

SKRIPSI

Model SCADA Berbasis Perangkat Lunak *Power System Computer*

Aided Design (PSCAD/EMTDC)



ARDI

105 82 1466 14

INCE NUR AGY S. R.

105 82 1499 14

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

2018

**Model SCADA Berbasis Perangkat Lunak *Power System Computer Aided*
Design (PSCAD/EMTDC)**

Skripsi

Diajukan sebagai salah satu syarat
Untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik
Program Studi Teknik Listrik
Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik

Disusun dan diajukan oleh

ARDI

INCE NUR AGY S. R.

105 82 1466 14

105 82 1499 14

PADA

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

MAKASSAR

2018



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
FAKULTAS TEKNIK

GEDUNG MENARA IQRA LT. 3

Jl. Sultan Alauddin No. 259 Telp. (0411) 866 972 Fax (0411) 865 588 Makassar 90221
Website: www.unismuh.ac.id, e_mail: unismuh@gmail.com
Website: <http://teknik.unismuh.makassar.ac.id>

HALAMAN PENGESAHAN

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

Judul Skripsi : **MODEL SCADA BERBASIS PERANGKAT LUNAK PSCAD / EMTDC**

Nama : 1. Ardi
2. Ince Nur Agy Siswardy Reso

Stambuk : 1. 10582 1458 14
2. 10582 1499 14

Makassar, 01 Oktober 2018

Telah Diperiksa dan Disetujui
Oleh Dosen Pembimbing:

Pembimbing I

Dr. Eng. Ir. H. Zulfajri Basri Hasanuddin, M.Eng

Pembimbing II

Ardi Farharuddin, S.T., M.T

Mengetahui,

Ketua Jurusan Elektro





UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
FAKULTAS TEKNIK

GEDUNG MENARA IQRA LT. 3

Jl. Sultan Alauddin No. 259 Telp. (0411) 866 972 Fax (0411) 855 588 Makassar 90221

Website: www.unismuh.ac.id, e_mail: unismuh@gmail.com

Website: <http://teknik.unismuh.makassar.ac.id>

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ
PENGESAHAN

Skripsi atas nama Ardi dengan nomor induk Mahasiswa 10582 1466 14 dan Ince Nur Agy Siswandy Reso dengan nomor induk Mahasiswa 10582 1499 14 dinyatakan diterima dan disahkan oleh Panitia Ujian Tugas Akhir/Skripsi sesuai dengan Surat Keputusan Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar Nomor : DDD7/SK-Y/20201/091004/2018, sebagai salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar pada hari Sabtu tanggal 29 September 2018.

Panitia Ujian :

Makassar,

21 Muhsarram 1440 H

01 Oktober 2018 M

1. Pengawas Umum

a. Rektor Universitas Muhammadiyah Makassar

Dr. H. Abdul Rahman Rahim, SE., MM.

b. Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Dr. Ir. H. Muh. Arsyad Thaha, M.T

2. Penguji

a. Ketua : Dr. Ir. Zahir Zainuddin, M.Sc

b. Sekretaris : Suriyani, S.T.,M.T

3. Anggota

1. Antarissubhi, S.T.,M.T

2. Ir. Abd Hafid, M.T

3. Rossy Timur Wahyuningsih, S.T.,M.T

Mengetahui :

Pembimbing I

Dr. Eng. Ir. H. Zulfajri Basri Hasanuddin, M.Eng

Pembimbing II

Andi Faharuddin, S.T.,M.T

Dekan

Dr. Hamzah Al Imran, S.T., M.T.
 NBM: 855 500

KATA PENGANTAR



Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillah Rabbil Alamin, puji syukur kehadiran Allah SWT, atas berkah, rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul **“Model SCADA Berbasis Perangkat Lunak Power System Computer Aided Design (PSCAD/EMTDC)”**. Tidak lupa pula penulis tuturkan shalawat serta salam kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW., yang telah memberi suri tauladan atas umatnya.

Skripsi ini disusun guna melengkapi salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar. Skripsi ini dibuat berdasarkan pada data yang penulis peroleh selama melakukan penelitian, baik data yang diperoleh dari studi literatur, hasil percobaan maupun hasil bimbingan dari dosen pembimbing.

Dalam penulisan tugas akhir ini, kami banyak mendapat bimbingan dan dorongan serta bantuan dari berbagai pihak, maka pada kesempatan ini kami menyampaikan rasa terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua, saudara serta keluarga yang telah memberikan bantuan baik berupa moril maupun materil.
2. Bapak Ir. Hamzah Al Imran, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.

3. Ibu Adriani, S.T., M.T. selaku ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
4. Bapak Dr. Eng. Ir. H. Zulfajri Basri Hasanuddin, M.Eng. selaku Pembimbing I dan Bapak Andi Faharuddin, S.T., M.T. selaku Pembimbing II yang telah memberikan waktu, arahan serta ilmunya selama membimbing penulis.
5. Para Staff dan Dosen yang telah membantu penulis selama melakukan studi di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
6. Seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan yang telah memberikan bantuan dan dukungan selama ini.

Akhir kata penulis sampaikan pula harapan semoga skripsi ini dapat memberi manfaat yang cukup berarti khususnya bagi penulis dan bagi pembaca pada umumnya. Semoga Allah SWT. senantiasa selalu memberikan rahmat dan hidayah-Nya kepada kita semua. Amiin.

Billahi Fi Sabilil Haq Fastabiqul Khairat

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Makassar, 7 Juli 2018

Penulis

Model SCADA Berbasis Perangkan Lunak *Power System Computer Aided Design* (PSCAD/EMTDC)

Ardi¹ Ince Nur Agy S.R.²

¹Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Makassar

E-Mail: 1ardhywiranata@gmail.com . 2aghillonk@gmail.com

ABSTRAK

Abstrak; Ardi; Ince Nur Agy S.R.; (2018); Untuk menunjang keandalan sistem tenaga listrik dibutuhkan penggunaan SCADA yang memiliki fungsi pengawasan, pengontrolan dan akuisisi data yang dapat dilakukan dari jarak jauh. Penelitian ini bertujuan untuk membuat simulasi model SCADA pada sistem tenaga listrik berbasis perangkat lunak PSCAD/EMTDC yang terdiri dari sensor, RTU, MTU dan HMI. Simulasi tersebut dibagi menjadi 3 keadaan antara lain, simulasi sistem dalam keadaan normal, keadaan abnormal (gangguan fase C ke tanah) dan pengontrolan sistem secara manual, yaitu mengontrol CB sistem tenaga listrik dari tombol kontrol pada HMI untuk membuka pada detik 0,18. Hasil simulasi merepresentasikan performa model SCADA yang telah dibuat, yaitu fungsi akuisisi data dan supervisi pada sistem tenaga listrik. Fungsi akuisisi data menyajikan data hasil simulasi dalam bentuk fasor serta grafik magnitudo arus dan tegangan pada titik sensor sistem tenaga listrik, saat kondisi normal grafik magnitudo arus dan tegangan terlihat konstan dan stabil serta fasor meter yang menampilkan pola 3 fase yang simetris, sementara kondisi abnormal menampilkan perubahan magnitudo arus dan tegangan yang tidak stabil berupa lonjakan dan penurunan magnitudo yang signifikan pada titik yang mengalami gangguan serta perubahan fasor meter yang menampilkan pola 3 fase yang asimetris, hasil simulasi pengontrolan juga menampilkan perubahan fasor serta magnitudo arus dan tegangan pada sumber dan beban B2 yang mengalami penurunan saat pengontrolan dilakukan. Fungsi supervisi yang dilakukan pada simulasi pengontrolan sistem, menampilkan status CB, ketika CB dikontrol membuka pada detik 0,18 maka pada detik yang sama, *interface* sistem menampilkan perubahan warna simbol CB dari merah (posisi tertutup) menjadi warna hijau (posisi terbuka),

Kata Kunci: Model SCADA, pengawasan, pengontrolan, akuisisi data.

