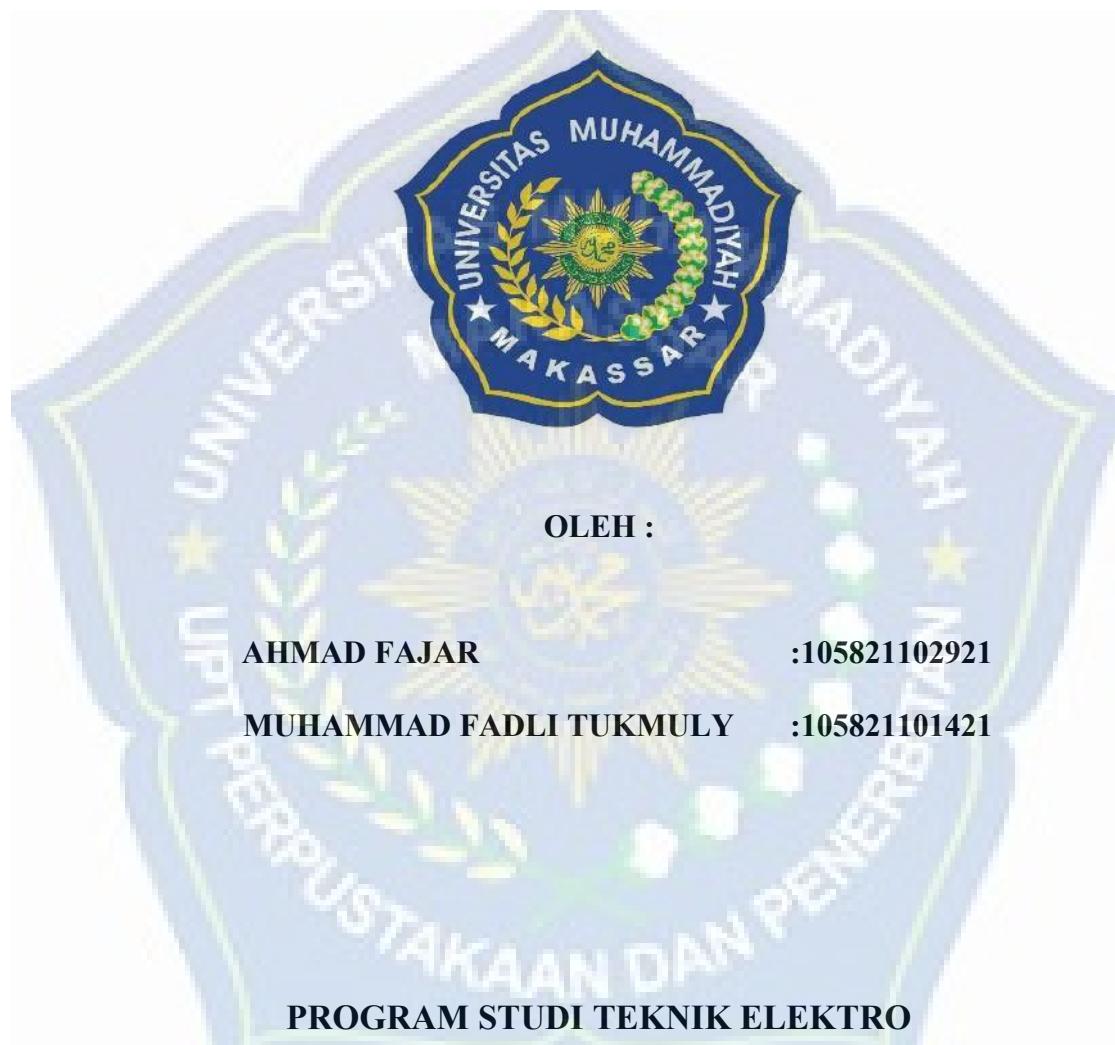


SKRIPSI

**MODEL DAN SIMULASI *FAULT LOCATOR* BERBASIS
IMPEDANS PADA SALURAN DISTRIBUSI PENYULANG
RINDAM DENGAN MENGGUNAKAN PERANGKAT LUNAK
*PSCAD***



FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

2025

**MODEL DAN SIMULASI *FAULT LOCATOR* BERBASIS
IMPEDANS PADA SALURAN DISTRIBUSI PENYULANG
RINDAM DENGAN MENGGUNAKAN PERANGKAT LUNAK
*PSCAD***

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat

Untuk Menyelesaikan Strata Satu (S1)

Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknik

Universitas Muhammadiyah Makassar

Disusun dan Diajukan oleh:

Muhammad Fadli Tukmuly

105821101421

Ahmad Fajar

105821102921

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK**

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

2025



FAKULTAS TEKNIK

PENGESAHAN

Skripsi atas nama **Ahmad Fajar** dengan nomor induk Mahasiswa 105 82 11029 21 dan **Muhammad Fadli Tukmuly** dengan nomor induk Mahasiswa 105 82 11014 21, dinyatakan diterima dan disahkan oleh Panitia Ujian Tugas Akhir/Skripsi sesuai dengan Surat Keputusan Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar Nomor : 0006/SK-Y/2020/091004/2025, sebagai salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar pada hari Sabtu, 30 Agustus 2025.

Panitia Ujian :

1. Pengawas Umum

a. Rektor Universitas Muhammadiyah Makassar

Dr. Ir. H. Abd. Rakhim Nanda, ST.,MT.,IPU

b. Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Prof. Dr. Eng. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T., ASEAN., Eng

Makassar,

12 Rabiul Awal 1447 H

04 September 2025 M

2. Pengaji

a. Ketua

: Andi Abd Halik Lateko Tj, S.T.,M.T.,Ph.D

b. Sekertaris

: Ir. Adriani, S.T.,M.T.,IPM

3. Anggota

: 1. St. Khadijah, ST.,M.Kom.,IPP

2. Dr. Ir. H. Antarissubhi, S.T.,M.T

3. Dr. Ir. Zahir Zainuddin, M.Sc

Mengetahui :

Pembimbing I

Pembimbing II

Andi Faharuddin, S.T.,M.T

Ir. Abdur Hafid, M.T

Dekan

Dr. Muh. Syaiful S Kubo, S.T.,M.T.,IPM

NIM : 975 288





بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan untuk memenuhi syarat ujian guna memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.

Judul Skripsi : **MODEL DAN SIMULASI FAULT LOCATOR BERBASIS IMPEDANS PADA SALURAN DISTRIBUSI PENYULANG RINDAM DENGAN MENGGUNAKAN PERANGKAT LUNAK PSCAD**

Nama : 1. Ahmad Fajar

2. Muhammad Fadli Tukmuly

Stambuk : 1. 105 82 11029 21

2. 105 82 11014 21

Makassar, 04 September 2025

Telah Diperiksa dan Disetujui
Oleh Dosen Pembimbing;

Pembimbing I

Andi Faharuddin, S.T., M.T

Pembimbing II

Ir. Abdul Hafid, M.T

Mengetahui,

Ketua Prodi Teknik Elektro

Ir. Rahmania, S.T., M.T
NBM : 1005 971

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabaraatuuh

Puji Syukur Alhamdulillah penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, karena Rahmat dan HidayahNyalah sehingga penulis dapat menyusun judul skripsi "**Model Dan Simulasi Fault Locator Berbasis Impedans Pada Saluran Distribusi Penyulan Rindam Dengan Menggunakan Perangkat Lunak PSCAD**" sebagai tugas akhir dan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik,Universitas Muhammadiyah Makassar.

Dalam penyusunan skripsi ini, kami berusaha memberikan uraian yang jelas, sistematis, dan komprehensif agar dapat menjadi acuan dalam pelaksanaan program atau kegiatan yang direncanakan. Kami menyadari bahwa penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari dukungan, saran, dan masukan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, kami menyampaikan penghargaan dan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah berkontribusi dalam penyelesaian skripsi ini.

1. Ayahanda dan ibu tercinta kami penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya atas segala limpahan kasih sayang doa dan pengorbanan terutama dalam bentuk materi dalam menyelesaikan perkuliahan kami.
2. Bapak Dr. Ir. H. Abd Rakhim Nanda, S.T., M.T., IPU. Selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Makassar
3. Bapak Ir. Muh. Syafaat S. Kuba, S.T., M.T., IPM. Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar

4. Ibu Rahmania, S.T., M.T., IPM. Selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar
5. Bapak Andi Abd Halik Lateko Ti. S.T.,M.T..Ph.D. Selaku Sekretaris Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar
6. Bapak Andi Faharuddin, S.T., M.T. Selaku Dosen Pembimbing 1 dan Bapak Ir. Abdul Hafid, M.T. Selaku Dosen Pembimbing 2
7. Seluruh dosen dan staf Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Makassar yang telah membimbing dan memberikan materi perkuliahan pada kami sebagai penulis.
8. PT PLN sebagai mitra, kami mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya atas yang telah memberikan kesempatan dan fasilitas sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik. Ucapan penghargaan juga saya sampaikan kepada Bapak Zainuddin, selaku Team Leader Jaringan Transmisi dan Gardu Induk Panakkukang, serta Bapak Galih Dion Pratama, selaku Team Leader Operasi Jaringan Distribusi UP3 Makassar Selatan, yang dengan tulus memberikan dukungan, data, dan informasi yang sangat membantu dalam penyusunan skripsi ini.
9. Saudara-saudaraku serta rekan-rekan mahasiswa fakultas teknik terkhusus angkatan 2021 yang dengan keakraban dan persaudaraan banyak membantu dalam menyelesaikan tugas akhir kami ini.

Semoga semua pihak tersebut di atas mendapatkan pahala yang berlipat ganda di sisi Allah Swt. dan skripsi yang sederhana ini dapat bermanfaat bagi kami sebagai penulis, rekan-rekan dan masyarakat serta bangsa dan negara. Aamiin

Fii Sabilil Haq

Fastabiqul Khairat

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatu

Makassar, 30 Agustus 2025

Penulis



MOTO

“Masa depanmu dimulai hari ini, bukan hari esok”

Tidak ada kesulitan yang tidak ada ujungnya. Sesudah sulit pasti akan ada kemudahan dan kebahagiaan. “Karena sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan. Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan”

(QS Al-Insyirah: 5-6)

“Ada-ada ji itu 😊 😊”

(Ahmad Fajar)

”Masalah waktu ji ini”

Jangan tunggu kesempatan datang, ciptakan kesempatan itu Jangan takut untuk bermimpi besar, karena mimpi yang diiringi usaha akan membuka jalan menuju masa depan yang lebih baik. Waktu yang kita miliki terbatas, maka gunakanlah setiap detiknya untuk belajar, berbuat baik, dan memberikan manfaat bagi orang lain. Kesabaran, keteguhan, serta keberanian untuk mencoba adalah kunci agar kita tetap berdiri kokoh meskipun angin kehidupan berubah arah. Selama kita mau berproses, jatuh bangun bukanlah hambatan, melainkan bagian dari perjalanan menuju versi terbaik diri kita.

(Muhammad Fadli Tukmuly)

ABSTRAK

Sistem distribusi tenaga listrik rentan terhadap gangguan yang dapat mengurangi keandalan penyaluran energi, seperti hubung singkat akibat petir, pohon tumbang, atau kesalahan sistem. Penelitian ini bertujuan untuk memodelkan dan menyimulasikan *fault locator* berbasis impedans pada Penyulang Rindam dengan menggunakan perangkat lunak *PSCAD*. Metode penelitian melibatkan pemodelan sistem tenaga, pengukuran arus dan tegangan, perhitungan impedans, serta estimasi lokasi gangguan dengan variasi resistans gangguan 0,001; 2; dan 5Ω pada beberapa titik saluran 25, 50 dan 75%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa akurasi estimasi lokasi gangguan terbaik diperoleh pada resistans gangguan rendah 0,001 ohm dengan persentase *error* di bawah 1%, sementara akurasi menurun saat resistans gangguan meningkat, yang mana persentase *error* estimasi lokasi bisa mencapai lebih dari 300%. Penelitian ini mengindikasikan bahwa metode berbasis impedans efektif untuk estimasi lokasi gangguan pada saluran distribusi dengan resistans gangguan rendah tetapi kurang efektif untuk gangguan dengan resistans tinggi.

Kata kunci: *fault locator*, impedans, saluran distribusi, *PSCAD*, lokasi gangguan, simulasi

ABSTRACT

This electrical power distribution system is vulnerable to disturbances that can reduce the reliability of energy delivery, such as short circuits caused by lightning, fallen trees, or system faults. This study aims to model and simulate an impedance-based fault locator on the Rindam Feeder using PSCAD software. The research method involves power system modeling, current and voltage measurements, impedance calculation, and fault location estimation with variations in fault resistance of 0.001, 2, and 5 Ω at several line points of 25%, 50%, and 75%. The research results show that the best fault location estimation accuracy is obtained at the low fault resistance of 0.001 ohm, with an error percentage below 1%, while the accuracy decreases as the fault resistance increases, with estimation error percentages reaching more than 300%. This study indicates that the impedance-based method is effective for fault location estimation on distribution lines with low fault resistance but less effective for faults with high resistance.

Keywords: *fault locator, impedance, distribution line, PSCAD, fault location, simulation*

DAFTAR ISI

SKRIPSI.....	i
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK.....	ix
<i>ABSTRACT.....</i>	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xviii
DAFTAR SINGKATAN DAN ISTILAH.....	xix
BAB I.....	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Masalah	5
BAB II.....	7
TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Umum	7
2.2 Sistem Tenaga Listrik	7
2.3 Gangguan Hubung-Singkat	9
2.4 Teori Thevenin.....	15
2.5 <i>Fault locator</i>	17
2.6 Impedans Saluran.....	18
2.7 Presentase <i>Error</i> jarak	20
2.8 Perangkat Lunak <i>PSCAD</i>	21
BAB III	23
METODOLOGI PENELITIAN	23
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	23
3.2 Alat dan Bahan	26
3.3 Skema penelitian	26
3.4 Data Penelitian	28
3.5 Langkah Penelitian.....	29
BAB IV	30
HASIL DAN PEMBAHASAN	30
4.1 Konfigurasi dan Model <i>PSCAD</i>	30
4.1.1 Konfigurasi Sistem.....	30
4.1.2 Pemodelan Sumber Thevenin di GI Borongloe	30

4.1.3	Model Transformator	32
4.1.4	Model Saluran Distribusi Penyulang Rindam.....	32
4.2	Model <i>PSCAD</i>	34
4.2.1	Model Simulasi dalam Kondisi Normal.....	34
4.2.2	Model Gangguan dengan Resistans Gangguan 0,001 Ohm.....	37
4.2.3	Model Gangguan dengan Resistans Gangguan 2 Ohm.....	55
4.2.4	Model gangguan dengan Resistans Gangguan 5 Ohm.....	73
BAB V	.....	93
PENUTUP	.....	93
5.1	Kesimpulan	93
5.2	Saran.....	94
DAFTAR PUSTAKA	.....	95
LAMPIRAN A	.....	96
LAMPIRAN B	.....	107



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Ekivalensi antara dua nilai MVAsc yang paralel untuk gangguan di F14	
Gambar 2.2. Ekivalensi antara dua nilai MVAsc yang seri	14
Gambar 2.3. Rangkaian Thevenin.....	15
Gambar 2.4. Rangkaian paralel ke R3 dan seri ke R2.....	16
Gambar 3.1. Diagram Blok Konfigurasi Sistem Daya.....	27
Gambar 3.2. Tahapan Penelitian.....	29
Gambar 4.1. Skema/Konfigurasi Model <i>PSCAD</i>	30
Gambar 4.2. Model <i>PSCAD</i> Sistem Daya Kondisi Normal	34
Gambar 4.3. Model Simulator dalam Kondisi Normal	35
Gambar 4.4. Grafik Arus dan Tegangan dalam Kondisi Normal.....	6
Gambar 4.5. Display Domain Waktu Arus dan Tegangan dalam Kondisi Normal	36
Gambar 4.6. Model <i>PSCAD</i> Sistem Daya Kondisi Gangguan 25%	37
Gambar 4.7. Model Simulator dalam Kondisi Gangguan 25%.....	38
Gambar 4.8. Grafik Arus dan Tegangan Kondisi Gangguan 25%.....	39
Gambar 4.9. Display Domain Waktu Arus Terukur dan Tegangan Terukur dalam Kondisi Gangguan 25%	40
Gambar 4.10. Display Numerik Titik Lokasi Gangguan Terestimasi dalam Kondisi Gangguan 25%.....	40
Gambar 4.11. Display Numerik Error Aktual dalam Kondisi Gangguan 25%....	41
Gambar 4.12. Display Numerik Error dalam % dalam Kondisi Gangguan 25%..	41
Gambar 4.13. Display Numerik Impedans Terukur dalam Kondisi Gangguan 25%	
.....	42

Gambar 4.14. Model <i>PSCAD</i> Sistem Daya Kondisi Gangguan 50%	44
Gambar 4.15. Model Simulator Dalam Kondisi Gangguan 50%.....	45
Gambar 4.16. Grafik Arus dan Tegangan Kondisi Gangguan 50%.....	46
Gambar 4.17. Display Domain Waktu Arus Terukur dan Tegangan Terukur dalam Kondisi Gangguan 50%	46
Gambar 4.18. Display Numerik Titik Lokasi Gangguan Terestimasi dalam Kondisi Gangguan 50%	47
Gambar 4.19. Display Numerik Error Aktual dalam Kondisi Gangguan 50%....	47
Gambar 4.20. Display Numerik Error dalam % dalam Kondisi Gangguan 50%..	48
Gambar 4.21. Display Numerik Impedans Terukur dalam Kondisi Gangguan 50%	48
Gambar 4.22. Model <i>PSCAD</i> Sistem Daya Kondisi Gangguan 75%	50
Gambar 4.23. Model Simulator Dalam Kondisi Gangguan 75%.....	51
Gambar 4.24. Grafik Arus dan Tegangan Kondisi Gangguan 75%.....	52
Gambar 4.25. Display Domain Waktu Arus Terukur dan Tegangan Terukur dalam Kondisi Gangguan 75%	53
Gambar 4.26. Display Numerik Titik Lokasi Gangguan Terestimasi dalam Kondisi Gangguan 75%.....	53
Gambar 4.27. Display Numerik Error Aktual dalam Kondisi Gangguan 75%....	54
Gambar 4.28. Display Numerik Error dalam % dalam Kondisi Gangguan 75%..	54
Gambar 4.29. Display Numerik Impedans Terukur dalam Kondisi Gangguan 75%	54
Gambar 4.30. Model <i>PSCAD</i> Sistem Daya Kondisi Gangguan 25%	56

Gambar 4.31. Model Simulator Dalam Kondisi Gangguan 25%.....	57
Gambar 4.32. Grafik Arus dan Tegangan Kondisi Gangguan 25 %.....	59
Gambar 4.33. Display Domain Waktu Arus Terukur dan Tegangan Terukur dalam Kondisi Gangguan 25%	58
Gambar 4.34. Display Numerik Titik Lokasi Gangguan Terestimasi dalam Kondisi Gangguan 25%	59
Gambar 4.35. Display Numerik Error Aktual dalam Kondisi Gangguan 25%....	59
Gambar 4.36. Display Numerik Error dalam % dalam Kondisi Gangguan 25%..	60
Gambar 4.37. Display Numerik Impedans Terukur dalam Kondisi Gangguan 25%	60
Gambar 4.38. Model <i>PSCAD</i> Sistem Daya Kondisi Gangguan 50 %	62
Gambar 4.39. Model Simulator Dalam Kondisi Gangguan 50 %.....	63
Gambar 4.40. Grafik Arus dan Tegangan Kondisi Gangguan 50%.....	64
Gambar 4.41. Display Domain Waktu Arus Terukur dan Tegangan Terukur dalam Kondisi Gangguan 50%.....	65
Gambar 4.42. Display Numerik Titik Lokasi Gangguan Terestimasi dalam Kondisi Gangguan 50%.....	65
Gambar 4.43. Display Numerik Error Aktual dalam Kondisi Gangguan 50%....	65
Gambar 4.44. Display Numerik Error dalam % dalam Kondisi Gangguan 50%..	66
Gambar 4.45. Display Numerik Impedans Terukur dalam Kondisi Gangguan 50%	66
Gambar 4.46. Model <i>PSCAD</i> Sistem Daya Kondisi Gangguan 75 %	68
Gambar 4.47. Model Simulator Dalam Kondisi Gangguan 75 %.....	69

Gambar 4. 48. Grafik Arus dan Tegangan Kondisi Gangguan 75 %.....	70
Gambar 4.49. Display Domain Waktu Arus Terukur dan Tegangan Terukur dalam Kondisi Gangguan 75%	71
Gambar 4.50. Display Numerik Titik Lokasi Gangguan Terestimasi dalam Kondisi Gangguan 75%.....	71
Gambar 4.51. Display Numerik Error Aktual dalam Kondisi Gangguan 75%....	71
Gambar 4.52. Display Numerik Error dalam % dalam Kondisi Gangguan 75%..	72
Gambar 4.53. Display Numerik Impedans Terukur dalam Kondisi Gangguan 75%	72
Gambar 4.54. Model <i>PSCAD</i> Sistem Daya Kondisi Gangguan 25%	74
Gambar 4.55. Model Simulator Dalam Kondisi Gangguan 25%.....	75
Gambar 4.56. Grafik Arus dan Tegangan Kondisi Gangguan 25 %.....	76
Gambar 4.57. Display Domain Waktu Arus Terukur dan Tegangan Terukur dalam Kondisi Gangguan 25%	76
Gambar 4.58. Display Numerik Titik Lokasi Gangguan Terestimasi dalam Kondisi Gangguan 25%.....	77
Gambar 4.59. Display Numerik Error Aktual dalam Kondisi Gangguan 25%....	77
Gambar 4.60. Display Numerik Error dalam % dalam Kondisi Gangguan 25%..	77
Gambar 4.61. Display Numerik Impedans Terukur dalam Kondisi Gangguan 25%	78
Gambar 4.62. Model <i>PSCAD</i> Sistem Daya Kondisi Gangguan 50 %	80
Gambar 4.63. Model Simulator Dalam Kondisi Gangguan 50 %.....	81
Gambar 4.64. Grafik Arus dan Tegangan Kondisi Gangguan 50%.....	82

Gambar 4.65. Display Domain Waktu Arus Terukur dan Tegangan Terukur dalam Kondisi Gangguan 50%	82
Gambar 4.66. Display Numerik Titik Lokasi Gangguan Terestimasi dalam Kondisi Gangguan 50%.....	83
Gambar 4.67. Display Numerik Error Aktual dalam Kondisi Gangguan 50%.....	83
Gambar 4.68. Display Numerik Error dalam % dalam Kondisi Gangguan 50%..	83
Gambar 4.69. Display Numerik Impedans Terukur dalam Kondisi Gangguan 50%	84
Gambar 4.70. Model <i>PSCAD</i> Sistem Daya Kondisi Gangguan 75 %	86
Gambar 4.71. Model Simulator Dalam Kondisi Gangguan 75 %.....	87
Gambar 4.72. Grafik Arus dan Tegangan Kondisi Gangguan 75 %.....	88
Gambar 4.73. Display Domain Waktu Arus Terukur dan Tegangan Terukur dalam Kondisi Gangguan 75%.....	89
Gambar 4.74. Display Numerik Titik Lokasi Gangguan Terestimasi dalam Kondisi Gangguan 75%.....	89
Gambar 4.75. Display Numerik Error Aktual dalam Kondisi Gangguan 75%....	89
Gambar 4.76. Display Numerik Error dalam % dalam Kondisi Gangguan 75%..	90
Gambar 4.77. Display Numerik Impedans Terukur dalam Kondisi Gangguan 75%	90

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Alat dan Bahan	26
Tabel 3.2. Data Arus Hubung -Singkat	28
Tabel 3.3. Penyulang Rindam	28
Tabel 3.4. Data Spesifikasi Trafo 2 GI Borongloe	28
Tabel 4.1. Data tegangan dan arus hubung-singkat di GI 70 kV Borongloe.....	31
Tabel 4.2. Data Spesifikasi Trafo 2 GI Borongloe.....	32
Tabel 4.3. Impedans Jenis	32
Tabel 4.4. Hasil Simulasi dalam Keadaan Normal	37
Tabel 4.5. Hasil Simulasi dari 25% dengan Resistans Gangguan 0,001 Ohm.....	37
Tabel 4.6. Hasil Simulasi dari 50% dengan Resistans Gangguan 0,001 Ohm.....	43
Tabel 4.7. Hasil Simulasi dari 75% dengan Resistans Gangguan 0,001 Ohm.....	49
Tabel 4.8. Hasil Simulasi dari 25% dengan Resistans Gangguan 2 Ohm.....	56
Tabel 4.9. Hasil Simulasi dari 50% dengan Resistans Gangguan 2 Ohm.....	67
Tabel 4.10. Hasil Simulasi dari 75% dengan Resistans Gangguan 2 Ohm.....	73
Tabel 4.11. Hasil Simulasi dari 25% dengan Resistans Gangguan 5 Ohm.....	79
Tabel 4.12. Hasil Simulasi dari 50% dengan Resistans Gangguan 5 Ohm.....	85
Tabel 4.13. Hasil Simulasi dari 75% dengan Resistans Gangguan 5 Ohm.....	91
Tabel 4.14. Hasil Simulasi <i>Fault Locator</i> Penyulang Rindam	92

DAFTAR SINGKATAN DAN ISTILAH

I	:	Arus
V	:	Tegangan
S	:	Daya semu
A	:	Ampere
H	:	Henry
R	:	Resistans
Z	:	Impedans
f	:	Frekuensi
L	:	Induktans
VA	:	Volt Ampere
kVA	:	Kilo Volt Ampere
MVA	:	Mega Volt Ampere
<i>MVAsc</i>	:	Kapasitas Hubung-Singkat
Hz	:	<i>Herzt</i>
PSCAD	:	<i>Power System Computer Aidied Design</i>
CT	:	<i>Current Transformator</i>
VT	:	<i>Voltage Transformator</i>
MW	:	Mega Watt
AC	:	<i>Alternating Current</i>
HVDC	:	<i>High Voltage Direct Current</i>
X _L	:	Reaktans induktif
π	:	Konstanta phi
Ω	:	Ohm

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem distribusi energi listrik merupakan bagian yang esensial dalam mengatasi pertumbuhan kebutuhan energi listrik yang cukup pesat, karena sistem distribusi berfungsi sebagai pembagi atau penyalur tenaga listrik ke pelanggan, juga merupakan sub sistem tenaga listrik yang berhubungan langsung dengan pelanggan (Syafira, 2016).

Energi listrik merupakan suatu faktor penunjang yang sangat penting bagi kehidupan masyarakat saat ini, penyaluran tenaga listrik dari pembangkit hingga ke pelanggan melalui proses yang sangat panjang, salah satunya proses distribusi, proses distribusi selalu terdapat gangguan gangguan yang dikarenakan oleh panjangnya saluran distribusi, gangguan pada saluran distribusi proses penyaluran energi listrik tersebut sering dijumpai adanya gangguan, gangguan yang terjadi bisa diakibatkan oleh kesalahan sistem, maupun gangguan dari luar seperti sambaran petir, pohon tumbang, dan badai (Saputra, 2022).

Gangguan pada sistem tenaga listrik merupakan segala macam kejadian yang menyebabkan kondisi pada sistem tenaga listrik menjadi abnormal. Jika ditinjau dari sifat dan penyebabnya jenis gangguan pada sistem tenaga listrik dapat dikelompokkan menjadi empat bagian, yaitu: tegangan lebih (*over voltage*), hubungan singkat, daya balik (*Reserve Power*), dan beban lebih (*over load*) (Syofian, 2017).

Fault locator sangat penting dalam sistem tenaga. Hal ini karena kesalahan dalam estimasi lokasi kesalahan yang diberikan oleh relai perlindungan atau perekam gangguan akan membuat saluran dinormalisasi pada waktu yang tertunda. Ini juga akan membuat pekerjaan untuk menemukan titik kesalahan menjadi lebih sulit dan memakan waktu. Ada banyak metode yang digunakan untuk menemukan lokasi kesalahan saluran atau kabel seperti menggunakan metode berbasis impedans, metode gelombang perjalanan, kecerdasan buatan atau jaringan saraf, transformasi gelombang dan beberapa metode lainnya (Hafizi Bin Idris, 2020).

Sistem *fault locator* bertujuan untuk mendeteksi titik gangguan (*fault*) pada jaringan distribusi tenaga listrik dan memberikan informasi lokasi secara akurat. Dengan menggunakan teknik berbasis impedans, lokasi gangguan dapat dihitung berdasarkan perbedaan antara tegangan dan arus yang terukur pada titik pengukuran tertentu, kemudian dipetakan pada saluran distribusi.

Impedans pada saluran distribusi daya menggunakan perangkat lunak *PSCAD* adalah suatu teknik yang digunakan untuk mendeteksi dan menentukan lokasi gangguan (*fault*) pada sistem distribusi tenaga listrik. Teknik ini sangat penting dalam meningkatkan keandalan sistem distribusi daya dan mengurangi waktu pemulihan setelah terjadi gangguan. Simulasi domain waktu dan alat profesional untuk mempelajari perilaku transien jaringan listrik. *PSCAD* adalah yang paling cocok untuk mensimulasikan tanggapan instan domain waktu, yaitu transien elektromagnetik sistem listrik. *PSCAD* dapat digunakan untuk semua aspek untuk melakukan simulasi sistem daya termasuk perakitan sirkuit, kontrol *run-time*, analisis dan pelaporan.

Metode berbasis impedans menggunakan pengukuran impedans untuk menghitung lokasi kesalahan. Impedans yang dihitung mewakili jarak titik secara terminal gardu induk setempat. Metode berbasis impedans selanjutnya dapat diklasifikasikan menjadi dua kategori yaitu algoritma satu terminal dan algoritma dua terminal. Algoritma satu terminal menggunakan arus atau tegangan yang diukur sinyal dari gardu induk lokal hanya untuk menghitung impedans *loop*. Ini menggunakan banyak asumsi untuk menghitung lokasi patahan. Keakuratan algoritma satu terminal dipengaruhi oleh banyak faktor seperti restansi kesalahan pengukuran transformator arus (*CT*), arus *infeed* jarak jauh, arus beban kapasintasi *shunt* dan banyak faktor lainnya. Dengan demikian, keakuratan lokasi kesalahan yang diberikan oleh algoritma ini sulit dikonfirmasi dimana kesalahan bisa sangat substansial.

Penelitian ini terutama berfokus pada mempelajari efek kombinasi arus *infeed* jarak jauh dan resistans gangguan terhadap algoritma lokasi sesar berbasis impedans sederhana. Untuk setiap jenis patahan, lokasi dan resistans kesalahan bervariasi dengan nilai yang berbeda. Simulasi juga dilakukan untuk dua kondisi yaitu selama *remote breaker* dalam *open* dan *remote breaker* dalam kondisi dekat (Hafizi Bin Idris, 2020).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas dapat dirumuskan permasalahan yang akan diselesaikan dalam tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana model *Fault Locator* untuk saluran distribusi Penyalung Rindam?
2. Bagaimana kinerja dari model atas gangguan simetris (3 fase) dan gangguan 2 fase di sejumlah titik penyulang?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam pembuatan Tugas Akhir ini adalah :

1. Untuk mendapatkan model perangkat lunak *PSCAD* penerapan *Fault Locator* penyulang Rindam.
2. Untuk mendapatkan kinerja dari model yang telah dibangun.
3. Sebagai syarat untuk mendapatkan gelar sarjana.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Bisa menjadi bahan pembanding bagi PLN jika mereka ingin menerapkan *Fault Locator* di penyulang tersebut.

2. Dengan selesai bisa menambah pengetahuan penulis yang terkait dengan penerapan *Fault Locator* di sistem daya.

1.5 Batasan Masalah

Adapun dalam penelitian ini penulis akan membatasi masalah yang akan dianalisis yaitu :

1. Hanya *Fault Locator* Fase-A yang dimodelkan.
2. Tipe gangguan yang ditinjau hanya antarfase (ABC, AB).
3. Rasio *CT* dan *VT* (*Voltage Transformator*) diasumsikan 1:1.

2 Sistematika Penulisan

Secara mendasar penyusunan proposal ini adalah sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, serta tujuan dan manfaat dari penelitian yang dilakukan serta sistematika penulisan dari laporan hasil penilitian.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan tentang teori-teori pendukung yang berkaitan dengan judul penelitian.

BAB III : METODELOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan tentang waktu dan tempat penelitian, alat dan bahan yang digunakan, diagram balok dan gambar rangkaian penelitian, serta metode penelitian yang berisi langkah-langkah dalam proses melakukan penelitian.

BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menjelaskan tentang hasil dari penelitian, alat dan perhitungan serta pembahasan terkait judul penelitian.

BAB V : PENUTUP (KESIMPULAN DAN SARAN)

Bab ini merupakan penutup yang berisi tentang kesimpulan dan saran terkait judul penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

Bab ini berisi tentang daftar sumber referensi penulis dalam memilih teori yang relevan dengan judul penelitian.

