000 s	1,034 s	3,36 %	500,0 mA	Passed
25,49 Ω	77,00 °	1,000 s	1,036 s	3,55 %	500,0 mA	Passed

Check Test: Fault Type L3-L1

| Z | : 0,00 Ω Phi: 0,00 ° Angle: 77,00 ° Result: Passed
Length: 27,13 Ω %: 101,00 % % of: All zones

Z	Phi	t nom	t act.	Dev.	ITest	Result
1,091 Ω	77,00 °	0,00 s	29,00 ms	29,00 ms	500,0 mA	Passed
12,74 Ω	77,00 °	0,00 s	43,90 ms	43,90 ms	500,0 mA	Passed
14,12 Ω	77,00 °	600,0 ms	633,1 ms	5,517 %	500,0 mA	Passed
19,11 Ω	77,00 °	600,0 ms	633,7 ms	5,617 %	500,0 mA	Passed
21,18 Ω	77,00 °	1,000 s	1,034 s	3,38 %	500,0 mA	Passed
25,49 Ω	77,00 °	1,000 s	1,035 s	3,5 %	500,0 mA	Passed

Gambar 4. 14 Form Hasil Uji Karakteristik Waktu Zone 2 Phase to Phase

Check Test: Fault Type L1-L2-L3						
Z :	0,00 Ω	Phi:	0,00 °	Angle:	77,00 °	Result: Passed
Length:	27,13 Ω	%:	101,00 %	% of:	All zones	
Z	Phi	t nom	t act.	Dev.	I Test	Result
1,091 Ω	77,00 °	0,00 s	30,30 ms	30,30 ms	500,0 mA	Passed
12,74 Ω	77,00 °	0,00 s	42,80 ms	42,80 ms	500,0 mA	Passed
14,12 Ω	77,00 °	600,0 ms	633,8 ms	5,633 %	500,0 mA	Passed
19,11 Ω	77,00 °	600,0 ms	633,2 ms	5,533 %	500,0 mA	Passed
21,18 Ω	77,00 °	1,000 s	1,033 s	3,26 %	500,0 mA	Passed
25,49 Ω	77,00 °	1,000 s	1,035 s	3,5 %	500,0 mA	Passed

Gambar 4. 15 Form Hasil Uji Karakteristik Waktu Zone 2 Phase to Phase

Dapat diketahui dari hasil pengujian yang ditampilkan Gambar 4.14 dan 4.15, waktu kerja relai untuk *zone 2* fasa R-S (*L1-L2*) sebesar 634,3 ms, S-T (*L2-L3*) sebesar 635,5 ms dan T-R (*L3-L1*) adalah sebesar 633,7 ms. Didapatkan rata-rata persentase deviasi sebesar 5,75 %. Data hasil pengujian karakteristik impedansi dan waktu kerja *zone 2* dirangkum pada tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Hasil Pengujian Karakteristik Impedansi dan Waktu Kerja Zone 2

Fasa	Nilai <i>Setting</i>			Nilai Hasil Uji			Deviasi	
	Z (Ω)	Sudut	t (s)	Z (Ω)	Sudut	t (s)	Z (%)	t (%)
Zone 2 R-S	20,15	77°	0,6	20,08	77°	0,634	0,35	6
Zone 2 S-T	20,15	77°	0,6	20,08	77°	0,635	0,35	6
Zone 2 T-R	20,15	77°	0,6	20,08	77°	0,633	0,35	6
Zone 2R-G	20,15	77°	0,6	20,08	77°	0,633	0,35	6
Zone 2 S-G	20,15	77°	0,6	20,08	77°	0,633	0,35	6
Zone 2T-G	20,15	77°	0,6	20,08	77°	0,635	0,35	6

5. Zone 3 Phase to Ground

Nilai Impedansi atau *Z act.* zone 3 untuk gangguan fasa ke tanah dapat diketahui melalui hasil pengujian di bawah.

Search Test: Fault Type L1-E

Zone	Z act	Phi act	R act	X act	Assessed Qty.	Nom.	Dev.	Result
Z1 G	13,39 Ω	77,00 °	3,012 Ω	13,05 Ω	Z	13,43 Ω	-0,3207 %	Passed
Z2 G	20,08 Ω	77,00 °	4,518 Ω	19,57 Ω	Z	20,15 Ω	-0,3207 %	Passed
Z3 G	26,78 Ω	77,00 °	6,024 Ω	26,09 Ω	Z	26,86 Ω	-0,3207 %	Passed

Search Test: Fault Type L2-E

Zone	Z act	Phi act	R act	X act	Assessed Qty.	Nom.	Dev.	Result
Z1 G	13,39 Ω	77,00 °	3,012 Ω	13,05 Ω	Z	13,43 Ω	-0,3207 %	Passed
Z2 G	20,08 Ω	77,00 °	4,518 Ω	19,57 Ω	Z	20,15 Ω	-0,3207 %	Passed
Z3 G	26,78 Ω	77,00 °	6,024 Ω	26,09 Ω	Z	26,86 Ω	-0,3207 %	Passed

Search Test: Fault Type L3-E

Zone	Z act	Phi act	R act	X act	Assessed Qty.	Nom.	Dev.	Result
Z1 G	13,39 Ω	77,00 °	3,012 Ω	13,05 Ω	Z	13,43 Ω	-0,3207 %	Passed
Z2 G	20,08 Ω	77,00 °	4,518 Ω	19,57 Ω	Z	20,15 Ω	-0,3207 %	Passed
Z3 G	26,78 Ω	77,00 °	6,024 Ω	26,09 Ω	Z	26,86 Ω	-0,3207 %	Passed

Gambar 4. 16 Form Hasil Uji Karakteristik Impedansi Zone 3 Phase to Ground

Dapat diketahui dari hasil pengujian, karakteristik impedansi relai untuk zone 3 fasa R to ground (L1-E), S to ground (L2-E) dan T to ground (L3-E) adalah sebesar 26,78 Ω . Jika dari hasil perhitungan pada sub-bab 4.1 impedansi nominal relai adalah 26,86 Ω , maka didapatkan persentase deviasi sebesar 0,3207%.

Waktu kerja atau t_{act} zone 3 untuk gangguan fasa ke tanah dapat diketahui melalui hasil pengujian di bawah. Hasil pengujian zone 3 ditandai dengan t_{nom} sebesar 1 s dan impedansi dalam kisaran 26 Ω .

Test Results

Check Test: Fault Type L1-E

| Z |: 0,00 Ω Phi: 0,00 ° Angle: 77,00 ° Result: Passed
Length: 27,13 Ω %: 101,00 % % of: All zones

Z	Phi	t nom	t act.	Dev.	I Test	Result
1,091 Ω	77,00 °	0,00 s	27,50 ms	27,50 ms	500,0 mA	Passed
12,74 Ω	77,00 °	0,00 s	45,80 ms	45,80 ms	500,0 mA	Passed
14,12 Ω	77,00 °	600,0 ms	633,1 ms	5,517 %	500,0 mA	Passed
19,11 Ω	77,00 °	600,0 ms	633,1 ms	5,517 %	500,0 mA	Passed
21,18 Ω	77,00 °	1,000 s	1,033 s	3,26 %	500,0 mA	Passed
25,49 Ω	77,00 °	1,000 s	1,035 s	3,5 %	500,0 mA	Passed

Gambar 4. 17 Form Hasil Uji Karakteristik Waktu Zone 3 Phase to Ground

Check Test: Fault Type L2-E

| Z |: 0,00 Ω Phi: 0,00 ° Angle: 77,00 ° Result: Passed
 Length: 27,13 Ω %: 101,00 % % of: All zones

Z	Phi	t nom	t act.	Dev.	ITest	Result
1,091 Ω	77,00 °	0,00 s	30,00 ms	30,00 ms	500,0 mA	Passed
12,74 Ω	77,00 °	0,00 s	46,90 ms	46,90 ms	500,0 mA	Passed
14,12 Ω	77,00 °	600,0 ms	630,5 ms	5,083 %	500,0 mA	Passed
19,11 Ω	77,00 °	600,0 ms	633,3 ms	5,55 %	500,0 mA	Passed
21,18 Ω	77,00 °	1,000 s	1,034 s	3,4 %	500,0 mA	Passed
25,49 Ω	77,00 °	1,000 s	1,034 s	3,37 %	500,0 mA	Passed

Check Test: Fault Type L3-E

| Z |: 0,00 Ω Phi: 0,00 ° Angle: 77,00 ° Result: Passed
 Length: 27,13 Ω %: 101,00 % % of: All zones

Z	Phi	t nom	t act.	Dev.	ITest	Result
1,091 Ω	77,00 °	0,00 s	32,90 ms	32,90 ms	500,0 mA	Passed
12,74 Ω	77,00 °	0,00 s	47,40 ms	47,40 ms	500,0 mA	Passed
14,12 Ω	77,00 °	600,0 ms	629,8 ms	4,967 %	500,0 mA	Passed
19,11 Ω	77,00 °	600,0 ms	635,2 ms	5,867 %	500,0 mA	Passed
21,18 Ω	77,00 °	1,000 s	1,032 s	3,19 %	500,0 mA	Passed
25,49 Ω	77,00 °	1,000 s	1,032 s	3,22 %	500,0 mA	Passed

Gambar 4. 18 Form Hasil Uji Karakteristik Waktu Zone 3 Phase to Ground

Dapat diketahui dari hasil pengujian pada Gambar 4.17 dan 4.18, waktu kerja relai untuk zone 3 fasa R to ground (L1-E) sebesar 1,035 s, S to ground (L2-E) sebesar 1,034 s dan T to ground (L3-E) adalah sebesar 1,032 s. Didapatkan rata-rata persentase deviasi sebesar 3,36 %. Data hasil pengujian karakteristik impedansi dan waktu kerja zone 3 phase to ground dirangkum pada tabel 4.4.

6. Zone 3 Phase to Phase

Nilai Impedansi atau Z act. zone 3 untuk gangguan antar fasa dapat diketahui melalui hasil pengujian pada Gambar 4.19 dan 4.20.

Zone	Z act	Phi act	R act	X act	Assessed Qty.	Nom.	Dev.	Result
Z1 P	13,39 Ω	77,00 °	3,012 Ω	13,05 Ω	Z	13,43 Ω	-0,3207 %	Passed
Z2 P	20,08 Ω	77,00 °	4,518 Ω	19,57 Ω	Z	20,15 Ω	-0,3207 %	Passed
Z3 P	26,78 Ω	77,00 °	6,024 Ω	26,09 Ω	Z	26,86 Ω	-0,3207 %	Passed

Search Test: Fault Type L2-L3

Zone	Z act	Phi act	R act	X act	Assessed Qty.	Nom.	Dev.	Result
Z1 P	13,30 Ω	77,00 °	2,993 Ω	12,96 Ω	Z	13,43 Ω	-0,9622 %	Passed
Z2 P	20,08 Ω	77,00 °	4,518 Ω	19,57 Ω	Z	20,15 Ω	-0,3207 %	Passed
Z3 P	26,78 Ω	77,00 °	6,024 Ω	26,09 Ω	Z	26,86 Ω	-0,3207 %	Passed

Gambar 4. 19 Form Hasil Uji Karakteristik Impedansi Zone 3 Phase to Phase

Search Test: Fault Type L3-L1

Zone	Z act	Phi act	R act	X act	Assessed Qty.	Nom.	Dev.	Result
Z1 P	13,39 Ω	77,00 °	3,012 Ω	13,05 Ω	Z	13,43 Ω	-0,3207 %	Passed
Z2 P	20,08 Ω	77,00 °	4,518 Ω	19,57 Ω	Z	20,15 Ω	-0,3207 %	Passed
Z3 P	26,78 Ω	77,00 °	6,024 Ω	26,09 Ω	Z	26,86 Ω	-0,3207 %	Passed

Search Test: Fault Type L1-L2-L3

Zone	Z act	Phi act	R act	X act	Assessed Qty.	Nom.	Dev.	Result
Z1 P	13,39 Ω	77,00 °	3,012 Ω	13,05 Ω	Z	13,43 Ω	-0,3207 %	Passed
Z2 P	20,08 Ω	77,00 °	4,518 Ω	19,57 Ω	Z	20,15 Ω	-0,3207 %	Passed
Z3 P	26,78 Ω	77,00 °	6,024 Ω	26,09 Ω	Z	26,86 Ω	-0,3207 %	Passed

Gambar 4. 20 Form Hasil Uji Karakteristik Impedansi Zone 3 Phase to Phase

Dapat diketahui dari hasil pengujian, karakteristik impedansi relai untuk *zone 3* fasa R-S (*L1-L2*) sebesar 26,78 Ω , S-T (*L2-L3*) sebesar 26,78 Ω dan T-R (*L3-L1*) adalah sebesar 26,78 Ω . Didapatkan persentase deviasi sebesar 0,3207%.