**SCADA Model Based on Software Power System Computer Aided Design
(PSCAD/EMTDC)**

Ardi¹ Ince Nur Agy S.R.²

¹Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Muhammadiyah
University of Makassar

E-Mail: 1ardhywiranata@gmail.com . 2aghillonk@gmail.com

ABSTRACT

Abstract; Ardi; Ince Nur Agy S.R.; (2018): To support the reliability of the electric power system is needed use of SCADA that has the function of monitoring, controlling and data acquisition can be done remotely. This study aims to make simulate a SCADA model on an electric power system based on PSCAD / EMTDC software consisting of sensors, RTU, MTU and HMI. The simulation is divided into 3 conditions, among others, system simulation under normal conditions, abnormal conditions (phase C disturbances to the ground) and manual control of the system, which controls the CB power system from the control button on the HMI to open at 0.18 seconds. The simulation results represent the performance of the SCADA model that has been made, namely the function of data acquisition and supervision of the electric power system. The data acquisition function presents simulation results data in the form of phasor and current and voltage magnitude graphs at the electric power system sensor points, during normal conditions the current and voltage magnitude graphs look constant and stable and the phasor meter displays a symmetrical 3 phase pattern, while abnormal conditions display unstable changes in current and voltage magnitude in the form of a significant surge and decrease in magnitude at the point of disturbance and changes in phasor meter displaying an asymmetric 3 phase pattern, the results of the control simulation also display the phasor change and current and voltage magnitude at the source and B2 load experience a decrease when control is performed. The supervision function that is performed on the system control simulation, displays the CB status, when CB is controlled opening at 0.18 seconds then at the same second, the system interface displays the color change of the CB symbol from red (closed position) to green (open position),

Keywords: SCADA model, supervision, control, data acquisition.

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN KETERANGAN PERBAIKAN	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	3
C. Tujuan Penelitian	3
D. Batasan Penelitian	4
E. Manfaat Penelitian	4
F. Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
A. Perangkat Lunak PSCAD/EMTDC	6
a. Studi Tipikal PSCAD	7
b. Mengenal dan Menjalankan PSCAD	8

B. SCADA	17
a. Arsitektur SCADA	20
b. Akuisisi Data	22
c. Simulasi SCADA	24
C. Sistem Tenaga Listrik	30

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian	32
B. Data (Parameter) dan Variabel Penelitian	32
1. Data (Parameter) Penelitian	32
2. Variabel Penelitian	33
C. Alat dan Bahan	33
1. Alat	33
2. Bahan	34
D. Skema Penelitian	34
E. Langkah Penelitian	35
F. Jadwal Penelitian	36

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Akuisisi Data Domain Waktu dan Fazor	42
a. Hasil Simulasi Kondisi Normal	42
b. Hasil Simulasi Kondisi Abnormal	46
c. Hasil Simulasi Pengontrolan Sistem	50
d. Perbandingan Hasil Simulasi	54
B. Fungsi <i>Supervisory</i>	55

BAB V PENUTUP

A. Simpulan	57
B. Kelemahan Penelitian	58
C. Saran	59
DAFTAR PUSTAKA.....	60

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Judul	Halaman
2.1	Lingkungan Utama PSCAD (Muller, 2005)	8
2.2	<i>Title, Menu dan Main Tool Bar</i> PSCAD (Muller, 2005)	9
2.3	Menu File dari Bilah Utama PSCAD (Muller, 2005)	10
2.4	<i>Toolbar Button</i> PSCAD (Muller, 2005)	10
2.5	Jendela Ruang Kerja PSCAD (Muller, 2005)	11
2.6	Jendela Keluaran/ <i>Output</i> PSCAD (Muller, 2005)	11
2.7	Memuat Proyek PSCAD (Muller, 2005)	12
2.8	Membuka Proyek PSCAD (Muller, 2005)	13
2.9	Contoh Sederhana Rangkaian yang Dibuat dalam PSCAD (Muller, 2005)	13
2.10	Plot Hasil Simulasi PSCAD (Muller, 2005)	15
2.11	Menu untuk Mencetak Rangkaian dan Grafik PSCAD (Muller, 2005)	16
2.12	Arsitektur SCADA (Pratama, 2015)	21
2.13	Diagram Blok Sistem Akuisisi Data Digital (Wikipedia, 2018)	23
2.14	<i>Output</i> Daya Generator Terdistribusi (Dulau dkk., 2015)	26
2.15	Total Beban Permintaan dan Generator Output (Dulau dkk., 2015)	27
2.16	Diagram Simulasi SCADA (Dulau dkk., 2015)	29
2.17	Diagram Satu Garis Sistem Tenaga Listrik (Wordpress, 2013)	31
3.1	Diagram Balok Skema Penelitian	34

3.2	Bagan Alir Proses Penelitian	36
4.1	Model SCADA Berbasis PSCAD/EMTDC Simulasi Keadaan Normal	39
4.2	Model SCADA Berbasis PSCAD/EMTDC Simulasi Keadaan Abnormal	40
4.3	Model SCADA Berbasis PSCAD/EMTDC Simulasi Pengontrolan Sistem	41
4.4	Rangkaian Sistem Tenaga Listrik Kondisi Normal	42
4.5	Grafik Magnitudo Arus dari Beban B1, Beban B2 dan Sumber/Pembangkit Saat Keadaan Normal	42
4.6	Grafik Magnitudo Tegangan dari Beban B1, Beban B2 Dan Sumber/Pembangkit Saat Keadaan Normal	43
4.7	Domain Fasor dari Arus dan Tegangan Sumber/Pembangkit Saat Keadaan Normal	44
4.8	Domain Fasor dari Arus dan Tegangan Beban B2 Saat Keadaan Normal	45
4.9	Rangkaian Sistem Tenaga Listrik Ketika Terjadi Gangguan	46
4.10	Grafik Magnitudo Arus dari Beban B1, Beban B2, Gangguan, Beban B2 dan Sumber/Pembangkit saat Keadaan Abnormal	47
4.11	Grafik Magnitudo Tegangan dari Sumber/pembangkit dan Beban B2 saat Keadaan abnormal	48
4.12	Domain Fasor dari Arus dan Tegangan Sumber/Pembangkit Saat Keadaan Abnormal	49

4.13	Pengontrolan CB dalam simulasi Pemutusan Beban Bus dari Sistem	50
4.14	Rangkaian Sistem Tenaga Listrik Simulasi Pengontrolan Sistem	50
4.15	Grafik Magnitudo dari Arus Beban B1, Beban B2 dan Sumber/Pembangkit saat Pengontrolan Sistem	51
4.16	Grafik Magnitudo Tegangan dari Beban B1, Beban B2 dan Sumber/Pembangkit saat Pengontrolan Sistem	52
4.17	Domain Fasor dari Arus dan Tegangan Sumber/Pembangkit saat Pengontrolan Sistem	53
4.18	Tampilan Interface Sistem dengan Status Posisi CB Tertutup	56
4.19	Tampilan Interface Sistem dengan Status Posisi CB Terbuka	56

DAFTAR TABEL

Tabel	Judul	Halaman
2.1	Generator Order dalam Sistem	28
4.1	Perbandingan Nilai Maksimum Magnitudo Arus dan Tegangan Hasil Simulasi Kondisi Normal, Abnormal dan Pengontrolan Sistem	54

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Judul	Halaman
1	Gambar Rancangan <i>Defenition</i> Transmisi	63
2	Gambar Properties Bus/Rel	63
3	Gambar Properties Frekuensi <i>Scanner</i>	64
4	Gambar Properties Tombol <i>Switch</i> Kontrol CB	64
5	Gambar Properties Tombol <i>Slider</i> Kontrol CB	65
6	Gambar Pengaturan Waktu Kerja Pengontrolan CB	65
7	Gambar Pengaturan Waktu Gangguan	66
8	Gambar Pengaturan Vektor <i>Interlace</i> Fasor	66
9	Gambar Pengaturan Tipe Gangguan 3 Fase (Fasa C ke Tanah)	66

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Era Modern seperti sekarang, energi listrik sudah menjadi suatu kebutuhan sehari-hari dalam kehidupan manusia. Energi listrik diperoleh dari proses pembangkitan dari pembangkit seperti generator, panel surya, dan sebagainya, kemudian energi listrik melalui proses penyaluran pada transmisi, gardu induk, gardu distribusi, lalu ke beban atau pelanggan. Penyaluran tenaga listrik adalah hal terpenting demi tersalurkannya tenaga listrik ke pelanggan. Oleh karena itu, penyaluran tenaga listrik membutuhkan perhatian lebih.