LAMPIRAN

Berisi tentang dokumentasi hasil penelitian serta alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Menurut Arismunandar & Kuwara (1975), sistem tenaga listrik terdiri dari tiga bagian utama yaitu pusat pembangkit listrik, saluran transmisi dan saluran distribusi. Kadang kala juga ditemukan bagian yang keempat yaitu bagian subtransmisi. Sistem distribusi menghubungkan semua beban yang terpisah satu dengan yang lain. Sistem distribusi dimulai dari saluran subtransmisi ke saluaran pelayanan konsumen (pusat beben).

Kebutuhan sistem tenaga Listrik di Indonesia terus meningkat sesuai dengan laju pertumbuhan ekonomi dan industri serta pertambahan penduduk. Semua sektor pembangunan di arahkan untuk mampu mempersiapkan diri untuk menghadapi era industrialisasi (Saputra, 2022).

Sistem tenaga listrik terdiri atas interkoneksi beberapa subsistem jaringan dengan level tegangan yang satu sama yang lain berbeda. Jarang ditemukan suatu sistem tenaga listrik yang hanya terdiri dari satu level tegangan, kecuali sistem kecil yang berdiri sendiri untuk daerah pelayanan yang terbatas (Pandjaitan, 2004).

2.2 Sistem Tenaga Listrik

1. Sistem Tenaga Listrik

Menurut Raharjo (2019), Sistem Tenaga Listrik adalah suatu sistem yang terdiri dari beberapa komponen berupa pembangkitan, transmisi, distribusi dan beban yang saling berhubungan dan berkerja sama untuk melayani kebutuhan

tenaga listrik bagi pelanggan sesuai kebutuhan. Fungsi masing-masing komponen secara garis besar adalah sebagai berikut:

1. Pembangkitan merupakan komponen yang berfungsi untuk membangkitkan tenaga listrik, yaitu mengubah energi yang berasal dari sumber energi lain misalnya: air, batu bara, panas bumi, minyak bumi menjadi energi listrik.
2. Transmisi merupakan komponen yang berfungsi menyalurkan daya atau energi dari pusat pembangkitan ke pusat beban.
3. Distribusi merupakan komponen yang berfungsi mendistribusikan energi listrik ke lokasi konsumen energi listrik.
4. Beban adalah peralatan listrik di lokasi konsumen yang memanfaatkan energi listrik dari sistem tersebut.

Sangat beragam besaran dan jenisnya, gangguan pada sistem tenaga listrik adalah gangguan keadaan tidak normal dimana keadaan ini dapat mengakibatkan terganggunya kelinjutan pelayanan tenaga listrik. Secara umum klasifikasi gangguan pada sistem tenaga listrik di sebabkan oleh beberapa faktor yaitu: gangguan yang berasal dari sistem dan gangguan yang berasal dari luar sistem pada dasarnya suatu sistem tenaga listrik harus dapat beroprasi secara terus-menerus secara normal tanpa terjadi gangguan, akan tetapi gangguan pada sistem tenaga listrik tidak dapat di hindari.

2. Sistem Distribusi

Sistem distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik. Sistem distribusi ini berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar (*Bulk Power Source*) sampai ke konsumen. Jadi fungsi distribusi tenaga listrik adalah sebagai pembagian atau penyaluran tenaga listrik beberapa tempat pelanggan (Syafira, 2016)

Sistem distribusi terdiri dari Jaringan Tegangan Menengah (JTM) dan Jaringan Tegangan Rendah (JTR). JTM maupun JTR pada umumnya beroperasi secara tersusun. Dalam pengoperasian sistem distribusi, masalah yang utama adalah mengatasi gangguan dalam sistem distribusi adalah relatif banyak dibandingkan dengan jumlah gangguan dalam sistem yang lain.

Pada masalah tegangan terdapat bagian-bagian instansi seperti, berbeban lebih dan rugi-rugi daya dalam jaringan merupakan masalah yang perlu dicatat dan dianalisa secara terus menerus, untuk dijadikan masukan bagi perencanaan pengembangan sistem dan juga untuk melakukan tindakan-tindakan penyempurnaan pemeliharaan dan penyempurnaan operasi sistem distribusi (Susilo,2020).

2.3 Gangguan Hubung-Singkat

1. Pengertian Gangguan

Gangguan adalah keadaan tidak normal pada suatu sistem tenaga. Sistem tenaga terdiri dari generator, pemutus, transformator, rangkaian transmisi, dan distribusi suatu saat akan mengalami gangguan. Gangguan disebabkan adanya

kesalahan dalam suatu rangkaian yang menyebabkan terganggunya aliran arus normal.

2. Penyebab Gangguan

a. Gangguan Internal

Gangguan yang disebabkan oleh sistem itu sendiri. Misalnya gangguan hubung singkat, kerusakan pada alat, *switching* kegagalan isolasi, kerusakan pada pembangkit dan lain-lain.

b. Gangguan External

Gangguan yang disebabkan oleh alam atau diluar sistem. Misalnya terputusnya saluran/kabel karena angin, badai, petir, pepohonan, layang-layang.

3. Akibat Gangguan

a. Beban Lebih

Pada saat terjadi gangguan maka sistem akan mengalami keadaan kelebihan beban karena arus gangguan yang masuk kesistem dan mengakibatkan sistem menjadi tidak normal, jika dibiarkan berlangsung dapat membahayakan peralatan sistem.

b. Hubung Singkat

Pada saat hubung singkat akan menyebabkan gangguan yang bersifat temporer maupun yang bersifat permanen. Gangguan permanen dapat terjadi pada hubung singkat 3 fase, 2 fase ke tanah maupun hubung singkat antar phasa maupun

hubung singkat 1 phasa ke tanah. Sedangkan pada gangguan temporer terjadi karena *flash over* antar penghantar dan tanah, antara penghantar dan tiang, antara penghantar dan kawat tanah dan lain-lain.

c. Tegangan Lebih

Tegangan lebih dengan frekuensi daya, yaitu peristiwa kehilangan atau penurunan beban karena *switching*, gangguan *AVR*, *over speed* karena kehilangan beban. Selain itu tegangan lebih juga terjadi akibat tegangan lebih *transient* surja petir dan surja hubung/*switching*.

d. Hilangnya Sumber Tenaga

Hilangnya pembangkit biasanya diakibatkan oleh gangguan di unit pembangkit, gangguan hubung singkat jaringan sehingga relai dan *MCB* (*Miniature Circuit Breaker*) bekerja dan jaringan terputus dari pembangkit.

4. Gangguan Hubung Singkat

Gangguan hubung singkat merupakan gangguan yang paling sering terjadi pada sistem tenaga listrik yang menyebabkan arus yang mengalir lebih besar sehingga dapat merusak peralatan bila tidak dilengkapi dengan proteksi yang tepat.

a. Hubung Singkat Satu Fase ke Tanah

Hubung singkat satu fase ke tanah adalah gangguan hubung singkat yang terjadi karena *flashover* antara penghantar fase dan tanah (tiang traves atau kawat tanah pada SUTM). Gangguan ini bersifat *temporer*, tidak ada kerusakan yang permanen dititik gangguan.

b. Hubung Singkat Dua Fase

Hubung singkat dua fase adalah gangguan hubung singkat yang terjadi karena bersentuhannya antara penghantar fase yang satu dengan satu penghantar fase yang lainnya sehingga terjadi arus lebih (*overcurrent*).

c. Hubung Singkat Tiga Fase

Hubung singkat tiga fase adalah gangguan hubung singkat yang terjadi karena bersatunya semua ketiga penghantar fase. Gangguan ini dapat diakibatkan oleh tumbangnya pohon kemudian menimpa kabel jaringan. Sehingga perlu untuk menganalisis terhadap arus gangguan hubung singkat.

5. Perhitungan Arus Hubung-Singkat

Arus hubung-singkat adalah hal fundamental bagi setiap perencanaan pengembangan/ekspansi sistem distribusi elektrik. Perkembangan serampangan kerap kali membawa ke situasi yang berbahaya di mana peralatan proteksi tidak cukup mampu memutuskan arus hubung-singkat yang mungkin terjadi pada saat terjadi gangguan. Ketika menggunakan pemutus-daya (*circuit-breaker*), nilai arus gangguan simetris dihitung lebih dahulu, lalu kemudian pengali asimetris yang sesuai digunakan untuk memperhitungkan pengaruh komponen DC (Faharuddin, 2002).

a. Komponen sistem di mana yang diketahui adalah nilai reaktans komponen

dalam persen (%) :

$$MVA_{sc} \frac{MVA_{rated}}{\%X_{equip}} \dots\dots\dots (2.1)$$

- b. Komponen sistem di mana yang diketahui adalah nilai reaktans komponen dalam Ohm (Ω) :

$$MVA_{sc} \frac{(KV_{LL})^2}{x_{act}} \quad \dots \dots \dots \quad (2.2)$$

- ### c. Penentuan Arus Gangguan Simetris

Maka Nilai arus gangguan simetris di titik gangguan (F), dapat diperoleh dengan menggunakan hubungan antara MVAsc total (sistem) dengan tegangan pragangguan, sebagai berikut:

$$I_{SC} = \frac{MVA_{SC-T} \times 1000}{\sqrt{3} kV_{LI}} \dots \dots \dots (2.3)$$

Ket:

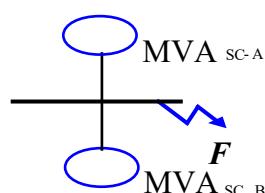
I_{sc} = arus gangguan simetris di titik gangguan.

MVAsct = MVAsc total (sistem).

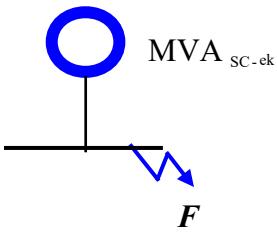
kV_{UL} = tegangan antar-fase.

Setelah memperoleh nilai MVAsc setiap komponen, maka seluruhnya digabungkan hingga membentuk nilai MVAsc tunggal yang mewakili sistem. Adapun cara yang dapat dilakukan untuk mengombinasikan MVAsc satu dengan yang lainnya hingga diperoleh $MVAs_c$ ekivalennya adalah:

1. Nilai MVA_{SC} yang terhubung paralel, langsung dijumlahkan untuk memperoleh nilai ekivalennya;



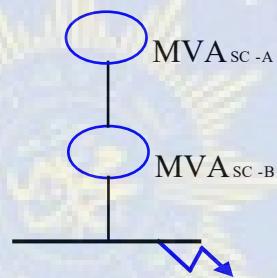
- a. MV_A_{SC-A} paralel dengan MV_A_{SC-B}



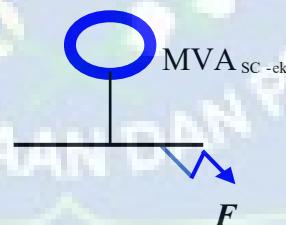
b. MVAekivalen dari (a)

Gambar 2.1. Ekivalensi antara dua nilai MVAsc yang paralel untuk gangguan di F (Faharuddin, 2002).

2. Nilai MVAsc yang terhubung seri, nilai ekivalennya merupakan hasil penggabungan nilai MVAsc seperti pada impedans yang paralel.



a. MVASC-A seri dengan MVASC-B



b. MVASC ekivalensi dari (a)

Gambar 2.2. Ekivalensi antara dua nilai MVAsc yang seri (Faharuddin, 2002).

2.4 Teori Thevenin

Teorema Thevenin adalah teorema yang menyatakan bahwa rangkaian yang rumit dari suatu sirkuit dapat disederhanakan menjadi rangkaian setara thevenin. Hal ini dapat memudahkan dalam melakukan pengukuran suatu rangkaian yang berbentuk rumit.

Rangkaian Thevenin seperti gambar berikut :



Gambar 2.3. Rangkaian Thevenin

Memiliki tegangan thevenin dan hambatan thevenin yang dapat diperoleh dari rumus:

dan

$$R_{TH} = R_2 + \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_3} \dots \dots \dots (2.7)$$

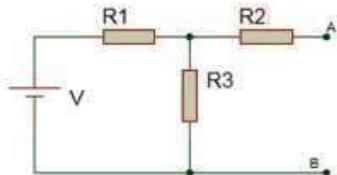
Keterangan :

R_i : Tegangan pada hambatan i

V_{TH} : Tegangan Thevenin

R_{TH} : Hambatan Thevenin

Di mana R_1 , R_2 , R_3 dapat dilihat pada gambar (2.4)



Gambar 2.4. Rangkaian paralel ke R3 dan seri ke R2

Tegangan dan hambatan thevenin dihitung secara matematis lalu tegangan thevenin diukur dengan multimeter diatur sebagai voltmeter dan probe multimeter dihubungkan secara paralel ke R_3 dan seri ke R_2 .

Teori Thevenin digunakan untuk menghitung arus hubung singkat pada titik gangguan. Arus hubung singkat ini merupakan parameter dalam menentukan setting relai proteksi, seperti relai arus lebih dan relai jarak.

Rumus hubung-singkat berdasarkan model Thevenin adalah

$$S_{Th} = \sqrt{3} \times V_{LL} \times I_{sc} \dots \dots \dots (2.8)$$

Keterangan :

S_{Th} : Daya hubung-singkat tiga fase dalam volt-ampere (VA)

$\sqrt{3}$: konstantan dalam perhitungan daya pada sistem tiga fase

V_{LL} : Tegangan garis ke garis (line-to-line-Voltage)

Isc : Arus hubung-singkat 3 fase (Amper)

Dengan menggunakan model thevenin, perhitungan arus gangguan menjadi sederhana dan akurat.

2.5 Fault locator

Fault Locator merupakan alat untuk perekam/pengolah analog *input* arus dan tegangan untuk melakukan proses *recording* yang kemudian hasilnya adalah menentukan lokasi gangguan pada saluran transmisi (KIYAR, 2022). Untuk mengevaluasi jenis gangguan yang terjadi dibutuhkan peralatan bantu yang memonitor peralatan sistem tenaga listrik secara *real time* dan merekam gangguan/anomali yang terjadi. Layaknya sebagai *black box* pada pesawat terbang, alat ini membantu dengan memberikan data-data yang berhasil direkam dalam waktu sebelum, selama dan sesudah peralatan yang dimonitor mengalami gangguan/anomali, data hasil rekam tersebut sangat penting karena dapat digunakan untuk menganalisa penyebab dan akibat gangguan/anomali yang terjadi dan bahkan dapat menentukan langkah-langkah antisipasi agar gangguan atau anomali yang sifatnya merusak peralatan atau mengganggu operasional dan pelayanan tidak terjadi.

Lokasi gangguan (biasanya diukur dalam kilometer dari gardu induk) dapat diestimasi dengan menggunakan rumus yang menghubungkan impedans terukur saat terjadi gangguan dengan impedans per kilometer dari saluran.

Rumus dasarnya adalah:

Dimana:

- d_{est} adalah jarak yang diestimasi oleh *fault locator* (km).

- Z_f adalah impedans yang diukur dari titik pengukuran hingga titik gangguan (Ohm).
 - Z_t adalah impedans per kilometer dari saluran (Ohm/km).
 - L adalah Panjang saluran (km)

Rumus untuk Error Aktual (*Actual Error*):

Keterangan:

- $\text{Error}_{\text{actual}}$ adalah error aktual (km).
 - d_{est} adalah jarak yang diestimasi oleh *fault locator* (km).
 - d_{actual} adalah jarak lokasi gangguan yang disimulasikan (km).

2.6 Impedans Saluran

Impedans atau secara singkat sering disebut dengan impedans adalah ukuran hambatan listrik pada sumber arus bolak-balik *AC* impedans listrik juga sering disebutkan sebagai jumlah hambatan listrik sebuah komponen elektronik terhadap aliran arus dalam rangkaian pada *frekuensi* tertentu. Impedans listrik atau *Electrical Impedance* didefinisikan sebagai ukuran penolakan terhadap arus bolak-balik sinusoidal. Impedans atau dalam bahasa Inggris disebut dengan impedans ini biasanya dilambangkan dengan huruf Z, demikian pula dengan hukum ohm untuk hambatan (Al Qoyyimi. 2017) impedans dapat dinyatakan sebagai $Z = V/I$ dimana:

Resistans adalah konsep dasar dalam bidang studi elektrik. Anda dapat melihatnya dalam hukum Ohm: $\Delta V = I * R$. Persamaan ini membuat anda bisa

menghitung nilai-nilai dari variabel-variabel tersebut selama anda mengetahui setidaknya dua dari tiga variabelnya. Sebagai contoh, untuk menghitung resistans, tulislah rumusnya menjadi $R = I / \Delta V$. Anda juga bisa menghitung resistans dengan mudah menggunakan multimeter. ΔV : adalah tegangan, satunya Volt (V). Variabel ini juga disebut sebagai perbedaan potensi.

Kurangi reaktans induktif dengan reaktans kapasitif untuk memperoleh total reaktans. Oleh karena efek salah satu reaktans meningkat seiring dengan menurunnya efek reaktans satunya lagi, kedua reaktans tersebut cenderung saling mengurangi efek satu sama lain. Untuk mencari nilai totalnya, kurangi nilai reaktans yang lebih besar dengan nilai reaktans yang lebih kecil yang akan memperoleh hasil yang sama dari rumus $X_{\text{total}} = |X_C - X_L|$

Menghitung impedans dari resistans dan reaktans dalam rangkaian seri. Anda tidak bisa menjumlahkan keduanya karena kedua nilai tersebut berada pada fase yang berbeda. Artinya, nilai keduanya berubah seiring berjalannya waktu sebagai bagian dari siklus AC, tetapi keduanya mencapai puncak pada waktu yang berbeda. Untungnya, apabila semua komponennya berada dalam rangkaian seri (hanya terdapat satu kawat), kita dapat menggunakan rumus sederhana $Z = \sqrt{(R^2 + X^2)}$ (Dayana, 2020).

Untuk perhitungan saluran impedans trasnmisi, perhitungannya tergantung dari besarnya impedans per km dari penyulang yang akan dihitung, dimana besar nilainya dihitung dari besar penghantar, yaitu dari bahan apa penghantar itu dibuat dan juga tergantung dari besar kecilnya penampang dan panjang saluran penghantarnya.

Impedans merupakan parameter pokok untuk digunakan dalam perhitungan, untuk menghitung impedans (Z) saluran transmisi, terlebih dulu kita menghitung resistans saluran (R) dan reaktans saluran (X), dimana nilai dari reaktans bisa didapat dari dua parameter yaitu nilai kapasitansi dan nilai induktansi.

Salah satu karakteristik rangkaian listrik adalah induktans, yang menghasilkan potensial listrik yang berbanding lurus dengan arus yang mengalir melalui rangkaian. Henry (H) adalah satuan standar induktans dalam skala global. Persamaan berikut menjelaskan induktans:

$$L = X_L / 2 \cdot \pi \cdot f$$

2.7 Presentase *Error* jarak

Presentase *error* adalah perbedaan antara perkiraan atau nilai terukur dan nilai yang tepat atau diketahui. Alat proteksi biasanya selalu memiliki persentase *error* dalam menentukan jarak gangguan dari jarak gangguan yang sebenarnya. Persamaan persentase *error* jarak lokasi gangguan dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut : (Faharuddin, 2025).

$$Error_{persen} = \frac{JARAK\ aktual - JARAK\ terestimasi}{JARAK\ aktual} \times 100 \dots\dots\dots(2.12)$$

(Faharuddin, 2025)

Dimana :

Jarak aktual : jarak lokasi gangguan dari perhitungan nilai impedans

Jarak terstimasai : jarak terestimasi lokasi gangguan dalam simulasi

2.8 Perangkat Lunak *PSCAD*

PSCAD (*Power Systems Computer Aided Design*) merupakan salah satu perangkat lunak simulasi yang paling penting dan populer dibidang simulasi sistem tenaga listrik. Terdapat pustaka yang luas yang mencakup berbagai macam model untuk studi sistem tenaga dan elektronika daya. Terdapat pula pustaka relai yang mencakup beberapa model dan komponen relai dasar di dalamnya. Dan semakin banyak model dan komponen relai proteksi yang dirancang dan dikembangkan di *HVDC*.

PSCAD adalah simulasi domain waktu dan alat profesional untuk mempelajari perilaku transien jaringan listrik. *PSCAD* adalah yang paling cocok untuk mensimulasikan tanggapan instan domain waktu, yaitu transien elektromagnetik sistem listrik. Ini dapat digunakan untuk semua aspek melakukan simulasi sistem daya termasuk perakitan sirkuit, kontrol *run-time*, analisis dan pelaporan (Wilson, 2004).

PSCAD adalah alat simulasi standar industri untuk mempelajari perilaku transien jaringan listrik. Antarmuka pengguna berbasis grafisnya memungkinkan pengguna untuk merakit sirkuit secara grafis, menjalankan simulasi, menganalisis hasilnya, dan mengelola data dalam lingkungan grafis yang terintegrasi sepenuhnya. Perpustakaan modelnya yang komprehensif mendukung sebagian besar komponen dan kontrol *AC* dan *DC* pembangkit listrik.

Sistem daya juga dapat memberikan fleksibilitas untuk membangun model yang ditentukan pengguna baik dengan merakitnya secara visual menggunakan model yang ada atau dengan memanfaatkan editor desain grafis intuitif dan menulis kode di Fortran, skrip *PSCAD*. Ini menyediakan sumber daya yang kuat untuk menilai dampak teknologi daya baru dalam jaringan listrik (Kim & Kim, 2007).

PSCAD juga mewakili dan memecahkan persamaan diferensial dari seluruh sistem tenaga dan kontrolnya dalam domain waktu (baik sistem elektromagnetik maupun elektromekanis) ini menggunakan teknik analisis simpul yang terkenal bersama dengan aturan integrasi trapesium dengan langkah waktu integrasi tetap. Ini juga menggunakan teknik interpolasi dengan peralihan seketika untuk mewakili perubahan struktural sistem.

Simulasi *PSCAD* dapat digunakan dengan beberapa parameter kontrol memerlukan konversi ke nilai yang tepat karena perbedaan satuan. Sisi penyearah menggunakan kontrol arus dengan referensi yang diperoleh dari inverter atau sistem *HVDC* terdiri dari jaringan pasokan, filter, dan transformator di kedua sisi konverter. Jaringan suplai *AC* diwakili oleh sumber tegangan setara thevenin dengan impedans sumber yang setara. Filter *AC* ditambahkan untuk menyerap harmonik yang dihasilkan oleh konverter serta untuk memasok daya reaktif ke konverter (Faruque, 2006).

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode eksperimental menggunakan aplikasi *PSCAD* dengan membuat rangkaian sistem tenaga listrik, kemudian menerapkan model sistem daya distribusi gangguan *Fault Locator* dan impedans tenaga listrik tersebut, dan menjalankan simulasinya untuk menganalisis data dari sistem daya, distribusi gangguan *Fault Locator* impedans pada sistem tenaga listrik tersebut.

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian direncanakan akan dilakukan dalam waktu satu bulan dari bulan tujuh sampai bulan delapan. Tempat pengambilan data adalah PLN ULTG PANAKKUKANG dan PLN UP3 MAKASSAR SELATAN serta pengolahan data di kampus UNISMUH MAKASSAR.

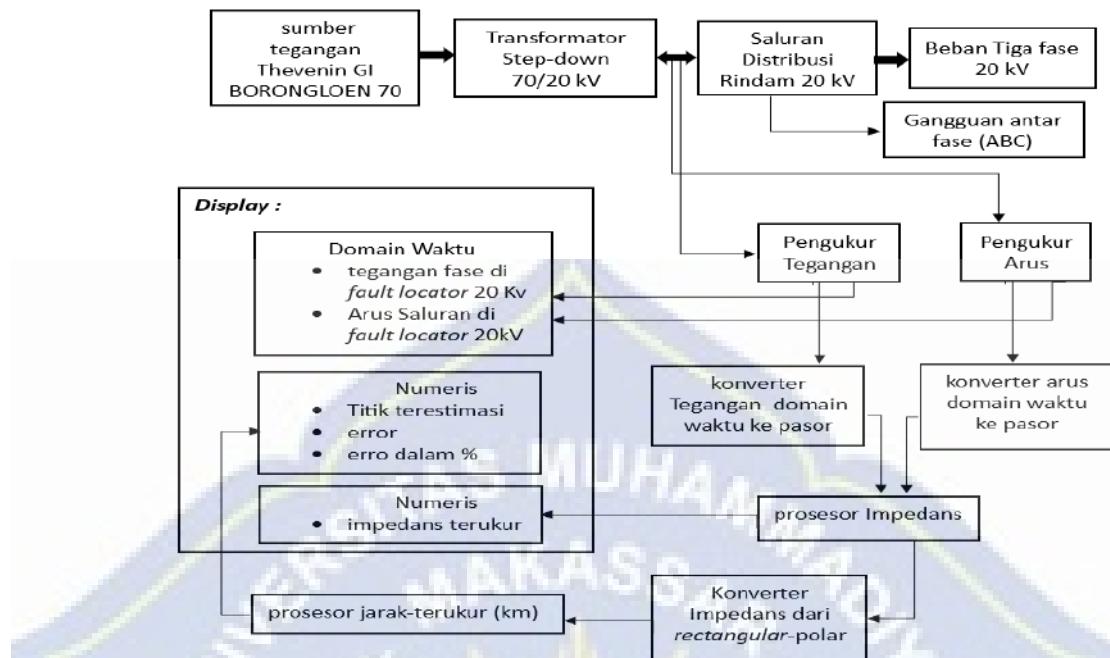
3.2 Alat dan Bahan

Tabel 3.1. Alat dan Bahan

Alat	Bahan
a. Laptop HP dengan spesifikasi: Prosesor : Intel(R) Core (TM) i5-7200U CPU 2.50GHz 2.71GHz Memori Ram : 8,00 GB (7,89 GB usable) Memori Hardisk : 320 GB Sistem operasi : Windows 10 Pro b. Perangkat Lunak <i>PSCAD (power system computer aided design) student version.</i>	Adapun bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah buku serta jurnal yang terlampir pada daftar Pustaka.

3.3 Skema penelitian

Gambar skema terbagi dua yakni: skema sistem operasi gangguan dengan metode impedans *fault locator* setiap skema akan terimplementasi ke masing masing dalam satu model/simulator, sehingga akan diperoleh model-01.



Gambar 3.1 Diagram Blok Konfigurasi Sistem Daya

Gambar 3.1 Diagram blok menjelaskan skema penelitian yang menunjukkan proses kerja sistem *fault locator* berbasis impedans, dimulai dari sumber tegangan Thevenin (V_{Th}) 70 kV yang diturunkan oleh transformator *step-down* menjadi 20 kV dan disalurkan melalui jaringan distribusi menuju beban tiga fase, di mana terjadi gangguan antar fase (ABC), kemudian tegangan dan arus pada titik pengukuran diambil oleh sensor, diubah dari domain waktu menjadi fasor, diproses untuk menghitung impedans gangguan, dikonversi ke bentuk polar untuk memperkirakan jarak gangguan dalam kilometer, serta ditampilkan bersama data tegangan, arus, impedans, titik lokasi gangguan, dan persentase kesalahan estimasi. Selain itu tegangan Thevenin (V_{Th}) di Rel 70 kV diukur menggunakan voltmeter fase, yang menunjukkan tenganga, serta amperemeter pendukung arus, hasil akhir ditampilkan melalui display dan juga menunjukkan status domain waktu dan numeris.

3.4 Data Penelitian

Data yang digunakan dalam pelaksanaan studi ini adalah penyulang Rindam di ULTG Panakkukang dan UP3 Makassar Selatan.

1. Data arus hubung-singkat GI Borongloe 70 kV

Tabel 3.2. Data Arus Hubung-Singkat

Tegangan Rel (Teg.hubung Buka)	Arus hubung-Singkat Tiga-Fase	
70 kV	Maks.(kA)	Min.(kA)
70 kV	2.51	2.26

2. Data Penyulang Rindam

Tabel 3.3. Penyulang Rindam (PLN, 2025)

Panjang Penyulang Rindam	5,375 KMS
Ukuran Kawat	3 x 240 mm ²
Jenis Kabel	XLPE

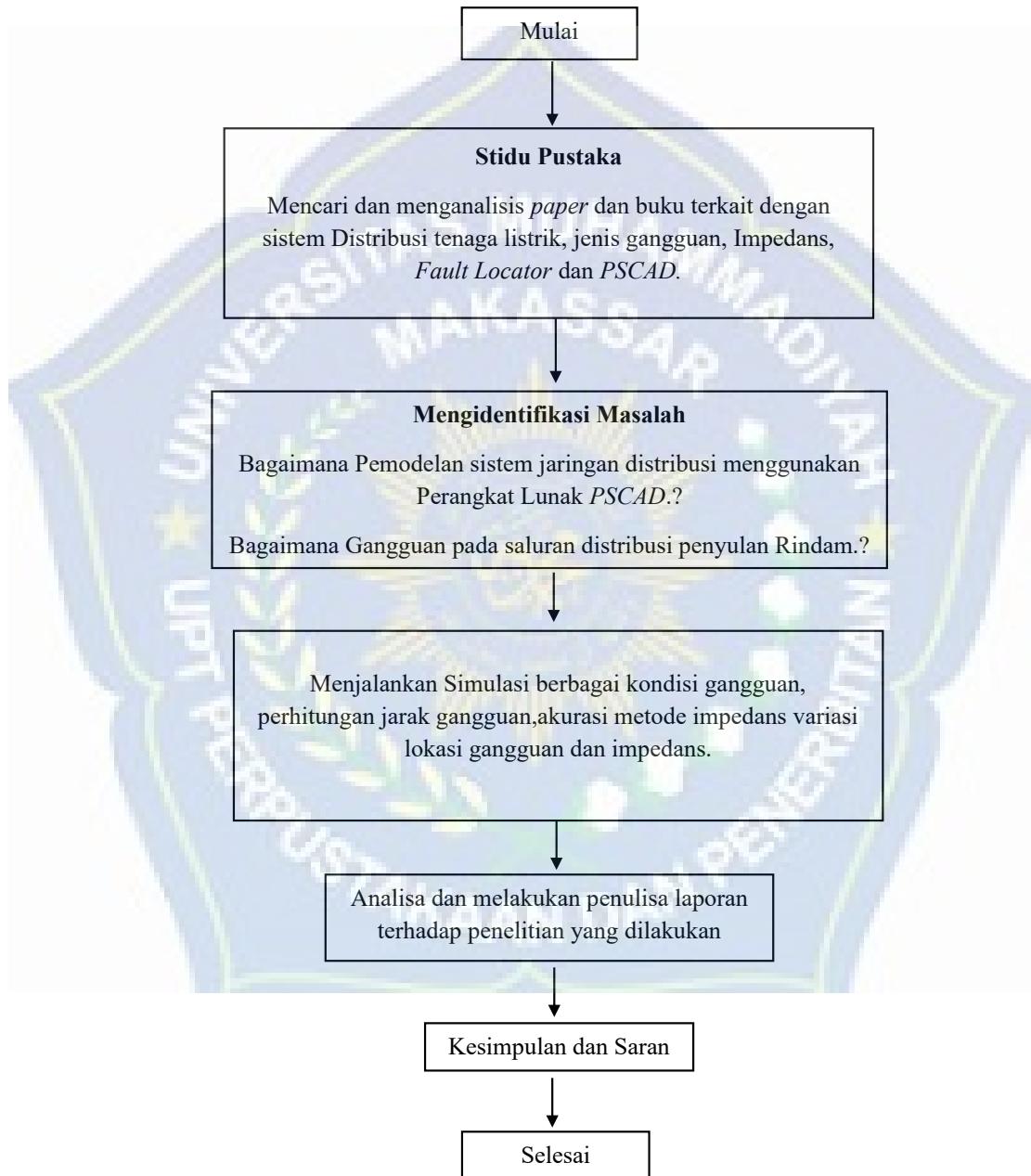
3. Data Spesifikasi Trafo 2 GI Borongloe

Tabel 3.4. Data Spesifikasi Trafo 2 GI Borongloe (PLN, 2025)

Tegangan Primer	70 kV
Tegangan Sekunder	20 kV
Daya Trafo	20 MVA
Impedans Trafo	11,9 %
Tipe Trafo	YNyn0+d

3.5 Langkah Penelitian

Secara garis besar tahapan yang dilakukan dalam penelitian ditunjukkan pada bagan berikut :



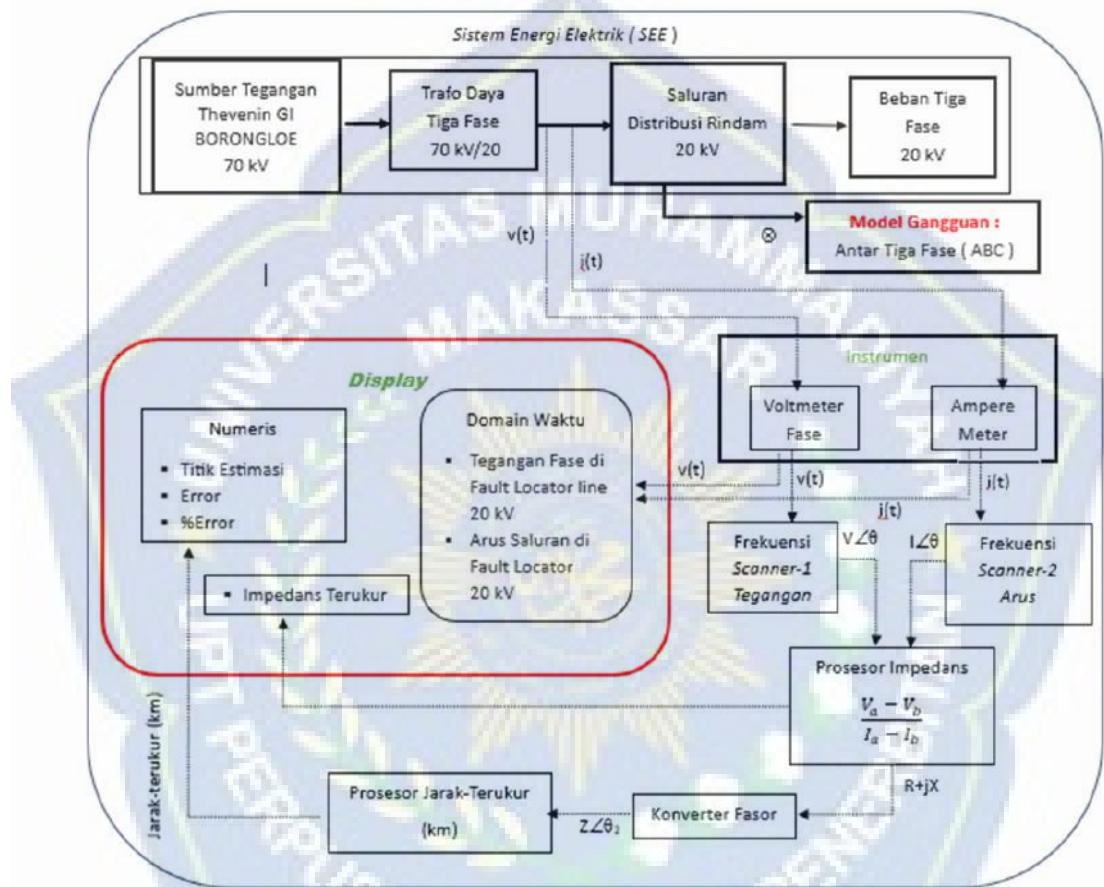
Gambar 3. 2 Tahapan Penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Konfigurasi dan Model PSCAD

4.1.1 Konfigurasi Sistem



Gambar 4.1. Skema/konfigurasi dan model PSCAD (Faharuddin, 2025)

4.1.2 Pemodelan Sumber Thevenin di GI Borongloe

Model sumber Thevenin dibangun dengan menggunakan data arus hubung singakat tiga-fase maksimum sebesar 2,51 kV serta tegangan di GI Borongloe, sebesar 70 kV seperti yang disajikan pada tabel 4.1. Daya hubung-singkat maksimum (S_{Th}) yang di peroleh menggunakan Persamaan (8).