Waktu kerja atau *t act.* *zone 3* untuk gangguan antar fasa dapat diketahui melalui hasil pengujian di bawah. Hasil pengujian *zone 3* ditandai dengan *t nom* sebesar 1 s dan impedansi dalam kisaran 26 Ω .

Check Test: Fault Type L1-L2

| Z |: 0,00 Ω Phi: 0,00 ° Angle: 77,00 ° Result: Passed
Length: 27,13 Ω %: 101,00 % % of: All zones

Z	Phi	t nom	t act.	Dev.	I Test	Result
1,091 Ω	77,00 °	0,00 s	31,60 ms	31,60 ms	500,0 mA	Passed
12,74 Ω	77,00 °	0,00 s	44,10 ms	44,10 ms	500,0 mA	Passed
14,12 Ω	77,00 °	600,0 ms	633,1 ms	5,517 %	500,0 mA	Passed
19,11 Ω	77,00 °	600,0 ms	634,3 ms	5,717 %	500,0 mA	Passed
21,18 Ω	77,00 °	1,000 s	1,032 s	3,16 %	500,0 mA	Passed
25,49 Ω	77,00 °	1,000 s	1,035 s	3,45 %	500,0 mA	Passed

Check Test: Fault Type L2-L3

| Z |: 0,00 Ω Phi: 0,00 ° Angle: 77,00 ° Result: Passed
Length: 27,13 Ω %: 101,00 % % of: All zones

Z	Phi	t nom	t act.	Dev.	I Test	Result
1,091 Ω	77,00 °	0,00 s	33,30 ms	33,30 ms	500,0 mA	Passed
12,74 Ω	77,00 °	0,00 s	44,10 ms	44,10 ms	500,0 mA	Passed
14,12 Ω	77,00 °	600,0 ms	633,0 ms	5,5 %	500,0 mA	Passed
19,11 Ω	77,00 °	600,0 ms	635,5 ms	5,917 %	500,0 mA	Passed
21,18 Ω	77,00 °	1,000 s	1,034 s	3,36 %	500,0 mA	Passed
25,49 Ω	77,00 °	1,000 s	1,036 s	3,55 %	500,0 mA	Passed

Check Test: Fault Type L3-L1

| Z |: 0,00 Ω Phi: 0,00 ° Angle: 77,00 ° Result: Passed
Length: 27,13 Ω %: 101,00 % % of: All zones

Z	Phi	t nom	t act.	Dev.	I Test	Result
1,091 Ω	77,00 °	0,00 s	29,00 ms	29,00 ms	500,0 mA	Passed
12,74 Ω	77,00 °	0,00 s	43,90 ms	43,90 ms	500,0 mA	Passed
14,12 Ω	77,00 °	600,0 ms	633,1 ms	5,517 %	500,0 mA	Passed
19,11 Ω	77,00 °	600,0 ms	633,7 ms	5,617 %	500,0 mA	Passed
21,18 Ω	77,00 °	1,000 s	1,034 s	3,38 %	500,0 mA	Passed
25,49 Ω	77,00 °	1,000 s	1,035 s	3,5 %	500,0 mA	Passed

Check Test: Fault Type L1-L2-L3

| Z |: 0,00 Ω Phi: 0,00 ° Angle: 77,00 ° Result: Passed
Length: 27,13 Ω %: 101,00 % % of: All zones

Z	Phi	t nom	t act.	Dev.	I Test	Result
1,091 Ω	77,00 °	0,00 s	30,30 ms	30,30 ms	500,0 mA	Passed
12,74 Ω	77,00 °	0,00 s	42,80 ms	42,80 ms	500,0 mA	Passed
14,12 Ω	77,00 °	600,0 ms	633,8 ms	5,633 %	500,0 mA	Passed
19,11 Ω	77,00 °	600,0 ms	633,2 ms	5,533 %	500,0 mA	Passed
21,18 Ω	77,00 °	1,000 s	1,033 s	3,26 %	500,0 mA	Passed
25,49 Ω	77,00 °	1,000 s	1,035 s	3,5 %	500,0 mA	Passed

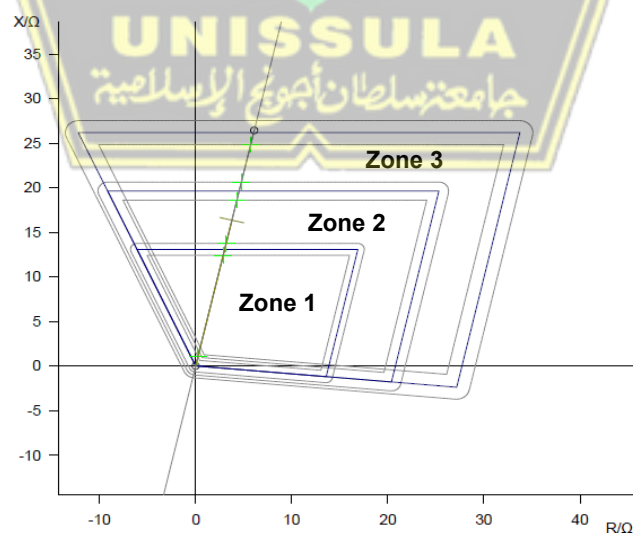
Gambar 4. 21 Form Hasil Uji Karakteristik Waktu Zone 3

Dapat diketahui dari hasil pengujian pada Gambar 4.13, waktu kerja relai untuk zone 2 fasa R-S (*ditulis sebagai L1-L2*) sebesar 1,035 s, S-T (*ditulis sebagai L2-L3*) sebesar 1,035 s dan T-R (*ditulis sebagai L3-L1*) adalah sebesar 1,035 s. Didapatkan rata-rata persentase deviasi sebesar 3,5 %. Data hasil pengujian karakteristik impedansi dan waktu kerja Zone 3 dirangkum pada tabel 4.4.

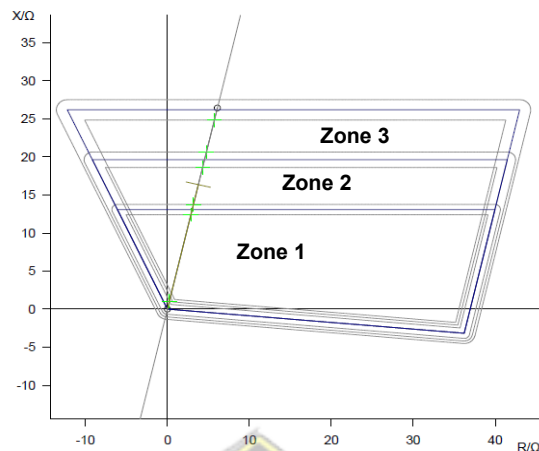
Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Karakteristik Impedansi dan Waktu Kerja Zone 3

Fasa	Nilai <i>Setting</i>			Nilai Hasil Uji			Deviasi	
	Z (Ω)	Sudut	t (s)	Z (Ω)	Sudut	t (s)	Z (%)	t (%)
Zone 3 R-S	26,86	77°	1	26,78	77°	1,035	0,29	3
Zone 3 S-T	26,86	77°	1	26,78	77°	1,036	0,29	4
Zone 3 T-R	26,86	77°	1	26,78	77°	1,035	0,29	3
Zone 3 R-G	26,86	77°	1	26,78	77°	1,035	0,29	3
Zone 3 S-G	26,86	77°	1	26,78	77°	1,034	0,29	3
Zone 3 T-G	26,86	77°	1	26,78	77°	1,032	0,29	3

Kurva karakteristik yang diketahui setelah pengujian karakteristik ditampilkan pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2.



Gambar 4. 22 Kurva karakteristik Phase-Phase



Gambar 4. 23 Kurva Karakteristik Phase-Ground

Kurva karakteristik impedansi adalah kurva berbentuk quadrilateral yang merupakan hasil penggambaran relai setelah disetting nilai impedansinya. Kurva ini dapat membantu ketika pengujian fungsi dengan menentukan jenis gangguan.

Dari Gambar 4.22 dan 4.23 diketahui karakteristik dari masing-masing zone di mana zone 1 mempunyai batas pada 13 Ohm, zone 2 mempunyai batas atas pada 20 Ohm dan zone 3 mempunyai batas atas 26 Ohm.

4.4 Analisis Unjuk Kerja Relai pada Kondisi Gangguan Permanen

Pengujian fungsi menggunakan software Omicron Test Universe *State Sequencer* untuk mendapat berbagai kondisi gangguan dengan serangkaian *state* sehingga menyerupai kondisi yang sebenarnya. *State* atau “kondisi” yang disimulasikan melalui *software* antara lain *prefault*, *fault* (gangguan), *deadtime* dan *reclaim time* sehingga menyerupai kondisi gangguan yang sebenarnya.

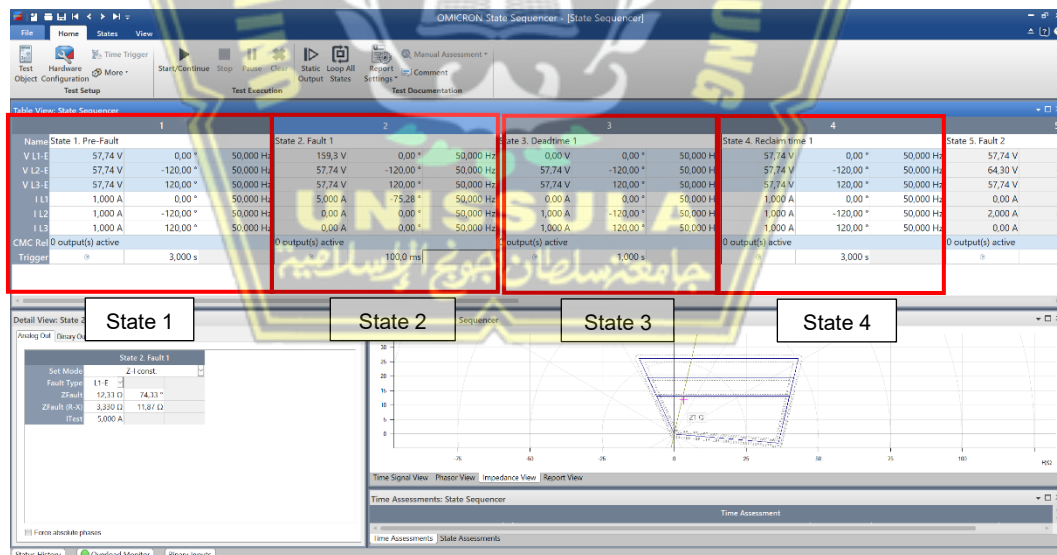
1. Kondisi dua gangguan berturut-turut zona 1 *phase-ground* pada fasa yang sama.

Kondisi dua gangguan *phase-ground* berturut-turut pada fasa yang sama dikondisikan dengan fasa R dengan *state* sebagai berikut.