Dalam penyaluran tenaga listrik, tingkat keandalan Jaringan listrik terlebih pada Jaringan Tegangan Menengah (JTM) sangat diperlukan karena ini merupakan faktor yang sangat berpengaruh terhadap kesinambungan penyaluran energi listrik sampai ke konsumen. Untuk mendapatkan keandalan yang tinggi, penerapan sistem SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) pada penyaluran tenaga listrik sangatlah diperlukan, dimana kelebihan dari sistem SCADA yang diterapkan pada jaringan distribusi jika dibandingkan dengan sistem yang telah ada sebelumnya (konvensional) sangat berpengaruh signifikan terhadap efisiensi dari sistem pendistribusian tenaga listrik, adapun kelebihan dari sistem SCADA yaitu dapat memantau, mengendalikan, mengkonfigurasi dan mencatat kerja sistem secara real time (setiap saat), serta mampu menangani gangguan yang bersifat permanen ataupun yang bersifat sementara/temporer dalam waktu yang singkat secara remote (jarak jauh) dari pusat kontrol.

Sehingga diharapkan dengan diterapkannya integrasi sistem SCADA dengan jaringan distribusi tenaga listrik dapat memberikan kualitas pelayanan yang lebih baik (efektif dan efisien) kepada konsumen listrik, dan dari pihak penyedia tenaga listrik sendiri bisa meminimalisir terjadinya kerugian finansial akibat keandalan sistem yang rentan gangguan. Disamping itu, pemeliharaan jaringan secara rutin terjadwal dan evaluasi kerja sistem melalui data-data harian yang ada, baik data gangguan maupun data pembacaan metering dari peralatan sistem juga sangat diperlukan karena hal ini dapat membantu meningkatkan keandalan pada jaringan distribusi tenaga listrik.

Penerapan SCADA pada sistem jaringan listrik, tentunya memerlukan perencanaan yang mencakup perancangan dan simulasi, perancangan dan simulasi tersebut dapat dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak simulink atau semacamnya seperti PSCAD/EMTDC.

PSCAD/EMTDC adalah sebuah perangkat lunak antarmuka pengguna grafis yang kuat dan fleksibel untuk mesin solusi EMTDC yang terkenal di dunia. PSCAD memungkinkan pengguna untuk membuat skematis sirkuit, menjalankan simulasi, menganalisis hasil, dan mengelola data dalam lingkungan grafis yang benar-benar terintegrasi. Fungsi perencanaan online, kontrol dan meter juga disertakan, sehingga pengguna dapat mengubah parameter sistem selama menjalankan simulasi, dan melihat hasilnya secara langsung (Muller, 2005).

PSCAD hadir dengan pustaka model yang telah diprogram dan diuji, mulai dari elemen pasif sederhana, fungsi kontrol dan model yang lebih kompleks seperti mesin listrik, perangkat FACTS, saluran transmisi, transformer dan kabel.

EMTDC (Electromagnetic Transient, Including DC) mengusulkan dan memecahkan persamaan diferensial dalam domain waktu. Solusinya dihitung berdasarkan langkah waktu tetap, dan struktur program memungkinkan untuk representasi sistem kontrol (Saini dkk., 2012).

Berdasarkan hal di atas mengenai penggunaan SCADA pada jaringan listrik dengan mesimulasikannya menggunakan perangkat lunak PSCAD/EMTDC, maka kami mengangkat judul “**Model SCADA Berbasis Perangkat Lunak PSCAD/EMTDC**”.

B. Rumusan Masalah

Atas dasar penjelasan di atas maka dapat dirumuskan beberapa permasalahan sebagai berikut :

1. Bagaimana model SCADA pada sistem tenaga listrik dengan menggunakan perangkat lunak PSCAD/EMTDC.
2. Bagaimana performa model SCADA pada sistem tenaga listrik setelah disimulasikan dengan perangkat lunak PSCAD/EMTDC.

C. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian, yaitu:

1. Dapat Membuat Model SCADA pada sistem tenaga listrik berbasis perangkat lunak PSCAD/EMTDC.
2. Mengetahui performa SCADA pada sistem tenaga listrik setelah disimulasikan dengan menggunakan perangkat lunak PSCAD/EMTDC.

D. Batasan Masalah

Untuk memfokuskan penelitian pada bagian yang di anggap penting dalam penelitian ini, maka kami membatasi penelitian sebagai berikut:

1. Dalam penelitian ini kami berfokus pada model dan simulasi akuisisi data SCADA sistem tenaga listrik, pengontrolan sistem secara manual, dan fungsi supervisi SCADA menggunakan perangkat lunak PSCAD/EMTDC.
2. Model komunikasi pada sistem SCADA yang dianalisa, kami abaikan.
3. Perangkat lunak yang digunakan adalah PSCAD *versi 4.2 Student*.

E. Manfaat Penelitian

Manfaat yang akan diperoleh dari penelitian ini yaitu:

1. Mengembangkan pengetahuan penulis terkait model SCADA pada sistem tenaga listrik dengan berbasiskan perangkat lunak PSCAD/EMTDC.
2. Mampu menggunakan perangkat lunak PSCAD/EMTDC untuk simulasi sistem tenaga listrik.
3. Dapat menjadi referensi tambahan dalam penelitian selanjutnya mengenai SCADA.

F. Sistematika Penulisan

Untuk memudahkan penulisan, penulis membuat sistematika penulisan sebagai berikut :

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

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

Bab Ketiga, 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 Keempat, Bab ini menjelaskan tentang hasil dari penelitian, analisa serta pembahasan terkait judul penelitian.

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

Daftar Pustaka, 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

A. Perangkat Lunak PSCAD/EMTDC

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

PSCAD (*Power Systems Computer Aided Design*) adalah antarmuka pengguna grafis yang kuat dan fleksibel untuk solusi mesin EMTDC yang terkenal di dunia. PSCAD memungkinkan pengguna untuk membuat skematis sirkuit, menjalankan simulasi, menganalisis hasil, dan mengelola data dalam lingkungan grafis yang benar-benar terintegrasi. Fungsi perencanaan online, kontrol dan meter juga disertakan, sehingga pengguna dapat mengubah parameter sistem selama menjalankan simulasi, dan melihat hasilnya secara langsung (Muller, 2005).