Tabel 4.1. Data tegangan dan arus hubung-singkat di GI 70 kV Borongloe
 (PLN, 2025)

Tegangan Rel (Teg.hubung Buka)	Arus hubung-Singkat Tiga-Fase	
70 kV	Maks.(kA)	Min.(kA)
70 kV	2.51	2.26

Sumber Thevenin dibangun dengan menggunakan data arus hubung-singkat tiga-fase maksimum serta tegangan hubung-buka di GI Borongloe seperti yang disajikan pada Tabel 4.1.

Daya hubung-singkat maksimum yang diperoleh, menggunakan Persamaan (8) sebagai berikut,

$$S_{Th} = \sqrt{3} = (1,732) \times 70 \text{ kV} \times (2.51) = 304,3124 \text{ MVA}$$

Selanjutnya, nilai parameter induktans dapat diperoleh seperti berikut, dengan terlebih dahulu menghitung nilai impedans (resistans diabaikan).

$$Z = (70 \text{ kV})^2 / S_{Th}$$

$$Z = (4,900) \text{ MVA}^2 / 304,3124 \text{ MVA}$$

$$Z = 16,1018 \Omega$$

Oleh karena resistans diabaikan maka nilai reaktans sama dengan impedans, yakni $16,1018 \Omega$ dengan demikian, nilai induktans (L) menggunakan Persamaan (11) yakni sebagai berikut,

$$X_L = 2\pi f L$$

$$L = X_L / 2\pi f$$

$$L = 16,1018 / 2 \times 50 \times 3,14$$

$$L = 16,1018 / 314$$

$$L = 0,05127 \text{ H}$$

Jadi nilai untuk induktans Generator Thevenin GI Borongloe adalah **0,05127 H**

4.1.3 Model Transformator

Penelitian ini kami menggunakan trafo tiga-fase penurun tegangan (*step-down*) dari tegangan 70 kV ke 20 kV.

Tabel 4.2. Data Spesifikasi Trafo 2 GI Borongloe (PLN, 2025)

Tegangan Primer	70 kV
Tegangan Sekunder	20 kV
Daya Trafo	20 MVA
Impedans Trafo	11,9 %
Tipe Trafo	YNyn0+d

4.1.4 Model Saluran Distribusi Penyulang Rindam

- Panjang Penyulang

Panjang Penyulang Rindam = 5,375 KMS

- Impedans Jenis

Ukuran kawat = 3 x 240 mm²

Jenis Kabel = XLPE

Tabel 4.3. Impedans Jenis (PLN, 2025)

Resistans	0,1344 Ohm / Km
Induktans	0,1014 mH/ km

➤ Menghitung Impedans Penyulang

Pada Penyulang Rindam tipe konduktor yang digunakan adalah tipe XLPE dengan luas penampang 240 mm^2 sesuai dengan tabel 3.5 sehingga didapatkan :

$$\begin{aligned} R_{\text{Total}} &= R_{\text{per km}} \times \text{Panjang Penyulang} \\ &= 0,1344 \times 5,375 \\ &= \mathbf{0,7224 \Omega} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_{\text{Total}} &= L_{\text{per km}} \times \text{Panjang Penyulang} \\ &= 0,001014 \times 5,375 \\ &= \mathbf{0,0054 \text{ H}} \end{aligned}$$

Kemudian menghitung nilai reaktans induktif X_L dengan menggunakan Persamaan (11) adalah $X_L = 2\pi f L$

$$\begin{aligned} X_L &= 2\pi f L \\ &= 2 \times 3,14 \times 50 \times 0,0054 \\ &= \mathbf{1,6956 \Omega} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_{\text{Total}} &= \sqrt{R^2 + X_L^2} \\ &= \sqrt{0,7224^2 + 1,6956^2} \\ &= \sqrt{0,52186 + 2,87505} \\ &= \sqrt{3,39685} \\ &= \mathbf{1,8431 \Omega} \end{aligned}$$

➤ Perhitungan Beban Penyulang Rindam

Perhitungan Daya :

$$\begin{aligned} \text{Daya Semu, } S &= \sqrt{3} \times V \times I \\ &= 1,732 \times 20.000 \times 145 \\ &= \mathbf{5 \text{ MVA}} \end{aligned}$$

$$\text{Cos}\phi = 0,85$$

$$\Phi = \cos^{-1}[0,85]$$

$$= 31,78$$

Daya nyata, $P = S \times \cos\phi$

$$= 5 \times 0,85$$

$$= 4,2 \text{ MW}$$

Daya reaktif, $Q = \sqrt{S^2 - P^2}$

$$= \sqrt{5^2 - 4,2^2}$$

$$= \sqrt{25 - 17,64}$$

$$= \sqrt{7,39}$$

$$= 2,7 \text{ MVAR}$$

4.2 Model PSCAD

Model *PSCAD* untuk mensimulasikan model *fault locator* dan kinerja dari model tersebut serta sinyal arus, pada saat terjadi gangguan maupun kondisi normal. Model sistem daya yang di simulasikan menggunakan *software PSCAD* di GI Borongloe mulai dari sumber Thevenin Of Sulselrabar pada GI Borongloe. Adapun hasil simulasi *software PSCAD* mulai dari kondisi normal dan gangguan dari jarak 25% - 50% -75% sebagai berikut:

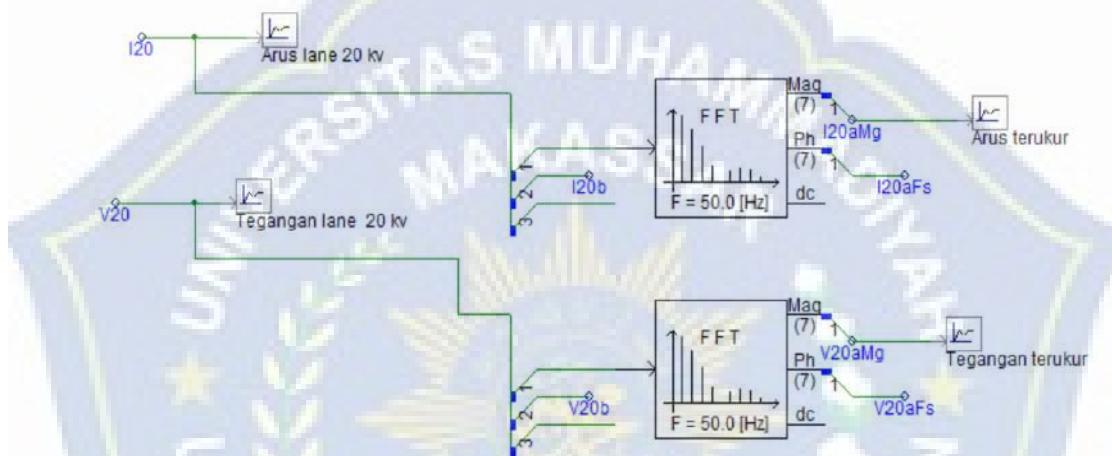
4.2.1 Model Simulasi dalam Kondisi Normal



Gambar 4.2. Model *PSCAD* Sistem Daya Kondisi Normal

Sumber: Dokumentasi Pribadi (*PSCAD*), 2025

Model PSCAD Sistem Daya Kondisi Normal pada Gambar 4.2 Simulasi keadaan normal pada sistem tenaga listrik dari GI Borongloe 70 kV menunjukkan aliran energi listrik yang stabil melalui trafo penurun tegangan ke 20 kV, melintasi impedans saluran penyulang Rindam, dan mengalir menuju beban Penyulang Mayora dengan daya aktif 4,2 MW dan daya reaktif 2,7 MVAR; tegangan dan arus pada sistem bekerja dalam batas normal tanpa gangguan, sehingga sistem mampu memenuhi kebutuhan daya beban secara efektif dengan penurunan tegangan yang masih wajar sepanjang jalur distribusi.

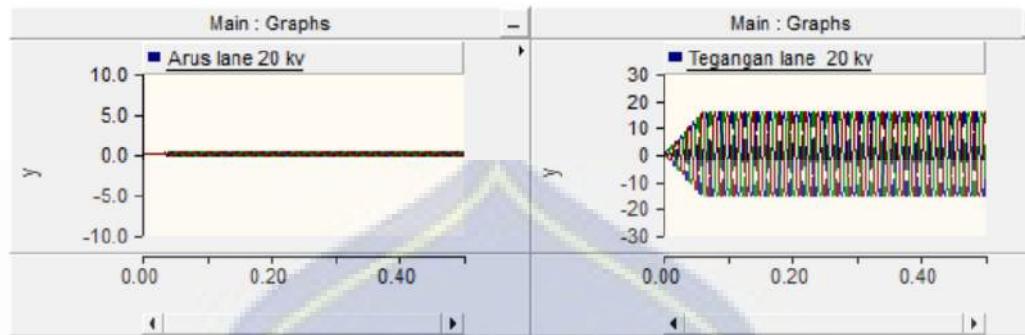


Gambar 4.3. Model Simulator dalam Kondisi Normal

Sumber: Dokumentasi Pribadi (PSCAD), 2025

Diagram skematik diatas menggambarkan sistem pengukuran dan analisis sinyal listrik, khususnya untuk tegangan dan arus pada jalur 20 kV. Sinyal arus (I20) dan tegangan (V20) dari jalur 20 kV diukur dan diumpulkan ke *blok FFT* yang menganalisis spektrum frekuensi sinyal tersebut pada frekuensi dasar 50 Hz. Hasil dari *FFT*, yaitu magnitudo (Mag) dan fase (Ph) dari harmonisa ke-7 (ditunjukkan dengan angka 7), kemudian diukur sebagai "Arus terukur" (I20aMg dan I20aFs) dan "Tegangan terukur" (V20aMg dan V20aFs). Selain itu, magnitudo arus (I20bMg) dan tegangan (V20bMg) juga digunakan untuk menghitung impedans terukur, yang

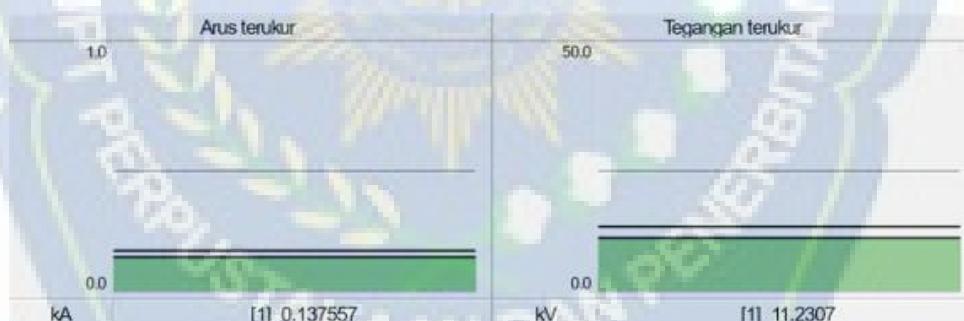
dihitung dengan membagi tegangan dengan arus (V_{20aMg} / I_{20aMg}), seperti yang ditunjukkan oleh blok *N/D* (*Numerator/Denominator*) pada diagram.



Gambar 4.4. Grafik Arus dan Tegangan dalam Kondisi Normal

Sumber: Dokumentasi Pribadi (*PSCAD*), 2025

Grafik pada Gambar 4.4, menggambarkan sinyal arus dan tegangan pada *output* trafo yakni sisi sekunder, pada kondisi normal. Grafik arus dan tegangan merupakan *input* pengukuran untuk menentukan arus dan tegangan yang terukur pada Penyulang Rindam.



Gambar 4.5. Display Domain Waktu Arus dan Tegangan dalam

Kondisi Normal

Sumber: Dokumentasi Pribadi (*PSCAD*), 2025

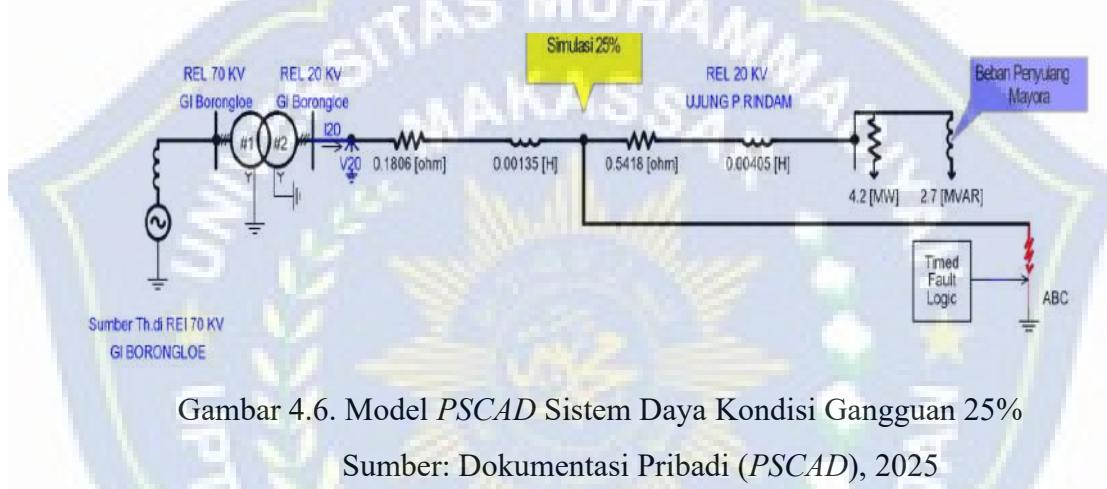
Sementara itu, display pada Gambar 4.5, menggambarkan sinyal nilai numerik yang merupakan hasil pengukuran dan perhitungan sistem. Nilai-nilai tersebut meliputi arus terukur 0,13 kA dan tegangan terukur 11,23 kV.

Tabel 4.4. Hasil Simulasi dalam Keadaan Normal

Pengukuran	Hasil Simulasi Pengukuran
Arus (kA)	0,13
Tegangan (kV)	11,23

4.2.2 Model Gangguan dengan Resistans Gangguan 0,001 Ohm

a. Model Gangguan Simulai 25% / 1.3437 km

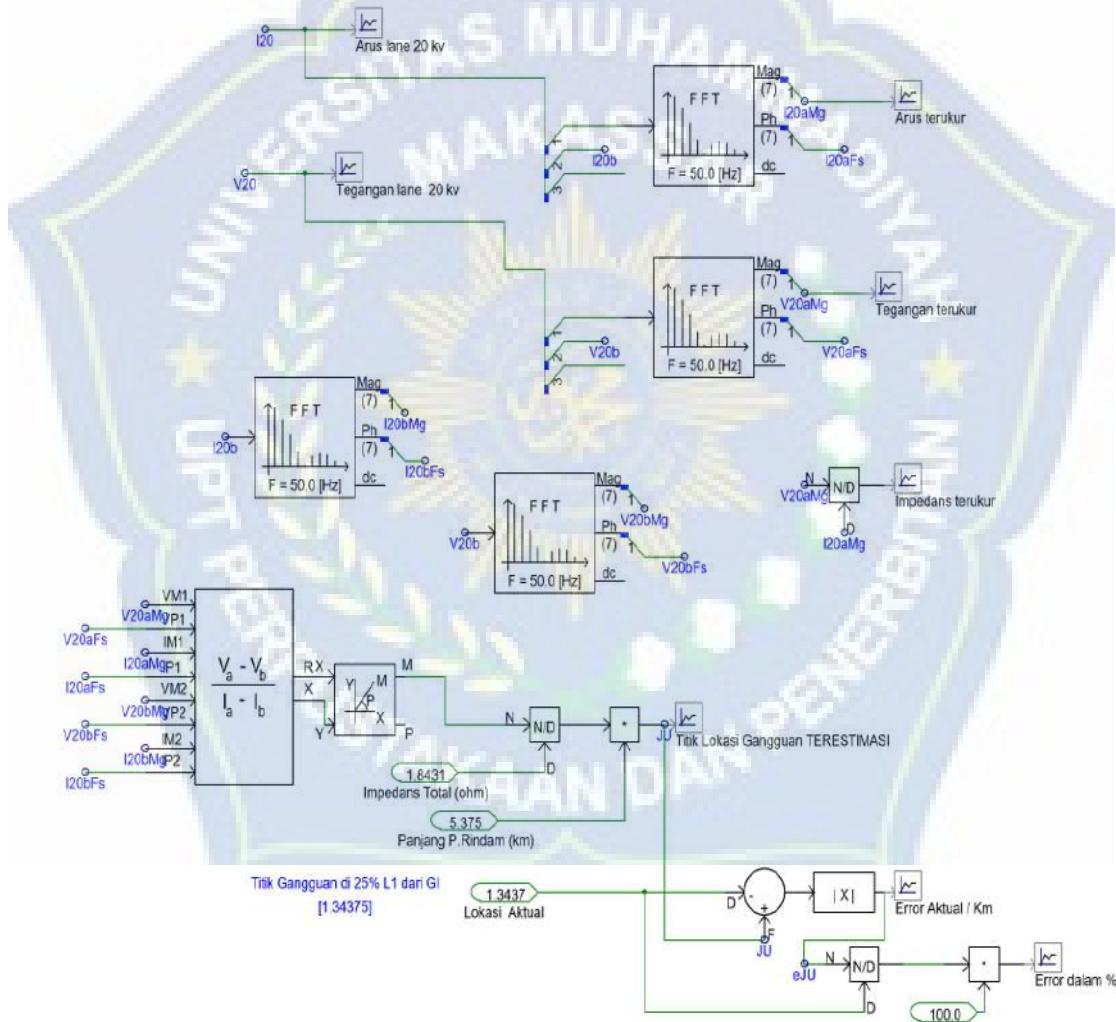


Gambar 4.6. Model PSCAD Sistem Daya Kondisi Gangguan 25%

Sumber: Dokumentasi Pribadi (PSCAD), 2025

Model PSCAD sistem daya yang menggambarkan sistem distribusi listrik yang dimulai dari sumber tegangan thevenin di Gardu Induk (GI) Borongloe pada 70 kV, kemudian diturunkan melalui trafo menjadi 20 kV. Dalam model ini terdapat urutan perangkat proteksi (REL 70 kV dan REL 20 kV), transformator, serta elemen-elemen jaringan seperti impedans saluran (dinyatakan dalam satuan Ohm dan Henry) dan beban ujung berupa daya aktif sebesar 4,2 MW dan daya reaktif sebesar 2,7 MVAR pada saluran penyulang mayora sebagai titik komsumsi daya.

Selain itu, model tersebut juga menampilkan kondisi simulasi gangguan sebesar 25% serta penerapan logika waktu (*Timed Fault Logic*) yang disimulasikan pada titik tertentu dalam jaringan (*phase-to-ground fault ABC*). Tujuan dari simulasi ini adalah untuk secara keseluruhan, model tersebut digunakan sebagai studi aliran daya dan analisis proteksi pada sistem tenaga listrik dengan mempertimbangkan perhitungan impedans saluran serta beban nyata.

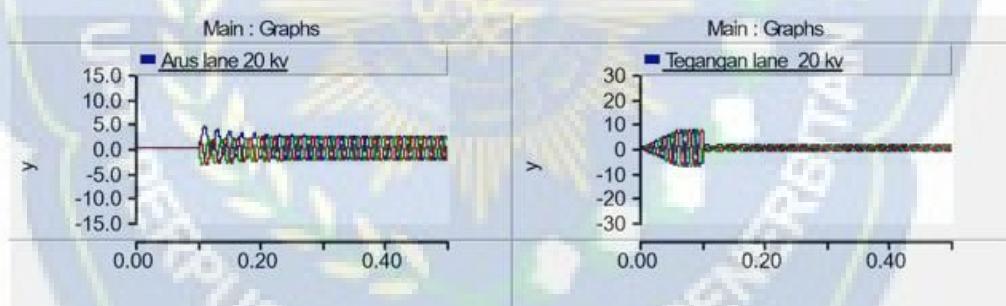


Gambar 4.7. Model Simulator dalam Kondisi Gangguan 25%

Sumber: Dokumentasi Pribadi (PSCAD), 2025

Model Simulator pada Gambar 4.7, menggambarkan data arus, tegangan, dan impedans yang diperoleh kemudian digunakan sebagai *input* ke *blok* pemrosesan yang bertugas mengestimasi lokasi gangguan dengan membandingkan impedans yang diukur terhadap impedans total dan panjang saluran.

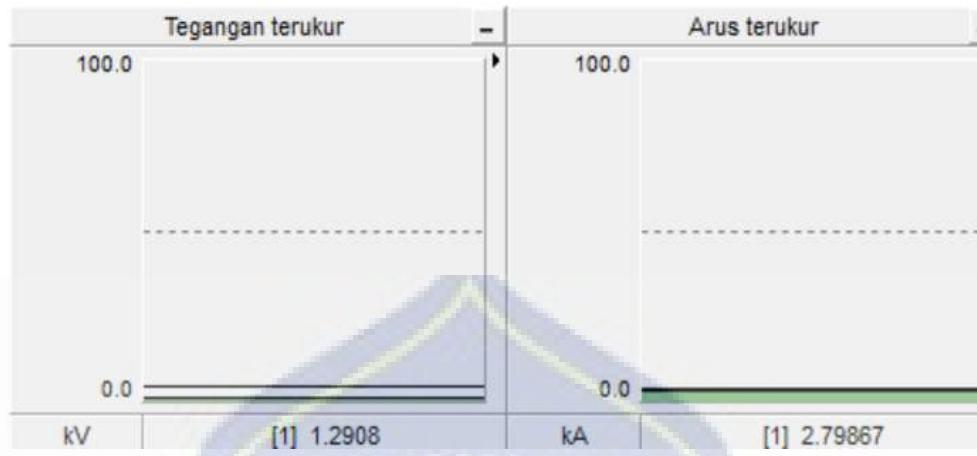
Proses perhitungan lokasi gangguan yang mengambil tegangan dan arus fase sebagai *input*. Dari hasil perhitungan ini, sistem dapat memperkirakan posisi gangguan dalam satuan kilometer serta persentase terhadap total panjang saluran. Selain itu, lokasi gangguan sebenarnya juga diketahui sebagai acuan, sehingga kesalahan estimasi lokasi yang berupa selisih aktual dan persentase dapat dihitung. Hasil akhir dari sistem ini memberikan informasi mengenai tingkat ketepatan penentuan lokasi gangguan dan perbedaan antara posisi estimasi dan posisi sebenarnya.



Gambar 4.8. Grafik Arus dan Tegangan Kondisi Gangguan 25%

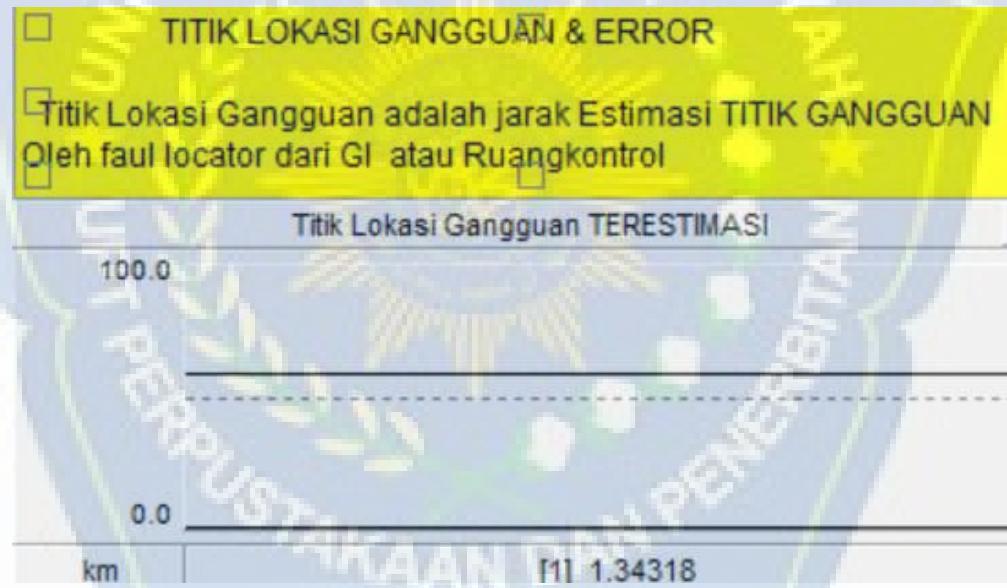
Sumber: Dokumentasi Pribadi (*PSCAD*), 2025

Grafik pada Gambar 4.8, menggambarkan sinyal arus dan tegangan pada *output* trafo yakni sisi sekunder, pada nilai resistans 0,001 ohm, grafik arus dan tegangan merupakan *input* pengukuran untuk menentukan arus dan tegangan yang terukur pada penyulang rindam.



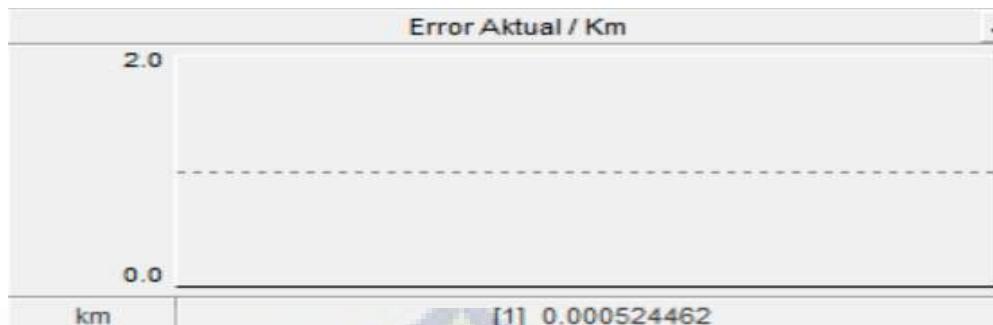
Gambar 4.9. *Display Domain Waktu Arus Terukur dan Tegangan Terukur dalam Kondisi Gangguan 25%*

Sumber: Dokumentasi Pribadi (*PSCAD*), 2025



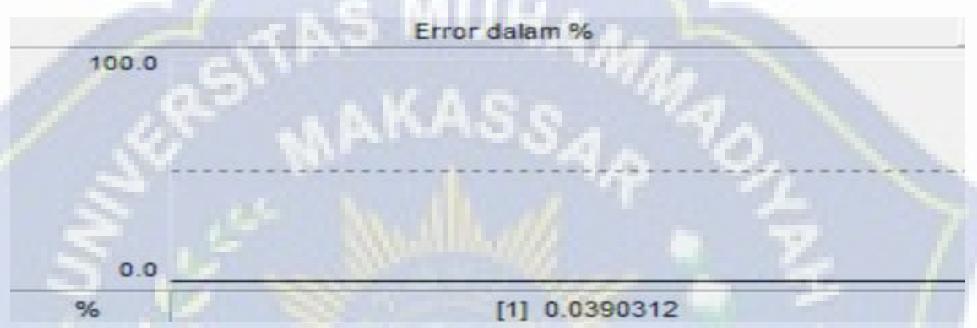
Gambar 4.10. *Display Numerik Titik Lokasi Gangguan Terestimasi dalam Kondisi Gangguan 25%*

Sumber: Dokumentasi Pribadi (*PSCAD*), 2025



Gambar 4.11. *Display Numerik Error Aktual dalam Kondisi Gangguan 25%*

Sumber: Dokumentasi Pribadi (*PSCAD*), 2025



Gambar 4.12. *Display Numerik Error dalam % dalam Kondisi Gangguan 25%*

Sumber: Dokumentasi Pribadi (*PSCAD*), 2025



Gambar 4.13. *Display Numerik Impedans Terukur dalam Kondisi Gangguan 25%*

Sumber: Dokumentasi Pribadi (*PSCAD*), 2025

Pada hasil simulasi gangguan resistans 0,001 ohm dalam kondisi gangguan 25% menunjukkan bahwa arus pada saat terjadi gangguan 2,7986 kA, tegangan

terukur 1,2908 kV seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.9. Adapun *display* numerik titik lokasi gangguan terestimasi 1,3431 km, *error* aktual 0,0005 km, *error* dalam persen 0,0390%, serta impedans terukur 0,4612 ohm, seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.10 sampai Gambar 4.13.