Tabel 4. 5. Urutan State Gangguan Doubleshoot Phase-Ground

No	State / Kondisi	Arus	Tegangan	Operating Time (s)
1	Pre-Fault	Normal	Normal	3
2	Fault 1	R rise-up, ST 0	R rise-up, ST normal	0,15
3	Dead time 2	R 0, ST normal	R drop, ST normal	1
4	Reclaim Time 1	Normal	Normal	3
5	Fault 2	R rise-up, ST 0	R rise-up, ST normal	0,15
6	Dead time 2	RST 0	RST 0	30
7	Reclaim Time 2	Normal	Normal	25

Tampilan pengujian ditampilkan pada Gambar 4.24



Gambar 4. 24 Urutan State Gangguan Doubleshoot Satu Fasa pada State Sequencer

State 1. Pre-Fault digunakan untuk mensimulasikan kondisi normal sebelum gangguan terjadi. Di mana arus, tegangan dan sudut berada pada nilai nominal dan seimbang.

Untuk besaran tegangan, tegangan nominal sistem antar fasa adalah 150 kV. Jika rasio CVT pada Line 2 Sangatta-Maloy adalah 150000:100, maka dalam bentuk sekunder besar tegangan antar fasa (V_{line}) adalah 100 V. Untuk pengujian, alat uji menggunakan besaran tegangan tiga fasa. Maka dari itu besar tegangan yang diinput pada alat uji dapat dihitung sebagai berikut:

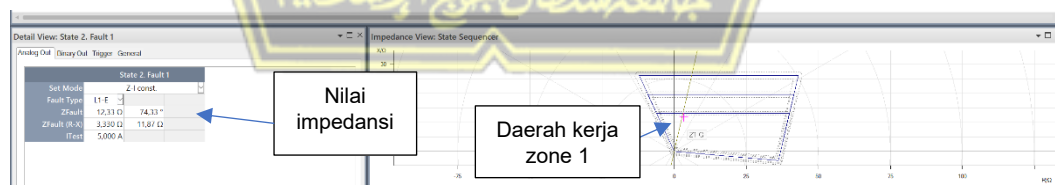
$$V_{fase} = \frac{V_{line}}{\sqrt{3}} = \frac{100 \text{ V}}{\sqrt{3}} \approx 57,74 \text{ V}$$

Dengan demikian, besar tegangan yang diinput pada alat uji adalah 57,74 V pada masing-masing fasa.

Besaran arus menggunakan nilai nominal sebesar 1200 A pada sisi primer. Jika diketahui rasio CT pada Line 2 Sangatta-Maloy adalah 1200:1. Untuk pengujian, alat uji menggunakan nilai 1 A. Dengan demikian, besar arus yang diinput pada alat uji adalah 1 A pada masing-masing fasa. Untuk besaran sudut, tegangan antar fasa berbeda sudut satu sama lain sebesar 120° . Trigger time adalah waktu lamanya kondisi normal terjadi dan dapat diinput sesuai preferensi penguji.

State 2. Fault 1 digunakan untuk mensimulasikan kondisi gangguan. Di mana dalam kondisi ini salah satu mengalami perubahan impedansi sehingga dideteksi oleh relai sebagai gangguan.

Pada alat uji gangguan diinput pada zone 1 dan Fault Type dipilih L1-E untuk kondisi gangguan fasa R seperti pada gambar 4.25.



Gambar 4. 25 Set untuk State fault 1

Zone 1 dipilih agar relai memerintahkan *autoreclose* setelah mendeteksi gangguan zone 1. Setelah zone 1 dipilih, alat uji secara otomatis menentukan besaran impedansi untuk pengujian. Nilai impedansi tersebut adalah hasil perhitungan dari reaktansi dan resistansi sesuai titik koordinat yang telah dipilih.

Dari titik koordinat tersebut, diketahui resistansi sebesar 3,33 Ohm dan reaktansi sebesar 11,87 Ohm maka impedansi dapat diketahui sebagai berikut

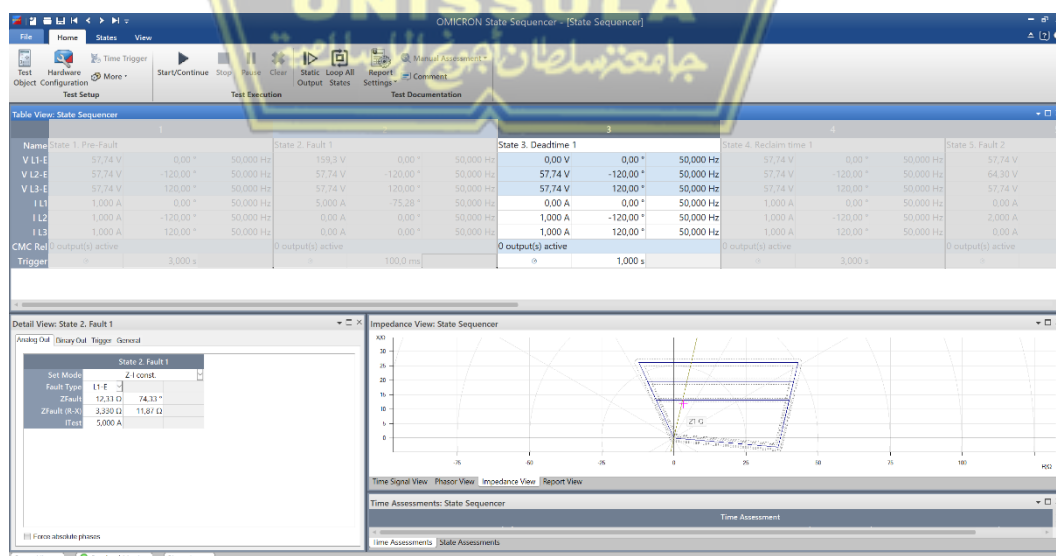
$$\begin{aligned}
 |Z| &= \sqrt{R + jX^2} \\
 &= \sqrt{3,33^2 + 11,87^2} \\
 &= \sqrt{11,09 + 140,88} \\
 &= \sqrt{151,97} \\
 &= 12,31 \text{ Ohm}
 \end{aligned}$$

Untuk sudut fasa ketika terjadi gangguan dapat diketahui dari

$$\begin{aligned}
 \Theta &= \tan^{-1}\left(\frac{3,3303}{11,87}\right) \\
 &= \tan^{-1}(3,565) \\
 &= 74,43^\circ
 \end{aligned}$$

Trigger time adalah waktu lamanya kondisi gangguan terjadi. Pada gangguan zone 1, waktu gangguan tidak boleh melebihi waktu gangguan zone 2. Maka dari itu, pada alat uji diinput waktu gangguan 100 ms.

State 3. Deadtime 1 adalah kondisi di mana PMT dalam kondisi trip sesaat sebelum menutup kembali atau *reclose*. Pada gangguan satu fasa, PMT yang mengalami deadtime hanya PMT fasa yang terganggu, dalam hal ini PMT fasa R.

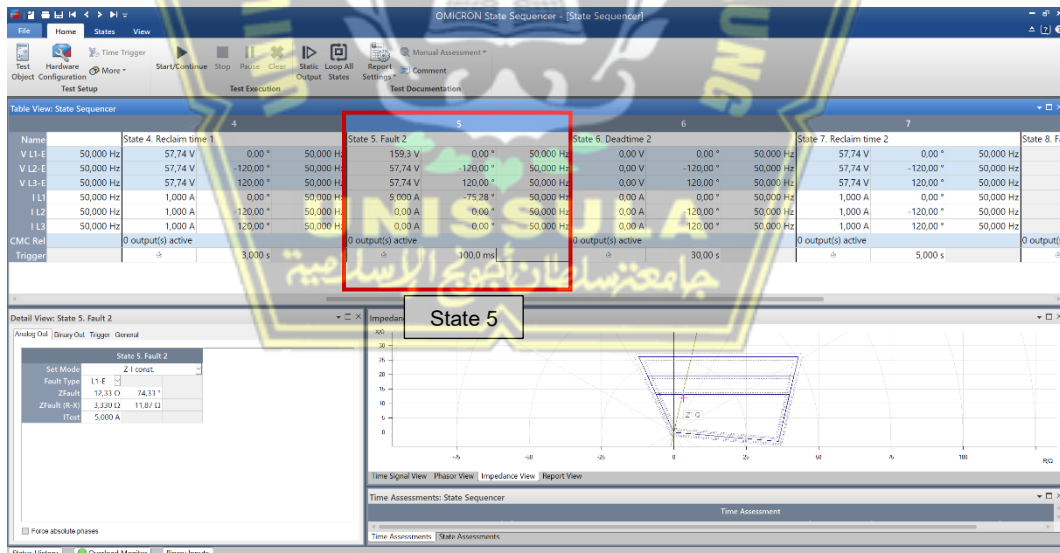


Gambar 4. 26 State deadtime 1

Pada saat deadtime, arus dan tegangan pada fasa yang terganggu adalah nol karena PMT pada fasa yang terganggu dalam kondisi *Open* atau *trip*. Sedangkan PMT pada fasa yang normal, besaran arus dan tegangan adalah sama seperti state 1 atau dalam kondisi normal. *Trigger time* dalam state ini adalah waktu deadtime sesuai *setting* yaitu 1 s atau satu detik.

State 4. Reclaim Time 1 kondisi di mana PMT *reclose*. Di mana arus dan tegangan kembali normal seperti sebelum terjadi gangguan. Trigger time diinput tiga detik untuk memberikan kondisi ada gangguan lagi sebelum reclaim time selesai.

State 5. Fault 2 digunakan untuk mensimulasikan kondisi gangguan kedua. Di mana dalam kondisi ini salah satu mengalami perubahan impedansi sehingga akan dideteksi oleh relai sebagai gangguan. Pada alat uji gangguan diinput pada zone 1 dan Fault Type dipilih L1-E untuk kondisi gangguan fasa R seperti gangguan pertama.



Gambar 4. 27 State Fault Kedua

Zone 1 dipilih agar relai memerintahkan *autoreclose* setelah mendeteksi gangguan zone 1. Setelah zone 1 dipilih, alat uji secara otomatis menentukan besaran impedansi untuk pengujian. Nilai impedansi tersebut adalah hasil

perhitungan dari reaktansi dan resistansi sesuai titik koordinat yang telah dipilih.

Dari titik koordinat tersebut, diketahui resistansi sebesar 3,33 Ohm dan reaktansi sebesar 11,87 Ohm maka impedansi dapat diketahui sebagai berikut

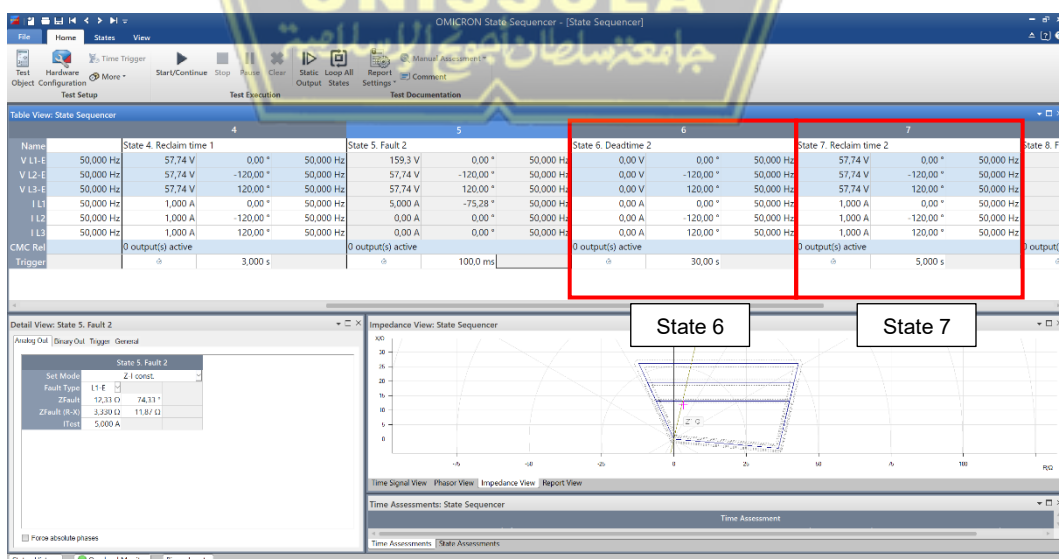
$$\begin{aligned}
 |Z| &= \sqrt{R + jX^2} \\
 &= \sqrt{3,33^2 + 11,87^2} \\
 &= \sqrt{11,09 + 140,88} \\
 &= \sqrt{151,97} = 12,31 \text{ Ohm}
 \end{aligned}$$

Untuk sudut fasa ketika terjadi gangguan dapat diketahui dari

$$\begin{aligned}
 \Theta &= \tan^{-1}\left(\frac{3,3303}{11,87}\right) \\
 &= \tan^{-1}(3,565) \\
 &= 74,43^\circ
 \end{aligned}$$

Trigger time adalah waktu lamanya kondisi gangguan terjadi. Pada gangguan zone 1, waktu gangguan tidak boleh melebihi waktu gangguan zone 2. Maka dari itu, pada alat uji diinput waktu gangguan 100 ms.