PSCAD hadir dengan pustaka model yang telah diprogram dan diuji, mulai dari elemen pasif sederhana, fungsi kontrol dan model yang lebih kompleks seperti mesin listrik, perangkat FACTS, saluran transmisi, transformer dan kabel. EMTDC (Electromagnetic Transient, Including DC) mengusulkan dan

memecahkan persamaan diferensial dalam domain waktu. Solusinya dihitung berdasarkan langkah waktu tetap, dan struktur program memungkinkan untuk representasi sistem kontrol (Saini dkk., 2012).

a. Studi Tipikal PSCAD

Dijelaskan dalam Muller (2005), pengguna PSCAD mencakup insinyur dan ilmuwan dari utilitas, produsen, konsultan, lembaga penelitian dan akademis. Ini digunakan dalam perencanaan, operasi, desain, komisioning, persiapan spesifikasi tender, pengajaran dan penelitian. Berikut ini adalah contoh dari jenis penelitian yang secara rutin dilakukan menggunakan PSCAD:

- Studi kontijensi jaringan AC yang terdiri dari mesin berputar, exciters, governor, turbin, transformer, jalur transmisi, kabel, dan muatan.
- Relay koordinasi.
- Efek saturasi trafo.
- Koordinasi isolasi transformator, pemutus dan penangkap.
- Pengujian impuls transformer.
- Studi resonansi sub-sinkron (SSR) jaringan dengan mesin, saluran transmisi, dan sistem HVDC.
- Evaluasi desain filter dan analisis harmonik.
- Kontrol desain sistem dan koordinasi FACTS dan HVDC; termasuk STATCOM, VSC, dan *cycloconverters*.
- Desain parameter pengontrol yang optimal.
- Investigasi sirkuit baru dan konsep kontrol.

- Sambaran petir, kesalahan atau operasi pemutus arus.
- Pembelajaran *Steep front and fast front*.
- Investigasi efek pulsing mesin diesel dan turbin angin pada jaringan listrik.

PSCAD/EMTDC digunakan oleh Washington Group International untuk melakukan studi transfer bus cepat di IPEC Energy Center Indian Point 2 (IP2) Entergy Corp. Model simulasi terdiri dari sekitar 50 motor induksi baik pada level tegangan 6.9kV dan 480V dengan beban torsi dinamis, sembilan (9) transformer, tap changer, skema transfer bus, kesalahan bus, urutan beban, lebih dari 70 pemutus, kabel, dan jalur transmisi.(Nayak, Corp., 2005).

b. Mengenal dan Menjalankan PSCAD

1. Memulai PSCAD

Untuk memulai PSCAD, pergi ke Start - Program - PSCAD di Menu Mulai Windows, dan pilih PSCAD. Ini akan membuka lingkungan utama PSCAD, seperti yang ditunjukkan di bawah ini.



Gambar 2.1. Lingkungan Utama PSCAD (Muller, 2005)

Anda harus melihat daftar item di bagian atas lingkungan (File, Edit, dll.). Barang-barang ini adalah bagian dari Menu Utama. Tombol-tombol langsung di bawah menu utama adalah bagian dari *Toolbar* Utama.

2. *Title, Menu dan Main Tool Bar*.

Gambar di bawah ini menunjukkan Judul PSCAD V4 dan Bilah Menu



Gambar 2.2. *Title, Menu dan Main Tool Bar* PSCAD (Muller, 2005)

- *Title Bar dan Active Project*

Bagian paling atas dari jendela yang menampilkan PSCAD [*Edition*] disebut Bilah Judul. Bar Judul juga akan mencakup halaman Proyek yang saat ini sedang dilihat di Editor Desain, setelah Proyek dibuka.

- *Menu Bar dan Menu Items*

Area di bawah *Title Bar*, yang terdiri dari item menu dan tombol menu, disebut Menu Utama. Semua item menu utama adalah menu *drop-down*, jadi ketika Anda klik kiri dengan penunjuk mouse Anda di atas salah satu menu ini, Anda akan melihat daftar yang muncul di bawahnya.

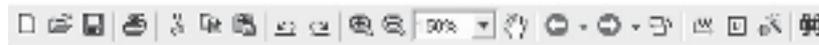
Untuk memilih item dari daftar ini, pertama-tama pindahkan penunjuk ke item itu (item menjadi terangkat) lalu klik tombol kiri mouse. Menu berikut menunjukkan cara memuat proyek menggunakan menu File dari bilah Menu Utama.



Gambar 2.3. Menu File dari Bilah Menu Utama PSCAD (Muller, 2005)

- *Toolbar Buttons*

Deretan tombol langsung di bawah bilah Menu Utama terdiri dari bilah Alat Utama.



Gambar 2.4. *Toolbar Buttons* PSCAD (Muller, 2005)

Sementara item menu adalah proses dua tahap, *toolbar* menawarkan alternatif satu-klik. Tombol Bilah Alat Utama memulai tindakan segera setelah Anda mengkliknya dan karena itu akan lebih mudah digunakan. Untuk alasan ini, operasi yang paling sering digunakan memiliki tombol *toolbar* yang setara.

3. *Workspace* dan *Output Windows*

Jika Anda melihat sudut kiri atas Lingkungan PSCAD, Anda akan melihat jendela yang lebih kecil yang disebut sebagai jendela Ruang Kerja. Jika tidak terlihat, buka bilah menu utama dan klik *View – Workspace*.



Gambar 2.5 Jendela Ruang Kerja PSCAD (Muller, 2005)

Ruang Kerja memberi Anda pandangan menyeluruh tentang pustaka dan/atau proyek kasus apa pun yang dimuat. Anda dapat menggunakannya untuk memilih komponen dan melakukan banyak kegiatan lainnya.

Tepat di bawah jendela *Workspace* atau Ruang Kerja, Anda akan melihat jendela lain yang disebut sebagai jendela *Output*. Jika jendela *Output* tidak terlihat, klik pada *View – Output*.



Gambar 2.6. Jendela Keluaran/*Output* PSCAD (Muller, 2005)

Semua status, peringatan, dan pesan kesalahan yang terlibat dalam prosedur *Build* dan *Runtime* akan dicatat dalam jendela ini, jadi merupakan ide yang baik untuk menjaga jendela ini tetap terbuka dan terlihat setiap saat.

Kedua jendela *Workspace* dan *Output* didasarkan pada struktur jenis pohon, di mana cabang dapat diperluas dan dicituk sesuka hati.

4. *Loading a Case Project*

Kami akan mulai dengan contoh kasus yang paling sederhana untuk tutorial ini. Latihan ini akan membantu kami memastikan bahwa PSCAD dan kompiler Fortran yang digunakan dipasang dengan benar. Untuk memuat Proyek

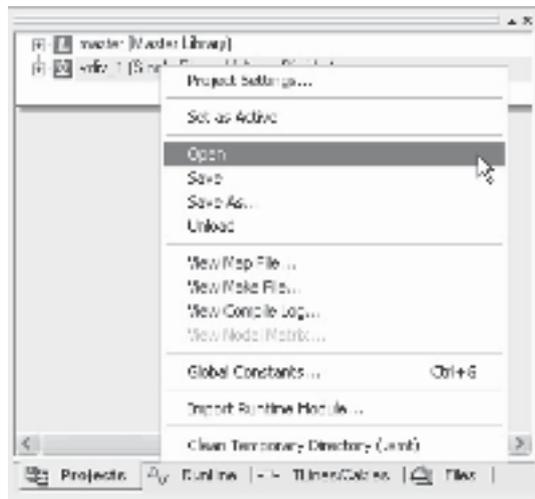
Kasus yang ada, klik pada File dari bilah Menu Utama dan pilih Muat Proyek. Anda juga dapat menekan Ctrl + O atau klik tombol Muat di Bilah Alat Utama atau Main *Tool Bar*. Anda akan melihat dialog *Load Project* muncul di layar Anda. Secara *default*, jenis file yang dipilih adalah ‘File PSCAD (*.psc, .psl)’ di bagian bawah dialog. Dengan jenis file yang dipilih, Anda hanya akan melihat file Proyek PSCAD yang memiliki ekstensi dan direktori ‘* .psc’ atau ‘* .psl’. Ekstensi file terdiri untuk pscad *case* atau pustaka PSCAD.