Secara matematis, menggunakan Persamaan (9), jarak gangguan terestimasi sebagai berikut:

$$\begin{aligned} d_{\text{est}} &= \frac{0,4612}{1,8431} \times 5,375 \\ &= 0,2501 \times 5,375 \\ &= 1,34 \text{ km} \end{aligned}$$

Selanjutnya, menggunakan Persamaan (10), *error* aktual diperoleh sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Error}_{\text{actual}} &= |1,3431 - 1,3437| \\ &= \approx 0,05 \text{ km} \end{aligned}$$

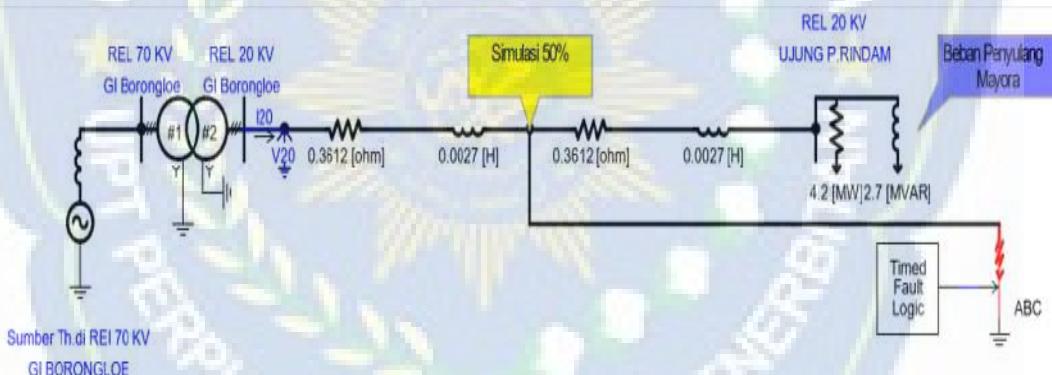
Kemudian, untuk menentukan presentase *error* jarak digunakan Persamaan (12), sehingga diperoleh hasil sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Error}_{\text{persen}} &= \left| \frac{1,3437 - 1,3431}{1,3437} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{0,0006}{1,3437} \right| \times 100\% \\ &= 0,03\% \end{aligned}$$

Tabel 4.5. Hasil Simulasi dari 25% dengan Resistans Gangguan 0,001 Ohm

Pengukuran	Hasil Simulasi Gangguan 25% (1,3437 km)
Arus Terukur (kA)	2,79
Tegangan Terukur (kV)	1,29
Titik Lokasi Gangguan Terestimasi (km)	1,34
Error Aktual (km)	$\approx 0,05$
Error dalam (%)	0,03
Impedans Terukur (ohm)	0,46

b. Model Gangguan Simulai 50% / 2,6875 km



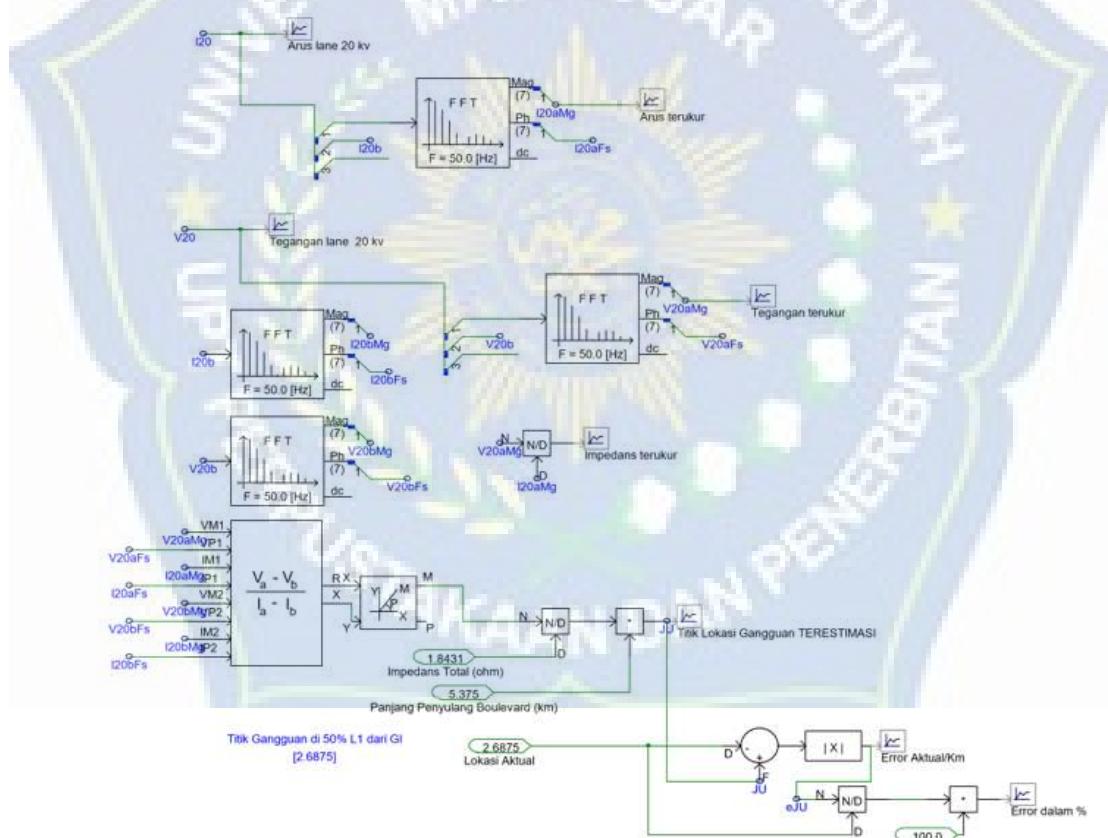
Gambar 4.14. Model PSCAD Sistem Daya Kondisi Gangguan 50%

Sumber: Dokumentasi Pribadi (PSCAD), 2025

Model PSCAD Sistem Daya yang menggambarkan sistem distribusi listrik yang dimulai dari sumber tegangan thevenin di Gardu Induk (GI) Borongloe pada 70 kV, kemudian diturunkan melalui trafo menjadi 20 kV. Dalam model ini terdapat urutan perangkat proteksi (REL 70 kV dan REL 20 kV), transformator, serta elemen-elemen jaringan seperti impedans saluran (dinyatakan dalam satuan Ohm

dan Henry) dan beban ujung berupa daya aktif sebesar 4,2 MW dan daya reaktif sebesar 2,7 MVAR pada saluran penyulang mayora sebagai titik komsumsi daya.

Selain itu, model tersebut juga menampilkan kondisi simulasi gangguan sebesar 50% serta penerapan logika waktu (*Timed Fault Logic*) yang disimulasikan pada titik tertentu dalam jaringan (*phase-to-ground fault ABC*). Tujuan dari simulasi ini adalah untuk Secara keseluruhan, model tersebut digunakan sebagai studi aliran daya dan analisis proteksi pada sistem tenaga listrik dengan mempertimbangkan perhitungan impedans saluran serta beban nyata.

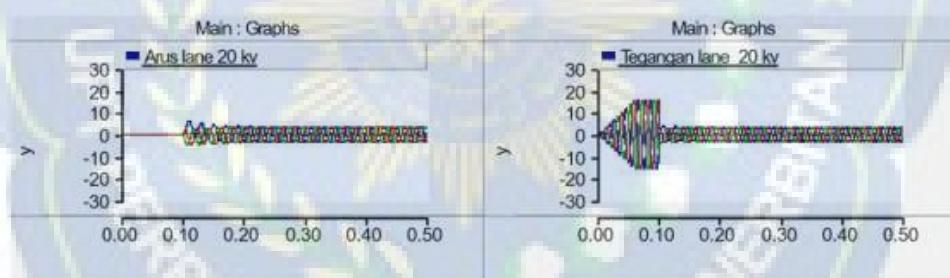


Gambar 4.15. Model Simulator Dalam Kondisi Gangguan 50%

Sumber: Dokumentasi Pribadi (*PSCAD*), 2025

Model Simulator pada Gambar 4.15, menggambarkan data arus, tegangan, dan impedans yang diperoleh kemudian digunakan sebagai *input* ke *blok* pemrosesan yang bertugas mengestimasi lokasi gangguan dengan membandingkan impedans yang diukur terhadap impedans total dan panjang saluran.

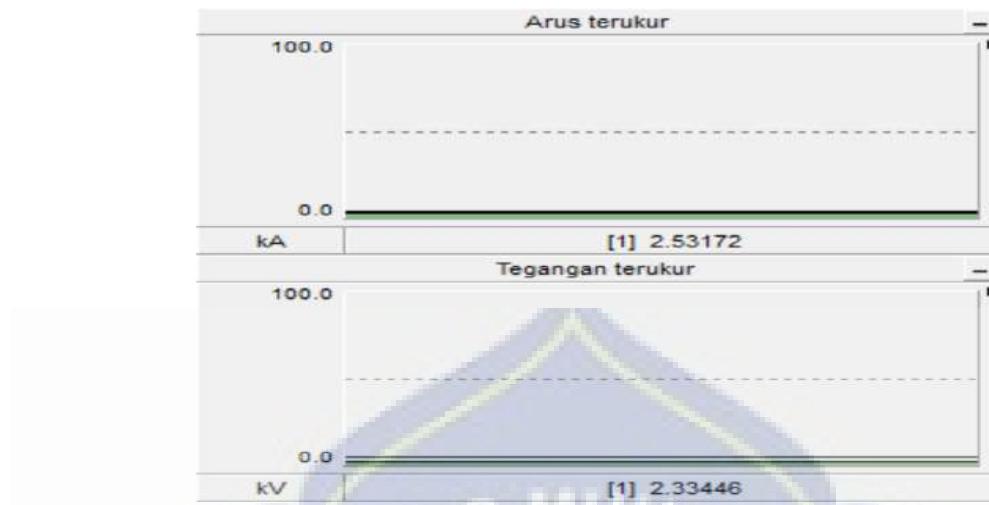
Proses perhitungan lokasi gangguan yang mengambil tegangan dan arus fase sebagai *input*. Dari hasil perhitungan ini, sistem dapat memperkirakan posisi gangguan dalam satuan kilometer serta persentase terhadap total panjang saluran. Selain itu, lokasi gangguan sebenarnya juga diketahui sebagai acuan, sehingga kesalahan estimasi lokasi yang berupa selisih aktual dan persentase dapat dihitung. Hasil akhir dari sistem ini memberikan informasi mengenai tingkat ketepatan penentuan lokasi gangguan dan perbedaan antara posisi estimasi dan posisi sebenarnya.



Gambar 4.16. Grafik Arus dan Tegangan Kondisi Gangguan 50%

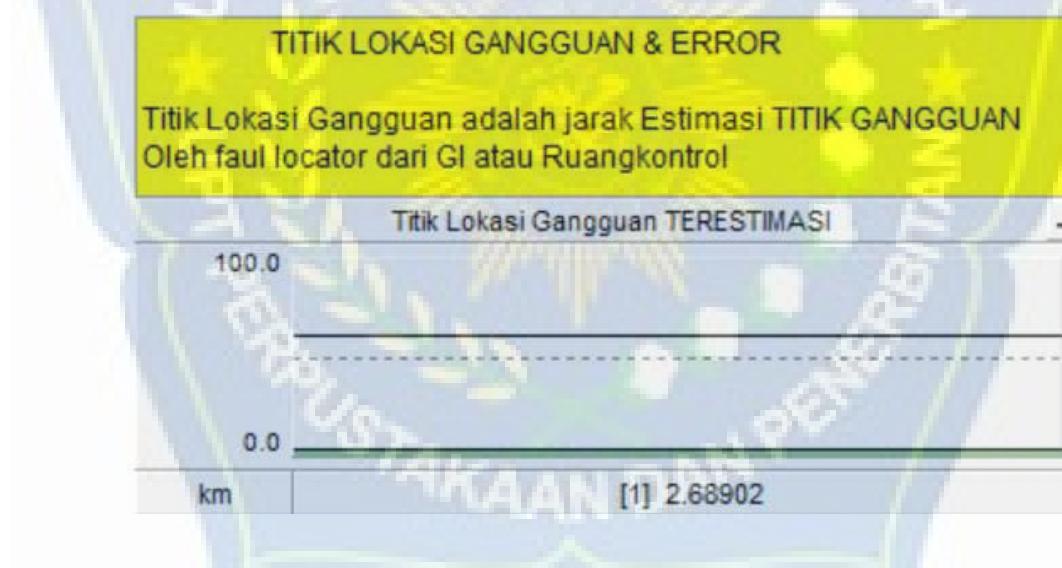
Sumber: Dokumentasi Pribadi (*PSCAD*), 2025

Grafik pada Gambar 4.16, menggambarkan sinyal arus dan tegangan pada *output* trafo yakni sisi sekunder, pada nilai resistans 0,001 ohm, grafik arus dan tegangan merupakan *input* pengukuran untuk menentukan arus dan tegangan yang terukur pada penyulang rindam.



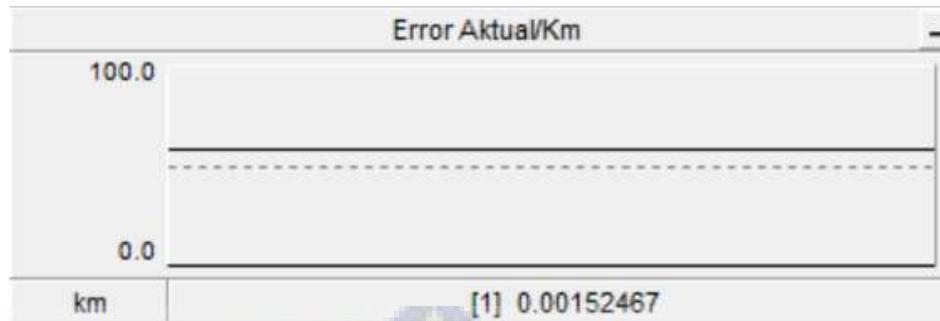
Gambar 4.17. Display Domain Waktu Arus Terukur dan Tegangan Terukur dalam Kondisi Gangguan 50%

Sumber: Dokumentasi Pribadi (*PSCAD*), 2025



Gambar 4.18. Display Numerik Titik Lokasi Gangguan Terestimasi dalam Kondisi Gangguan 50%

Sumber: Dokumentasi Pribadi (*PSCAD*), 2025



Gambar 4.19. *Display Numerik Error Aktual dalam Kondisi Gangguan 50%*

Sumber: Dokumentasi Pribadi (*PSCAD*), 2025



Gambar 4.20. *Display Numerik Error dalam % dalam Kondisi Gangguan 50%*

Sumber: Dokumentasi Pribadi (*PSCAD*), 2025



Gambar 4.21. *Display Numerik Impedans Terukur dalam Kondisi Gangguan 50%*

Sumber: Dokumentasi Pribadi (*PSCAD*), 2025

Pada hasil simulasi gangguan resistans 0,001 ohm dalam kondisi gangguan 50% menunjukkan bahwa arus pada saat terjadi gangguan 2,5317 kA, tegangan terukur 2,3344 kV seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.17. Adapun *display numerik titik lokasi gangguan* terestimasi 2,68902 km, error aktual 0,0015 km, error

dalam persen 0,0567%, serta impedans terukur 0,9220 Ohm seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.18 sampai Gambar 4.21.

Secara matematis, menggunakan Persamaan (9) jarak gangguan terestimasi sebagai berikut:

$$\begin{aligned}d_{\text{est}} &= \frac{0,9220}{1,8431} \times 5,375 \\&= 0,5002 \times 5,375 \\&= 2,68 \text{ km}\end{aligned}$$

Selanjutnya, menggunakan Persamaan (10), error aktual diperoleh sebagai berikut:

$$\begin{aligned}Error_{\text{actual}} &= |2,6890 - 2,6875| \\&= \approx 0,01 \text{ km}\end{aligned}$$

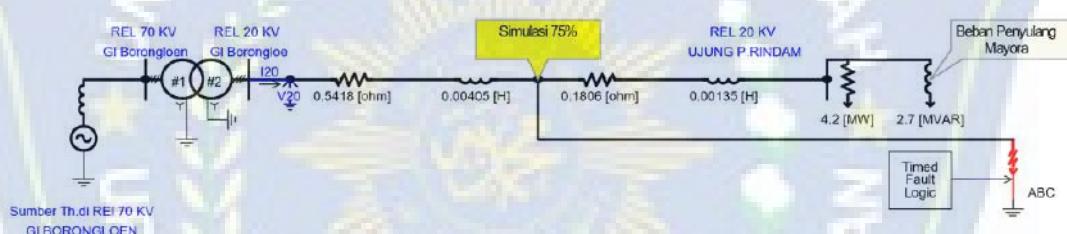
Kemudian, untuk menentukan presentase error jarak digunakan Persamaan (12), sehingga diperoleh hasil sebagai berikut:

$$\begin{aligned}Error_{\text{persen}} &= \left| \frac{2,6875 - 2,6890}{2,6875} \right| \times 100\% \\&= \left| \frac{0,0015}{2,6875} \right| \times 100\% \\&= 0,05\%\end{aligned}$$

Tabel 4.6. Hasil Simulasi dari 50% dengan Resistans Gangguan 0,001 Ohm

Pengukuran	Hasil Simulasi Gangguan 50% (2,6875 km)
Arus Terukur (kA)	2,53
Tegangan Terukur (kV)	2,33
Titik Lokasi Gangguan Terestimasi (km)	2,68
Error Aktual (km)	$\approx 0,08$
Error dalam (%)	0,05
Impedans Terukur (ohm)	0,92

c. Model Gangguan Simulai 75% / 4.0312 km

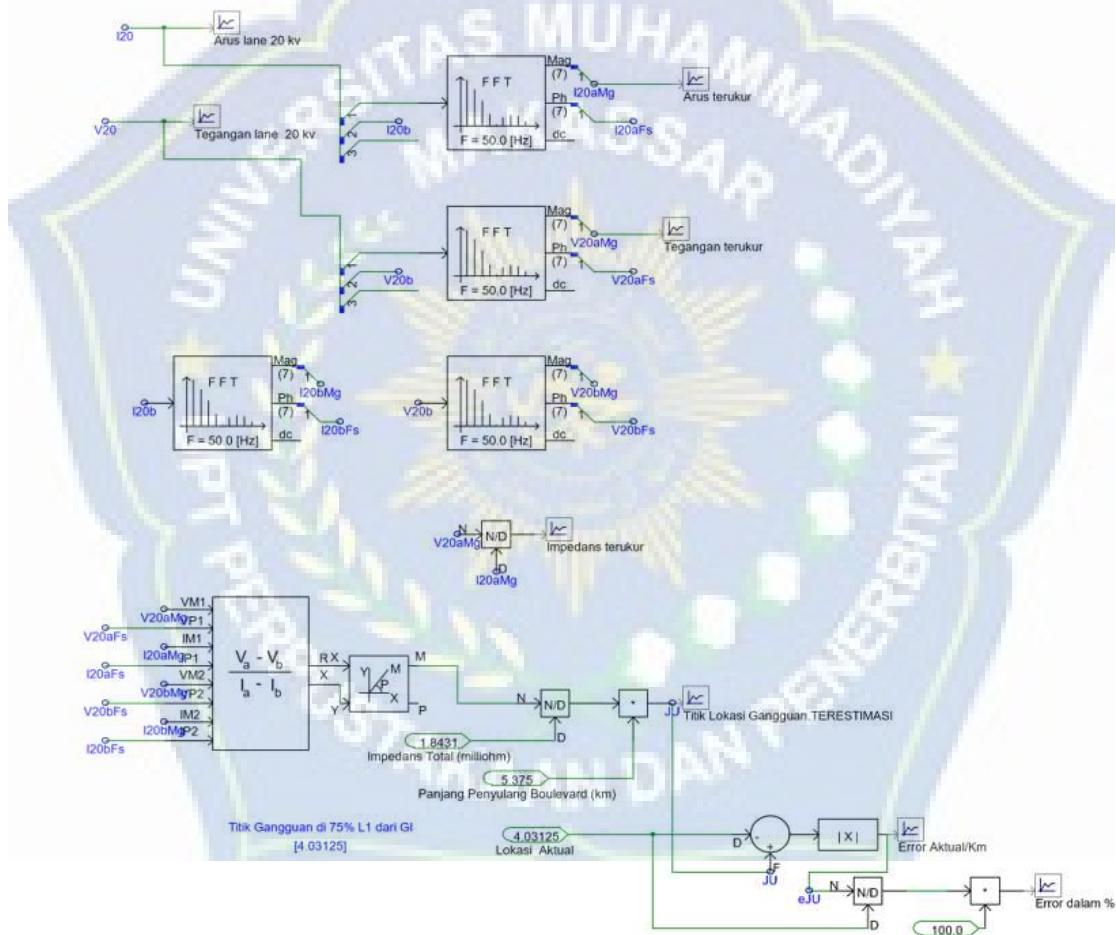


Gambar 4.22. Model PSCAD Sistem Daya Kondisi Gangguan 75%

Sumber: Dokumentasi Pribadi (PSCAD), 2025

Model PSCAD sistem daya yang menggambarkan sistem distribusi listrik yang dimulai dari sumber tegangan thevenin di Gardu Induk (GI) Borongloe pada 70 kV, kemudian diturunkan melalui trafo menjadi 20 kV. Dalam model ini terdapat urutan perangkat proteksi (REL 70 kV dan REL 20 kV), transformator, serta elemen-elemen jaringan seperti impedans saluran (dinyatakan dalam satuan Ohm dan Henry) dan beban ujung berupa daya aktif sebesar 4,2 MW dan daya reaktif sebesar 2,7 MVAR pada saluran penyulang Mayora sebagai titik komsumsi daya.

Selain itu, model tersebut juga menampilkan kondisi simulasi gangguan sebesar 75% serta penerapan logika waktu (*Timed Fault Logic*) yang disimulasikan pada titik tertentu dalam jaringan (*phase-to-ground fault ABC*). Tujuan dari simulasi ini adalah untuk secara keseluruhan, model tersebut digunakan sebagai studi aliran daya dan analisis proteksi pada sistem tenaga listrik dengan mempertimbangkan perhitungan impedans saluran serta beban nyata.



Gambar 4.23. Model Simulator Dalam Kondisi Gangguan 75%

Sumber: Dokumentasi Pribadi (*PSCAD*), 2025

Model Simulator pada Gambar 4.23, menggambarkan data arus, tegangan, dan impedans yang diperoleh kemudian digunakan sebagai *input* ke *blok* pemrosesan yang bertugas mengestimasi lokasi gangguan dengan membandingkan impedans yang diukur terhadap impedans total dan panjang saluran.

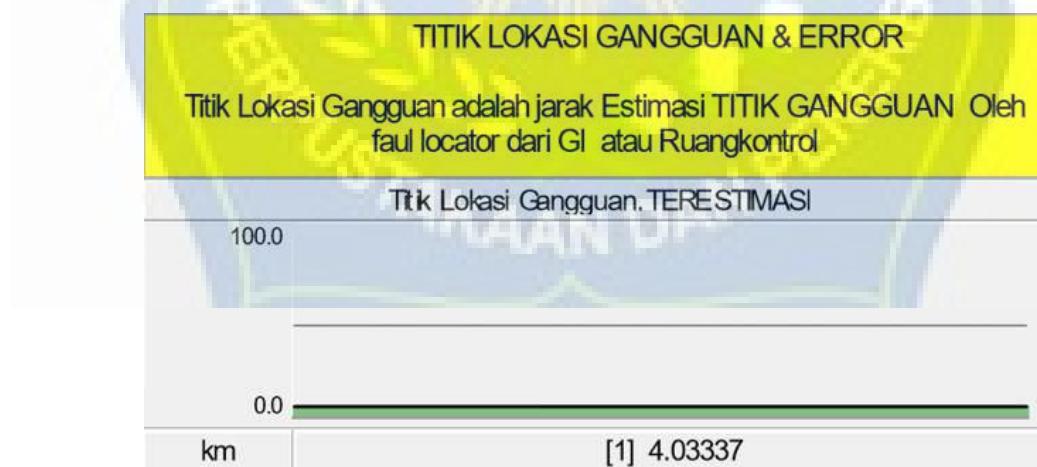
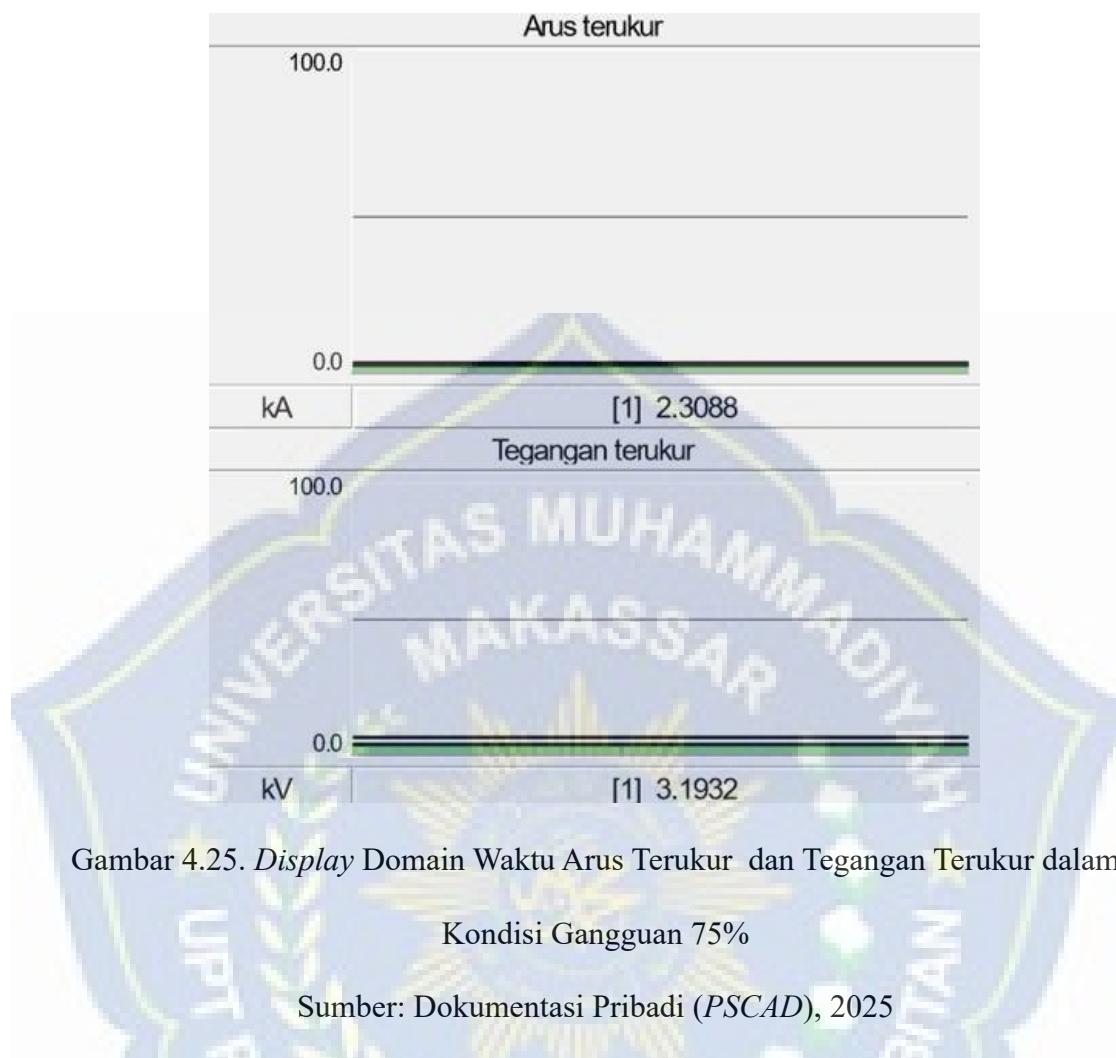
Proses perhitungan lokasi gangguan yang mengambil tegangan dan arus fase sebagai *input*. Dari hasil perhitungan ini, sistem dapat memperkirakan posisi gangguan dalam satuan kilometer serta persentase terhadap total panjang saluran. Selain itu, lokasi gangguan sebenarnya juga diketahui sebagai acuan, sehingga kesalahan estimasi lokasi yang berupa selisih aktual dan persentase dapat dihitung. Hasil akhir dari sistem ini memberikan informasi mengenai tingkat ketepatan penentuan lokasi gangguan dan perbedaan antara posisi estimasi dan posisi sebenarnya.



Gambar 4.24. Grafik Arus dan Tegangan Kondisi Gangguan 75%

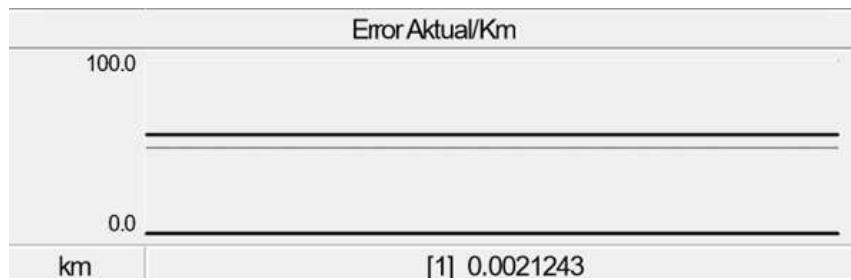
Sumber: Dokumentasi Pribadi (*PSCAD*), 2025

Grafik pada Gambar 4.24, menggambarkan sinyal arus dan tegangan pada *output* trafo yakni sisi sekunder, pada nilai resistans 0,001 ohm, grafik arus dan tegangan merupakan *input* pengukuran untuk menentukan arus dan tegangan yang terukur pada penyulang rindam.



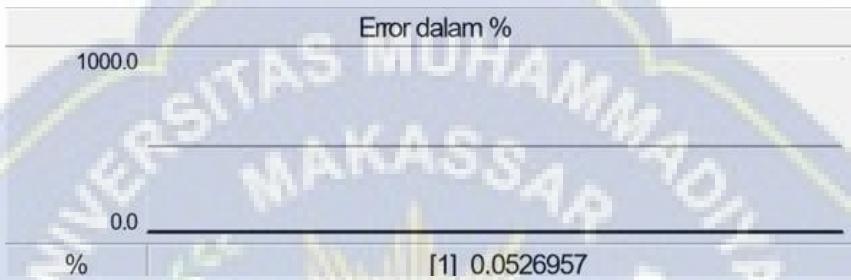
Gambar 4.26. *Display Numerik Titik Lokasi Gangguan Terestimasi dalam Kondisi Gangguan 75%*

Sumber: Dokumentasi Pribadi (*PSCAD*), 2025



Gambar 4.27. *Display Numerik Error* Aktual dalam Kondisi Gangguan 75%

Sumber: Dokumentasi Pribadi (*PSCAD*), 2025



Gambar 4.28. *Display Numerik Error* dalam % dalam Kondisi Gangguan 75%

Sumber: Dokumentasi Pribadi (*PSCAD*), 2025



Gambar 4.29. *Display Numerik Impedans Terukur* dalam Kondisi Gangguan 75%

Sumber: Dokumentasi Pribadi (*PSCAD*), 2025

Pada hasil simulasi gangguan resistans 0,001 ohm dalam kondisi gangguan 75% menunjukkan bahwa arus pada saat terjadi gangguan 2,3088 kA, tegangan terukur 3,1932 kV seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.25. Adapun *display*

numerik titik lokasi gangguan terestimasi 4,0333 km, error aktual 0,0021 km, *error* dalam persen 0,0526%, serta impedans terukur 1,3830 Ohm seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.26 sampai Gambar 4.29.

Secara matematis, menggunakan Persamaan (9) jarak gangguan terestimasi sebagai berikut:

$$d_{\text{est}} = \frac{1,3830}{1,8431} \times 5,375$$

$$= 0,7503 \times 5,375$$

$$= 4,03 \text{ km}$$

Selanjutnya, menggunakan Persamaan (10), *error* aktual diperoleh sebagai berikut:

$$\text{Error}_{\text{actual}} = |4,0333 - 4,0312|$$

$$= \approx 0,02 \text{ km}$$

Kemudian, untuk menentukan presentase *error* jarak digunakan Persamaan (12), sehingga diperoleh hasil sebagai berikut:

$$\text{Error dalam \%} = \left| \frac{4,0312 - 4,0333}{4,0312} \right| \times 100\%$$

$$= \left| \frac{0,0396}{4,0312} \right| \times 100\%$$

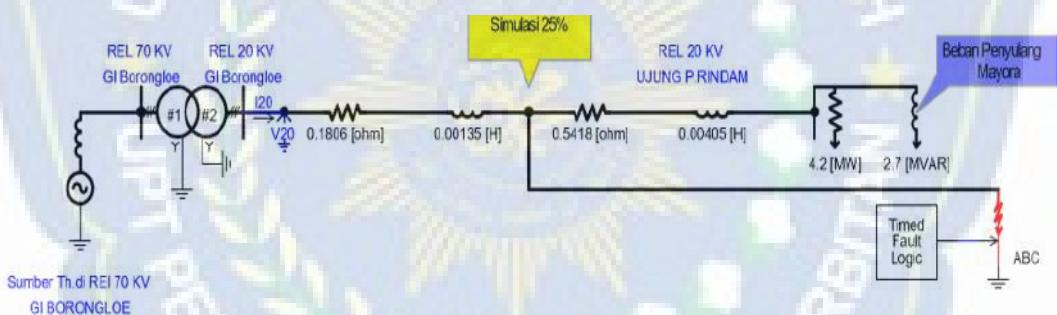
$$= 0,05\%$$

Tabel 4.7. Hasil Simulasi dari 75% dengan Resistans Gangguan 0,001 Ohm

Pengukuran	Hasil Simulasi Gangguan 75% (4,0312 km)
Arus Terukur (kA)	2,30
Tegangan Terukur (kV)	3,19
Titik Lokasi Gangguan Terestimasi (km)	4,03
Error Aktual (km)	$\approx 0,02$
Error dalam (%)	0,05
Impedans Terukur (ohm)	3,19

4.2.3 Model Gangguan dengan Resistans Gangguan 2 Ohm

a. Model Gangguan Simulasi 25% /1,3437 km

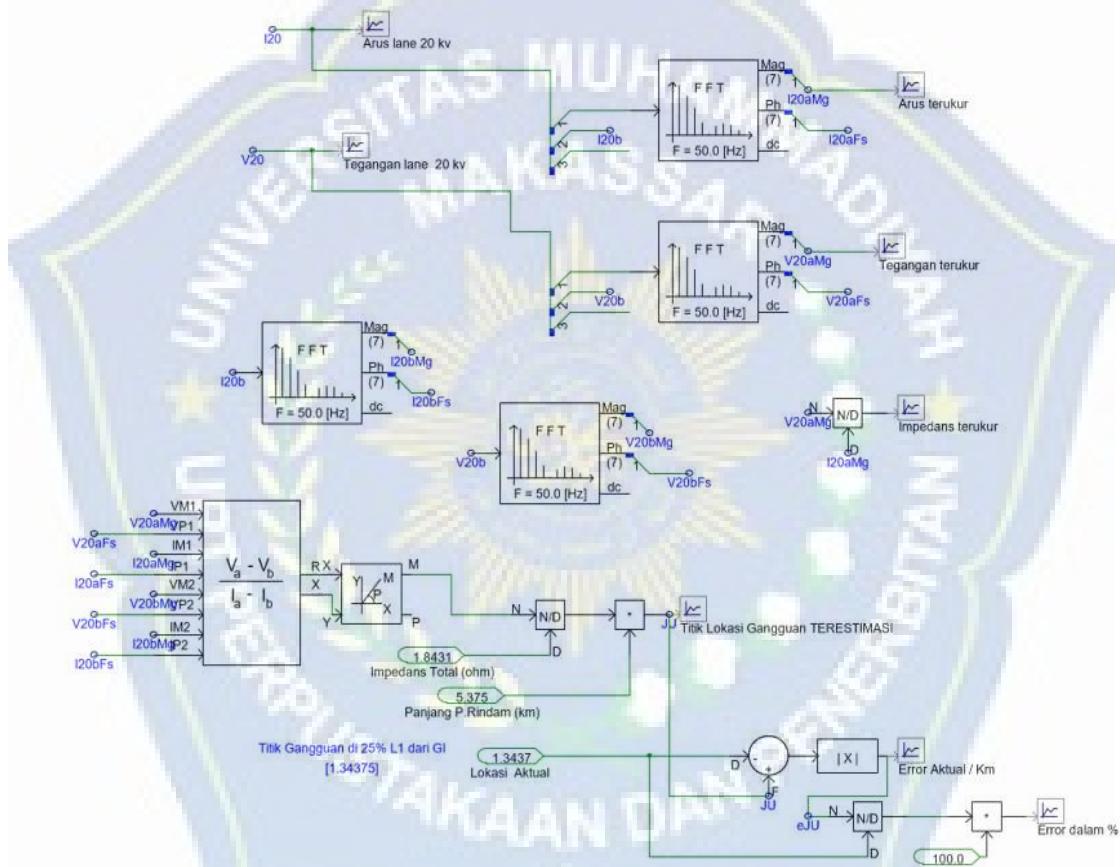


Gambar 4.30. Model PSCAD Sistem Daya Kondisi Gangguan 25%

Sumber: Dokumentasi Pribadi (PSCAD), 2025

Dalam model ini terdapat urutan perangkat proteksi (REL 70 kV dan REL 20 kV), transformator, serta elemen-elemen jaringan seperti impedans saluran (dinyatakan dalam satuan Ohm dan Henry) dan beban ujung berupa daya aktif sebesar 4,2 MW dan daya reaktif sebesar 2,7 MVAR pada saluran Penyalur Mayora sebagai titik komsumsi daya.