State 6. Deadtime 2 adalah kondisi di mana PMT trip kembali setelah gangguan kedua. Berbeda dengan deadtime 1, deadtime 2 pada *doubleshot* mengenai ketiga fasa PMT dikarenakan *deadtime* yang panjang.



Gambar 4. 28 State 6. deadtime kedua dan reclaim time kedua

Deadtime 30 detik dimaksudkan untuk *clearing* gangguan atau memastikan bahwa arus gangguan sudah habis. Dikarenakan *deadtime* 2 memiliki waktu 30 detik, apabila hanya dikenakan pada satu fasa akan menimbulkan *lockout discrepancy*. Maka pada *deadtime* 2, fasa yang tidak terganggu juga di-tripkan. Sehingga arus dan tegangan pada semua fasa adalah nol.

State 7. Reclaim Time 2 kondisi di mana PMT *reclose*. Di mana arus dan tegangan kembali normal seperti sebelum terjadi gangguan. Pada *state* ini, jumlah maksimal *autoreclose* telah terpenuhi dan *counter reclose* akan memulai *cycle* berikutnya.

Respon relai yang diharapkan adalah relai memerintahkan PMT untuk *autoreclose* satu fasa pada fasa R setelah gangguan pertama kemudian *autoreclose* satu fasa pada fasa R setelah gangguan kedua.

Hasil simulasi dipaparkan pada tabel 4.6.

Tabel 4. 6 Hasil Simulasi Gangguan Double Satu Fasa

Gangguan	Zone1 Fasa R dilanjutkan dengan Zone 1 fasa R (<i>Doubleshot</i>)
<i>Autoreclose</i> 1	1Ph Sukses
<i>Autoreclose</i> 2	3Ph Sukses
Lockout	Tidak
CB Healthy	Normal

Dari pengujian didapatkan relai dapat bekerja sesuai dengan yang diharapkan yaitu dapat memerintahkan PMT untuk *reclose* setelah gangguan pertama dan *reclose* kembali setelah gangguan kedua tanpa mengerjakan *lockout*. PMT juga tidak mengalami kondisi anomali setelah melakukan *reclose* sebanyak dua kali ditandai status CB Healthy yang normal.

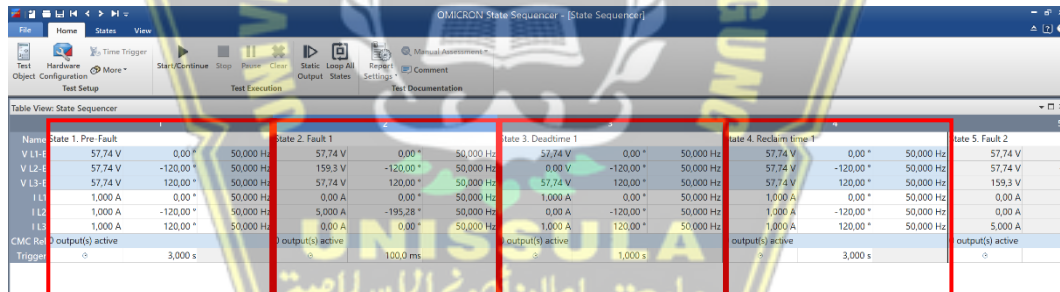
2. **Kondisi dua gangguan berturut-turut zona 1 *phase-ground* pada fasa yang berbeda (*doubleshot evolving*).**

Kondisi dua gangguan berturut-turut zona 1 *phase-ground* pada fasa yang berbeda (*doubleshot evolving*) dikondisikan dengan fasa S dan T dengan *state* seperti pada tabel 4.7.

Tabel 4. 7 Urutan State Gangguan Doubleshoot Satu Fasa Berbeda

No	State / Kondisi	Arus	Tegangan	Operating Time (s)
1	Pre-Fault	Normal	Normal	3
2	Fault 1	<i>S rise-up</i> , RT 0	<i>S rise-up</i> , RT normal	0,15
3	Dead time 2	S 0, RT normal	S drop, RT normal	1
4	Reclaim Time 1	Normal	Normal	3
5	Fault 2	<i>T rise-up</i> , RS 0	<i>T rise-up</i> , RS normal	0,15
6	Dead time 2	RST 0	RST 0	30
7	Reclaim Time 2	Normal	Normal	25

Tampilan pengujian ditampilkan pada gambar 4.29



State	Name	V L1-E	V L2-E	V L3-E	I L1	I L2	I L3	CMC Ref	Triggers
State 1	Pre-Fault	57,74 V	57,74 V	57,74 V	1,000 A	1,000 A	1,000 A	output(s) active	3,000 s
State 2	Fault 1	57,74 V	159,3 V	57,74 V	0,00 A	5,000 A	0,00 A	output(s) active	100,0 ms
State 3	Deadtime 1	57,74 V	0,00 V	57,74 V	1,000 A	0,00 A	1,000 A	output(s) active	1,000 s
State 4	Reclaim time 1	57,74 V	57,74 V	57,74 V	1,000 A	1,000 A	1,000 A	output(s) active	3,000 s
State 5	Fault 2	57,74 V	159,3 V	57,74 V	0,00 A	5,000 A	0,00 A	output(s) active	100,0 ms

State 1
State 2
State 3
State 4

Gambar 4. 29 Urutan state kondisi dua gangguan zona 1 satu fasa

State 1. Pre-Fault digunakan untuk mensimulasikan kondisi normal sebelum gangguan terjadi. Di mana arus, tegangan dan sudut berada pada nilai nominal dan seimbang.

Untuk besaran tegangan, tegangan nominal sistem antar fasa adalah 150 kV. Jika rasio CVT pada Line 2 Sangatta-Maloy adalah 150000:100, maka dalam bentuk sekunder besar tegangan antar fasa (V_{line}) adalah 100 V. Untuk pengujian, alat uji menggunakan besaran tegangan tiga fasa. Maka dari itu besar tegangan yang diinput pada alat uji dapat dihitung sebagai berikut:

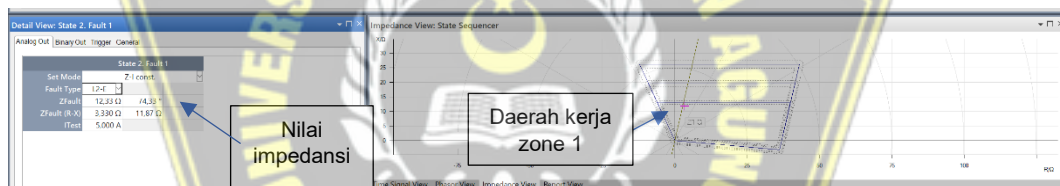
$$V_{fase} = \frac{V_{line}}{\sqrt{3}} = \frac{100 \text{ V}}{\sqrt{3}} \approx 57,74 \text{ V}$$

Dengan demikian, besar tegangan yang diinput pada alat uji adalah 57,74 V pada masing-masing fasa.

Besaran arus menggunakan nilai nominal sebesar 1200 A pada sisi primer. Jika diketahui rasio CT pada Line 2 Sangatta-Maloy adalah 1200:1. Untuk pengujian, alat uji menggunakan nilai 1 A. Dengan demikian, besar arus yang diinput pada alat uji adalah 1 A pada masing-masing fasa. Untuk besaran sudut, tegangan antar fasa berbeda sudut satu sama lain sebesar 120°.

Trigger time adalah waktu lamanya kondisi normal terjadi dan dapat diinput sesuai preferensi penguji.

State 2. Fault 1 digunakan untuk mensimulasikan kondisi gangguan. Di mana dalam kondisi ini salah satu fasa, dalam pengujian ini fasa S (L2-E), mengalami perubahan impedansi sehingga dideteksi oleh relai sebagai gangguan.



Gambar 4. 30 State 2. Fault 1

Zone 1 dipilih agar relai memerintahkan *autoreclose* setelah mendeteksi gangguan zone 1. Setelah zone 1 dipilih, alat uji secara otomatis menentukan besaran impedansi untuk pengujian. Nilai impedansi tersebut adalah hasil perhitungan dari reaktansi dan resistansi sesuai titik koordinat yang telah dipilih.

Dari titik koordinat tersebut, diketahui resistansi sebesar 3,33 Ohm dan reaktansi sebesar 11,87 Ohm maka impedansi dapat diketahui sebagai berikut

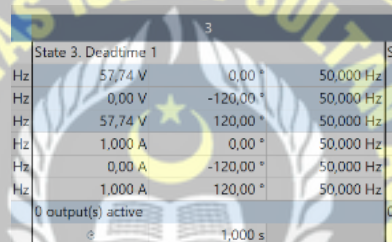
$$\begin{aligned}
 |Z| &= \sqrt{R + jX^2} \\
 &= \sqrt{3,33^2 + 11,87^2} \\
 &= \sqrt{11,09 + 140,88} \\
 &= \sqrt{151,97} \\
 &= 12,31 \text{ Ohm}
 \end{aligned}$$

Untuk sudut fasa gangguan dapat diketahui dari

$$\begin{aligned}\Theta &= \tan^{-1}\left(\frac{11,87}{3,33}\right) \\ &= \tan^{-1}(3,565) \\ &= 74,43^\circ\end{aligned}$$

Trigger time adalah waktu lamanya kondisi gangguan terjadi. Pada gangguan zone 1, waktu gangguan tidak boleh melebihi waktu gangguan zone 2. Maka dari itu, pada alat uji diinput waktu gangguan 100 ms.

State 3. Deadtime 1 adalah kondisi di mana PMT dalam kondisi trip sesaat sebelum menutup kembali atau *reclose*. Pada gangguan satu fasa, PMT yang mengalami deadtime hanya PMT fasa yang terganggu, dalam hal ini PMT fasa S.



Hz	V	A	°
57,74 V	0,00 °	50,000 Hz	
0,00 V	-120,00 °	50,000 Hz	
57,74 V	120,00 °	50,000 Hz	
1,000 A	0,00 °	50,000 Hz	
0,00 A	-120,00 °	50,000 Hz	
1,000 A	120,00 °	50,000 Hz	
0 output(s) active			
		1,000 s	

Gambar 4. 31 set untuk state deadtime

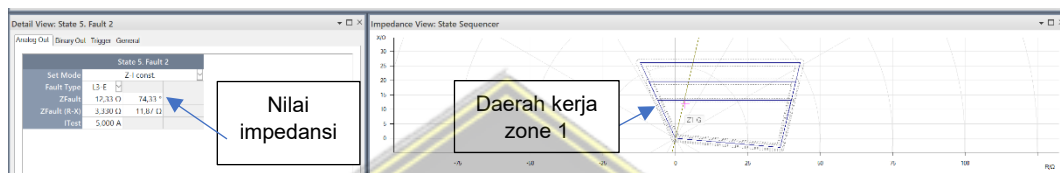
Pada saat deadtime, arus dan tegangan pada fasa yang terganggu atau fasa S adalah nol karena PMT pada fasa yang terganggu atau fasa S dalam kondisi *Open* atau *trip*. Sedangkan PMT pada fasa yang normal atau fasa R dan T, besaran arus dan tegangan adalah sama seperti state 1 atau dalam kondisi normal. *Trigger time* dalam state ini adalah waktu deadtime sesuai *setting* yaitu 1 s atau satu detik.