Gambar 2.7. Memuat Proyek PSCAD (Muller, 2005)

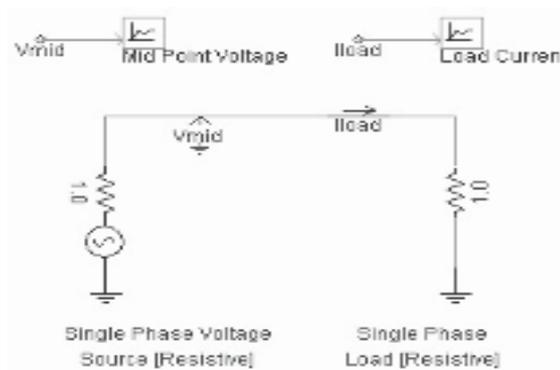
Arahkan ke direktori ‘tutorial’ di dalam direktori instalasi PSCAD Anda (yaitu C:\Program Files\PSCAD4xx\examples\tutorial). Klik pada file ‘vdiv_1.psc’ dan kemudian klik tombol Open untuk memuat Proyek Kasus ini ke PSCAD.

Jendela Ruang Kerja sekarang akan mendaftarkan proyek kedua yang berjudul ‘vdiv_1 (Pembagi Tegangan Fase Tunggal)’ langsung di bawah Daftar Perpustakaan Utama. Klik dua kali pada judul Proyek (atau klik kanan dan pilih Buka) di jendela *Workspace* untuk membuka dan melihat halaman utama Proyek di jendela *Sirkuit Editor Desain*.



Gambar 2.8. Membuka Proyek PSCAD (Muller, 2005)

Anda harus melihat sirkuit pembagi tegangan yang dirakit seperti ditunjukkan di bawah ini, yang terletak di sudut kiri atas halaman utama proyek yang baru saja Anda buka. Petak terletak langsung di sebelah kanan sirkuit.



Gambar 2.9. Contoh Sederhana Rangkaian yang Dibuat dalam PSCAD (Muller, 2005)

Sirkuit ini terdiri dari sumber tegangan resistif fase tunggal yang terhubung ke beban resistif. Karena besarnya resistansi sumber (1Ω) dan resistansi beban sama.

Tegangan di terminal beban setengah dari tegangan di belakang resistansi sumber. Tegangan ini diukur menggunakan voltmeter yang disebut 'Vmid' yang terhubung ke simpul antara sumber dan beban. Arus di sirkuit harus:

$$I_{load} = \frac{E}{R_s + R_L}$$

Plot dan grafik akan berisi nilai-nilai tegangan pada titik tengah sirkuit, dan arus yang mengalir melalui rangkaian saat proyek dijalankan.

5. *Running a Simulation*

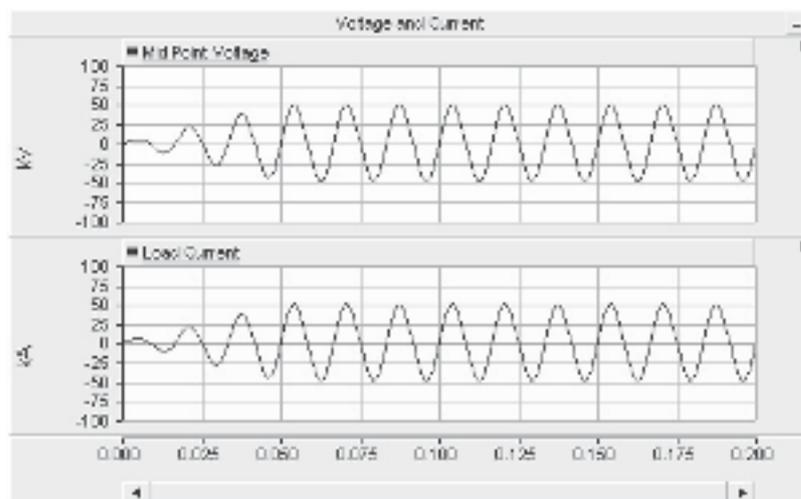
Sebelum kita menjalankan simulasi, kita akan melakukan perhitungan sederhana untuk mencari tahu apa beban tegangan arus dan titik tengah yang harus kita harapkan. Klik dua kali pada komponen sumber untuk membuka dan melihat propertinya - perhatikan bahwa besarnya tegangan sumber adalah 70,71 kV RMS (atau 100 kV peak). Tutup dialog ini dengan mengklik tombol Batal di bagian bawah dialog dan klik kiri di mana saja dalam ruang kosong pada halaman, untuk membatalkan pilihan komponen sumber yang dipilih (ini akan menghentikan komponen dari berkedip). Untuk tegangan sumber 100 kV, kita tahu bahwa tegangan titik tengah kemudian harus menjadi 50 kV puncak, dan arus beban harus 50 kA puncak. Sekarang mari kita jalankan simulasi dan benar-benar memverifikasi bentuk gelombang arus dan tegangan.

Untuk menjalankan kasus, cukup klik tombol *Run* di Main Tool Bar. Ketika tombol ini ditekan, PSCAD akan melalui beberapa tahap pemrosesan sirkuit sebelum memulai simulasi EMTDC. Anda akan melihat pesan di bilah

status di bagian bawah jendela PSCAD, terkait dengan berbagai tahapan proses. Tergantung pada seberapa cepat komputer Anda, Anda mungkin tidak dapat membaca ini.

Amati grafik saat simulasi berlangsung. Jika Anda melihat di dekat sudut kanan bawah Lingkungan PSCAD, Anda akan melihat pesan 'xx% selesai' di mana 'xx' mewakili persentase total panjang simulasi. Di sebelah kanannya Anda juga akan melihat waktu simulasi saat ini, yang berubah dengan simulasi. Sekali lagi, tergantung pada kecepatan komputer Anda, simulasi dapat selesai hampir seketika.

Kasus tutorial ini diatur untuk dijalankan selama 0,2 detik. Di akhir proses, Anda akan melihat pesan 'EMTDC run completed' di bilah status. Plot Anda harus terlihat mirip dengan yang berikut - tergantung pada pengaturan plot Anda:



Gambar 2.10. Plot Hasil Simulasi PSCAD (Muller, 2005)

Pastikan bahwa simulasi anda menghasilkan hasil yang sama seperti yang ditunjukkan di sini. Ini adalah satu langkah untuk memastikan bahwa PSCAD Anda diinstal dengan benar.

Klik lagi pada tombol *Run* untuk melihat simulasi sekali lagi. PSCAD akan melalui ketiga tahap (yaitu, mengkompilasi, membangun dan menjalankan), namun, Anda mungkin tidak dapat mendeteksi dua tahap pertama, saat mereka lewat dengan sangat cepat. Ini karena PSCAD melakukan mereka hanya jika perubahan telah dilakukan ke sirkuit Manitoba HVDC Research.

6. Printing the Circuit

Untuk mencetak rangkaian bersama dengan grafik yang baru saja Anda simulasikan, klik tombol kanan mouse di latar belakang halaman rangkaian utama dan pilih item *Print Page* atau item *Print Preview Page*.



Gambar 2.11. Menu untuk Mencetak Rangkaian dan Grafik PSCAD (Muller, 2005)

Ini harus memunculkan dialog *Print* atau *Print Preview Viewer*. Isi dialog *Print* tergantung pada apa yang Anda cetak - klik tombol OK untuk melanjutkan.

Print Preview Page memungkinkan Anda untuk melihat halaman Anda sebelum mencetak.

B. SCADA

Menurut Pratama (2015) dalam SCADA (2007). SCADA adalah singkatan dari *Supervisory Control and Data Acquisition*. Dari makna harfiah kata-kata tersebut dapat dijelaskan, *Supervisory* sebagai pengawasan dalam menggunakan sistem SCADA untuk melakukan pengamatan terhadap sistem kelistrikan. *Control* sebagai sarana untuk mengendalikan atau mengubah keadaan suatu peralatan dari jarak jauh. *Data* sebagai semua informasi dari status peralatan yang dipantau dengan sistem SCADA. *Acquisition* sebagai pengambil keputusan data dari sistem yang dipantau yakni dari gardu induk dan pembangkit terpantau untuk dikirim ke master station.