Selain itu, model tersebut juga menampilkan kondisi simulasi gangguan sebesar 25% serta penerapan logika waktu (*Timed Fault Logic*) yang disimulasikan pada titik tertentu dalam jaringan (*phase-to-ground fault ABC*). Tujuan dari simulasi ini adalah untuk secara keseluruhan, model tersebut digunakan sebagai studi aliran daya dan analisis proteksi pada sistem tenaga listrik dengan mempertimbangkan perhitungan impedans saluran serta beban nyata.



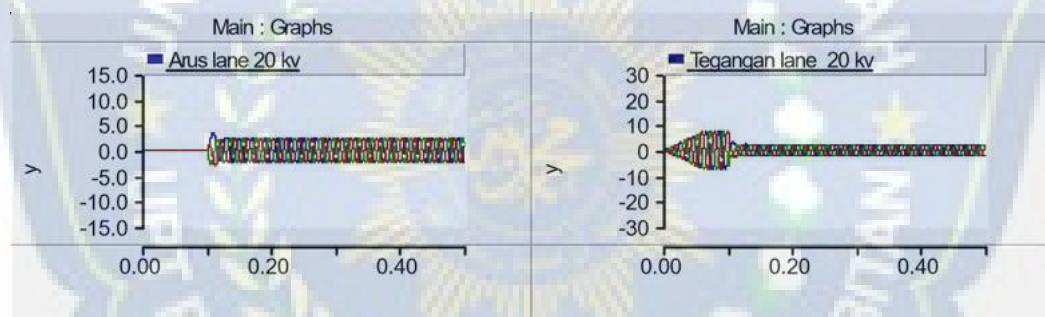
Gambar 4.31. Model Simulator Dalam Kondisi Gangguan 25%

Sumber: Dokumentasi Pribadi (*PSCAD*), 2025

Model Simulator pada Gambar 4.31, menggambarkan data arus, tegangan, dan impedans yang diperoleh kemudian digunakan sebagai *input* ke *blok*

pemrosesan yang bertugas mengestimasi lokasi gangguan dengan membandingkan impedans yang diukur terhadap impedans total dan panjang saluran.

Proses perhitungan lokasi gangguan yang mengambil tegangan dan arus fase sebagai *input*. Dari hasil perhitungan ini, sistem dapat memperkirakan posisi gangguan dalam satuan kilometer serta persentase terhadap total panjang saluran. Selain itu, lokasi gangguan sebenarnya juga diketahui sebagai acuan, sehingga kesalahan estimasi lokasi yang berupa selisih aktual dan persentase dapat dihitung. Hasil akhir dari sistem ini memberikan informasi mengenai tingkat ketepatan penentuan lokasi gangguan dan perbedaan antara posisi estimasi dan posisi sebenarnya.



Gambar 4.32. Grafik Arus dan Tegangan Kondisi Gangguan 25 %

Sumber: Dokumentasi Pribadi (*PSCAD*), 2025

Grafik pada Gambar 4.32, menggambarkan sinyal arus dan tegangan pada *output* trafo yakni sisi sekunder, pada nilai resistans 2 ohm, grafik arus dan tegangan merupakan *input* pengukuran untuk menentukan arus dan tegangan yang terukur pada Penyulang Rindam.



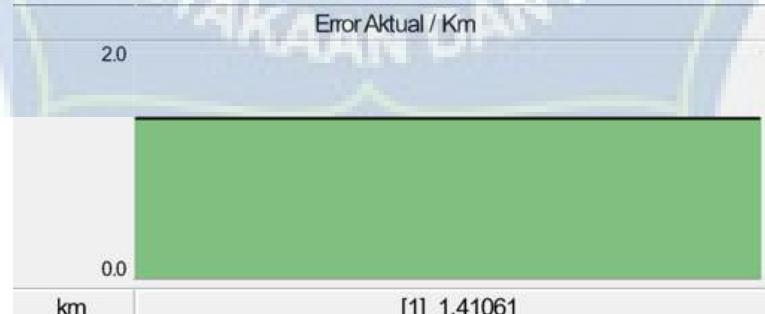
Gambar 4.33. *Display Domain Waktu Arus Terukur dan Tegangan Terukur dalam Kondisi Gangguan 25%*

Sumber: Dokumentasi Pribadi (*PSCAD*), 2025



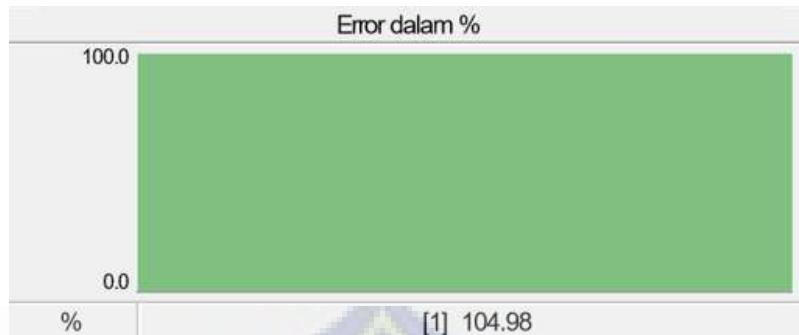
Gambar 4.34. *Display Numerik Titik Lokasi Gangguan Terestimasi dalam Kondisi Gangguan 25%*

Sumber: Dokumentasi Pribadi (*PSCAD*), 2025



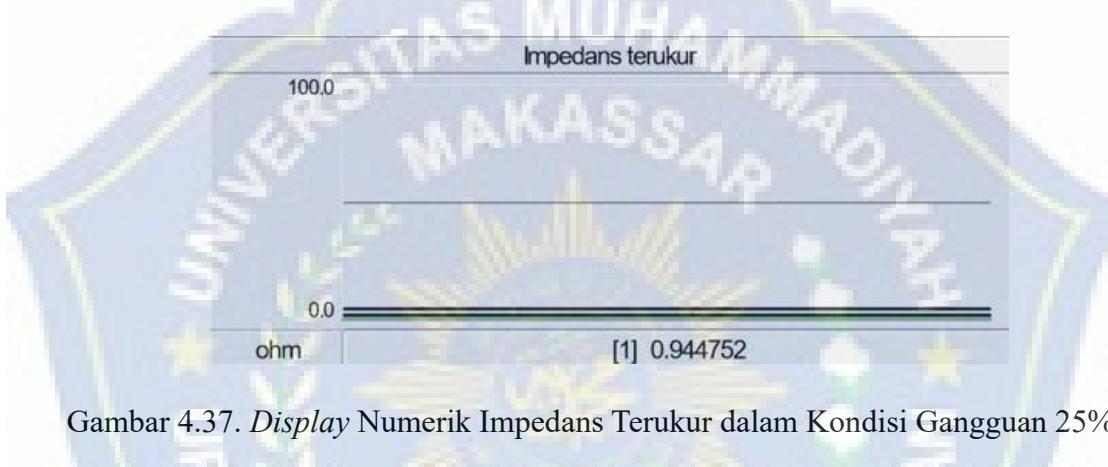
Gambar 4.35. *Display Numerik Error Aktual dalam Kondisi Gangguan 25%*

Sumber: Dokumentasi Pribadi (*PSCAD*), 2025



Gambar 4.36. Display Numerik *Error* dalam % dalam Kondisi Gangguan 25%

Sumber: Dokumentasi Pribadi (*PSCAD*), 2025



Gambar 4.37. Display Numerik Impedans Terukur dalam Kondisi Gangguan 25%

Sumber: Dokumentasi Pribadi (*PSCAD*), 2025

Pada hasil simulasi gangguan resistans 0,001 ohm dalam kondisi gangguan 25% menunjukkan bahwa arus pada saat terjadi gangguan 2,7428 kA, tegangan terukur 2,5912 kV seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.33. Adapun *display* numerik titik lokasi gangguan terestimasi 2,7543 km, *error* aktual 1,4106 km, *error* dalam persen 104,98%, serta impedans terukur 0,9447 Ohm seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.34 sampai Gambar 4.37.

Secara matematis, menggunakan Persamaan (9), jarak gangguan terestimasi sebagai berikut:

$$d_{est} = \frac{0,9447}{1,8431} \times 5,375$$

$$= 0,5125 \times 5,375 \\ = 2,75 \text{ km}$$

Selanjutnya, menggunakan Persamaan (10), *error* aktual diperoleh sebagai berikut:

$$Error_{actual} = |2,7543 - 1,3437| \\ = 1,41 \text{ km}$$

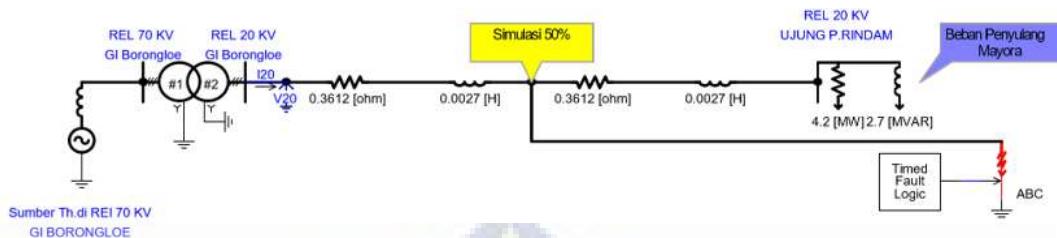
Kemudian, untuk menentukan presentase *error* jarak digunakan persamaan (12), sehingga diperoleh hasil sebagai berikut:

$$Error_{persen} = \left| \frac{1,3437 - 2,7543}{1,3437} \right| \times 100\% \\ = \left| \frac{1,4106}{1,3437} \right| \times 100\% \\ = 104,98\%$$

Tabel 4.8. Hasil Simulasi dari 25% dengan Resistans Gangguan 2 Ohm

Pengukuran	Hasil Simulasi Gangguan 25% (1,3437 km)
Arus Terukur (kA)	2,74
Tegangan Terukur (kV)	2,59
Titik Lokasi Gangguan Terestimasi (km)	2,75
Error Aktual (km)	1,41
Error dalam (%)	104,98
Impedans Terukur (ohm)	0,94

b. Model Gangguan Simulasi 50% / 2,6875 km

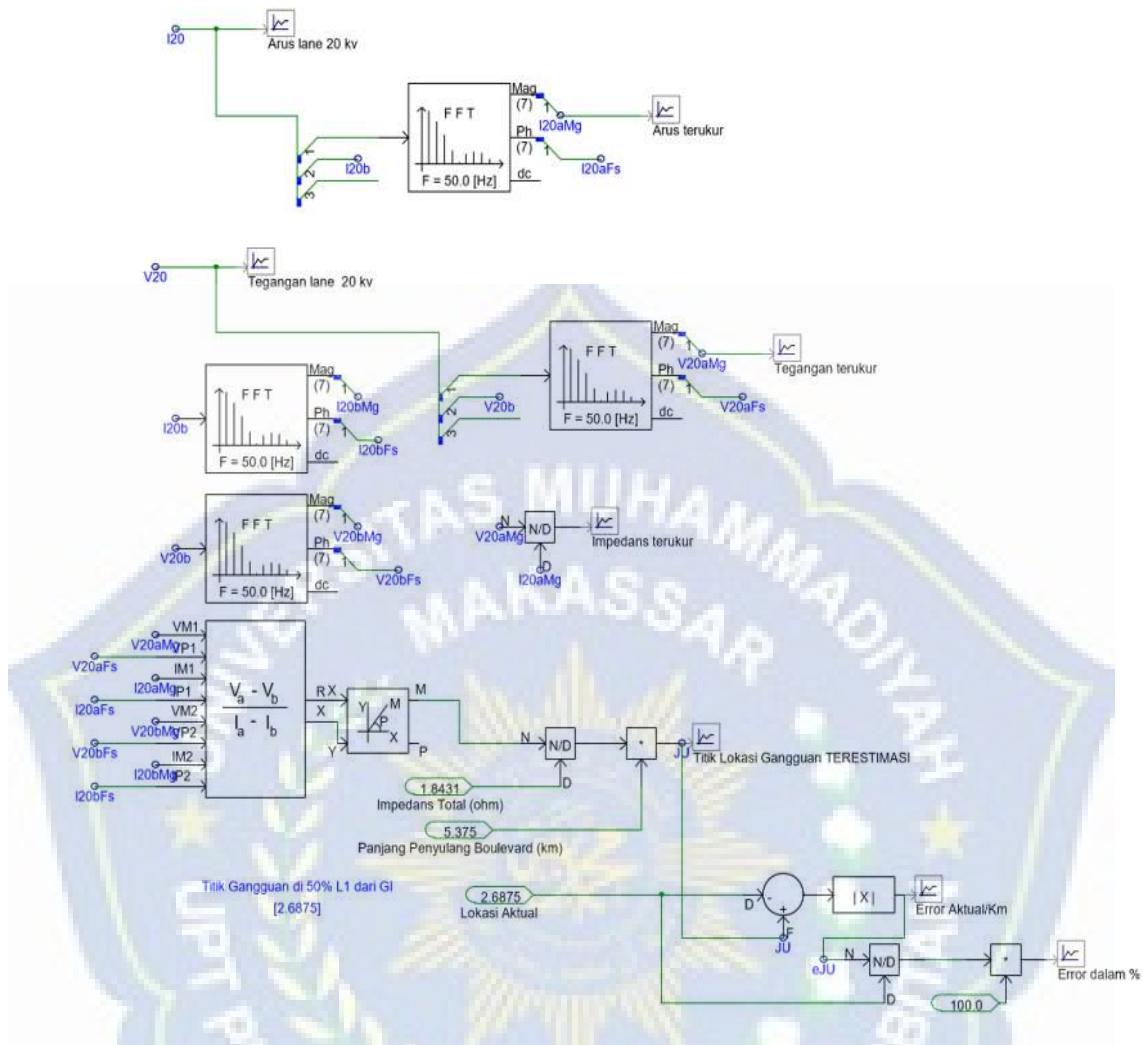


Gambar 4.38. Model *PSCAD* Sistem Daya Kondisi Gangguan 50 %

Sumber: Dokumentasi Pribadi (*PSCAD*), 2025

Model *PSCAD* sistem daya yang menggambarkan sistem distribusi listrik yang dimulai dari sumber tegangan thevenin di Gardu Induk (GI) Borongloe pada 70 kV, kemudian diturunkan melalui trafo menjadi 20 kV. Dalam model ini terdapat urutan perangkat proteksi (REL 70 kV dan REL 20 kV), transformator, serta elemen-elemen jaringan seperti impedans saluran (dinyatakan dalam satuan Ohm dan Henry) dan beban ujung berupa daya aktif sebesar 4,2 MW dan daya reaktif sebesar 2,7 MVAR pada saluran penyulang Mayora sebagai titik komsumsi daya.

Selain itu, model tersebut juga menampilkan kondisi simulasi gangguan sebesar 50% serta penerapan logika waktu (*Timed Fault Logic*) yang disimulasikan pada titik tertentu dalam jaringan (*phase-to-ground fault ABC*). Tujuan dari simulasi ini adalah untuk secara keseluruhan, model tersebut digunakan sebagai studi aliran daya dan analisis proteksi pada sistem tenaga listrik dengan mempertimbangkan perhitungan impedans saluran serta beban nyata.

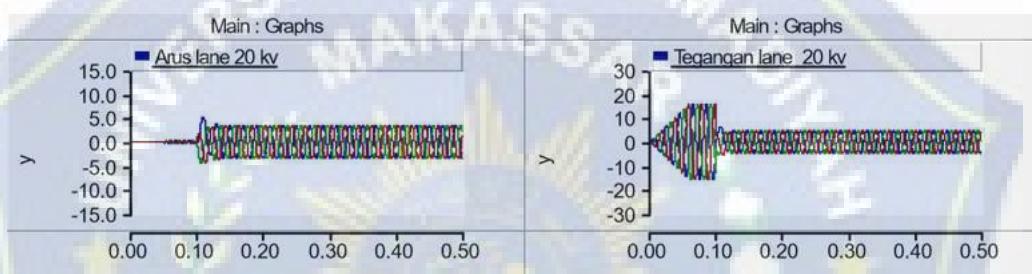


Gambar 4.39. Model Simulator Dalam Kondisi Gangguan 50%

Sumber: Dokumentasi Pribadi (PSCAD), 2025

Model Simulator pada Gambar 4.39, menggambarkan data arus, tegangan, dan impedans yang diperoleh kemudian digunakan sebagai *input* ke *blok* pemrosesan yang bertugas mengestimasi lokasi gangguan dengan membandingkan impedans yang diukur terhadap impedans total dan panjang saluran.

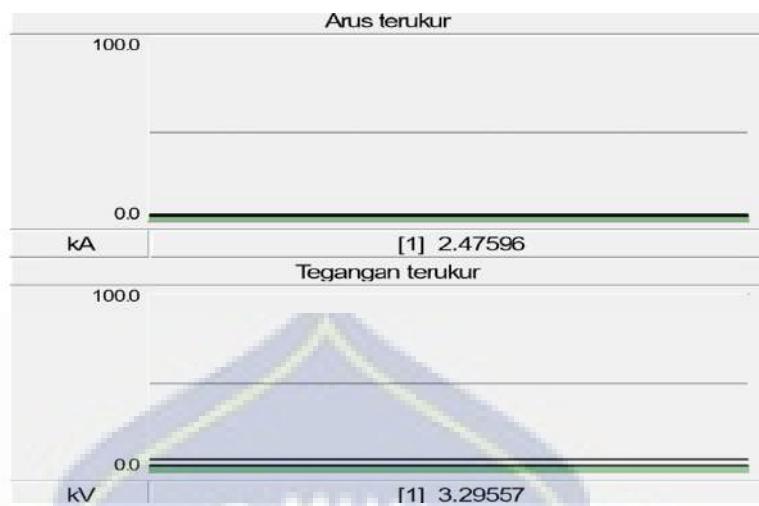
Proses perhitungan lokasi gangguan yang mengambil tegangan dan arus fase sebagai *input*. Dari hasil perhitungan ini, sistem dapat memperkirakan posisi gangguan dalam satuan kilometer serta persentase terhadap total panjang saluran. Selain itu, lokasi gangguan sebenarnya juga diketahui sebagai acuan, sehingga kesalahan estimasi lokasi yang berupa selisih aktual dan persentase dapat dihitung. Hasil akhir dari sistem ini memberikan informasi mengenai tingkat ketepatan penentuan lokasi gangguan dan perbedaan antara posisi estimasi dan posisi sebenarnya.



Gambar 4.40. Grafik Arus dan Tegangan Kondisi Gangguan 50%

Sumber: Dokumentasi Pribadi (*PSCAD*), 2025

Grafik pada Gambar 4.40, menggambarkan sinyal arus dan tegangan pada *output* trafo yakni sisi sekunder, pada nilai resistans 2 ohm, grafik arus dan tegangan merupakan input pengukuran untuk menentukan arus dan tegangan yang terukur pada penyulang rindam.



Gambar 4.41. *Display Domain Waktu Arus Terukur dan Tegangan*

Terukur dalam Kondisi Gangguan 50%

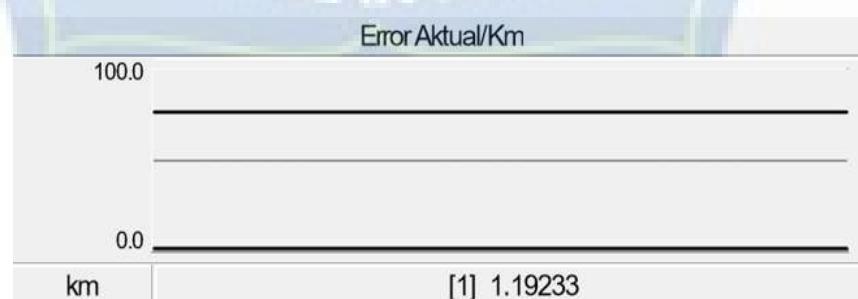
Sumber: Dokumentasi Pribadi (*PSCAD*), 2025



Gambar 4.42. *Display Numerik Titik Lokasi Gangguan Terestimasi*

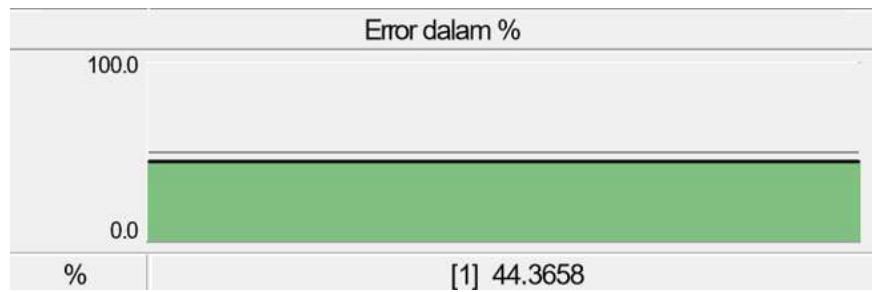
dalam Kondisi Gangguan 50%

Sumber: Dokumentasi Pribadi (*PSCAD*), 2025



Gambar 4.43. *Display Numerik Error Aktual dalam Kondisi Gangguan 50%*

Sumber: Dokumentasi Pribadi (*PSCAD*), 2025



Gambar 4.44. *Display Numerik Error* dalam % dalam Kondisi Gangguan 50%

Sumber: Dokumentasi Pribadi (*PSCAD*), 2025



Gambar 4.45. *Display Numerik Impedans Terukur* dalam Kondisi Gangguan 50%

Sumber: Dokumentasi Pribadi (*PSCAD*), 2025

Pada hasil simulasi gangguan resistans 2 ohm dalam kondisi gangguan 50% menunjukkan bahwa arus pada saat terjadi gangguan 2,4759 kA, tegangan terukur 3,2955 kV seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.41. Adapun display numerik titik lokasi gangguan terestimasi 3,8796 km, *error* aktual 1,1923 km, *error* dalam persen 44,3658%, serta impedans terukur 1,3310 Ohm seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.42 sampai Gambar 4.45.

Secara matematis, menggunakan Persamaan (9), jarak gangguan terestimasi sebagai berikut:

$$d_{\text{est}} = \frac{1,3310}{1,8431} \times 5,375$$

$$= 0,7221 \times 5,375 \\ = 3,87 \text{ km}$$

Selanjutnya, menggunakan Persamaan (10), *error aktual* diperoleh sebagai berikut:

$$\text{Error}_{\text{actual}} = |3,8796 - 2,6875| \\ = 1,19 \text{ km}$$

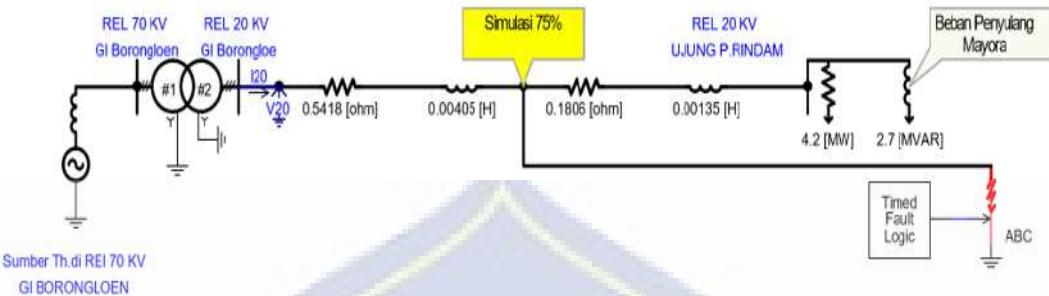
Kemudian, untuk menentukan persentase *error* jarak digunakan persamaan (12), sehingga diperoleh hasil sebagai berikut:

$$\text{Error}_{\text{persen}} = \left| \frac{2,6875 - 3,8796}{2,6875} \right| \times 100\% \\ = \left| \frac{1,1923}{2,6875} \right| \times 100\% \\ = 44,36\%$$

Tabel 4.9. Hasil Simulasi dari 50% dengan Resistans Gangguan 2 Ohm

Pengukuran	Hasil Simulasi Gangguan 50% (2,6875 km)
Arus Terukur (kA)	2,47
Tegangan Terukur (kV)	3,29
Titik Lokasi Gangguan Terestimasi (km)	3,87
Error Aktual (km)	1,19
Error dalam (%)	44,36
Impedans Terukur (ohm)	1,33

c. Model Gangguan Simulasi 75% / 4.0312 km

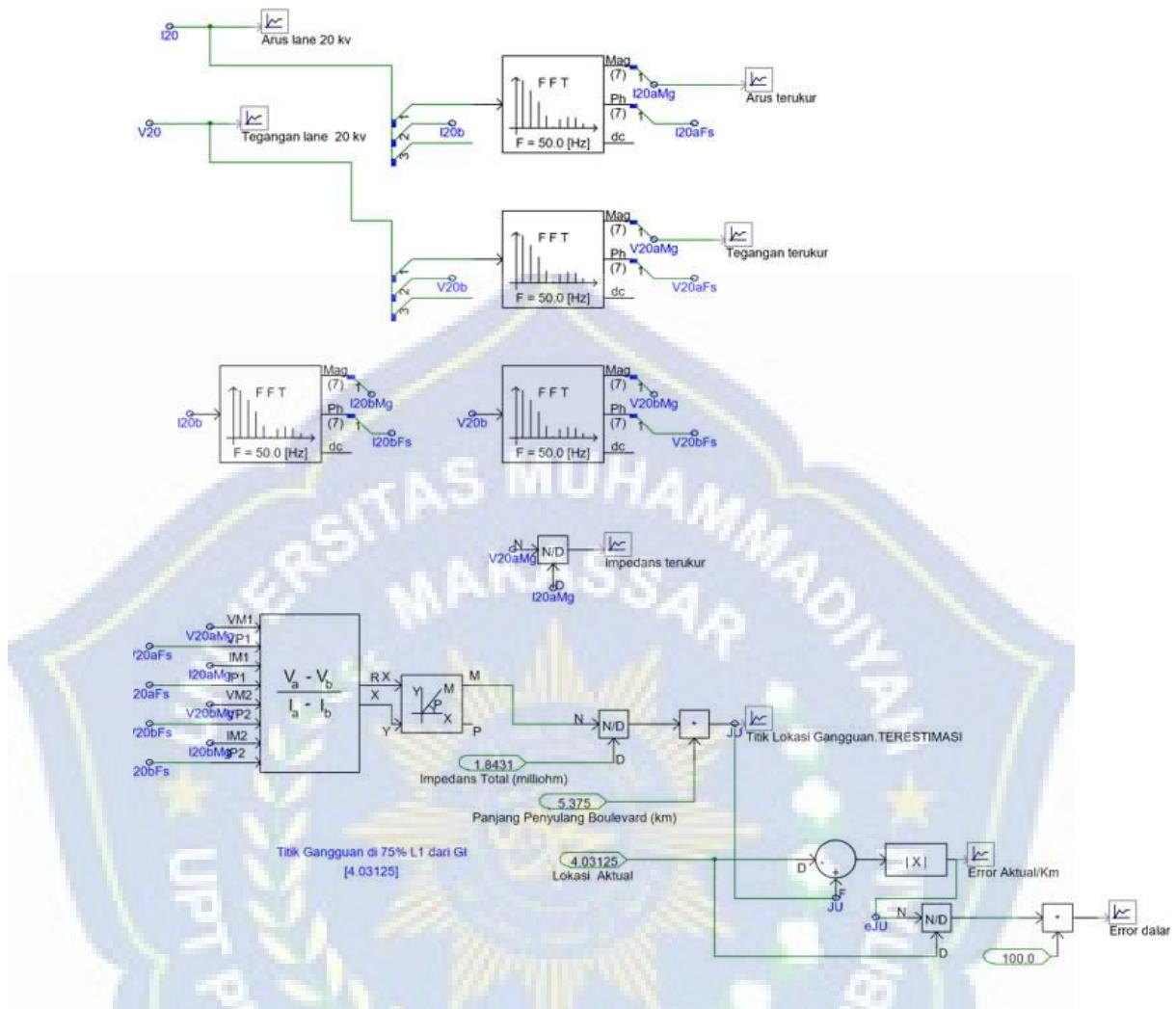


Gambar 4.46. Model *PSCAD* Sistem Daya Kondisi Gangguan 75%

Sumber: Dokumentasi Pribadi (*PSCAD*), 2025

Model *PSCAD* sistem daya yang menggambarkan sistem distribusi listrik yang dimulai dari sumber tegangan thevenin di Gardu Induk (GI) Borongloe pada 70 kV, kemudian diturunkan melalui trafo menjadi 20 kV. Dalam model ini terdapat urutan perangkat proteksi (REL 70 kV dan REL 20 kV), transformator, serta elemen-elemen jaringan seperti impedans saluran (dinyatakan dalam satuan Ohm dan Henry) dan beban ujung berupa daya aktif sebesar 4,2 MW dan daya reaktif sebesar 2,7 MVAR pada saluran penyulang Mayora sebagai titik komsumsi daya.

Selain itu, model tersebut juga menampilkan kondisi simulasi gangguan sebesar 75% serta penerapan logika waktu (*Timed Fault Logic*) yang disimulasikan pada titik tertentu dalam jaringan (*phase-to-ground fault ABC*). Tujuan dari simulasi ini adalah untuk secara keseluruhan, model tersebut digunakan sebagai studi aliran daya dan analisis proteksi pada sistem tenaga listrik dengan mempertimbangkan perhitungan impedans saluran serta beban nyata.



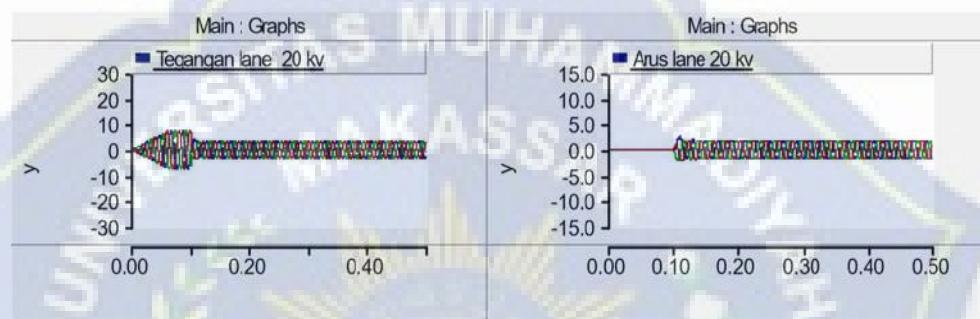
Gambar 4.47. Model Simulator Dalam Kondisi Gangguan 75%

Sumber: Dokumentasi Pribadi (PSCAD), 2025

Model simulator pada Gambar 4.47, menggambarkan data arus, tegangan, dan impedans yang diperoleh kemudian digunakan sebagai *input* ke *blok* pemrosesan yang bertugas mengestimasi lokasi gangguan dengan membandingkan impedans yang diukur terhadap impedans total dan panjang saluran.