State 4. Reclaim Time 1 kondisi di mana PMT *reclose*. Di mana arus dan tegangan kembali normal seperti sebelum terjadi gangguan. *Trigger time* diinput tiga detik untuk memberikan kondisi ada gangguan lagi sebelum reclaim time selesai.

State 5. Fault 2 digunakan untuk mensimulasikan kondisi gangguan kedua. Di mana dalam kondisi ini salah satu mengalami perubahan impedansi sehingga akan dideteksi oleh relai sebagai gangguan. Pada alat uji gangguan

diinput pada zone 1 dan Fault Type dipilih L3-E untuk kondisi gangguan fasa T.

Zone 1 dipilih agar relai memerintahkan *autoreclose* setelah mendeteksi gangguan zone 1. Setelah zone 1 dipilih, alat uji secara otomatis menentukan besaran impedansi untuk pengujian. Nilai impedansi tersebut adalah hasil perhitungan dari reaktansi dan resistansi sesuai titik koordinat yang telah dipilih.



Gambar 4. 32 State Fault kedua

Dari titik koordinat tersebut, diketahui resistansi sebesar 3,33 Ohm dan reaktansi sebesar 11,87 Ohm maka impedansi dapat diketahui sebagai berikut

$$\begin{aligned}
 |Z| &= \sqrt{R^2 + X^2} \\
 &= \sqrt{3,33^2 + 11,87^2} \\
 &= \sqrt{11,09 + 140,88} \\
 &= \sqrt{151,97} = 12,31 \text{ Ohm}
 \end{aligned}$$

Untuk sudut fasa ketika terjadi gangguan dapat diketahui dari

$$\begin{aligned}
 \Theta &= \tan^{-1}\left(\frac{11,87}{3,33}\right) \\
 &= \tan^{-1}(3,565) = 74,33^\circ
 \end{aligned}$$

Trigger time adalah waktu lamanya kondisi gangguan terjadi. Pada gangguan zone 1, waktu gangguan tidak boleh melebihi waktu gangguan zone 2. Maka dari itu, pada alat uji diinput waktu gangguan 100 ms.

State 6. Deadtime 2 adalah kondisi di mana PMT trip kembali setelah gangguan kedua. Berbeda dengan deadtime 1, deadtime 2 pada *doubleshot* mengenai ketiga fasa PMT dikarenakan *deadtime* yang panjang. *Deadtime* 30 detik dimaksudkan untuk *clearing* gangguan atau memastikan bahwa arus gangguan sudah habis.

Name	State 4: Reclaim time 1	State 5: Fault 2	State 6: Deadtime 2	State 7: Reclaim time 2
V L1-E	50,000 Hz	57.74 V	0.00 *	50,000 Hz
V L2-E	50,000 Hz	57.74 V	-120.00 *	50,000 Hz
V L3-E	50,000 Hz	57.74 V	120.00 *	50,000 Hz
I L1	50,000 Hz	1,000 A	0.00 *	50,000 Hz
I L2	50,000 Hz	1,000 A	-120.00 *	50,000 Hz
I L3	50,000 Hz	1,000 A	120.00 *	50,000 Hz
CMC Rel	0 output(s) active	0 output(s) active	0 output(s) active	0 output(s) active
Trigger	3,000 s	100.0 ms	30.00 s	25.00 s

Gambar 4. 33 State deadtime kedua

Dikarenakan deadtime 2 memiliki waktu 30 detik, apabila hanya dikenakan pada satu fasa akan menimbulkan *lockout discrepancy*. Maka pada deadtime 2, fasa yang tidak terganggu atau fasa R-S juga di-*trip*-kan. Sehingga arus dan tegangan pada semua fasa adalah nol.

State 7. Reclaim Time 2 kondisi di mana PMT *reclose*. Di mana arus dan tegangan kembali normal seperti sebelum terjadi gangguan. Pada *state* ini, jumlah maksimal *autoreclose* telah terpenuhi dan *counter reclose* akan memulai *cycle* berikutnya.

Respon relai yang diharapkan adalah relai memerintahkan PMT untuk *autoreclose* satu fasa pada fasa S setelah gangguan pertama kemudian *autoreclose* tiga fasa setelah gangguan kedua. Hasil simulasi dipaparkan pada tabel 4.8.

Tabel 4. 8 Gangguan *Doubleshot* Satu Fasa Berbeda (Evolving)

Gangguan	Zone1 Fasa S dilanjutkan dengan Zone 1 Fasa T (<i>Doubleshot</i>)
<i>Autoreclose</i> 1	1Ph Sukses
<i>Autoreclose</i> 2	3Ph Sukses
Lockout	Tidak
CB Healthy	Normal

Dari pengujian didapatkan relai dapat bekerja sesuai dengan yang diharapkan yaitu dapat memerintahkan PMT untuk reclose setelah gangguan pertama dan reclose kembali setelah gangguan kedua tanpa mengerjakan lockout. PMT juga tidak mengalami kondisi anomali setelah melakukan reclose sebanyak dua kali ditandai status CB Healthy yang normal.

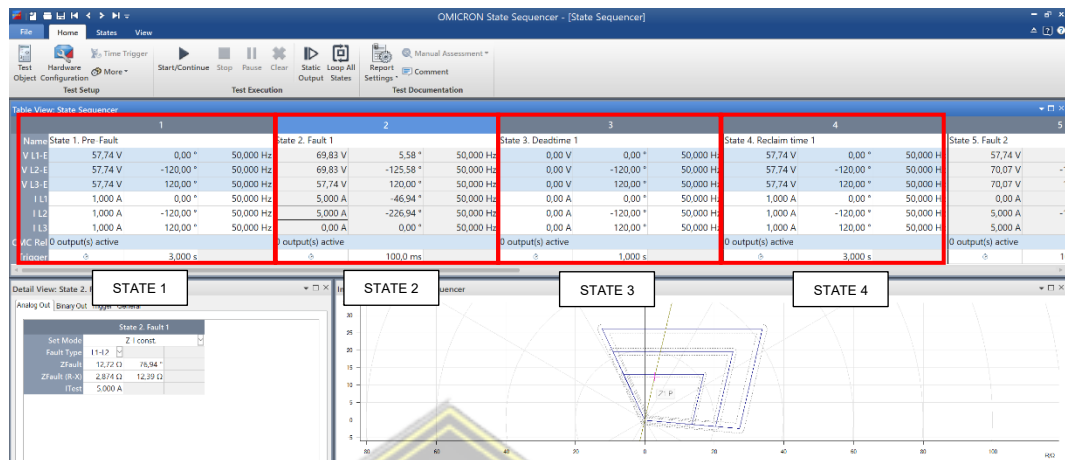
3. Kondisi dua gangguan berturut-turut zona 1 *phase-phase* pada fasa yang berbeda.

Kondisi dua gangguan phase-phase berturut-turut pada fasa yang berbeda dikondisikan dengan fasa R-S untuk gangguan pertama dan S-T untuk gangguan kedua dengan *state* sebagaimana tabel 4.9

Tabel 4. 9 Urutan State Gangguan Doubleshoot Dua Fasa

No	State / Kondisi	Arus	Tegangan	Operating Time (s)
1	Pre-Fault	Normal	Normal	3
2	Fault 1	RS rise-up, T 0	RS rise-up, T 0	0,15
3	Dead time 2	RST 0	RST 0	1
4	Reclaim Time 1	Normal	Normal	3
5	Fault 2	ST rise-up, R 0	ST rise-up, R 0	0,15
6	Dead time 2	RST 0	RST 0	30
7	Reclaim Time 2	Normal	Normal	25

Tampilan pengujian ditampilkan pada gambar 4.34



Gambar 4. 34 Urutan kondisi dua gangguan dua fasa zona 1

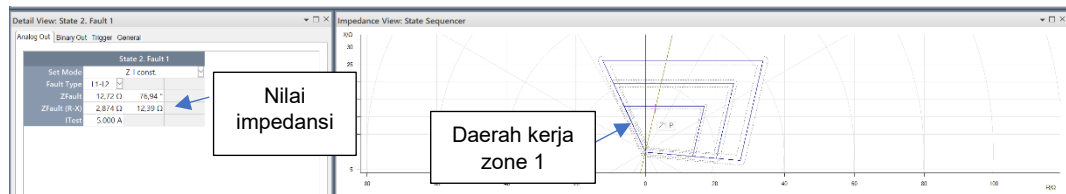
State 1. Pre-Fault digunakan untuk mensimulasikan kondisi normal sebelum gangguan terjadi. Di mana arus, tegangan dan sudut berada pada nilai nominal dan seimbang.

Untuk besaran tegangan, tegangan nominal sistem antar fasa adalah 150 kV. Jika rasio CVT pada Line 2 Sangatta-Maloy adalah 150000:100, maka dalam bentuk sekunder besar tegangan antar fasa (V_{line}) adalah 100 V. Untuk pengujian, alat uji menggunakan besaran tegangan tiga fasa. Maka dari itu besar tegangan yang diinput pada alat uji dapat dihitung sebagai berikut:

$$V_{fase} = \frac{V_{line}}{\sqrt{3}} = \frac{100 \text{ V}}{\sqrt{3}} \approx 57,74 \text{ V}$$

Dengan demikian, besar tegangan yang diinput pada alat uji adalah 57,74 V pada masing-masing fasa. Besaran arus menggunakan nilai nominal sebesar 1200 A pada sisi primer. Jika diketahui rasio CT pada Line 2 Sangatta-Maloy adalah 1200:1. Untuk pengujian, alat uji menggunakan nilai 1 A. Dengan demikian, besar arus yang diinput pada alat uji adalah 1 A pada masing-masing fasa. Untuk besaran sudut, tegangan antar fasa berbeda sudut satu sama lain sebesar 120°. Trigger time adalah waktu lamanya kondisi normal terjadi dan dapat diinput sesuai preferensi penguji.

State 2. Fault 1 digunakan untuk mensimulasikan kondisi gangguan. Di mana dalam kondisi ini dua fasa, dalam pengujian ini fasa R-S (L1-L2), mengalami perubahan impedansi sehingga dideteksi oleh relai sebagai gangguan.



Gambar 4. 35 State Fault pertama

Zone 1 dipilih agar relai memerintahkan *autoreclose* setelah mendeteksi gangguan zone 1. Setelah zone 1 dipilih, alat uji secara otomatis menentukan besaran impedansi untuk pengujian. Nilai impedansi tersebut adalah hasil perhitungan dari reaktansi dan resistansi sesuai titik koordinat yang telah dipilih.

Dari titik koordinat tersebut, diketahui resistansi sebesar 2,874 Ohm dan reaktansi sebesar 12,39 Ohm maka impedansi dapat diketahui sebagai berikut

$$\begin{aligned}
 |Z| &= \sqrt{R^2 + X^2} \\
 &= \sqrt{2,874^2 + 12,39^2} \\
 &= \sqrt{8,26 + 153,64} \\
 &= \sqrt{161,90} \\
 &= 12,73 \text{ Ohm}
 \end{aligned}$$

Untuk sudut fasa gangguan dapat diketahui dari

$$\begin{aligned}
 \Theta &= \tan^{-1}\left(\frac{12,39}{2,874}\right) \\
 &= \tan^{-1}(4,31) \\
 &= 76,9^\circ
 \end{aligned}$$

Trigger time adalah waktu lamanya kondisi gangguan terjadi. Pada gangguan zone 1, waktu gangguan tidak boleh melebihi waktu gangguan zone 2. Maka dari itu, pada alat uji diinput waktu gangguan 100 ms.