SCADA adalah sistem yang berfungsi untuk memberikan instruksi kendali dan mengawasi kerja suatu proses tertentu. SCADA dapat diartikan sistem berbasis komputer yang dapat melakukan pengawasan, pengendalian, dan akuisisi data terhadap suatu proses tertentu secara real time (Setiawan, 2016). SCADA atau *Supervisory Control and Data Acquisition* adalah suatu sistem yang mengumpulkan data dan menganalisisnya secara real time. SCADA tidak sepenuhnya sebagai pengontrol tetapi fokusnya pada tingkat pengawasan dan pemantauan. Sistem SCADA merupakan kombinasi antara telemetri dan akuisisi data. Telemetri merupakan suatu teknik yang digunakan dalam pengiriman dan penerimaan informasi atau data melalui suatu medium. Sedangkan akuisisi

data merupakan proses pengumpulan data. Informasi ini dipancarkan atau dikirim ke daerah tertentu melalui berbagai media komunikasi. Data yang dikirimkan tersebut dapat berupa data analog dan data digital yang berasal dari berbagai sensor (Kurniawan dkk., 2012).

Sebuah sistem SCADA memberikan keleluasaan mengatur maupun mengkonfigurasi sistem. Kita bisa menempatkan sensor dan kendali di setiap titik kritis di dalam proses. Seiring dengan teknologi sistem SCADA yang semakin baik, kita bisa menempatkan lebih banyak sensor di banyak tempat sehingga semakin banyak hal yang bisa dipantau, semakin detail operasi yang bisa dilihat, dan semuanya bekerja secara real-time, yaitu kondisi pengoperasian dari suatu sistem perangkat keras dan perangkat lunak yang dibatasi oleh rentang waktu dan memiliki tenggang waktu yang jelas, relatif terhadap waktu suatu peristiwa atau operasi terjadi. Tidak peduli serumit apapun prosesnya, kita bisa melihat operasi proses dalam skala besar maupun kecil, dan setidaknya bisa melakukan penelusuran jika terjadi kesalahan dan sekaligus meningkatkan efisiensi (Bayusari dkk., 2013).

Sistem SCADA saat ini tidak hanya untuk proses kontrol tetapi juga digunakan untuk mengukur, meramal, menganalisis dan merencanakan. Sekarang sistem SCADA harus memenuhi seluruh tingkatan baru kontrol otomatisasi, berinteraksi dengan peralatan lama yang belum cukup fleksibel untuk beradaptasi dengan peralatan yang baru (Bayusari dkk., 2013). Sistem SCADA yang paling sederhana yang mungkin bisa dijumpai di dunia adalah sebuah rangkaian tunggal yang memberitahu anda sebuah kejadian (event).

Sebuah sistem SCADA skala-penuh mampu memantau dan (sekaligus) mengontrol proses yang jauh lebih besar dan kompleks. terintegrasinya sistem SCADA dengan memanfaatkan seluruh perangkat yang ada sehingga memberikan kemudahan pengamatan, pencatatan dan pelaporan pada saat implementasi (Chamdareno dkk., 2017).

Menurut Gozali (2011) Sistem SCADA bertujuan untuk membantu perusahaan listrik mendapatkan sistem pengoperasian optimum sesuai dengan berbagai kenyataan kekurangan-kekurangan maupun segala kelebihan yang terdapat pada sistem tenaga listrik tersebut. Fungsi-fungsi utama SCADA adalah sebagai berikut:

- Akuisisi data yang mana merupakan proses penerimaan data dari peralatan di lapangan.
- Konversi data, yang mana merupakan proses konversi data-data dari lapangan ke dalam format standar.
- Pemrosesan data, yang mana menganalisa data yang diterima untuk dilaporkan kepada operator.
- Supervisory control, yang memungkinkan operator untuk melakukan pengendalian pada peralatan-peralatan di lapangan.
- Tagging, yang memungkinkan operator untuk meletakkan informasi tertentu pada peralatan tertentu. Ini adalah sebagai alat bertukar informasi sesama operator atau pemakai sistem SCADA.
- Pemrosesan alarm dan event, yang menginformasikan kepada operator apabila ada perubahan di dalam sistem.

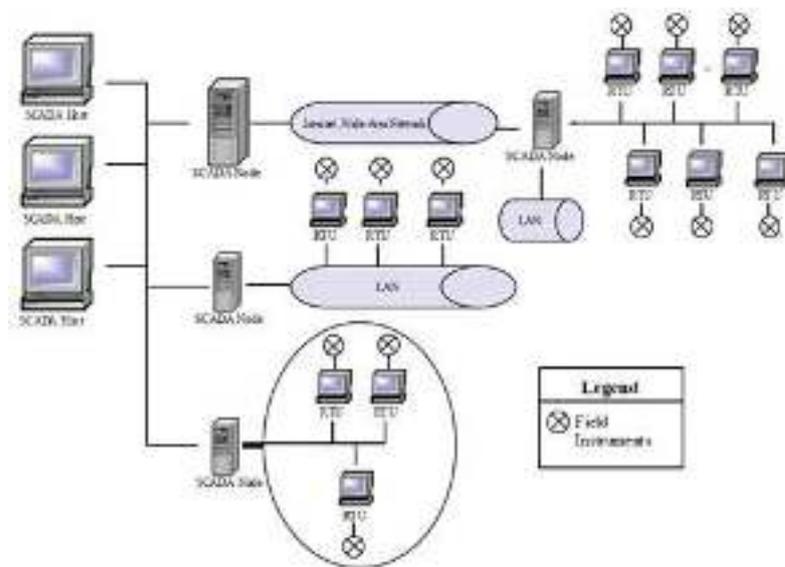
- Post mortem review, yang membantu menentukan akibat pada sistem jika ada gangguan besar pada jaringan.

a. Arsitektur Sistem SCADA

SCADA memiliki Arsitektur Dasar yang terdiri dari operator, Human Machine Interface (HMI), Master Terminal Unit, Communication System, Remote Terminal Unit (RTU) dan Field Device. SCADA digunakan untuk dapat mengontrol plant di lapangan, sebagai warning apabila terjadi kesalahan sistem pada plant dan juga sebagai alat untuk mempermudah dalam pengumpulan data secara real time (Binazar dkk., 2015). Menurut Bayusari dkk. (2013) Secara umum, sistem SCADA mempunyai lima komponen, yaitu:

1. Operator, Operator Manusia yang memonitor sistem SCADA dan melakukan fungsi kontrol pengawasan untuk operasi pabrik jarak jauh.
2. Human Machine Interface (HMI), Menyajikan data ke operator dan memberikan input kontrol dalam berbagai format, termasuk gambar, skema, tampilan menu pull-down, dan sebagainya. yang berfungsi sebagai Man Machine Interface (MMI). Menurut Susiono dkk. (2006) Istilah MMI muncul untuk menjembatani jurang antara manusia (operator) dengan mesin (Plant), sehingga operator dapat mengawasi dan mengendalikan Plant dengan mudah.
3. Master Station (Master Terminal Unit - MTU), Merupakan komputer yang digunakan sebagai pengolah pusat dari sistem SCADA. Unit master ini menyajikan data ke operator melalui HMI, mengumpulkan data dari lokasi jauh, dan mengirimkan sinyal kendali untuk situs yang jauh.