Proses perhitungan lokasi gangguan yang mengambil tegangan dan arus fase sebagai *input*. Dari hasil perhitungan ini, sistem dapat memperkirakan posisi

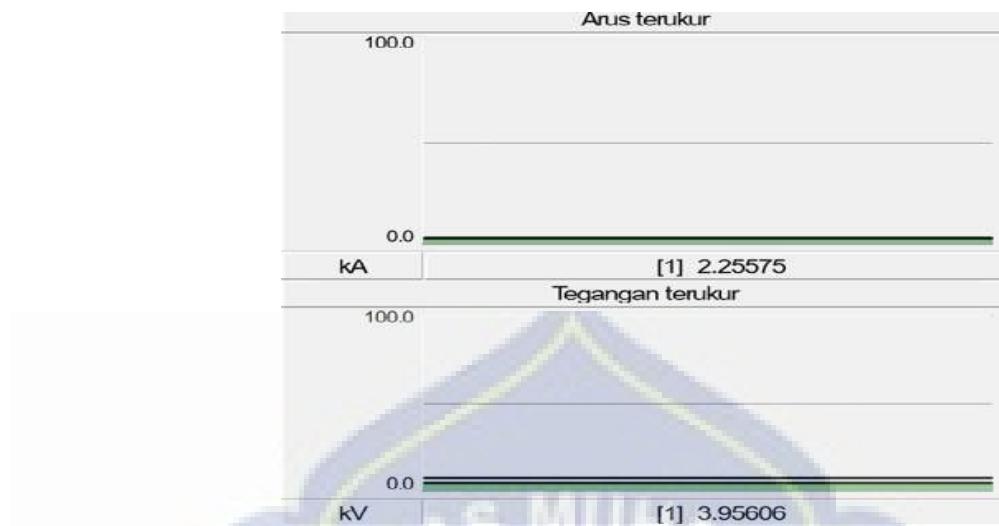
gangguan dalam satuan kilometer serta persentase terhadap total panjang saluran. Selain itu, lokasi gangguan sebenarnya juga diketahui sebagai acuan, sehingga kesalahan estimasi lokasi yang berupa selisih aktual dan persentase dapat dihitung. Hasil akhir dari sistem ini memberikan informasi mengenai tingkat ketepatan penentuan lokasi gangguan dan perbedaan antara posisi estimasi dan posisi sebenarnya.



Gambar 4. 48. Grafik Arus dan Tegangan Kondisi Gangguan 75 %

Sumber: Dokumentasi Pribadi (PSCAD), 2025

Grafik pada Gambar 4.48, menggambarkan sinyal arus dan tegangan pada *output* trafo yakni sisi sekunder, pada nilai resistans 2 ohm, grafik arus dan tegangan merupakan *input* pengukuran untuk menentukan arus dan tegangan yang terukur pada penyulang rindam.



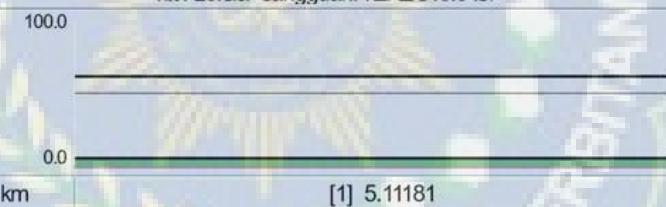
Gambar 4.49. *Display Domain Waktu Arus Terukur dan Tegangan Terukur dalam Kondisi Gangguan 75%*

Sumber: Dokumentasi Pribadi (*PSCAD*), 2025

TITIK LOKASI GANGGUAN & ERROR

Titik Lokasi Gangguan adalah jarak Estimasi TITIK GANGGUAN Oleh faul locator dari GI atau Ruangkontrol

Titik Lokasi Gangguan TERESTIMASI



Gambar 4.50. *Display Numerik Titik Lokasi Gangguan Terestimasi dalam Kondisi Gangguan 75%*

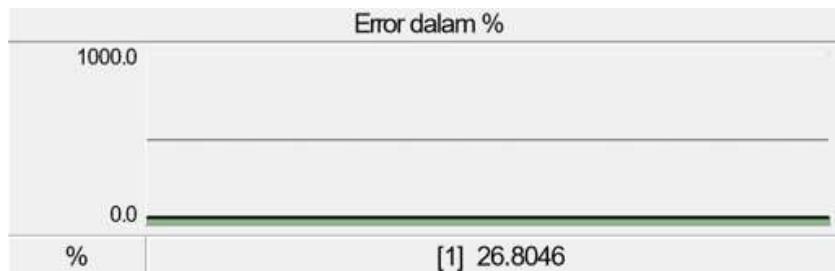
Sumber: Dokumentasi Pribadi (*PSCAD*), 2025

Error Aktual/Km



Gambar 4.51. *Display Numerik Error Aktual dalam Kondisi Gangguan 75%*

Sumber: Dokumentasi Pribadi (*PSCAD*), 2025



Gambar 4.52. *Display Numerik Error* dalam % dalam Kondisi Gangguan 75%

Sumber: Dokumentasi Pribadi (*PSCAD*), 2025



Gambar 4.53. *Display Numerik Impedans Terukur* dalam Kondisi Gangguan 75%

Sumber: Dokumentasi Pribadi (*PSCAD*), 2025

Pada hasil simulasi gangguan resistans 2 ohm dalam kondisi gangguan 75% menunjukkan bahwa arus pada saat terjadi gangguan 2,2557 kA, tegangan terukur 3,956 kV seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.49. Adapun display numerik titik lokasi gangguan terestimasi 5,111 km, *error* aktual 1,0805 km, *error* dalam persen 26,8046%, serta impedans terukur 1,7537 Ohm seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.50 sampai Gambar 4.53.

Secara matematis, menggunakan Persamaan (9) jarak gangguan terestimasi sebagai berikut:

$$d_{\text{est}} = \frac{1,7537}{1,8431} \times 5,375$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,9515 \times 5,375 \\
 &= 5,11 \text{ km}
 \end{aligned}$$

Selanjutnya, menggunakan Persamaan (10), *error* aktual diperoleh sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 Error_{actual} &= |5,111 - 3,9937| \\
 &= 1,08 \text{ km}
 \end{aligned}$$

Kemudian, untuk menentukan persentase *error* jarak digunakan persamaan (12), sehingga diperoleh hasil sebagai berikut:

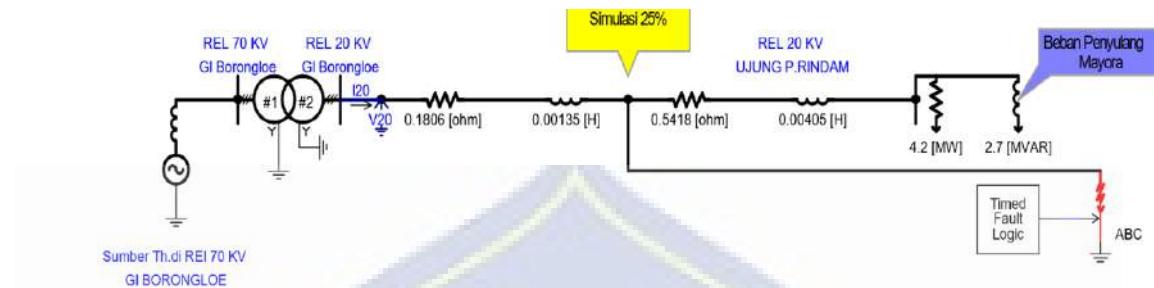
$$\begin{aligned}
 Error_{persen} &= \left| \frac{3,9937 - 5,111}{3,9937} \right| \times 100\% \\
 &= \left| \frac{1,1173}{3,9937} \right| \times 100\% \\
 &= 26,80\%
 \end{aligned}$$

Tabel 4.10. Hasil Simulasi dari 75% dengan Resistans Gangguan 2 Ohm

Pengukuran	Hasil Simulasi Gangguan 75% (4,0312 km)
Arus Terukur (kA)	2,25
Tegangan Terukur (kV)	3,95
Titik Lokasi Gangguan Terestimasi (km)	5,11
Error Aktual (km)	1,08
Error dalam (%)	26,80
Impedans Terukur (ohm)	1,75

4.2.4 Model gangguan dengan Resistans Gangguan 5 Ohm

a. Model Gangguan Simulasi 25% / 1.3437 km

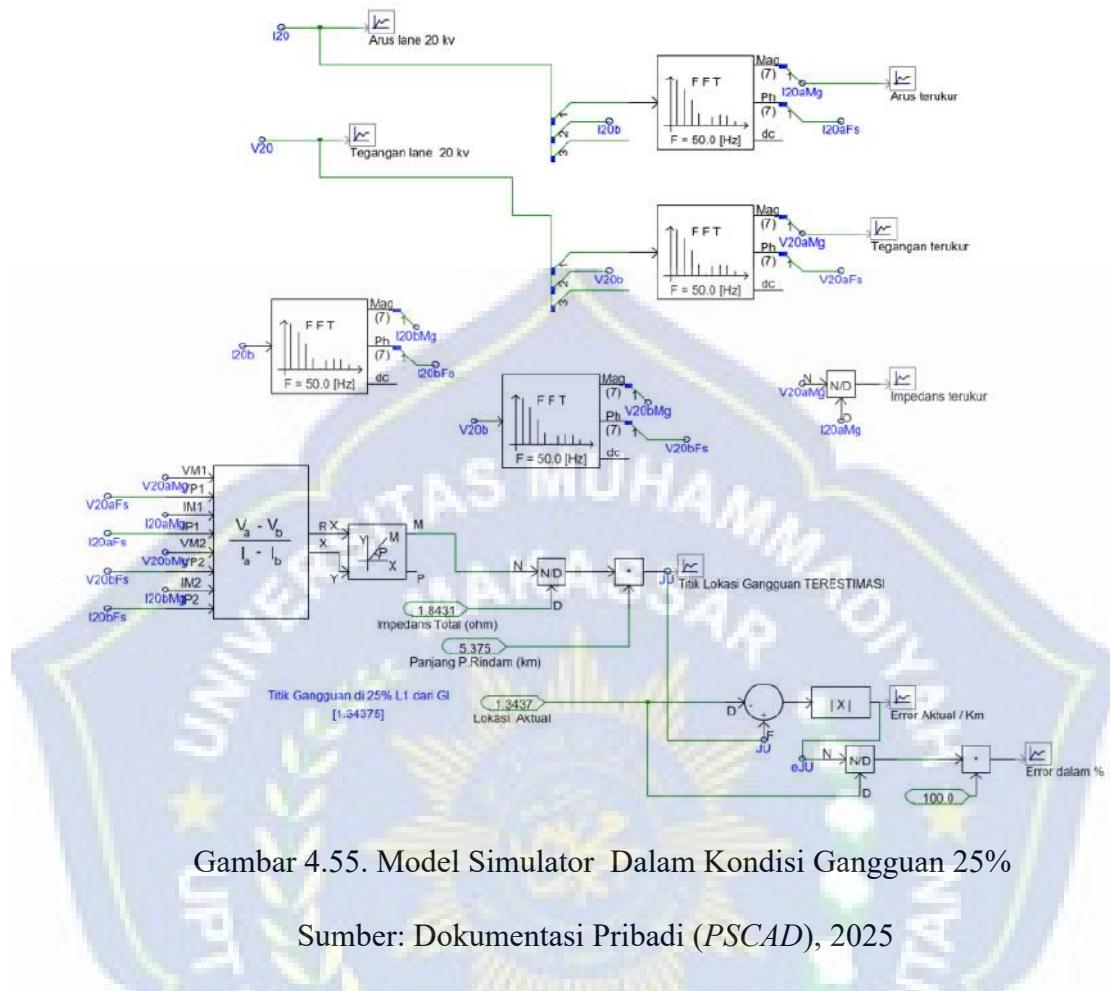


Gambar 4.54. Model *PSCAD* Sistem Daya Kondisi Gangguan 25%

Sumber: Dokumentasi Pribadi (*PSCAD*), 2025

Model *PSCAD* sistem daya yang menggambarkan sistem distribusi listrik yang dimulai dari sumber tegangan thevenin di Gardu Induk (GI) Borongloe pada 70 kV, kemudian diturunkan melalui trafo menjadi 20 kV. Dalam model ini terdapat urutan perangkat proteksi (REL 70 kV dan REL 20 kV), transformator, serta elemen-elemen jaringan seperti impedans saluran (dinyatakan dalam satuan Ohm dan Henry) dan beban ujung berupa daya aktif sebesar 4,2 MW dan daya reaktif sebesar 2,7 MVAR pada saluran penyulang Mayora sebagai titik komsumsi daya.

Selain itu, model tersebut juga menampilkan kondisi simulasi gangguan sebesar 25% serta penerapan logika waktu (*Timed Fault Logic*) yang disimulasikan pada titik tertentu dalam jaringan (*phase-to-ground fault ABC*). Tujuan dari simulasi ini adalah untuk secara keseluruhan, model tersebut digunakan sebagai studi aliran daya dan analisis proteksi pada sistem tenaga listrik dengan mempertimbangkan perhitungan impedans saluran serta beban nyata.



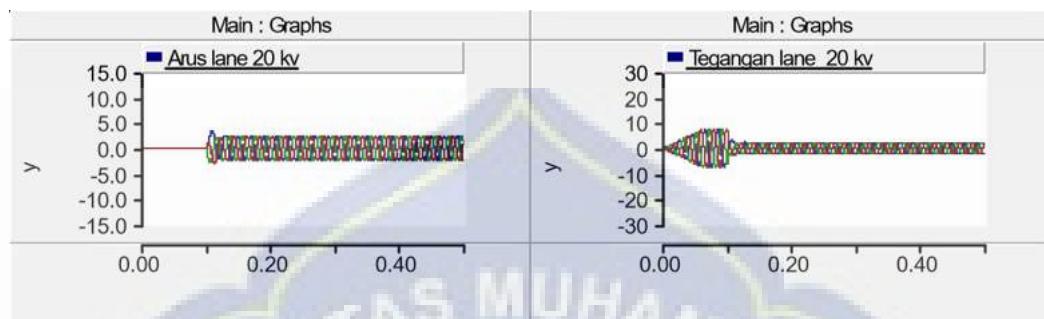
Gambar 4.55. Model Simulator Dalam Kondisi Gangguan 25%

Sumber: Dokumentasi Pribadi (PSCAD), 2025

Model simulator pada Gambar 4.55, menggambarkan data arus, tegangan, dan impedans yang diperoleh kemudian digunakan sebagai *input* ke *blok* pemrosesan yang bertugas mengestimasi lokasi gangguan dengan membandingkan impedans yang diukur terhadap impedans total dan panjang saluran.

Proses perhitungan lokasi gangguan yang mengambil tegangan dan arus fase sebagai *input*. Dari hasil perhitungan ini, sistem dapat memperkirakan posisi gangguan dalam satuan kilometer serta persentase terhadap total panjang saluran. Selain itu, lokasi gangguan sebenarnya juga diketahui sebagai acuan, sehingga kesalahan estimasi lokasi yang berupa selisih aktual dan persentase dapat dihitung.

Hasil akhir dari sistem ini memberikan informasi mengenai tingkat ketepatan penentuan lokasi gangguan dan perbedaan antara posisi estimasi dan posisi sebenarnya.



Gambar 4.56. Grafik Arus dan Tegangan Kondisi Gangguan 25 %

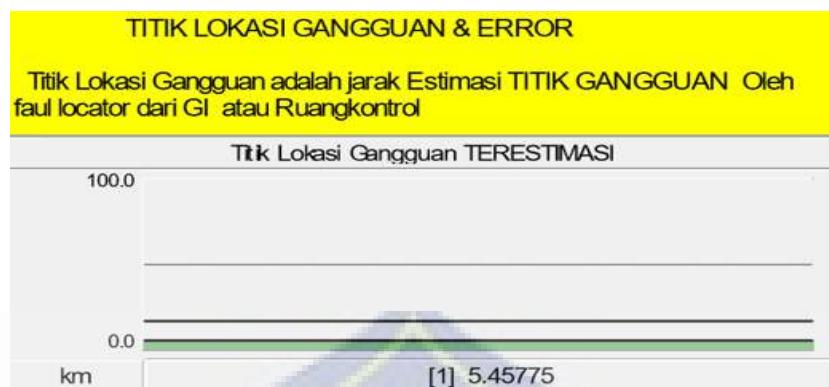
Sumber: Dokumentasi Pribadi (*PSCAD*), 2025

Grafik pada Gambar 4.56, menggambarkan sinyal arus dan tegangan pada *output* trafo yakni sisi sekunder, pada nilai resistans 5 ohm, grafik arus dan tegangan merupakan *input* pengukuran untuk menentukan arus dan tegangan yang terukur pada Penyulang Rindam.



Gambar 4.57. Display Domain Waktu Arus Terukur dan Tegangan Terukur dalam Kondisi Gangguan 25%

Sumber: Dokumentasi Pribadi (*PSCAD*), 2025



Gambar 4.58. *Display Numerik Titik Lokasi Gangguan Terestimasi*

dalam Kondisi Gangguan 25%

Sumber: Dokumentasi Pribadi (*PSCAD*), 2025



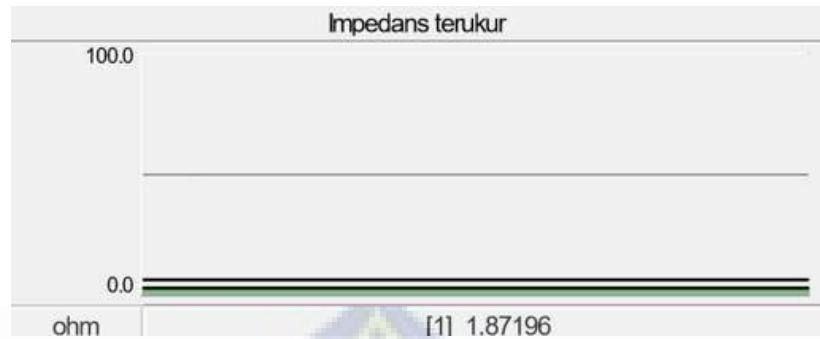
Gambar 4.59. *Display Numerik Error Aktual dalam Kondisi Gangguan 25%*

Sumber: Dokumentasi Pribadi (*PSCAD*), 2025



Gambar 4.60. *Display Numerik Error dalam % dalam Kondisi Gangguan 25%*

Sumber: Dokumentasi Pribadi (*PSCAD*), 2025



Gambar 4.61. *Display Numerik Impedans Terukur dalam Kondisi Gangguan 25%*

Sumber: Dokumentasi Pribadi (*PSCAD*), 2025

Pada hasil simulasi gangguan resistans 5 ohm dalam kondisi gangguan 25% menunjukkan bahwa arus pada saat terjadi gangguan 2,5527 kA, tegangan terukur 4,7786 kV seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.57. Adapun *display numerik* titik lokasi gangguan terestimasi 5,4577 km, *error* aktual 4,1140 km, *error* dalam persen 306,173%, serta impedans terukur 1,8719 Ohm seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.58 sampai Gambar 4.61.

Secara matematis, menggunakan persamaan (9) jarak gangguan terestimasi sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 d_{\text{est}} &= \frac{1,8719}{1,8431} \times 5,375 \\
 &= 1,0156 \times 5,375 \\
 &= 5,45 \text{ km}
 \end{aligned}$$

Selanjutnya, menggunakan Persamaan (10), *error* aktual diperoleh sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Error}_{\text{actual}} &= |5,4578 - 1,3437| \\
 &= 4,11 \text{ km}
 \end{aligned}$$

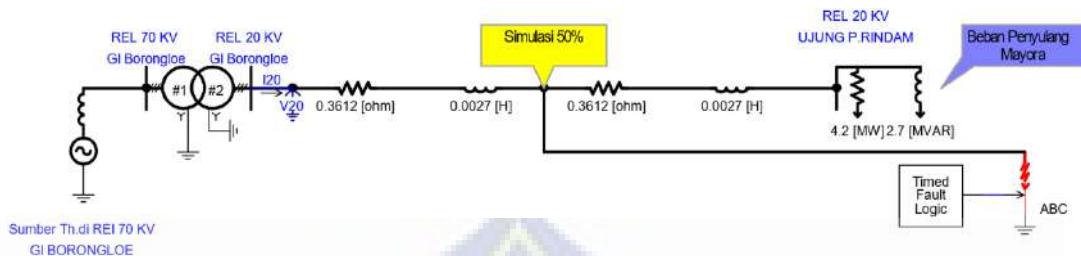
Kemudian, untuk menentukan presentase *error* jarak digunakan persamaan (12), sehingga diperoleh hasil sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 Error_{persen} &= \left| \frac{1,3437 - 5,4578}{1,3437} \right| \times 100\% \\
 &= \left| \frac{4,1141}{1,3437} \right| \times 100\% \\
 &= 306,17\%
 \end{aligned}$$

Tabel 4.11. Hasil Simulasi dari 25% dengan Resistans Gangguan 5 Ohm

Pengukuran	Hasil Simulasi Gangguan 25% (1,3437 km)
Arus Terukur (kA)	2,55
Tegangan Terukur (kV)	4,77
Titik Lokasi Gangguan Terestimasi (km)	5,45
Error Aktual (km)	4,11
Error dalam (%)	306,17
Impedans Terukur (ohm)	1,87

b. Model Gangguan Simulasi 50% / 2.6875 km



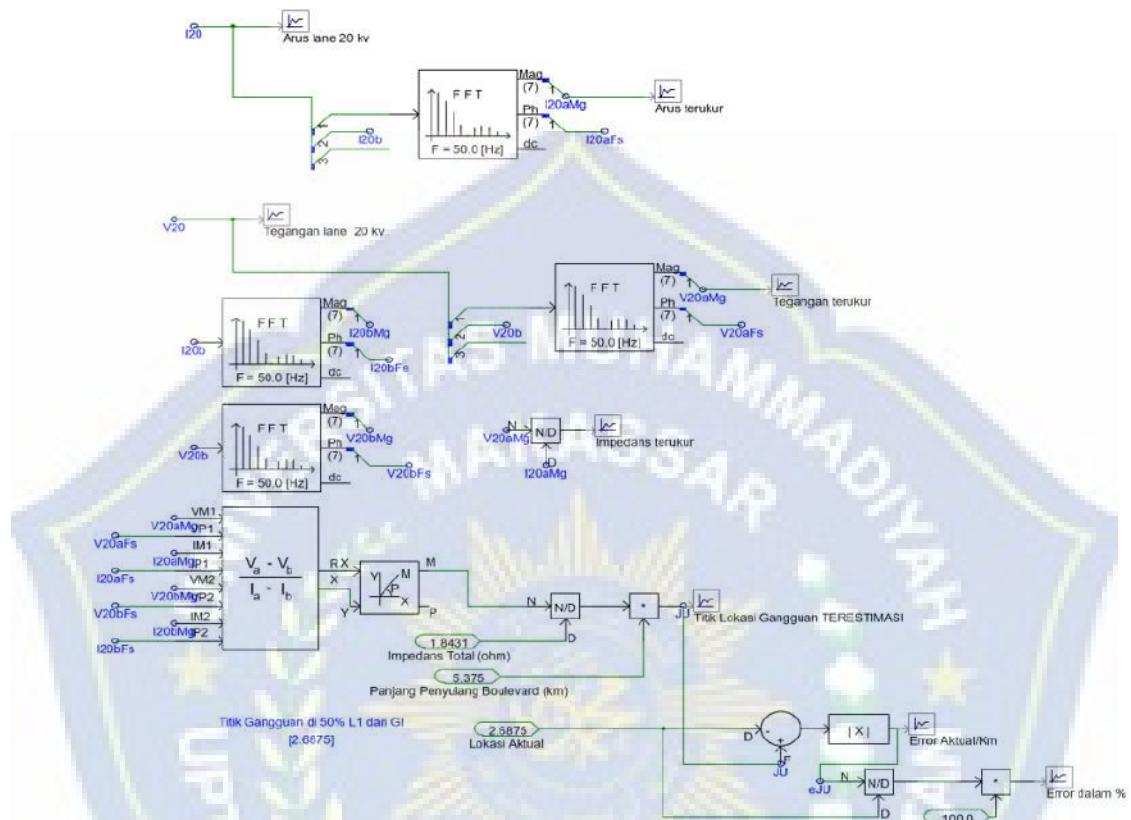
Gambar 4.62. Model *PSCAD* Sistem Daya Kondisi Gangguan 50 %

Sumber: Dokumentasi Pribadi (*PSCAD*), 2025

Model *PSCAD* sistem daya yang menggambarkan sistem distribusi listrik yang dimulai dari sumber tegangan thevenin di Gardu Induk (GI) Borongloe pada 70 kV, kemudian diturunkan melalui trafo menjadi 20 kV. Dalam model ini terdapat urutan perangkat proteksi (REL 70 kV dan REL 20 kV), transformator, serta elemen-elemen jaringan seperti impedans saluran (dinyatakan dalam satuan Ohm dan Henry) dan beban ujung berupa daya aktif sebesar 4,2 MW dan daya reaktif sebesar 2,7 MVAR pada saluran penyulang Mayora sebagai titik komsumsi daya.

Selain itu, model tersebut juga menampilkan kondisi simulasi gangguan sebesar 50% serta penerapan logika waktu (*Timed Fault Logic*) yang disimulasikan pada titik tertentu dalam jaringan (*phase-to-ground fault ABC*). Tujuan dari simulasi ini adalah untuk secara keseluruhan, model tersebut digunakan sebagai

studi aliran daya dan analisis proteksi pada sistem tenaga listrik dengan mempertimbangkan perhitungan impedans saluran serta beban nyata.



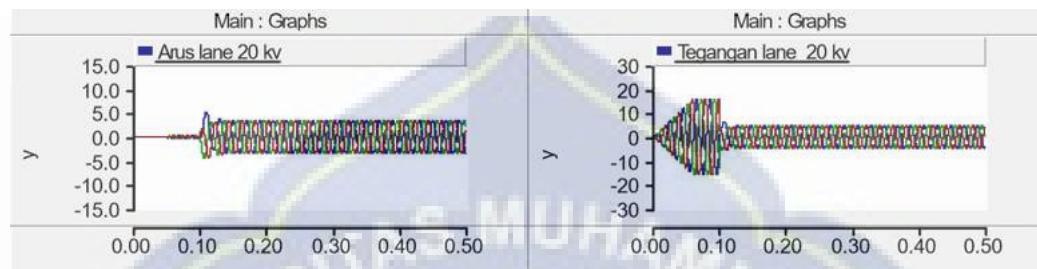
Gambar 4.63. Model Simulator Dalam Kondisi Gangguan 50 %

Sumber: Dokumentasi Pribadi (PSCAD), 2025

Model Simulator pada Gambar 4.63, menggambarkan data arus, tegangan, dan impedans yang diperoleh kemudian digunakan sebagai *input* ke *blok* pemrosesan yang bertugas mengestimasi lokasi gangguan dengan membandingkan impedans yang diukur terhadap impedans total dan panjang saluran.

Proses perhitungan lokasi gangguan yang mengambil tegangan dan arus fase sebagai *input*. Dari hasil perhitungan ini, sistem dapat memperkirakan posisi gangguan dalam satuan kilometer serta persentase terhadap total panjang saluran. Selain itu, lokasi gangguan sebenarnya juga diketahui sebagai acuan, sehingga

kesalahan estimasi lokasi yang berupa selisih aktual dan persentase dapat dihitung. Hasil akhir dari sistem ini memberikan informasi mengenai tingkat ketepatan penentuan lokasi gangguan dan perbedaan antara posisi estimasi dan posisi sebenarnya.



Gambar 4.64. Grafik Arus dan Tegangan Kondisi Gangguan 50%

Sumber: Dokumentasi Pribadi (*PSCAD*), 2025

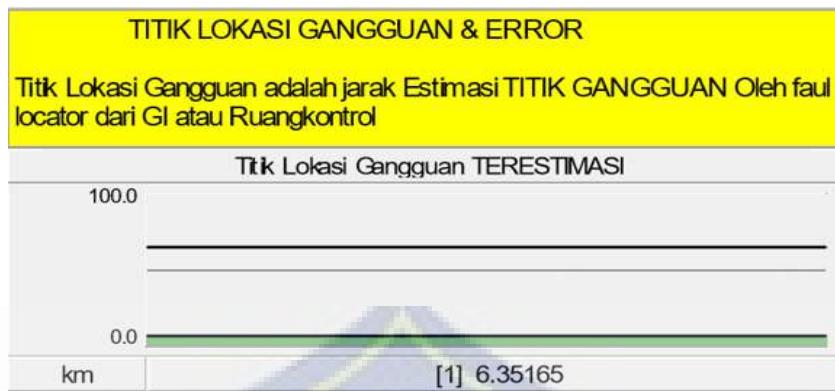
Grafik pada Gambar 4.64, menggambarkan sinyal arus dan tegangan pada *output* trafo yakni sisi sekunder, pada nilai resistans 5 ohm, grafik arus dan tegangan merupakan *input* pengukuran untuk menentukan arus dan tegangan yang terukur pada Penyulang Rindam.



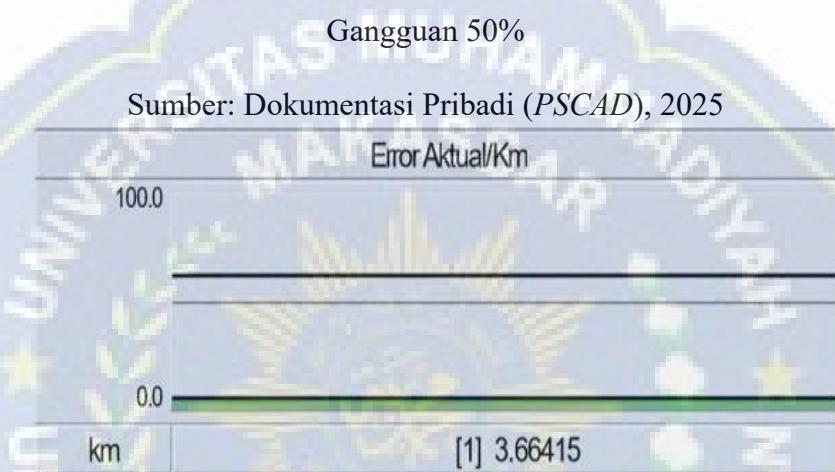
Gambar 4.65. Display Domain Waktu Arus Terukur dan Tegangan

Terukur dalam Kondisi Gangguan 50%

Sumber: Dokumentasi Pribadi (*PSCAD*), 2025



Gambar 4.66. *Display Numerik Titik Lokasi Gangguan Terestimasi dalam Kondisi*

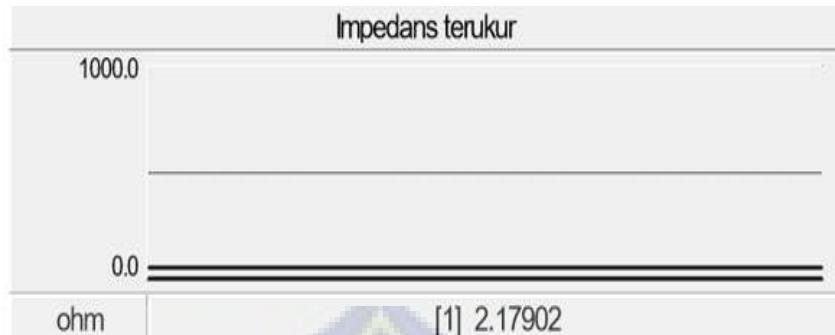


Gambar 4.67. *Display Numerik Error Aktual dalam Kondisi Gangguan 50%*



Gambar 4.68. *Display Numerik Error dalam % dalam Kondisi Gangguan 50%*

Sumber: Dokumentasi Pribadi (*PSCAD*), 2025



Gambar 4.69. *Display Numerik Impedans Terukur dalam Kondisi Gangguan 50%*

Sumber: Dokumentasi Pribadi (*PSCAD*), 2025

Pada hasil simulasi gangguan resistans 5 ohm dalam kondisi gangguan 50% menunjukkan bahwa arus pada saat terjadi gangguan 2,3169 kA, tegangan terukur 5,0470 kV seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.65. Adapun display numerik titik lokasi gangguan terestimasi 6,3516 km, *error* aktual 3,6641 km, *error* dalam persen 136,341%, serta impedans terukur 2,1790 Ohm seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.66 sampai Gambar 4.69.