State 3. Deadtime 1 adalah kondisi di mana PMT dalam kondisi trip sesaat sebelum menutup kembali atau *reclose*. Pada gangguan antar fasa, PMT yang

mengalami trip adalah PMT semua fasa. Hal tersebut dilakukan untuk menghindari sistem ditopang oleh hanya dengan satu fasa karena dapat mengakibatkan arus transien sehingga dibaca oleh sistem proteksi sebagai

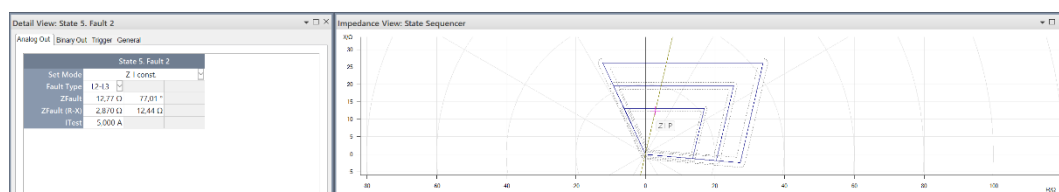
3		
State 3. Deadtime 1		
0,00 V	0,00 °	50,000 Hz
0,00 V	-120,00 °	50,000 Hz
0,00 V	120,00 °	50,000 Hz
0,00 A	0,00 °	50,000 Hz
0,00 A	-120,00 °	50,000 Hz
0,00 A	120,00 °	50,000 Hz
0 output(s) active		
		1,000 s

Gambar 4. 36 State Deadtime

gangguan. Dengan demikian arus dan tegangan pada semua fasa adalah nol. *Trigger time* dalam state ini adalah waktu deadtime sesuai *setting* yaitu 1 s atau satu detik.

State 4. Reclaim Time 1 kondisi di mana PMT *reclose*. Di mana arus dan tegangan kembali normal seperti sebelum terjadi gangguan. *Trigger time* diinput tiga detik untuk memberikan kondisi ada gangguan lagi sebelum reclaim time selesai.

State 5. Fault 2 digunakan untuk mensimulasikan kondisi gangguan kedua. Di mana dalam kondisi ini salah satu mengalami perubahan impedansi sehingga akan dideteksi oleh relai sebagai gangguan. Pada alat uji gangguan diinput pada zone 1 dan Fault Type dipilih L2-L3 untuk kondisi gangguan fasa S-T.



Gambar 4. 37 State Fault 2

Zone 1 dipilih agar relai memerintahkan *autoreclose* setelah mendeteksi gangguan zone 1. Setelah zone 1 dipilih, alat uji secara otomatis menentukan

besaran impedansi untuk pengujian. Nilai impedansi tersebut adalah hasil perhitungan dari reaktansi dan resistansi sesuai titik koordinat yang telah dipilih.

Zone 1 dipilih agar relai memerintahkan *autoreclose* setelah mendeteksi gangguan zone 1. Setelah zone 1 dipilih, alat uji secara otomatis menentukan besaran impedansi untuk pengujian. Nilai impedansi tersebut adalah hasil perhitungan dari reaktansi dan resistansi sesuai titik koordinat yang telah dipilih.

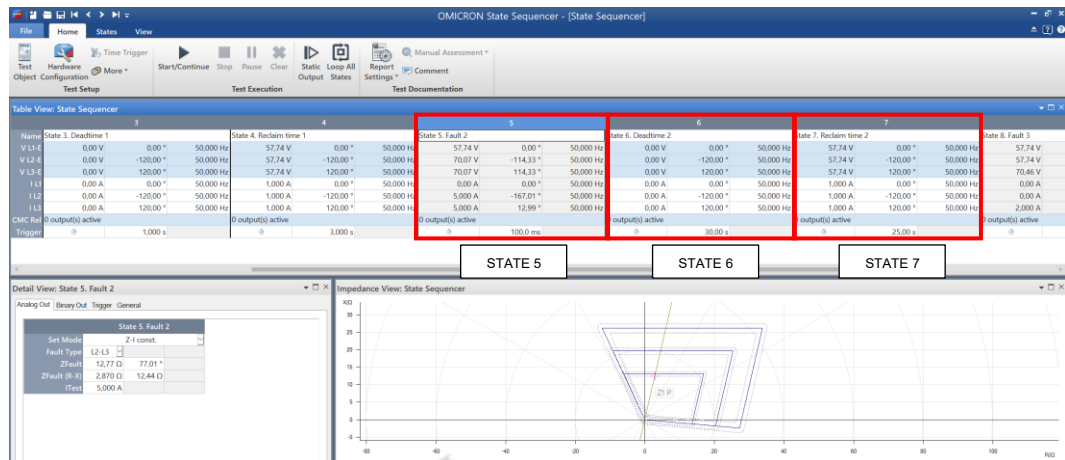
Dari titik koordinat tersebut, diketahui resistansi sebesar 2,874 Ohm dan reaktansi sebesar 12,39 Ohm maka impedansi dapat diketahui sebagai berikut

$$\begin{aligned} |Z| &= \sqrt{R^2 + X^2} \\ &= \sqrt{2,87^2 + 12,44^2} \\ &= 12,77 \text{ Ohm} \end{aligned}$$

Untuk sudut fasa gangguan dapat diketahui dari

$$\begin{aligned} \Theta &= \tan^{-1}\left(\frac{12,44}{2,875}\right) \\ &= \tan^{-1}(4,33) \\ &= 77,1^\circ \end{aligned}$$

Trigger time adalah waktu lamanya kondisi gangguan terjadi. Pada gangguan zone 1, waktu gangguan tidak boleh melebihi waktu gangguan zone 2. Maka dari itu, pada alat uji diinput waktu gangguan 100 ms.



Gambar 4. 38 State 5, 6, dan 7

State 6. Deadtime 2 adalah kondisi di mana PMT trip kembali setelah gangguan kedua. *Deadtime* 30 detik dimaksudkan untuk *clearing* gangguan atau memastikan bahwa arus gangguan sudah habis. Sehingga arus dan tegangan pada semua fasa adalah nol.

State 7. Reclaim Time 2 kondisi di mana PMT *reclose*. Di mana arus dan tegangan kembali normal seperti sebelum terjadi gangguan. Pada *state* ini, jumlah maksimal *autoreclose* telah terpenuhi dan *counter reclose* akan memulai *cycle* berikutnya.

Respon relai yang diharapkan adalah relai memerintahkan PMT untuk *autoreclose* tiga fasa setelah gangguan pertama kemudian *autoreclose* tiga fasa setelah gangguan kedua. Hasil simulasi dipaparkan pada tabel 4.11.

Tabel 4. 10 Gangguan *Doubleshot* Dua Fasa

Gangguan	Zone1 Fasa RS dilanjutkan dengan Zone1 Fasa ST (<i>Doubleshot</i> Evolving)
<i>Autoreclose</i> 1	3Ph Sukses
<i>Autoreclose</i> 2	3Ph Sukses
Lockout	Tidak
CB Healthy	Normal
Justifikasi	Sesuai

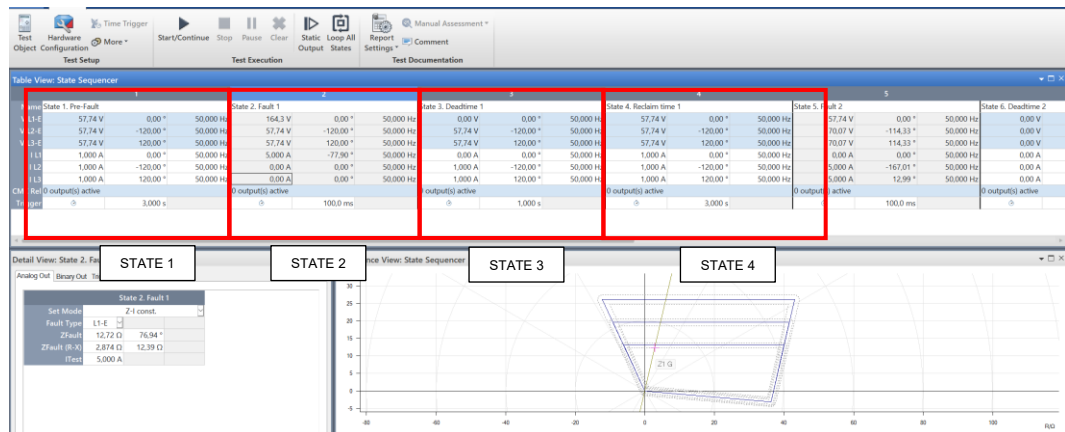
Dari pengujian didapatkan relai dapat bekerja sesuai dengan yang diharapkan yaitu dapat memerintahkan PMT untuk reclose 3 fasa setelah gangguan pertama dan reclose 3 fasa setelah gangguan kedua tanpa mengerjakan lockout. PMT juga tidak mengalami kondisi anomali setelah melakukan reclose sebanyak dua kali ditandai dengan status CB Healthy yang normal.

4. **Kondisi gangguan zona 1 *phase-ground* lalu dilanjutkan gangguan *phase-phase*.**

Kondisi gangguan zona 1 *phase-ground* lalu dilanjutkan gangguan *phase-phase* dikondisikan gangguan fasa R untuk gangguan pertama kemudian gangguan fasa S-T untuk gangguan kedua dengan state sebagai berikut.

Tabel 4. 11 Urutan State Gangguan Doubleshoot *phase-ground* kemudian *phase-phase* (Evolving)

No	State / Kondisi	Arus	Tegangan	Operating Time (s)
1	Pre-Fault	Normal	Normal	3
2	Fault 1	R rise-up, ST 0	R rise-up, ST 0	0,15
3	Dead time 2	R 0 ST normal	R ST normal	1
4	Reclaim Time 1	Normal	Normal	3
5	Fault 2	ST rise-up, R 0	ST rise-up, R 0	0,15
6	Dead time 2	RST 0	RST 0	30
7	Reclaim Time 2	Normal	Normal	25



Gambar 4. 39 . Kondisi gangguan zona 1 satu fasa lalu dilanjutkan gangguan dua fasa

State 1. Pre-Fault digunakan untuk mensimulasikan kondisi normal sebelum gangguan terjadi. Di mana arus, tegangan dan sudut berada pada nilai nominal dan seimbang.

Untuk besaran tegangan, tegangan nominal sistem antar fasa adalah 150 kV. Jika rasio CVT pada Line 2 Sangatta-Maloy adalah 150000:100, maka dalam bentuk sekunder besar tegangan antar fasa (V_{line}) adalah 100 V. Untuk pengujian, alat uji menggunakan besaran tegangan tiga fasa. Maka dari itu besar tegangan yang diinput pada alat uji dapat dihitung sebagai berikut:

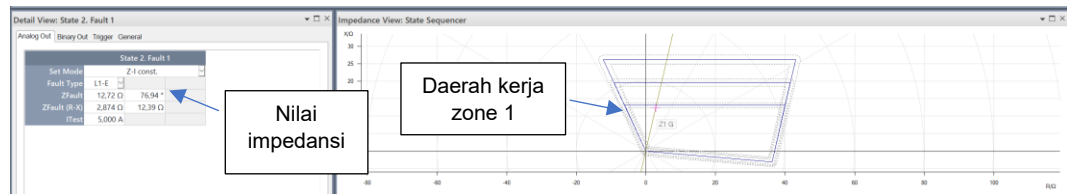
$$V_{fase} = \frac{V_{line}}{\sqrt{3}} = \frac{100 \text{ V}}{\sqrt{3}} \approx 57,74 \text{ V}$$

Dengan demikian, besar tegangan yang diinput pada alat uji adalah 57,74 V pada masing-masing fasa. Besaran arus menggunakan nilai nominal sebesar 1200 A pada sisi primer. Jika diketahui rasio CT pada Line 2 Sangatta-Maloy adalah 1200:1. Untuk pengujian, alat uji menggunakan nilai 1 A. Dengan demikian, besar arus yang diinput pada alat uji adalah 1 A pada masing-masing fasa. Untuk besaran sudut, tegangan antar fasa berbeda sudut satu sama lain sebesar 120° .

Trigger time adalah waktu lamanya kondisi normal terjadi dan dapat diinput sesuai preferensi penguji.

State 2. Fault 1 digunakan untuk mensimulasikan kondisi gangguan. Di mana dalam kondisi ini dua fasa, dalam pengujian ini fasa R-S (L1-L2),

mengalami perubahan impedansi sehingga dideteksi oleh relai sebagai gangguan.