4. Jaringan komunikasi, Sistem komunikasi diperlukan untuk menghubungkan antara field device, PLC, dan MTU. Komunikasi bisa melalui internet, jaringan nirkabel atau kabel, atau beralih jaringan telepon umum.
5. Remote Terminal Unit (RTU), Merupakan unit-unit “komputer” kecil, sebuah unit yang dilengkapi dengan sistem mandiri seperti sebuah komputer, yang ditempatkan pada lokasi dan tempat- tempat tertentu di lapangan. RTU bertindak sebagai pengumpul data lokal yang mendapatkan datanya dari sensor-sensor dan mengirimkan perintah langsung ke peralatan di lapangan.



Gambar 2.12. Arsitektur SCADA (Pratama, 2015)

Komponen utama SCADA dibagi ke dalam tiga bagian yakni, Control Loop, terdiri dari sensor, PLC, dan aktuator seperti katup, breaker dan switch. Interface Device (HMI), sistem antarmuka dimana operator menggunakan interface device untuk mengatur set point, algoritma kendali dan menentukan parameter- parameter pada kontroller. interface device juga menampilkan

informasi berupa data status dan historisnya. Remote Diagnostic and Maintenance Utilities, digunakan untuk mencegah, menganalisa, dan recovery dari kesalahan yang terjadi selama proses berlangsung (Prayuda dkk., 2015).

b. Akuisisi Data

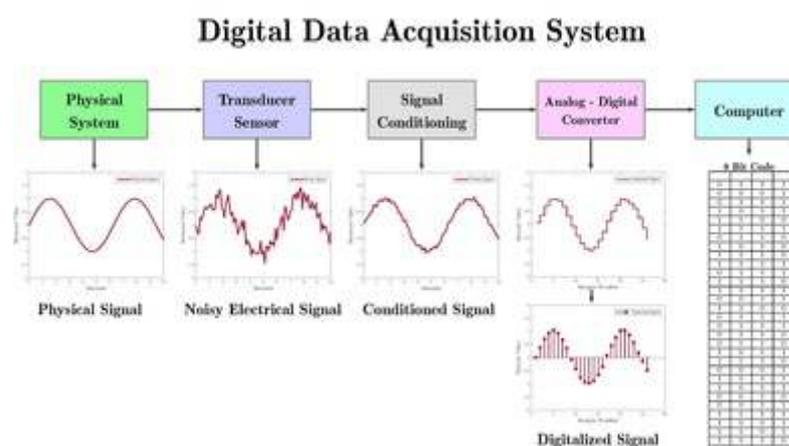
Menurut Tangdililing dan Bara'langi (2015) Pada sistem berbasis PC akuisisi data dilakukan pada pengukuran yang memenuhi persyaratan berikut:

- a) Sensor adalah perangkat berfungsi untuk mengkonversi parameter fisik menjadi sinyal listrik.
- b) Konektivitas sinyal menggambarkan komponen perangkat pengukuran berupa sensor yang terhubung ke sistem logging.
- c) Pengkondisian sinyal adalah merupakan proses berkaitan dengan operasi-operasi yang dikenakan pada sinyal guna mengkonversi sinyal tersebut ke bentuk yang sesuai dengan yang diperlukan untuk interface dengan elemen-elemen lain dalam sistem instrumentasi. Ada beberapa jenis pengkondisian sinyal diantaranya:
 - 1) Amplifikasi/penguatan dan Attenuation/pelemahan.
 - 2) Sampling.
 - 3) Multiplexing.
 - 4) Filtering/penapisan.
 - 5) Linearisasi.

- 6) Konversi analog ke digital adalah proses mengkonversi sensor parameter fisik menjadi sinyal listrik, konverter digunakan untuk mengubah sinyal analog ini menjadi nilai digital yang dapat diproses oleh komputer.

Menurut Wikipedia (2018), Akuisisi data adalah proses sinyal sampling yang mengukur kondisi fisik dunia nyata dan mengubah sampel yang dihasilkan menjadi nilai numerik digital yang dapat dimanipulasi oleh komputer. Sistem akuisisi data, disingkat oleh akronim DAS atau DAQ, biasanya mengubah bentuk gelombang analog menjadi nilai digital untuk diproses. Komponen sistem akuisisi data meliputi:

- Sensor, untuk mengubah parameter fisik menjadi sinyal listrik.
- Sirkuit pengkondisi sinyal, untuk mengubah sinyal sensor menjadi bentuk yang dapat dikonversi ke nilai digital.
- Konverter analog-ke-digital, untuk mengkonversi sinyal sensor terkondisi ke nilai digital.



Gambar 2.13. Diagram Blok Sistem Akuisisi Data Digital (Wikipedia, 2018)

Aplikasi akuisisi data biasanya dikendalikan oleh program perangkat lunak yang dikembangkan menggunakan berbagai bahasa pemrograman tujuan umum seperti **Assembly, BASIC, C, C++, C#, Fortran, Java, LabVIEW, Lisp, Pascal**, dll. Sistem akuisisi data yang berdiri sendiri sering disebut *data logger* (Wikipedia, 2018).

Ada juga paket perangkat lunak open-source yang menyediakan semua alat yang diperlukan untuk memperoleh data dari peralatan perangkat keras yang berbeda. Alat-alat ini berasal dari komunitas ilmiah di mana eksperimen yang kompleks membutuhkan perangkat lunak yang cepat, fleksibel, dan mudah beradaptasi. Paket-paket itu biasanya sesuai pesanan tetapi paket DAQ yang lebih umum seperti Sistem Akuisisi Data Terpadu Maksimum dapat dengan mudah disesuaikan dan digunakan dalam beberapa eksperimen fisika di seluruh dunia (Wikipedia, 2018).

c. Simulasi SCADA

Dalam pembahasan ini kami memberikan contoh simulasi sistem SCADA pada sistem pembangkitan terdistribusi dengan teknologi penyimpanan. Menurut Dulau dkk. (2015), Simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak CitectSCADA, yang dapat digunakan untuk membuat aplikasi atau proyek, mengkonfigurasi grafik dinamis, membuat alarm dan tren, dan kemudian menjalankan proyek-proyek seperti sistem nyata. Simulasi akan mempertimbangkan permintaan daya, dengan pernyataan bahwa hanya daya aktif yang dipertimbangkan dalam simulasi ini. Juga kerugian daya tidak

diperhitungkan. Juga, mengingat keuntungan dan kerugian yang disajikan dalam bagian 2, unit penyimpanan hidrogen 10 MW dipilih dan dimasukkan dalam sistem simulasi.

Antarmuka simulasi SCADA berisi komponen-komponen berikut:

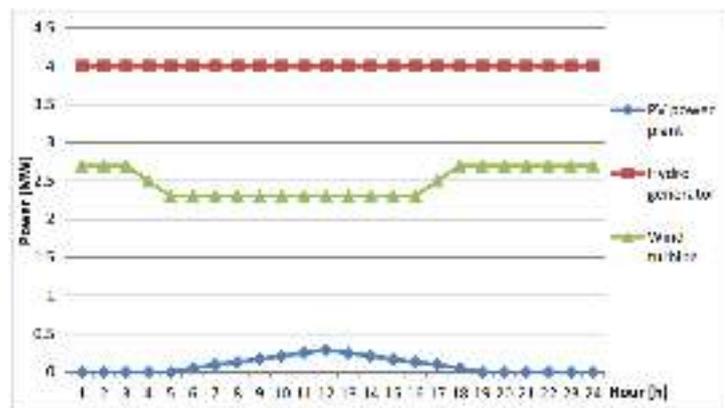
- 9 generator, masing-masing dengan slide bar dan objek numerik (#####) yang mengilustrasikan output daya.
- unit penyimpanan, dengan slide bar dan objek numerik (#####) yang mengilustrasikan daya yang disimpan atau output.
- 2 meter, yang menggambarkan total daya yang dihasilkan dan total muatan.
- 2 bagan, yang menggambarkan total daya yang dihasilkan dan total beban.
- beban (konsumen AC), dengan slide bar dan objek numerik yang menggambarkan konsumsi daya.
- objek numerik yang menggambarkan jam dari simulasi.
- 3 tombol dan 3 simbol (lampu) untuk masing-masing D, yang menggambarkan jika generator didistribusikan on-grid atau off-grid.
- Objek Cicode (f(x)) yang mengontrol sistem.