Secara matematis, menggunakan Persamaan (9) jarak gangguan terestimasi sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 d_{\text{est}} &= \frac{2,1790}{1,8431} \times 5,375 \\
 &= 1,1822 \times 5,375 \\
 &= 6,35 \text{ km}
 \end{aligned}$$

Selanjutnya, menggunakan Persamaan (10), *error* aktual diperoleh sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Error}_{\text{actual}} &= |6,3516 - 2,6875| \\
 &= 3,66 \text{ km}
 \end{aligned}$$

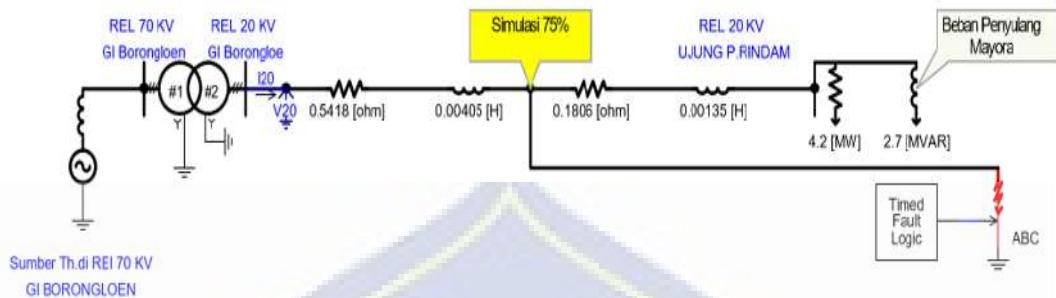
Kemudian, untuk menentukan persentase error jarak digunakan persamaan (2.11), sehingga diperoleh hasil sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 Error_{persen} &= \left| \frac{2,6875 - 6,3516}{2,6875} \right| \times 100\% \\
 &= \left| \frac{3,6641}{2,6875} \right| \times 100\% \\
 &= 136,34\%
 \end{aligned}$$

Tabel 4.12. Hasil Simulasi dari 50% dengan Resistans Gangguan 5 Ohm

Pengukuran	Hasil Simulasi Gangguan 50% (2,6875 km)
Arus Terukur (kA)	2,31
Tegangan Terukur (kV)	5,04
Titik Lokasi Gangguan Terestimasi (km)	6,35
Error Aktual (km)	3,66
Error dalam (%)	136,34
Impedans Terukur (ohm)	2,17

c. Model Gangguan Simulasi 75% / 4,0312 km



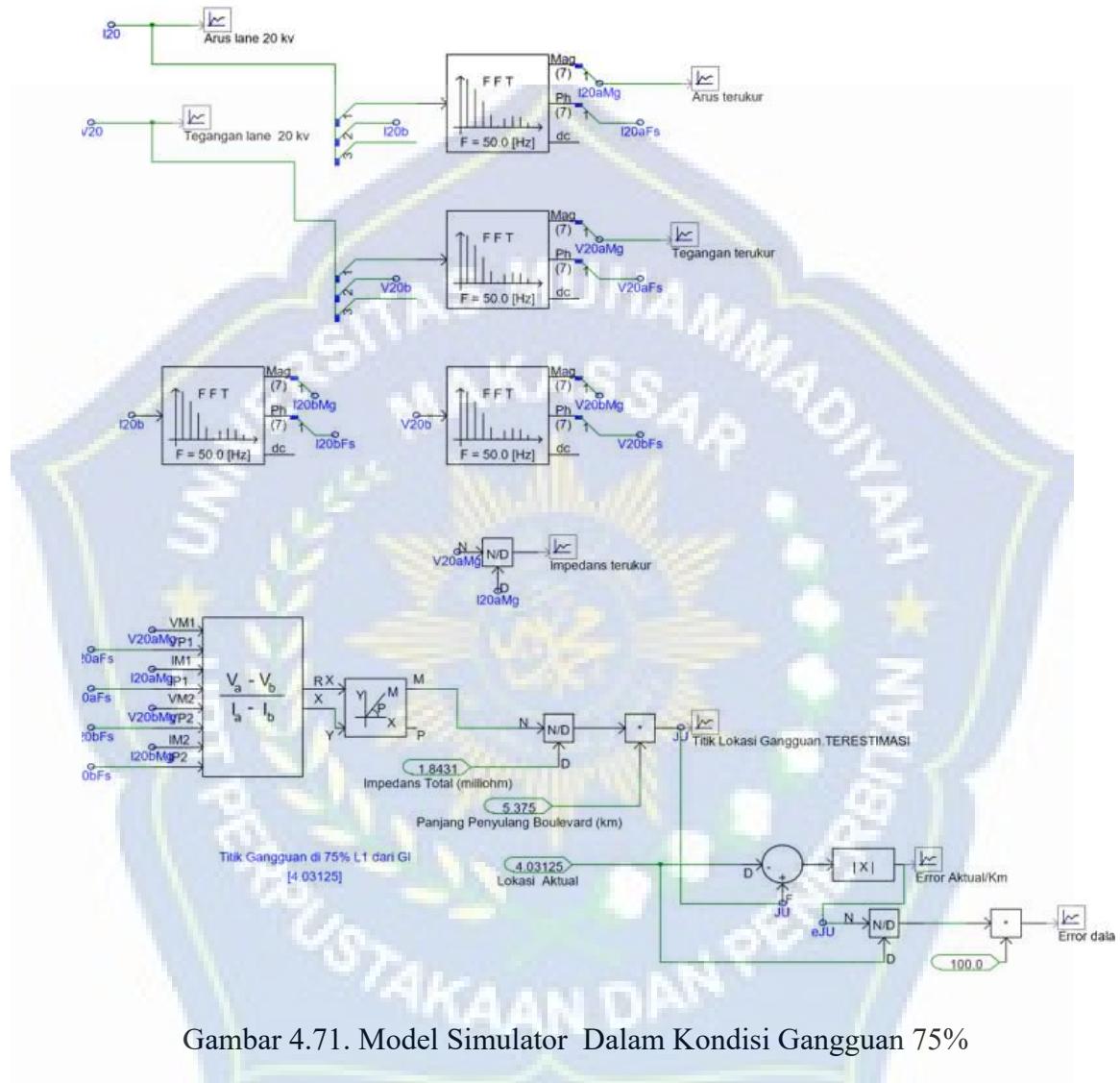
Gambar 4.70. Model PSCAD Sistem Daya Kondisi Gangguan 75 %

Sumber: Dokumentasi Pribadi (PSCAD), 2025

Model *PSCAD* sistem daya yang menggambarkan sistem distribusi listrik yang dimulai dari sumber tegangan thevenin di Gardu Induk (GI) Borongloe pada 70 kV, kemudian diturunkan melalui trafo menjadi 20 kV. Dalam model ini terdapat urutan perangkat proteksi (REL 70 kV dan REL 20 kV), transformator, serta elemen-elemen jaringan seperti impedans saluran (dinyatakan dalam satuan Ohm dan Henry) dan beban ujung berupa daya aktif sebesar 4,2 MW dan daya reaktif sebesar 2,7 MVAR pada saluran penyulang mayora sebagai titik komsumsi daya.

Selain itu, model tersebut juga menampilkan kondisi simulasi gangguan sebesar 75% serta penerapan logika waktu (*Timed Fault Logic*) yang disimulasikan pada titik tertentu dalam jaringan (*phase-to-ground fault ABC*). Tujuan dari simulasi ini adalah untuk secara keseluruhan, model tersebut digunakan sebagai studi aliran

daya dan analisis proteksi pada sistem tenaga listrik dengan mempertimbangkan perhitungan impedans saluran serta beban nyata.

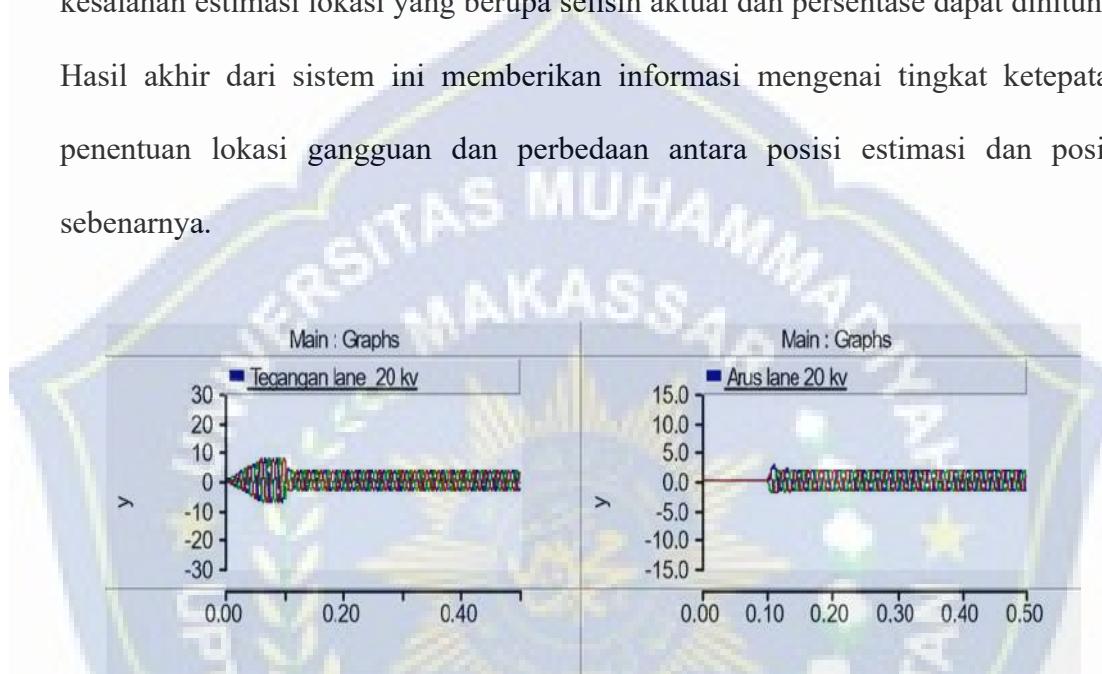


Gambar 4.71. Model Simulator Dalam Kondisi Gangguan 75%

Sumber: Dokumentasi Pribadi (*PSCAD*), 2025

Model Simulator pada Gambar 4.71, menggambarkan data arus, tegangan, dan impedans yang diperoleh kemudian digunakan sebagai *input* ke *blok* pemrosesan yang bertugas mengestimasi lokasi gangguan dengan membandingkan impedans yang diukur terhadap impedans total dan panjang saluran.

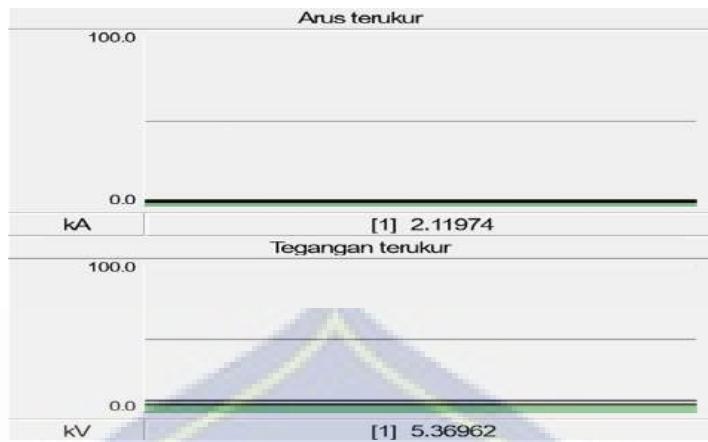
Proses perhitungan lokasi gangguan yang mengambil tegangan dan arus fase sebagai *input*. Dari hasil perhitungan ini, sistem dapat memperkirakan posisi gangguan dalam satuan kilometer serta persentase terhadap total panjang saluran. Selain itu, lokasi gangguan sebenarnya juga diketahui sebagai acuan, sehingga kesalahan estimasi lokasi yang berupa selisih aktual dan persentase dapat dihitung. Hasil akhir dari sistem ini memberikan informasi mengenai tingkat ketepatan penentuan lokasi gangguan dan perbedaan antara posisi estimasi dan posisi sebenarnya.



Gambar 4.72. Grafik Arus dan Tegangan Kondisi Gangguan 75 %

Sumber: Dokumentasi Pribadi (*PSCAD*), 2025

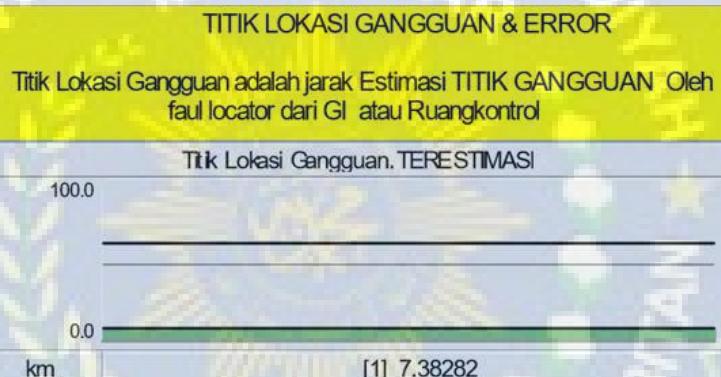
Grafik pada Gambar 4.72, menggambarkan sinyal arus dan tegangan pada *output* trafo yakni sisi sekunder, pada nilai resistans 5 ohm, grafik arus dan tegangan merupakan *input* pengukuran untuk menentukan arus dan tegangan yang terukur pada penyulang rindam.



Gambar 4.73. *Display Domain Waktu Arus Terukur dan Tegangan*

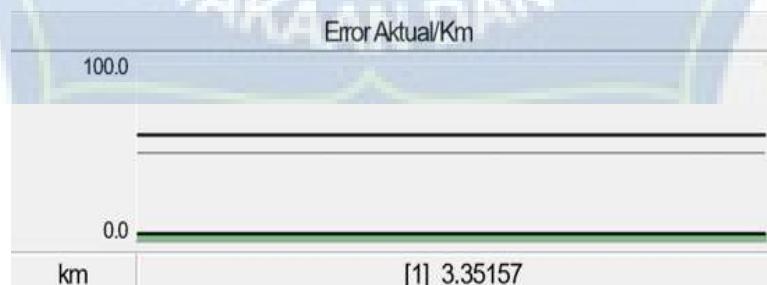
Terukur dalam Kondisi Gangguan 75%

Sumber: Dokumentasi Pribadi (*PSCAD*), 2025



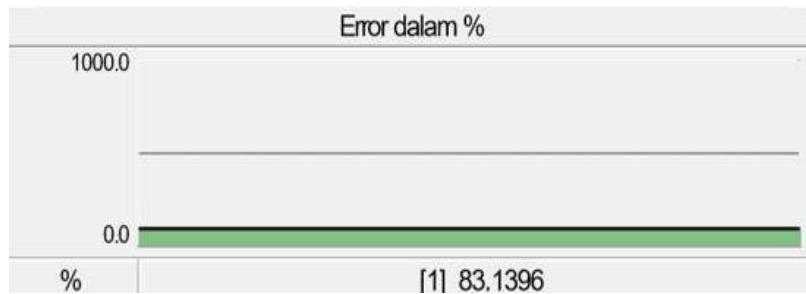
Gambar 4.74. *Display Numerik Titik Lokasi Gangguan*

Terestimasi dalam Kondisi Gangguan 75%



Gambar 4.75. *Display Numerik Error Aktual dalam Kondisi Gangguan 75%*

Sumber: Dokumentasi Pribadi (*PSCAD*), 2025



Gambar 4.76. *Display Numerik Error dalam % dalam Kondisi Gangguan 75%*

Sumber: Dokumentasi Pribadi (*PSCAD*), 2025



Gambar 4.77. *Display Numerik Impedans Terukur dalam Kondisi Gangguan 75%*

Sumber: Dokumentasi Pribadi (*PSCAD*), 2025

Pada hasil simulasi gangguan resistans 5 ohm dalam kondisi gangguan 75% menunjukkan bahwa arus pada saat terjadi gangguan 2,1197 kA, tegangan terukur 35,3696 kV seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.72. Adapun *display numerik* titik lokasi gangguan terestimasi 7,3828 km, *error* aktual 3,3515 km, *error* dalam persen 83,1396%, serta impedans terukur 2,5331 Ohm seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.74 sampai Gambar 4.77.

Secara matematis, menggunakan Persamaan (9) jarak gangguan terestimasi sebagai berikut:

$$d_{\text{est}} = \frac{2,5331}{1,8431} \times 5,375$$

$$\begin{aligned}
 &= 1,374 \times 5,375 \\
 &= 7,38 \text{ km}
 \end{aligned}$$

Selanjutnya, menggunakan Persamaan (10), error aktual diperoleh sebagai berikut:

$$\text{Error}_{\text{actual}} = |7,3828 - 3,9937|$$

$$= 3,38 \text{ km}$$

$$\text{Error}_{\text{persen}} = \left| \frac{3,9937 - 7,3828}{3,9937} \right| \times 100\%$$

$$= \left| \frac{3,3891}{3,9937} \right| \times 100\%$$

$$= 83,13\%$$

Tabel 4.13. Hasil Simulasi dari 75% dengan Resistans Gangguan 5 Ohm

Pengukuran	Hasil Simulasi Gangguan 75% (4,0312 km)
Arus Terukur (kA)	2,11
Tegangan Terukur (kV)	5,36
Titik Lokasi Gangguan Terestimasi (km)	7,38
Error Aktual (km)	3,35
Error dalam (%)	83,13
Impedans Terukur (ohm)	2,53

Tabel 4.14. Hasil Simulasi *Fault Locator* Penyulang Rindam

Pengukuran	Keadaan Normal	Simulasi Gangguan dengan Resistans								
		0,001 ohm			2 ohm			5 ohm		
		1,3437 km (25%)	2,6875 km (50%)	4,0312 km (75%)	1,3437 km (25%)	2,6875 km (50%)	4,0312 km (75%)	1,3437 km (25%)	2,6875 km (50%)	4,0312 km (75%)
Arus Terukur (kA)	0,13	2,79	2,53	2,30	2,74	2,47	2,25	2,55	2,31	2,11
Tegangan Terukur (kV)	11,23	1,29	2,33	3,19	2,59	3,29	3,95	4,77	5,04	5,36
Titik Lokasi Gangguan Terestimasi (km)		1,34	2,68	4,03	2,75	3,87	5,11	5,45	6,35	7,38
Error Aktual (km)		$\approx 0,05$	$\approx 0,01$	$\approx 0,02$	1,41	1,19	1,08	4,11	3,66	3,35
Error dalam (%)		0,03	0,05	0,05	104,98	44,36	26,80	306,17	136,34	83,13
Impedans Terukur (ohm)		0,46	0,92	3,19	0,94	1,33	1,75	1,87	2,17	2,53

Tabel 4.14 menunjukkan bahwa metode *fault locator* berbasis impedans sederhana memiliki akurasi yang sangat baik pada kondisi resistans gangguan rendah ($0,001 \Omega$), ditandai dengan error yang relatif kecil ($<1\%$). Namun, ketika resistans gangguan meningkat ($2\text{--}5 \Omega$), tingkat *error* bertambah signifikan hingga mencapai beberapa persen, sehingga estimasi lokasi gangguan menjadi tidak akurat. Temuan ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Idris (2020), yang juga menyimpulkan bahwa resistans gangguan berpengaruh besar terhadap akurasi perhitungan lokasi gangguan pada metode impedans sederhana. Dalam penelitiannya, Idris menemukan bahwa semakin tinggi resistans gangguan, error estimasi meningkat.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian serta pembahasan yang telah dilakukan dalam skripsi ini mengenai penerapan metode berbasis impedans untuk penentuan lokasi kesalahan pada Penyulang Rindam dengan menggunakan perangkat lunak *PSCAD*, dapat disimpulkan bahwa:

1. Model *PSCAD* yang dibangun berhasil merepresentasikan sistem distribusi tenaga listrik secara akurat dengan menggambarkan sistem *fault locator* berbasis impedans pada saluran distribusi penyulang Rindam tegangan 20 kV, yang terdiri dari dua model, yaitu model sistem daya yang memodelkan karakteristik saluran distribusi, serta model *fault locator* yang mencakup komponen-komponen seperti sensor arus dan tegangan untuk pengukuran sinyal, frekuensi scanner untuk deteksi frekuensi sinyal, prosesor impedans untuk perhitungan impedans gangguan, prosesor jarak terukur untuk menentukan lokasi gangguan berdasarkan impedans, dan display sebagai media tampilan hasil deteksi secara real-time.
2. Metode ini menunjukkan kinerja yang bervariasi tergantung pada resistans gangguan yang disimulasikan meningkatkan nilai-nilai yang terukur, serta memengaruhi estimasi lokasi gangguan dan nilai kesalahan (*error*). Misalnya, pada resistans 0,001 ohm, estimasi lokasi gangguan dan *error* aktual relatif rendah, namun ketika resistans meningkat menjadi 2 ohm

atau 5 ohm, estimasi lokasi gangguan dan *error* juga meningkat secara signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa akurasi *fault locator* lebih baik pada resistans gangguan yang rendah, dan kinerja alat menjadi kurang akurat seiring dengan meningkatnya resistans gangguan, yang terlihat dari peningkatan persentase *error* dalam estimasi lokasi gangguan.

5.2 Saran

Berdasarkan tabel simulasi yang menunjukkan variasi akurasi *fault locator* berdasarkan resistans gangguan, disarankan untuk penelitian selanjutnya agar meneliti lebih dalam pengaruh jenis gangguan lain (seperti gangguan satu fase ke tanah atau dua fase) terhadap kinerja alat. Hal ini penting untuk mendapatkan pemahaman yang lebih komprehensif tentang bagaimana berbagai jenis gangguan memengaruhi akurasi *fault locator*, sehingga dapat meningkatkan keandalan dan keefektifan sistem proteksi secara keseluruhan dalam mendekripsi dan melokalisasi gangguan pada sistem tenaga listrik.

DAFTAR PUSTAKA

- Al Qoyyimi, T. A., Penangsang, O., & Aryani, N. K. (2017). Penentuan lokasi gangguan hubung singkat. *Jurnal Teknik ITS*, 6(1).
- Dayana, I., & Si, M. (n.d.). *Rangkaian listrik untuk teknik*.
- Faharuddin, A. (n.d.). Menggunakan metode MVA hubung-singkat (MVA SC).
- Faruque, M. O., Zhang, Y., & Dinavahi, V. (n.d.). Detailed modeling of CIGRÉ HVDC benchmark system using PSCAD/EMTDC and PSB/SIMULINK.
- Hafizi Bin Idris, M. (2020). Combination effects of fault resistance and remote in feed current on simple impedans based fault location. *Journal of Physics: Conference Series*, 1432(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1432/1/012002>
- Kiyar, A. (2022). Analisis titik gangguan penghantar dengan metode *fault locator* double ended menggunakan aplikasi Transview (Tugas akhir).
- Saputra, A. N. (2022). Analisa gangguan pada jaringan transmisi 150 kV Kaliwungu-Weleri metode impedans menggunakan alat *fault locator*. *Jurnal Elektro*, 10, 1–10. <https://repository.usm.ac.id/files/journalmhs/C.431.15.012220220303014840.pdf>
- Kim, S. K., & Kim, E. S. (n.d.). PSCAD/EMTDC-based modeling and analysis of a gearless variable speed wind turbine.
- Sulistyo Raharjo, M., & Zainuddin Alfarisi. (2019). Analisis gangguan sistem transmisi listrik menggunakan metode aplikasi SPSS.
- Susilo, D. T. J., Dewi, R., Suprapto, E., & Djufri, S. U. (2024). Rancangan kontruksi saluran udara tegangan menengah (SUTM) 20 kV di Desa Tanjung Kasri Kecamatan Jangkat Kabupaten Merangin Provinsi Jambi. *Journal of Electrical Power Control and Automation (JEPCA)*, 6(2), 23. <https://doi.org/10.33087/jepca.v6i2.106>
- Syafira, F., Tumaliang, H., & Silimang, S. (2016). Perencanaan jaringan distribusi tenaga listrik 20 kV di Universitas Sam Ratulangi. *Elektrikal Unsrat*, 1(1), 1–14.
- Syofian, A. (2017). Analisa perhitungan titik gangguan pada saluran transmisi menggunakan metode Takagi aplikasi PT Chevron Pacific Indonesia. *Jurnal Teknik Elektro ITP*, 6(2), 204–208. <https://doi.org/10.21063/jte.2017.3133627>



Komponen-komponen yang digunakan dalam pemodelan rangkaian simulasi *fault locator* pada *PSCAD* antara lain :

1. Three-Phase Voltage Source

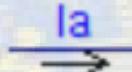


Gambar A.1 Bentuk Komponen Sumber Tiga-Phase

Sumber: Dokumentasi Pribadi dari Aplikasi *PSCAD*, 2025

Three-Phase Voltage Source adalah komponen yang memberikan *input* tegangan (kV), frekuensi (Hz) dan tipe impedansi yang diinginkan.

2. Ammeter



Gambar A.2 Bentuk Komponen Ammeter

Sumber: Dokumentasi Pribadi dari Aplikasi *PSCAD*, 2025

Ammeter adalah komponen yang digunakan untuk mengukur arus pada titik tertentu di rangkaian atau sistem tenaga listrik selama simulasi.

3. Voltmetergnd (Line – Ground)



Gambar A.3 Bentuk Komponen Voltmetergnd (Line – Ground)

Sumber: Dokumentasi Pribadi dari Aplikasi *PSCAD*, 2025

Voltmetergnd (*Line – Ground*) adalah alat ukur tegangan yang khusus digunakan untuk mengukur benda potensial antara satu konduktor (*line*) terhadap titik ground mengukur tegangan fase (*phase-to-ground voltage*) dalam satuan volt

4. Signal Name



Gambar A.4 Bentuk Komponen Signal Name

Sumber: Dokumentasi Pribadi dari Aplikasi *PSCAD*, 2025

Label data dapat digunakan untuk menetapkan nama sinyal ke kawat yang membawah sinyal data. Nama sinyal data *input* cocok dengan nama sinyal data lain dalam modul halaman yang sama (atau halaman utama), kedua sinyal ini dianggap terhubung bersama.

5. On-Line Frequensi Scanner (FFT)

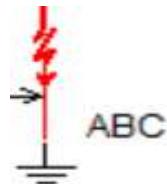


Gambar A.5 Bentuk Komponen On-Line Frequensi Scanner (FFT)

Sumber: Dokumentasi Pribadi dari Aplikasi *PSCAD*, 2025

FFT adalah sebuah komponen yang dapat memproses nilai arus atau tegangan untuk menghasilkan nilai magnitudo dan sudut fase berupa nilai domain waktu.

6. Three-Phase and Two Phase Fault

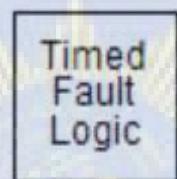


Gambar A.6 Tharee- Phase and two phase Fault

Sumber: Dokumentasi Pribadi dari Aplikasi *PSCAD*, 2025

Tharee- Phase and Two Phase Fault adalah sebuah komponen untuk melakukan pemodelan gangguan pada sistem daya.

7. Timed Fault Logic



Gambar A.7 Bentuk komponen Fault Logic

Sumber: Dokumentasi Pribadi dari Aplikasi *PSCAD*, 2025

Timed Fault Logic adalah komponen yang digunakan untuk pengaturan waktu gangguan. Waktu akan diatur berupa saat mulai gangguan (*apply fault*) dan lama waktu terjadi gangguan (*Duration fault*).

8. Three Phase Resistive Load

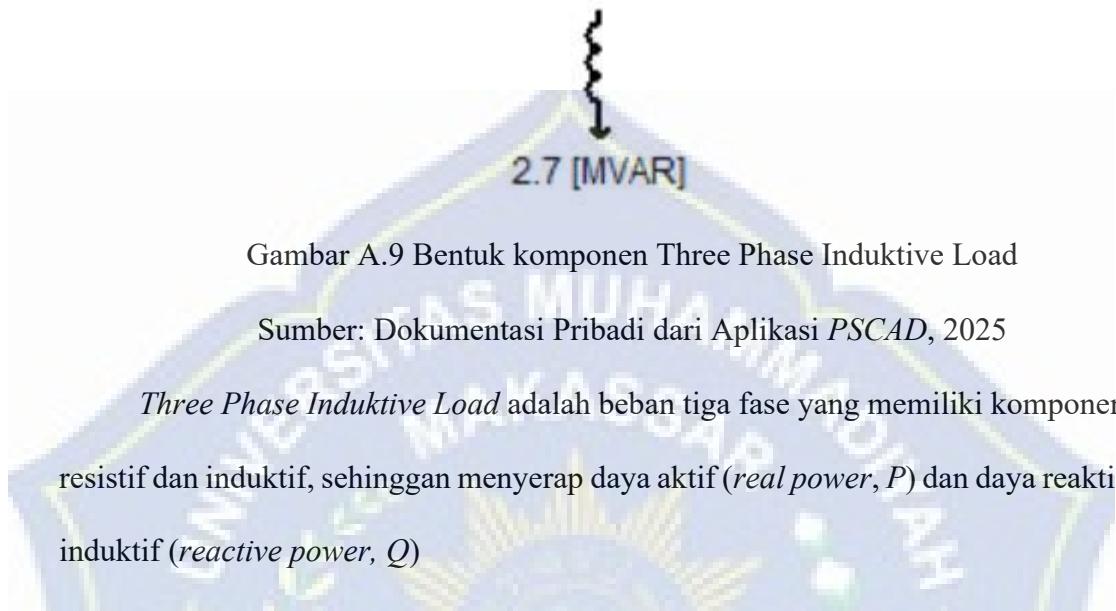


Gambar A.8 Bentuk komponen Three Phase Resistive Load

Sumber: Dokumentasi Pribadi dari Aplikasi *PSCAD*, 2025

Three Resistive Load adalah beban tiga fase yang murni resistif (hanya memiliki tahanan, tanpa induktans atau kapasitans).

9. Three Phase Induktive Load

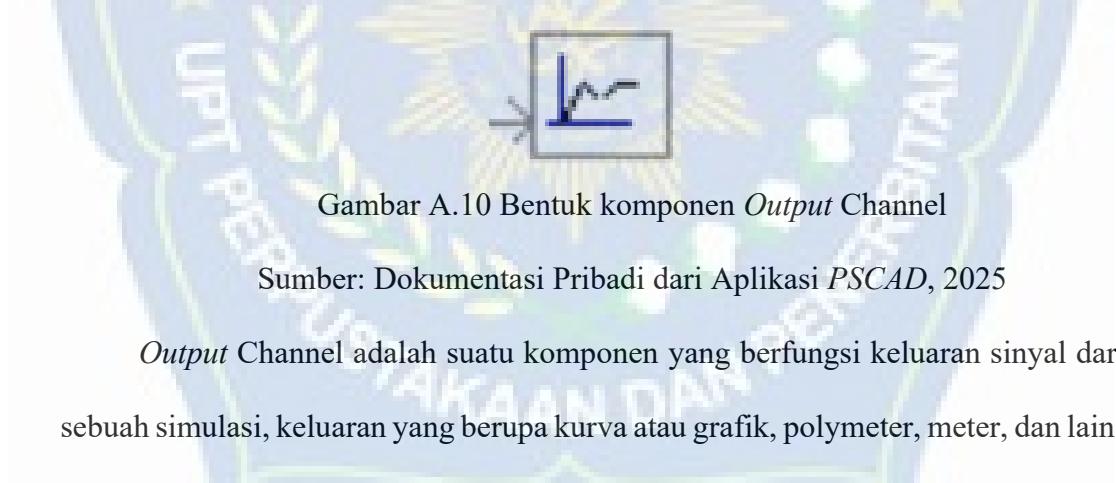


Gambar A.9 Bentuk komponen Three Phase Induktive Load

Sumber: Dokumentasi Pribadi dari Aplikasi *PSCAD*, 2025

Three Phase Induktive Load adalah beban tiga fase yang memiliki komponen resistif dan induktif, sehingga menyerap daya aktif (*real power*, P) dan daya reaktif induktif (*reactive power*, Q)

10. Output Channel



Gambar A.10 Bentuk komponen Output Channel

Sumber: Dokumentasi Pribadi dari Aplikasi *PSCAD*, 2025

Output Channel adalah suatu komponen yang berfungsi keluaran sinyal dari sebuah simulasi, keluaran yang berupa kurva atau grafik, polymeter, meter, dan lain-lain.

11. Marges Data Signal Into an Array dan Datatape

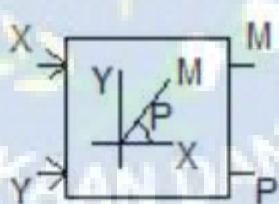


Gambar A.11 Marges Data Signal Into an Array dan Datatape

Sumber: Dokumentasi Pribadi dari Aplikasi *PSCAD*, 2025

Komponen ini menggabungkan hingga 12 sinyal skalar individu ke dalam array satu dimensi (data vektor) semua sinyal yang terhubung ke dalam terminal *input* dilonversi ke tipe *output* yang dipilih nilai *input* INTEGER dikonversi ke tipe *REAL* dan nilai *input* REAL dikonversi ke integer terdekat menggunakan fungsi fortran NINT.konversi *input* LOGICAL ke tipe *REAL* atau INTEGER tidak dilakukan secara otomatis. kabel adalah garis grafik yang digunakan untuk menghubungkan mesin virtual komponen bersama-sama pada kanvas Sirkuit *PSCAD*.

12. Polar Rectangular Coordinate Converter

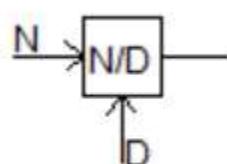


Gambar A.12 Bentuk Komponen Polar Rectangular Coordinate Converter

Sumber: Dokumentasi Pribadi dari Aplikasi *PSCAD*, 2025

Polar Rectangular Coordinate Converter adalah blok konversi sistem koordinat polar ke koordinat rectangular untuk sinyal phasor atau vektor kompleks.

13. Blok Divide

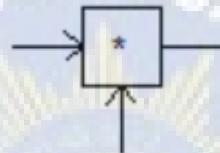


Gambar A.13 Bentuk komponen Blok Divide

Sumber: Dokumentasi Pribadi dari Aplikasi *PSCAD*, 2025

Blok Divide adalah komponen matematika yang berfungsi untuk melakukan pembagian antara dua sinyal atau nilai secara real-time selama simulasi.

14. Blok Multiplier

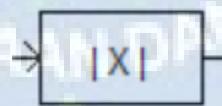


Gambar A.14 Bentuk Komponen Blok Multiplier

Sumber: Dokumentasi Pribadi dari Aplikasi *PSCAD*, 2025

Blok Multiplier adalah komponen matematika yang digunakan untuk mengkalikan dua sinyal atau nilai secara real-time.