Gambar 4. 40 State Fault

Zone 1 dipilih agar relai memerintahkan *autoreclose* setelah mendeteksi gangguan zone 1. Setelah zone 1 dipilih, alat uji secara otomatis menentukan besaran impedansi untuk pengujian. Nilai impedansi tersebut adalah hasil perhitungan dari reaktansi dan resistansi sesuai titik koordinat yang telah dipilih.

Dari titik koordinat tersebut, diketahui resistansi sebesar 2,874 Ohm dan reaktansi sebesar 12,39 Ohm maka impedansi dapat diketahui sebagai berikut

$$\begin{aligned}
 |Z| &= \sqrt{R^2 + X^2} \\
 &= \sqrt{2,874^2 + 12,39^2} \\
 &= \sqrt{8,26 + 153,64} \\
 &= \sqrt{161,90} \\
 &= 12,72 \text{ Ohm}
 \end{aligned}$$

Untuk sudut fasa gangguan dapat diketahui dari

$$\begin{aligned}
 \Theta &= \tan^{-1}\left(\frac{12,39}{2,875}\right) \\
 &= \tan^{-1}(4,31) \\
 &= 76,9^\circ
 \end{aligned}$$

Trigger time adalah waktu lamanya kondisi gangguan terjadi. Pada gangguan zone 1, waktu gangguan tidak boleh melebihi waktu gangguan zone 2. Maka dari itu, pada alat uji diinput waktu gangguan 100 ms.

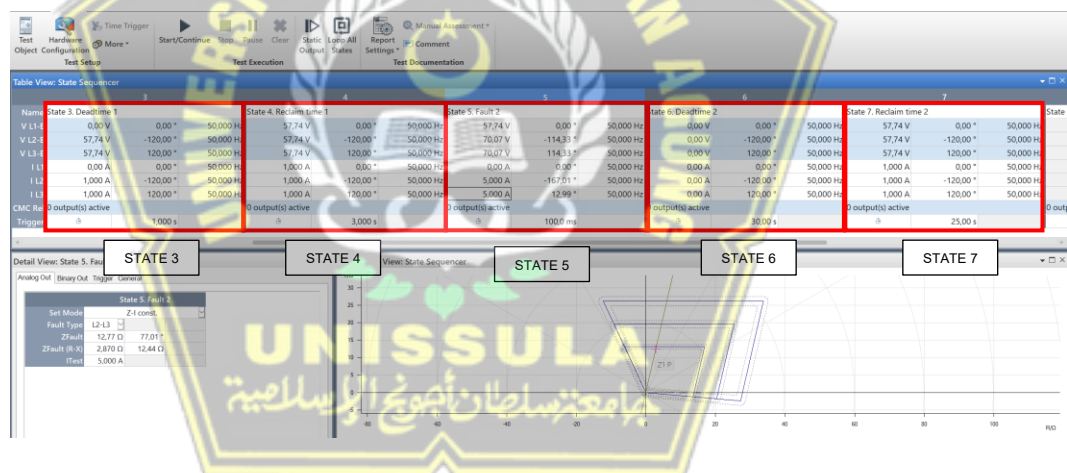
State 3. Deadtime 1 adalah kondisi di mana PMT dalam kondisi trip sesaat sebelum menutup kembali atau *reclose*. Pada gangguan satu fasa, PMT yang

mengalami deadtime hanya PMT fasa yang terganggu, dalam hal ini PMT fasa R.

Pada saat deadtime, arus dan tegangan pada fasa yang terganggu adalah nol karena PMT pada fasa yang terganggu dalam kondisi *Open* atau *trip*. Sedangkan PMT pada fasa yang normal, besaran arus dan tegangan adalah sama seperti state 1 atau dalam kondisi normal.

Trigger time dalam state ini adalah waktu deadtime sesuai *setting* yaitu 1 s atau satu detik.

State 4. Reclaim Time 1 kondisi di mana PMT *reclose*. Di mana arus dan tegangan kembali normal seperti sebelum terjadi gangguan. Trigger time diinput tiga detik untuk memberikan kondisi ada gangguan lagi sebelum reclaim time selesai.



Gambar 4. 41 Kondisi gangguan zona 1 satu fasa lalu dilanjutkan gangguan dua fasa

State 5. Fault 2 digunakan untuk mensimulasikan kondisi gangguan kedua. Di mana dalam kondisi ini salah satu mengalami perubahan impedansi sehingga akan dideteksi oleh relai sebagai gangguan.

Pada alat uji gangguan diinput pada zone 1 dan Fault Type dipilih L2-L3 untuk kondisi gangguan fasa S-T. Zone 1 dipilih agar relai memerintahkan



Gambar 4. 42 State Fault Kedua

autoreclose setelah mendeteksi gangguan *zone 1*. Setelah *zone 1* dipilih, alat uji secara otomatis menentukan besaran impedansi untuk pengujian. Nilai impedansi tersebut adalah hasil perhitungan dari reaktansi dan resistansi sesuai titik koordinat yang telah dipilih.

Zone 1 dipilih agar relai memerintahkan *autoreclose* setelah mendeteksi gangguan *zone 1*. Setelah *zone 1* dipilih, alat uji secara otomatis menentukan besaran impedansi untuk pengujian. Nilai impedansi tersebut adalah hasil perhitungan dari reaktansi dan resistansi sesuai titik koordinat yang telah dipilih.

Dari titik koordinat tersebut, diketahui resistansi sebesar 2,87 Ohm dan reaktansi sebesar 12,44 Ohm maka impedansi dapat diketahui sebagai berikut

$$\begin{aligned} |Z| &= \sqrt{R + jX^2} \\ &= \sqrt{2,87^2 + 12,44^2} \\ &= 12,77 \text{ Ohm} \end{aligned}$$

Untuk sudut fasa gangguan dapat diketahui dari

$$\begin{aligned} \Theta &= \tan^{-1}\left(\frac{12,44}{2,87}\right) \\ &= \tan^{-1}(4,33) \\ &= 77,01^\circ \end{aligned}$$

Trigger time adalah waktu lamanya kondisi gangguan terjadi. Pada gangguan *zone 1*, waktu gangguan tidak boleh melebihi waktu gangguan *zone 2*. Maka dari itu, pada alat uji diinput waktu gangguan 100 ms.

State 6. Deadtime 2 adalah kondisi di mana PMT trip kembali setelah gangguan kedua. *Deadtime* 30 detik dimaksudkan untuk *clearing* gangguan atau memastikan bahwa arus gangguan sudah habis. Sehingga arus dan tegangan pada semua fasa adalah nol.

State 7. Reclaim Time 2 kondisi di mana PMT *reclose*. Di mana arus dan tegangan kembali normal seperti sebelum terjadi gangguan. Pada *state* ini, jumlah maksimal *autoreclose* telah terpenuhi dan *counter reclose* akan memulai *cycle* berikutnya.

Respon relai yang diharapkan adalah relai memerintahkan fasa R untuk *autoreclose* kemudian *autoreclose* tiga fasa setelah gangguan kedua. Hasil simulasi dipaparkan pada tabel 4.12.

Tabel 4. 12 Hasil Simulasi Gangguan *Doubleshot* Satu Fasa Kemudian Dua Fasa (Evolving)

Gangguan	Zone1 Fasa R dilanjutkan dengan Zone1 Fasa ST (<i>Doubleshot</i> Evolving)
<i>Autoreclose</i> 1	1Ph Sukses pada fasa R
<i>Autoreclose</i> 2	3Ph Sukses
Lockout	Tidak
CB Healthy	Normal
Justifikasi	Sesuai

Dari pengujian didapatkan relai dapat bekerja sesuai dengan yang diharapkan yaitu dapat memerintahkan PMT untuk reclose 1 fasa setelah gangguan pertama dan reclose 3 fasa setelah gangguan kedua tanpa mengerjakan lockout. PMT juga tidak mengalami kondisi anomali setelah melakukan reclose sebanyak dua kali ditandai dengan status CB Healthy yang normal.

4.5 Hasil Pengujian Fungsi

Setelah dilakukan pengujian fungsi pada relai jarak Line 2 Sangatta-Maloy dengan langkah-langkah pengujian pada bab tiga, didapatkan hasil pengujian yang bisa digunakan untuk mengetahui unjuk kerja relai terhadap kondisi gangguan. Hasil pengujian tertera pada tabel

	PT. PLN (PERSERO) UIP3B KALIMANTAN UPT BALIKPAPAN Jalan Soekarno Hatta, Balikpapan				Document No. Page 4
10 Uji Fungsi Trip & Reclose Distance					
No	Selektor AR	Simulasi Gangguan	Auto Reclose	Relay Lockout	Keterangan
1	Mode 1/3	Gangguan R Zone 1	Sukses	Tidak	Sesuai
2	Mode 1/3	Gangguan S Zone 1	Sukses	Tidak	Sesuai
3	Mode 1/3	Gangguan T Zone 1	Sukses	Tidak	Sesuai
4	Mode 1/3	Gangguan R-S Zone 1	Sukses	Tidak	Sesuai
5	Mode 1/3	Gangguan S-T Zone 1	Sukses	Tidak	Sesuai
6	Mode 1/3	Gangguan T-R Zone 1	Sukses	Tidak	Sesuai
7	Mode 1/3	Gangguan R Zone 2 + Teleproteksi	Sukses	Tidak	Sesuai
8	Mode 1/3	Gangguan S Zone 2 + Teleproteksi	Sukses	Tidak	Sesuai
9	Mode 1/3	Gangguan T Zone 2 + Teleproteksi	Sukses	Tidak	Sesuai
10	Mode 1/3	Gangguan R-S Zone 2 + Teleproteksi	Sukses	Tidak	Sesuai
11	Mode 1/3	Gangguan S-T Zone 2 + Teleproteksi	Sukses	Tidak	Sesuai
12	Mode 1/3	Gangguan T-R Zone 2 + Teleproteksi	Sukses	Tidak	Sesuai
13	Mode 1	Gangguan 1 Fasa R (Reclose 1 fasa)	Sukses	Tidak	Sesuai
14	Mode 1	Gangguan 2 Fasa S-T (Tidak Reclose)	Tidak	Bekerja	Sesuai
15	Mode 3	Gangguan 1 Fasa R (Reclose 3 fasa)	Sukses	Tidak	Sesuai
16	Mode 3	Gangguan 2 fasa S-T (Reclose 3 Fasa)	Sukses	Tidak	Sesuai
17	Mode Off	Gangguan 1 Fasa (Tidak Reclose)	Tidak	Bekerja	Sesuai
18	Mode Off	Gangguan 2 Fasa S-T (Tidak Reclose)	Tidak	Bekerja	Sesuai

18	Mode Off	Gangguan 2 Fasa S-T (Tidak Reclose)	Tidak	Bekerja	Sesuai
19	Mode 1/3	Gangguan Double Shoot	Sukses	Tidak	Sesuai
20	Mode 1/3	Gangguan R Ground Zone 1 diikuti Evolving Fault fasa S-T	Sukses	Tidak	Sesuai
21	Mode 1/3	Gangguan R-S Zone 2 Basic	Tidak	Bekerja	Sesuai
22	Mode 1/3	Gangguan S-T Zone 3	Tidak	Bekerja	Sesuai
23	Mode 1/3	Gangguan Doble Shoot + Lockout	Tidak	Bekerja	Sesuai
24	Mode 1/3	Gangguan S Ground Zone 1 diikuti Evolving Fault fasa T	Sukses	Tidak	Sesuai
25	Mode 1/3	Gangguan R-S diikuti Evolving Fault S-T	Sukses	Tidak	Sesuai
26	Mode 1/3	Gangguan Fasa R + Teleproteksi	Sukses	Tidak	Sesuai
27	Mode 1/3	Gangguan Fasa S + Teleproteksi	Sukses	Tidak	Sesuai
28	Mode 1/3	Gangguan Fasa T + Teleproteksi	Sukses	Tidak	Sesuai

Paraf



Gambar di atas menampilkan hasil pengujian untuk uji fungsi *autoreclose* singleshoot dalam mode 1pole AR, 3pole AR dan 1/3pole AR, dan juga *autoreclose* *doubleshot*. Hasil pengujian *autoreclose* *doubleshot* yang telah dipaparkan pada subbab 4.4 ditunjukkan pada point 19, 20, 24 dan 25 atau ditampilkan pada tabel

Tabel 4. 13 Hasil Pengujian Autoreclose Doubleshot

No	Selektor AR	Simulasi Gangguan	<i>Autoreclose</i>	Relay Lockout	Keterangan
1	Mode 1/3	Gangguan <i>doubleshot</i>	Sukses	Tidak	Sesuai
2	Mode 1/3	Gangguan R-Ground Zone 1 diikuti fault fasa S-T (Evolving)	Sukses	Tidak	Sesuai
3	Mode 1/3	Gangguan S-Ground diikuti fault fasa T (Evolving)	Sukses	Tidak	Sesuai
4	Mode 1/3	Gangguan RS diikuti fault fasa ST (Evolving)	Sukses	Tidak	Sesuai

Berikut merupakan analisis dari pengujian *autoreclose doubleshot*:

1. Pada kondisi ini, disimulasikan gangguan zone 1 fasa R dan diikuti gangguan kedua zone 1 fasa R. Diberikan simulasi gangguan pada fasa R dengan waktu 100ms. Pada gangguan pertama, relai berhasil memerintahkan PMT untuk trip dan reclose kembali pada fasa yang terganggu. Kemudian pada gangguan kedua, masih di fasa yang sama, relai memerintahkan PMT untuk trip selama deadtime kedua selama 30 detik dan reclose tiga fasa. Dengan pengujian ini, fungsi *autoreclose doubleshot* dinyatakan berfungsi dengan baik pada kondisi dua gangguan satu fasa di fasa yang sama.
2. Pada kondisi ini, disimulasikan gangguan zone 1 satu fasa, pada fasa R dan diikuti gangguan kedua fasa-fasa yaitu fasa S-T. Pada gangguan pertama, relai diberikan simulasi gangguan fasa R selama 100 ms. Respon relai adalah memerintahkan PMT untuk pada fasa R dan reclose kembali pada fasa yang terganggu. Kemudian pada gangguan kedua, gangguan fasa S-T, relai memerintahkan PMT untuk trip tiga fasa selama deadtime kedua 30 detik dan reclose tiga fasa tanpa mengerjakan lockout. Dengan pengujian ini, fungsi *autoreclose doubleshot* dinyatakan berfungsi dengan baik pada kondisi dua gangguan satu fasa diikuti gangguan fasa-fasa (*phase to phase*)
3. Pada kondisi ini, disimulasikan gangguan zone 1 fasa S dan diikuti gangguan kedua fasa T zone 1. Relai diberikan simulasi gangguan pertama pada fasa S dengan waktu 100ms. Pada gangguan pertama, relai berhasil memerintahkan PMT untuk trip dan reclose kembali. Kemudian relai diberikan gangguan kedua pada fasa yang berbeda yaitu fasa T. Respon yang terjadi adalah relai memerintahkan PMT trip tiga fasa selama deadtime kedua dan reclose tiga fasa dan tidak ada lockout yang bekerja. Dengan pengujian ini, fungsi *autoreclose doubleshot* berfungsi dengan baik pada kondisi dua gangguan satu fasa pada fasa yang berbeda.
4. Pada kondisi ini, disimulasikan gangguan zone 1 dua fasa, fasa R-S dan diikuti gangguan kedua zone 1 dua fasa, fasa S-T. Relai diberikan simulasi gangguan pertama pada fasa R-S dengan waktu 100ms. Pada gangguan pertama, relai

berhasil memerintahkan PMT untuk trip tiga fasa dan reclose kembali. Pada gangguan kedua, relai diberikan gangguan yang berbeda yaitu fasa S-T. Respon relai adalah memerintahkan PMT untuk trip tiga fasa dan reclose kembali setelah deadtime 30 detik terlewati dan tidak ada lockout yang bekerja. Dengan pengujian ini, fungsi *autoreclose doubleshot* dinyatakan berfungsi dengan baik pada kondisi dua gangguan fasa-fasa (*phase to phase*)



BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1. Simpulan

Dari analisis yang telah dilakukan berdasarkan perhitungan, pengujian karakteristik dan pengujian fungsi didapatkan beberapa kesimpulan mengenai unjuk kerja fungsi *autoreclose doubleshot* pada relai jarak *line 2* Sangatta-Maloy sebagaimana berikut:

1. Bay penghantar mengalami *final trip* dapat disebabkan oleh relai yang gagal melakukan percobaan *autoreclose* ketika mengalami gangguan permanen.
2. Setelah dilakukan perhitungan, didapatkan *setting* untuk relai jarak *line 2* Sangatta-Maloy adalah sebagai berikut zone 1 memiliki impedansi sebesar 13,49 Ohm dengan waktu *tripping* 0,04s; zone 2 memiliki impedansi sebesar 20,24 Ohm dengan waktu *tripping* 0,6s; dan zone 3 memiliki impedansi sebesar 26,99 Ohm. Untuk mengakomodir gangguan permanen, fungsi *autoreclose doubleshot* di-set *Enable* dan *setting Number of Shot* di-set “2”.
3. Setelah diuji menggunakan simulasi gangguan permanen yang meliputi gangguan fasa-ground, fasa-ground pada fasa yang berbeda, gangguan fasa-ground diikuti fasa-fasa dan dua gangguan fasa-fasa, didapatkan hasil bahwa fungsi *autoreclose doubleshot* berfungsi dengan baik dengan memerintahkan PMT untuk trip dan reclose tanpa menyebabkan *lockout* bekerja sehingga dapat diaktifkan pada relai jarak transmisi *line 2* Sangatta-Maloy.

5.2. Saran

Dari pengerjaan Tugas Akhir yang telah dilakukan dapat dikembangkan lanjut. Berikut merupakan saran penulis sebagai acuan pengembangan:

1. Untuk menjaga sensitivitas dan keakuratan relai setelah dilakukan pengujian, semua terminal harus dikembalikan ke posisi semula dan semua sambungan kabel dipastikan terhubung dengan benar dan kencang.

2. Untuk meningkatkan keakuratan hasil pengujian, rangkaian pengujian sebaiknya dihubungkan langsung pada terminal *tripping* agar sinyal yang didapat oleh alat uji merupakan sinyal *direct*, bukan sinyal *delay*.
3. Peralatan yang digunakan dalam pengujian sebaiknya dalam kondisi baik, contohnya kabel tidak terkelupas, sambungan tidak longgar, dan lain-lain.
4. Sebaiknya dokumentasi yang diambil pada saat pengujian fungsi lebih detail.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. D. S. Alam, S. Martasia, dan R. S. Afendi, “Design of Real-Time Power Transmission System Disturbance Reporting from Protective Relay using Whatsapp,” 2022.
- [2] A. Ahmad dan A. Marwanto, “ANALISIS *RESETTING* RELAI JARAK SALURAN KABEL TEGANGAN TINGGI (SKTT) 150 KV PLUMPANG - KANDANG SAPI # 2 PADA GARDU INDUK 150 KV,” Universitas Islam Sultan Agung Semarang, 2024.
- [3] Sumaryadi, Ahmad Azhari Kemma, Buyung S. Munir, dan Eko Aptono Tri Yuwono, *SPLN T5.002:2021 POLA PROTEKSI SALURAN TRANSMISI PT PLN (Persero)*. Jakarta Selatan: PT PLN (Persero), 2021.
- [4] B. S. Adi Nugroho, Karnoto, dan M. Facta, “Analisis *Setting* Dan Koordinasi Rele Jarak Pada Gi 150 Kv Pandean Lamper Arah Sronдол,” *Transient*, vol. 6, no. 1, hal. 2–7, 2017.
- [5] J. Blumschein, Y. Yelgin, dan A. Ludwig, “Adaptive Autoreclosure to Increase System Stability and Reduce Stress to Circuit Breakers,” 2017 *70th Annu. Conf. Prot. Relay Eng.*, hal. 1–8, 2017, doi: 10.1109/CPRE.2017.8090004.
- [6] A. Jamaah, “EVALUASI *SETTING* RELE JARAK GARDU INDUK UNGARAN JARINGAN 150kV ARAH KRAPYAK-2,” *Orbith*, vol. 10, no. 1, hal. 82–89, 2014.
- [7] L. Ji, C. Booth, A. Dysko, F. Kawano, dan P. Beaumont, “Improved fault location through analysis of system parameters during *autoreclose* operations on transmission lines,” *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 29, no. 6, hal. 2430–2438, 2014, doi: 10.1109/TPWRD.2014.2307051.
- [8] Z. Syamsudin, I. Pujotomo, dan F. Ramadhan, “KAJIAN RELE JARAK DAN ARUS LEBIH PADA SADA SALURAN UDARA TEGANGAN TINGGI GARDU INDUK 150kV SRONDOL,” *J. Sutet*, vol. 5, no. 1, hal. 1–7, 2015, [Daring]. Tersedia pada: <https://stt-pln.e-journal.id/sutet/article/view/603>
- [9] M. J. Shodik dan I. Hajar, “Evaluasi Nilai *Setting* Rele Jarak Sebagai Proteksi Saluran Udara Tegangan Tinggi 150 KV Menggunakan DigSilent Power Factory,” vol. 14, no. 1, hal. 1–13, 2024, [Daring]. Tersedia pada: <https://doi.org/10.33322/sutet.v14i1.2291>
- [10] M. H. Idris, M. R. Adzman, M. F. N. Tajuddin, M. Amirruddin, dan M. A. Ismail, “Auto-reclose Relay Simulation for Research and Education,” 2018 *4th Int. Conf. Electr. Electron. Syst. Eng. ICEESE 2018*, hal. 29–33, 2018, doi: 10.1109/ICEESE.2018.8703542.

- [11] A. Prasetyo dan E. A. Zuliari, “Analisa Perubahan *Setting* Rele Jarak Pada Saluran Transmisi Gardu Induk 150kV Ponorogo Ke Blitar,” *SinarFe7*, hal. 6–10, 2019, [Daring]. Tersedia pada:
<http://ejournal.fortei7.org/index.php/SinarFe7/article/view/3>
- [12] Erliwati, Syafii, dan M. Nurdin, “Koordinasi Proteksi Arus Lebih pada Penyulang Distribusi 20kV GI Pauh Limo,” *J. Nas. Tek. Elektro*, vol. 4, no. 5, hal. 140–150, Sep 2015.
- [13] V. P. Imanda, “Analisa Koordinasi Sistem Proteksi Penyulang 20 kV TLP.1 GI Teluk Pandan menggunakan Software ETAP 16.00,” STITEK Bontang, Bontang, 2022.
- [14] I. A. Fauzi dan H. S. Dini, “Koordinasi Rele Jarak Sebagai Pengaman Utama Dengan Rele Arus Lebih Pada Saluran Udara Tegangan Tinggi 150 KV Balongbendo - 150 KV Sekarputih,” *Kilat*, vol. 11, no. 1, hal. 40–52, 2022, doi: 10.33322/kilat.v11i1.1480.
- [15] J. Yonatan Siallagan dan A. Tanjung, “Studi Kebutuhan Perencanaan Pemasangan Busbar Proteksi pada Gardu Induk Dumai PT PLN (Persero) UPT Pekanbaru,” *J. Tek.*, vol. 15, no. 2, hal. 94–103, Okt 2021.
- [16] P. J. B. PT PLN (Persero), “Pedoman dan Petunjuk Sistem Proteksi Transmisi dan Gardu Induk Jawa Bali Edisi Pertama,” no. September, hal. 513, 2013.
- [17] N. N. E. Co, “RCS-931 Line Differential Relay Instruction Manual”.
- [18] PT PLN (Persero), “KEPDIR No.0520-3.K DIR 2014 - Himpunan Buku Pedoman Pemeliharaan Primer Sekunder GI.” PT PLN (Persero), 2014.