15. Blok Absolute Value

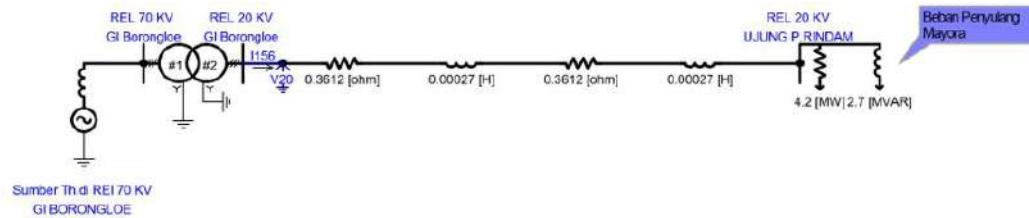


Gambar A.15 Blok Absolute Value

Sumber: Dokumentasi Pribadi dari Aplikasi *PSCAD*, 2025

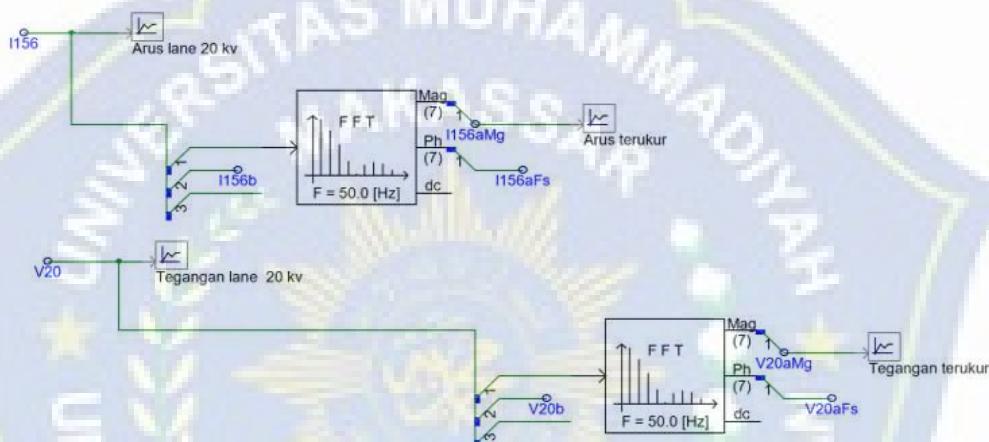
Blok Absolute Value adalah komponen matematika yang digunakan untuk mengambil nilai mutlak dari sebuah sinyal atau variabel.

A. SISTEM DAYA KONDISI NORMAL



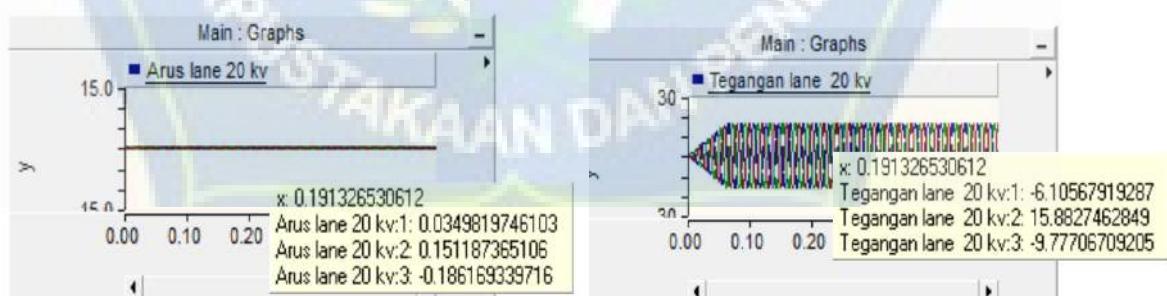
Gambar A.1 Model Sistem Daya Kondisi Normal

Sumber: Dokumentasi Pribadi dari Aplikasi *PSCAD*, 2025



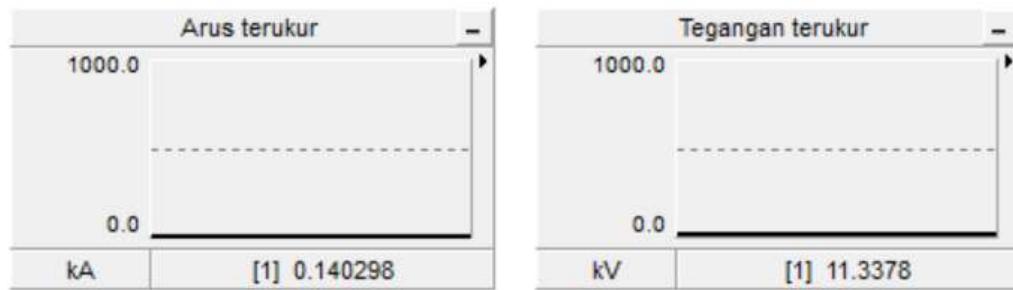
Gambar A.2 Model Simulator

Sumber: Dokumentasi Pribadi dari Aplikasi *PSCAD*, 2025



Gambar A.3 Grafik Arus dan Tegangan kondisi normal

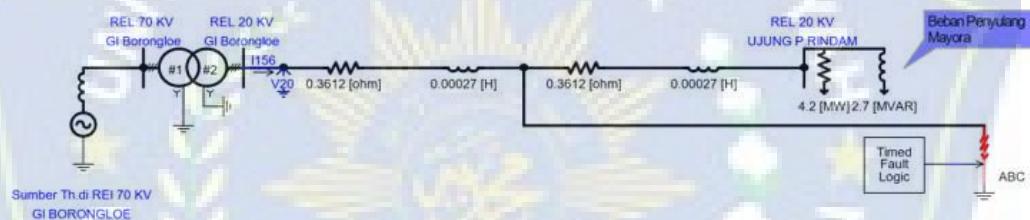
Sumber: Dokumentasi Pribadi dari Aplikasi *PSCAD*, 2025



Gambar A.4 Display Domain Waktu Arus dan Tegangan

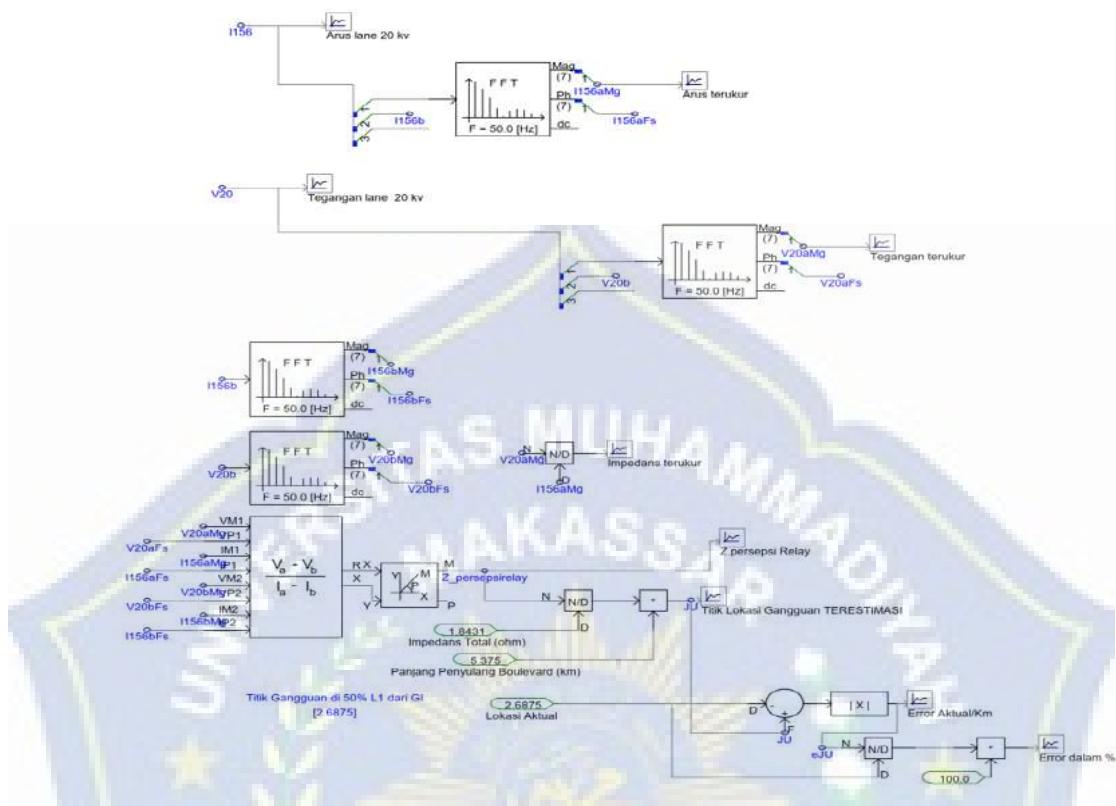
Sumber: Dokumentasi Pribadi dari Aplikasi *PSCAD*, 2025

MODEL GANGGUAN



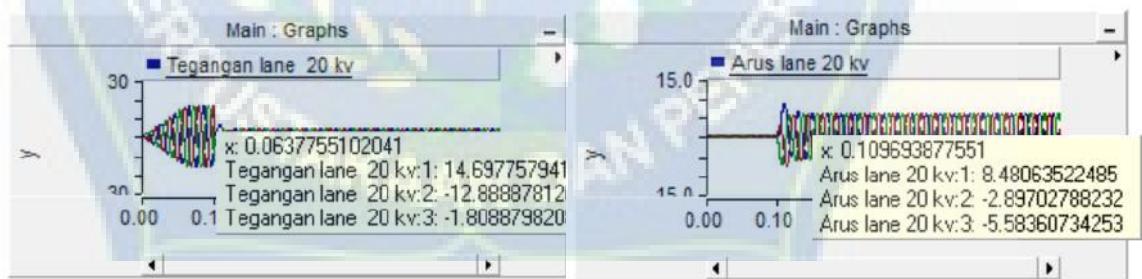
Gambar A.5 Model Sistem Daya Dalam Kondisi Gangguan

Sumber: Dokumentasi Pribadi dari Aplikasi *PSCAD*, 2025



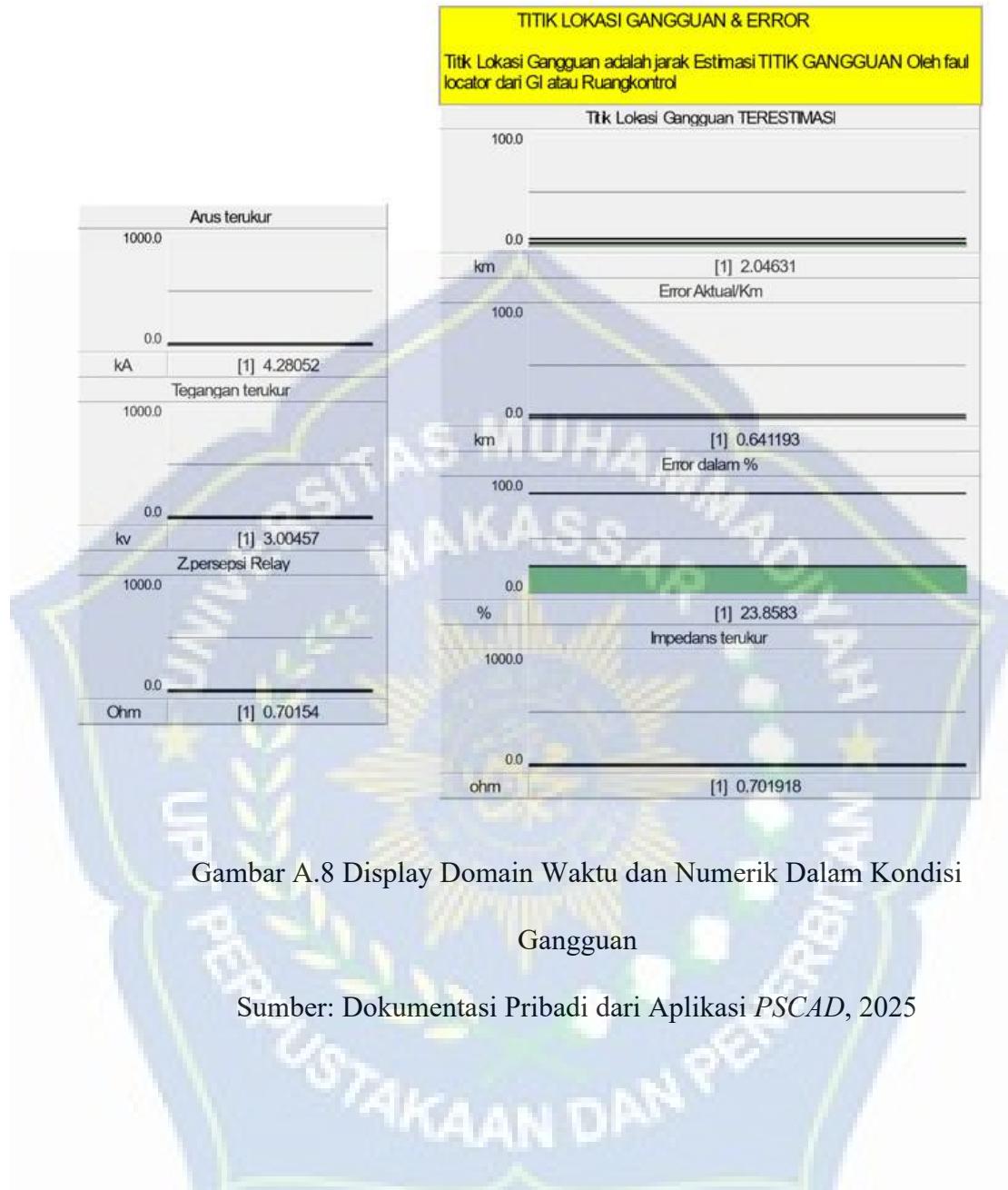
Gambar A.6 Model Simulator Dalam Kondisi Gangguan

Sumber: Dokumentasi Pribadi dari Aplikasi *PSCAD*, 2025



Gambar A.7 Grafik Arus dan Tegangan Dalam Kondisi Gangguan

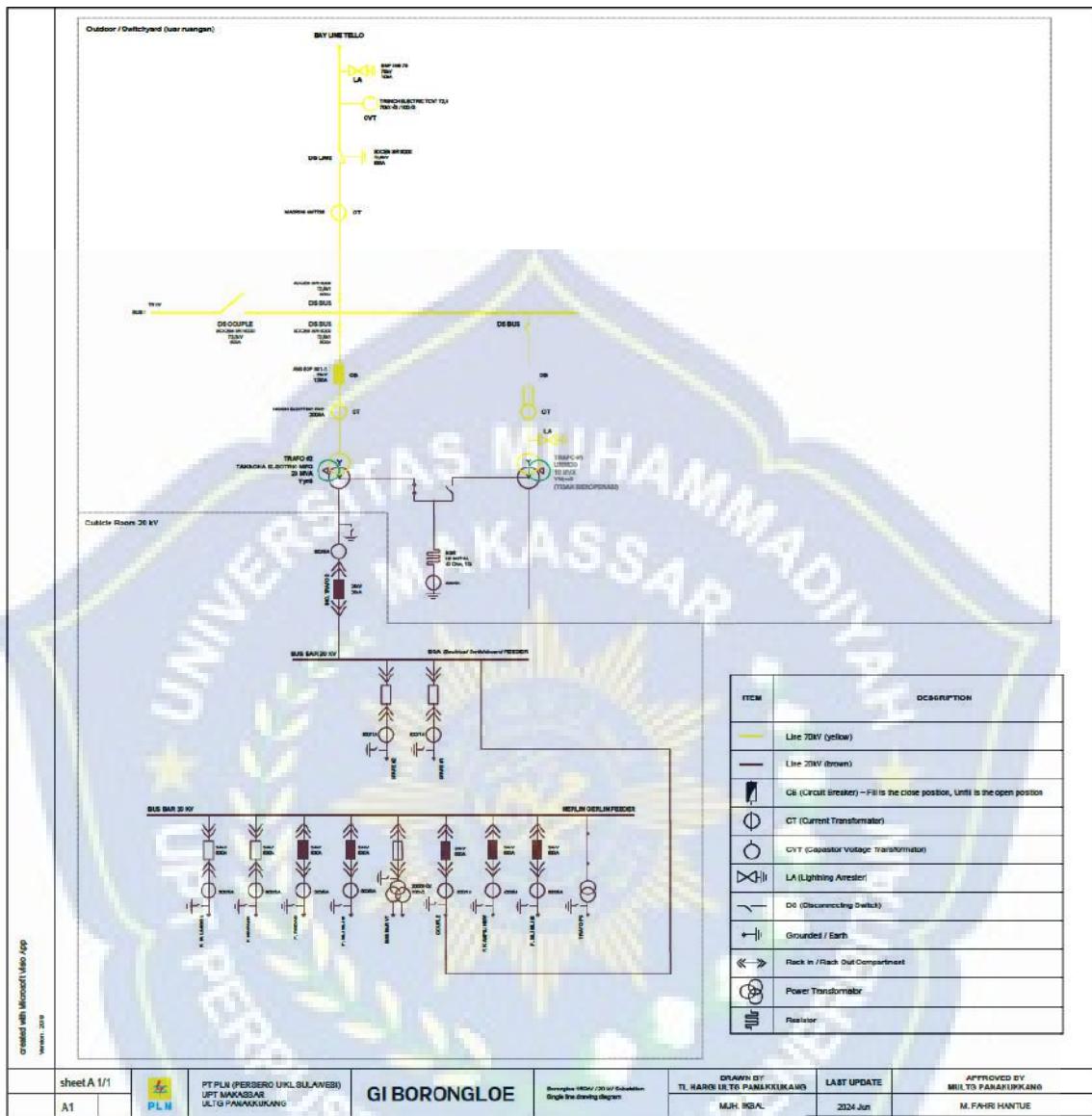
Sumber: Dokumentasi Pribadi dari Aplikasi *PSCAD*, 2025



Gambar A.8 Display Domain Waktu dan Numerik Dalam Kondisi Gangguan

Sumber: Dokumentasi Pribadi dari Aplikasi *PSCAD*, 2025





Gambar B.1 Diagram Satu Garis GI BORONGLOE

Sumber: Dokumentasi Pribadi dari Aplikasi *PSCAD*, 2025



Gambar B.2 Diagram Penyulan Rindam

Sumber: Dokumentasi Pribadi dari Aplikasi *PSCAD*, 2025

Pada hari ini Senin, tanggal Tujuh Belas bulan Februari tahun Dua Ribu Dua Puluh Lima (17/02/2025), telah dilaksanakan Pengoperasian Jaringan Distribusi sebagai berikut :

I Lokasi

Alamat	: JURUSAN MAYORA 1
Panjang Jaringan (KMS)	5,375 KMS
Jenis Konduktor	XLPE 240 MM2

II PO NO . SPK NO.0164.SPJ/AGA.04.01/F16100000/2024 III. Waktu Penjumperan
SENIN/17-02-2025

Demikian berita acara ini dibuat dengan sebenarnya, dengan ini manajemen trafo tersebut dinyatakan telah selesai.

Pengawas Pekerjaan,
Staff Teknik U.

Pelaksana Pekerjaan,

PT.LAKAWAN

Team Leader Teknik

Mengetahui,

Team Leader Teknik

RAHMAT HIDAYAT M.

MUH. AZWAR

HALAMAN 1 DARI 3

-L PT PLN (PERSERO) UUD SULSELBAR
UP3 MAKASSAR SELATAN
PLN UTP SUNGGUMINASA

DOWMENTASI FOTO

Pengawas Pekerjaan,
Team Leader Teknik

RAHMAT HIDAYAT M.

TH. AYATM

Gambar Surat B.3 Data Panjang Dan Impedans Penyulan Rindam

Sumber: PLN, 2025

**DATA HUBUNG SINGKAT GARDU INDUK TERSEBAR
SISTEM SULBAGSEL - UIP3B SULAWESI**

GARDU INDUK	TEGANAN (KV)	HUBUNG SINGKAT					
		3 FASA		2 FASA		1 FASA - GROUND	
		MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN
GI BMPP NUSANTARA	150	4.31	3.57	3.61	3.00	5.00	4.14
GI ANDOLO	150	3.14	2.61	2.68	2.22	3.65	3.08
GI BAKARU	150	5.63	4.65	4.95	4.08	6.49	5.28
GI BANTAENG NEW	150	6.85	5.86	6.01	5.15	7.69	6.52
GI BANTAENG SMELTER	150	7.18	6.14	6.31	5.40	10.10	8.68
GI BANTAENG SWITCHING	150	7.38	6.30	6.49	5.54	10.21	8.76
GI BARRU	150	6.61	5.74	5.74	5.00	5.88	5.16
GI BELOPA	150	8.20	7.09	7.16	6.19	9.28	7.90
GI BOLANGI	150	12.48	10.49	11.02	9.26	15.84	13.47
GI BONE	150	6.80	5.86	5.94	5.12	7.53	6.56
GI BORONGLOE	70	2.51	2.26	2.18	1.96	1.99	1.79
GI BOSOWA	150	7.11	6.15	6.21	5.38	6.69	5.82
GI BULUKUMBA	150	6.95	5.96	6.10	5.23	9.12	7.87
GI DAYA BARU	150	12.42	10.46	10.96	9.23	15.78	13.42
GI DAYA66	66	3.79	3.40	3.29	2.95	3.95	3.54
GI DONGGALA	150	3.77	3.20	3.29	2.79	5.04	4.30
GI ENREKANG	150	5.78	5.05	5.02	4.40	5.76	4.91
GI HUADI HENGSENG	150	7.18	6.14	6.31	5.40	9.74	8.38
GI HUADI UNITY	150	7.37	6.29	6.47	5.53	10.15	8.72
GI JENEPOINTO	150	10.14	8.45	8.99	7.49	11.23	9.52
GI KASIPUTE	150	2.43	2.05	2.08	1.76	2.77	2.38
GI KENDARI NEW	150	4.41	3.54	3.75	3.01	5.86	4.76
GI KIMA	150	12.15	10.25	10.72	9.04	15.55	13.23
GI KOLAKA	150	4.12	3.41	3.48	2.89	4.62	3.81
GI KOLONEDALE	150	2.69	2.39	2.34	2.08	2.05	1.84
GI KTT ANTAM	150	3.68	3.08	3.12	2.61	3.78	3.17
GI LANNA	150	9.15	7.82	8.05	6.88	10.77	9.30
GI LATUPPA 150	150	9.24	8.00	8.06	6.99	12.19	10.62
GI LATUPPA 275	275	5.01	4.37	4.36	3.80	6.50	5.70
GI MAJENE	150	3.67	3.19	3.20	2.78	4.13	3.62
GI MAKALE	150	7.95	6.88	6.99	6.04	8.68	7.54
GI MALEA	150	6.83	5.92	6.03	5.22	7.33	6.32
GI MAMUJU	150	2.90	2.53	2.52	2.20	3.84	3.37

Gambar Tabel B.4 Data Hubung-Singkat GI BORONGLOE

Sumber: PLN, 2025



Gambar B.5 Namplate Trafo 2 GI BORONGLOE

Sumber: PLN, 2025

TEG	LAPORAN HARIAN GI BORONGLOE			PENGUKURAN SISI INCOMING			PENYULANG ASUHAN TRAFO 2 / 20 MVA														
	F. EKSPRESS BOLANGI 1			F. EKSPRESS BOLANGI 2			F. RINDAM			F. KAMPIU NEW			F. BILI BILI 1			F. BILI BILI 2			F. MAWANGUIN		
	R	S	T	R	S	T	R	S	T	R	S	T	R	S	T	R	S	T	R	S	T
20.1	64	72	73	64	72	72	144	143	140	88	90	91	115	121	128	127	115	119	26	25	25
20.0	64	70	73	64	70	72	130	139	118	86	89	89	115	121	128	128	116	120	25	25	25
20.0	64	70	73	64	70	72	130	139	118	86	89	89	115	121	128	128	116	120	25	25	25
20.0	64	70	73	64	70	72	130	139	118	86	89	89	115	121	128	128	116	120	25	25	25
20.1	69	75	78	69	75	78	142	148	141	84	89	88	119	126	133	133	121	124	24	24	24
20.1	69	75	78	69	75	78	142	148	142	84	89	88	116	124	130	130	117	121	24	24	24
20.1	69	76	78	69	76	78	142	148	142	84	89	88	116	124	130	130	117	121	24	24	24
20.1	69	77	77	69	77	78	143	147	143	85	85	88	114	122	128	128	115	119	24	25	24
20.1	69	77	77	69	77	78	143	147	143	85	85	88	114	122	128	128	115	119	24	25	24
20.1	69	78	77	69	78	78	143	147	143	85	88	88	112	119	125	124	112	116	24	25	24
20.1	69	78	77	69	78	78	143	147	143	85	88	88	112	119	125	124	112	116	24	25	24
20.1	69	75	77	69	78	77	155	159	152	87	91	89	107	113	120	118	108	112	24	23	23
20.1	69	75	77	69	78	77	155	159	152	87	91	89	107	113	120	118	108	112	24	23	23
20.1	70	78	78	70	78	78	153	155	148	93	96	99	106	113	119	115	106	110	25	25	24
20.1	70	78	78	70	78	78	153	155	148	93	96	99	106	113	119	115	106	110	25	25	24
20.0	72	79	79	72	80	79	151	153	140	98	100	103	105	112	118	114	103	108	26	24	25
20.0	72	79	79	72	80	79	151	153	140	98	100	103	105	112	118	114	103	108	26	24	25
20.0	67	75	75	67	75	76	148	150	139	99	101	104	108	115	121	119	107	112	26	24	25
20.0	62	71	72	62	71	72	144	148	138	100	102	105	113	118	125	125	111	117	26	24	26
20.0	67	75	77	67	75	77	144	144	138	100	102	105	114	119	127	127	113	119	26	25	26
20.1	73	80	84	72	80	83	145	140	139	100	102	106	116	120	129	128	114	120	27	26	27
20.1	73	80	84	72	80	83	150	149	145	101	104	107	117	122	131	130	116	122	27	27	27
20.1	73	81	84	73	81	84	156	158	151	102	106	108	119	124	132	132	118	124	27	27	27
20.1	76	84	87	76	84	87	156	158	152	103	107	109	122	127	135	135	121	127	27	27	27
20.1	79	86	90	79	86	89	157	159	153	105	108	110	126	131	139	139	125	131	27	27	27
20.1	82	89	93	82	89	92	157	160	154	107	109	112	129	134	142	142	128	134	28	28	28
20.1	85	92	96	85	91	95	158	161	155	109	110	113	133	139	148	147	132	139	28	28	28
20.1	85	92	96	85	91	95	155	157	153	107	108	111	133	139	148	148	133	139	28	28	28
20.1	85	91	96	85	91	95	153	155	151	104	105	108	134	140	149	149	133	139	28	28	28
20.2	84	90	95	84	90	95	151	152	149	102	103	105	135	141	150	150	134	140	27	27	27
20.2	84	90	95	84	90	95	148	149	147	100	101	103	136	142	151	151	134	140	27	27	27
20.2	84	90	95	84	90	95	149	150	148	102	103	105	131	137	146	146	129	135	29	29	29
20.2	83	91	94	83	91	93	151	152	150	106	107	109	126	132	141	141	124	130	30	30	30
20.3	83	91	94	83	91	93	152	155	152	110	112	114	115	122	130	127	115	121	32	32	32
20.3	82	93	92	81	91	91	154	157	154	113	117	120	108	115	123	120	108	114	33	33	33
20.2	79	88	88	79	88	88	151	157	151	113	117	119	109	115	123	120	108	114	33	33	33
20.2	76	85	85	76	85	85	148	156	149	112	116	118	110	116	123	121	109	114	33	33	33

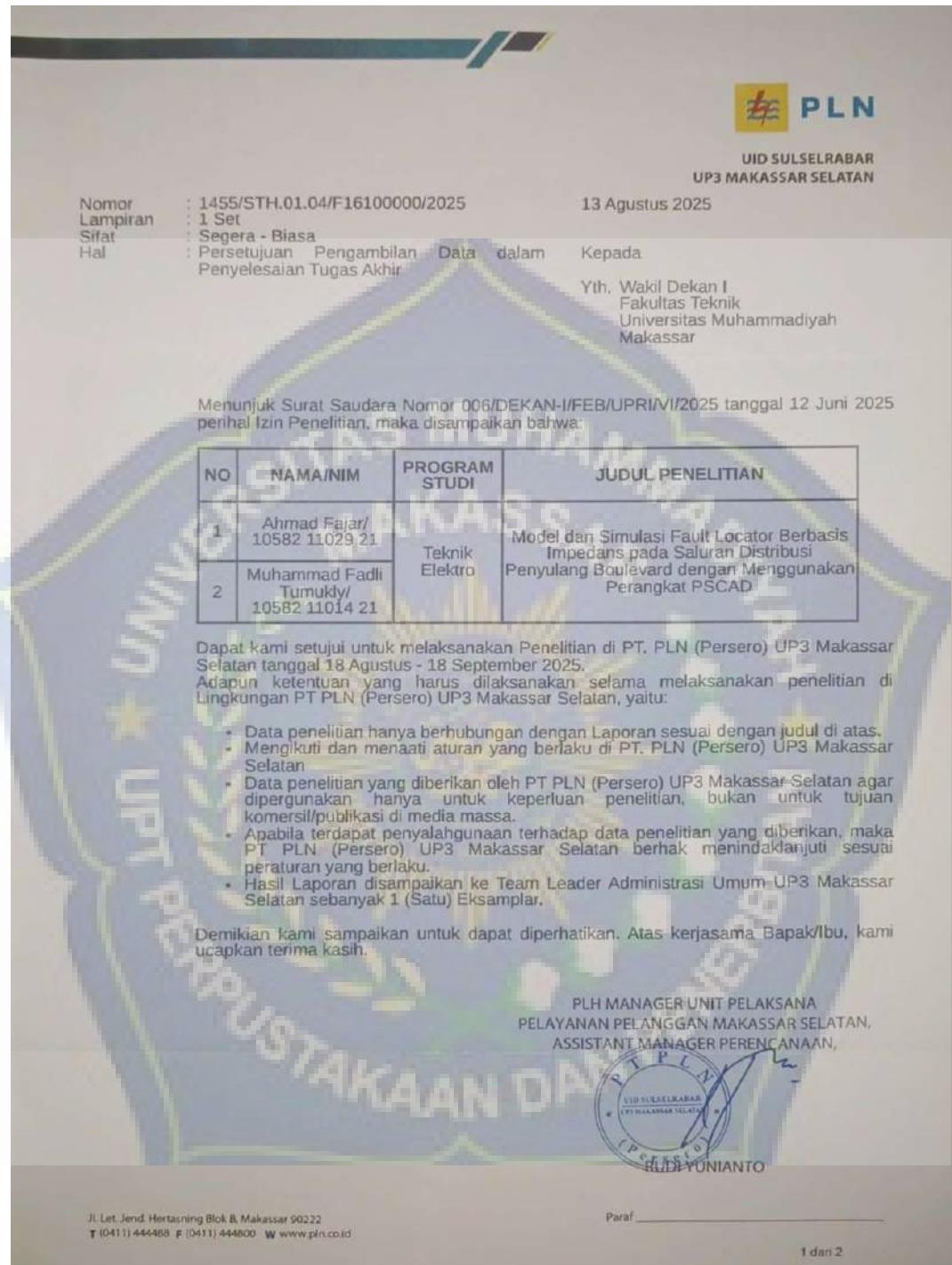
Gambar B.6 Laporan Harian GI BORONGLOE Trafo 2/20 MVA

Sumber: PLN, 2025



Gambar B.7 Surat izin penelitian

Sumber : PLN 2025



Gambar B.8 Surat izin penelitian
Sumber : PLN 2025



MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PIMPINAN PUSAT MUHAMMADIYAH

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

UPT PERPUSTAKAAN DAN PENERBITAN

Alamat kantor : Jl Sultan Alauddin NO 259 Makassar 90221 Tlp (0411) 866972, 881593, Fax (0411) 965598

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِيْمِ

SURAT KETERANGAN BEBAS PLAGIAT

UPT Perpustakaan dan Penerbitan Universitas Muhammadiyah Makassar,
Menerangkan bahwa mahasiswa yang tersebut namanya di bawah ini:

Nama : Muhammad Fadli Tukmuly / Ahmad Fajar

Nim : 105821101421 / 105821102921

Program Studi : Teknik Elektro

Dengan nilai:

No	Bab	Nilai	Ambang Batas
1	Bab 1	2%	10 %
2	Bab 2	15%	25 %
3	Bab 3	3%	10 %
4	Bab 4	2%	10 %
5	Bab 5	4%	5 %

Dinyatakan telah lulus cek plagiat yang diadakan oleh UPT- Perpustakaan dan Penerbitan
Universitas Muhammadiyah Makassar Menggunakan Aplikasi Turnitin.

Demikian surat keterangan ini diberikan kepada yang bersangkutan untuk dipergunakan
seperlunya.

Makassar, 26 Agustus 2025
Mengetahui,

Kepala UPT- Perpustakaan dan Penerbitan,



Jl. Sultan Alauddin no 259 makassar 90222
Telepon (0411)866972,881 593,fax (0411)865 588
Website: www.library.unismuh.ac.id
E-mail : perpustakaan@unismuh.ac.id