Menurut Dulau dkk. (2015), Yang paling penting adalah Objek Cicode (f(x)) yang secara otomatis mengontrol sistem. Cicode adalah bahasa pemrograman, mirip dengan YCZ atau / visual Basic, yang mengontrol semua komponen sistem dari halaman grafik, seperti tag (tombol, slide bar, objek numerik, dll.), Variabel lokal atau grafik. Dalam Cicode Object, fungsi program ditulis:

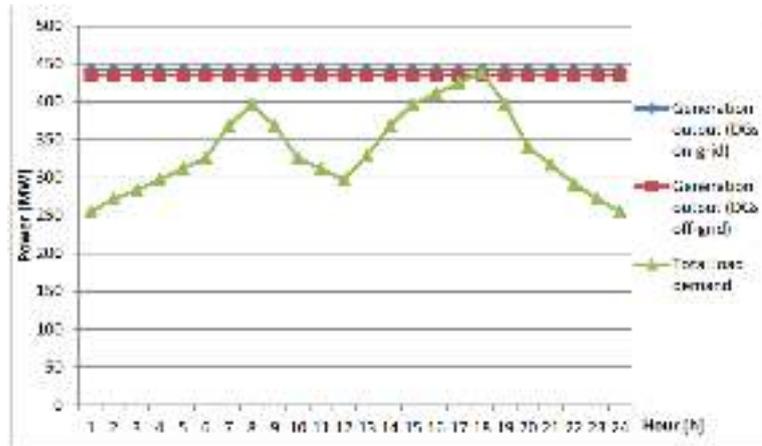
- jika D adalah off-grid maka urutan pengiriman disajikan dalam tabel 6 (sisi kiri).
- jika D adalah on-grid maka urutan pengiriman disajikan dalam tabel 6 (sisi kanan).
- jika pembangkitan lebih tinggi dari konsumsi, kelebihan daya disimpan.
- jika pembangkitan lebih rendah dari konsumsi, daya yang diperlukan diambil dari unit penyimpanan.

Satu-satunya kontrol pengguna atas sistem adalah untuk menghubungkan atau memutus sambungan D. Ini dilakukan dengan menekan tombol D yang sesuai dari antarmuka pengguna (Dulau dkk., 2015).

Hasil simulasinya di tampilkan pada gambar 2.14 dan 2,15, yaitu Output daya generator terdistribusi dan Total beban permintaan dan generator output



Gambar 2.14. *Output* Daya Generator Terdistribusi (Dulau dkk., 2015)



Gambar 2.15. Total Beban Permintaan dan Generator *Output* (Dulau dkk., 2015)

Unit pembangkit sistem ini mencakup permintaan dalam rangka menghasilkan koefisien biaya (b), dengan pengamatan bahwa 1 digunakan sebagai generator cadangan, jika generator lain tidak dapat menutupi beban. Dalam kasus pertama (Ds off-grid), pesanan disajikan pada tabel 2.1 (sisi kiri). Dalam kasus kedua (Ds on grid), pesanan disajikan pada tabel 2.1 (sisi kanan). Dalam kasus kedua, D memiliki akses prioritas ke sistem karena daya yang disediakan oleh mereka bervariasi dalam waktu karena ketersediaan sumber utama mereka.

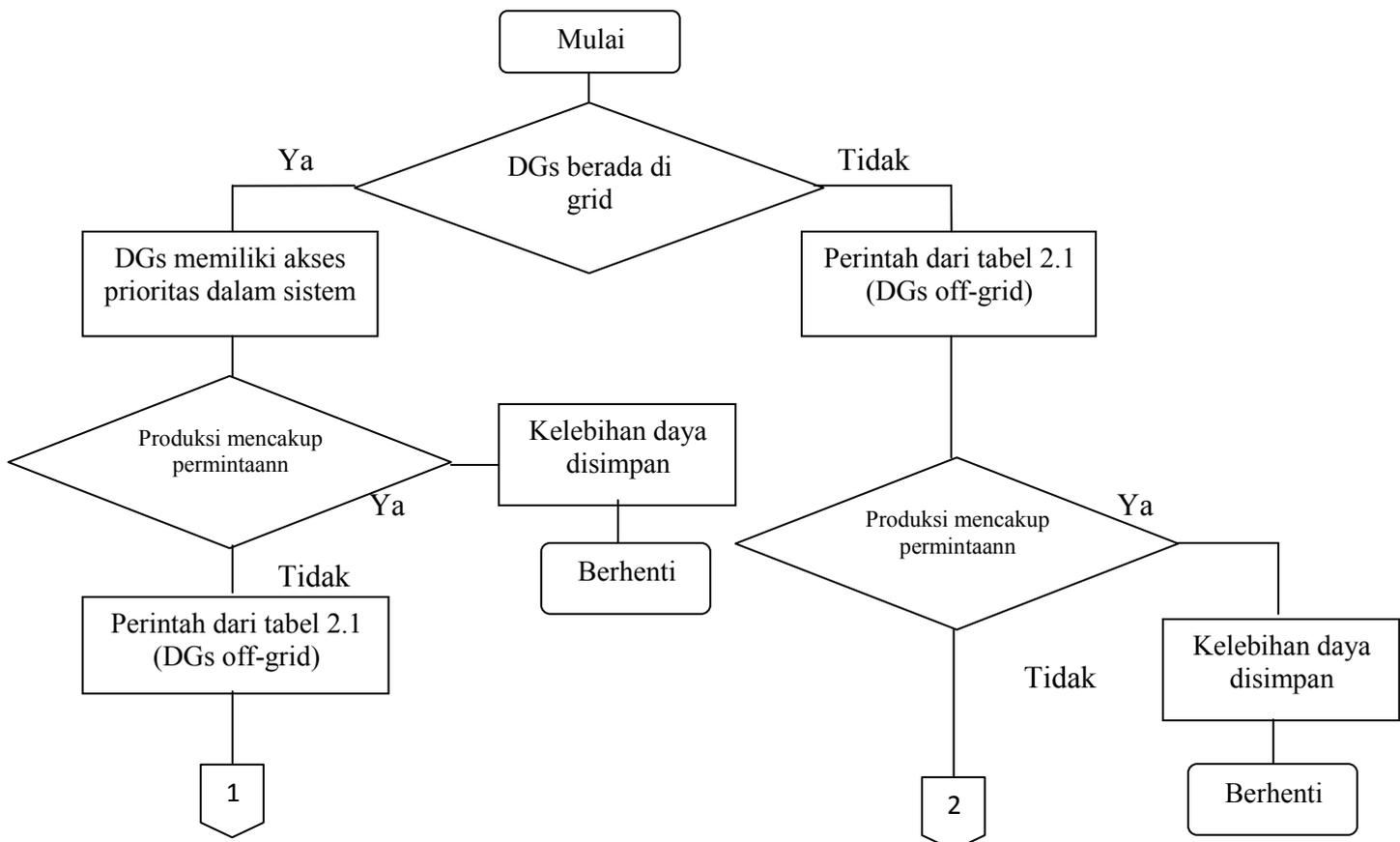
Simulasi mengambil pertimbangan jika daya yang dihasilkan menutupi beban. Jika ya, maka kelebihan daya diekspor. Jika beban lebih tinggi dari daya yang dihasilkan, maka daya yang diperlukan yang tersisa dipasok generator pertama (generator 1) atau unit penyimpanan 10 MW hidrogen (Dulau dkk., 2015).

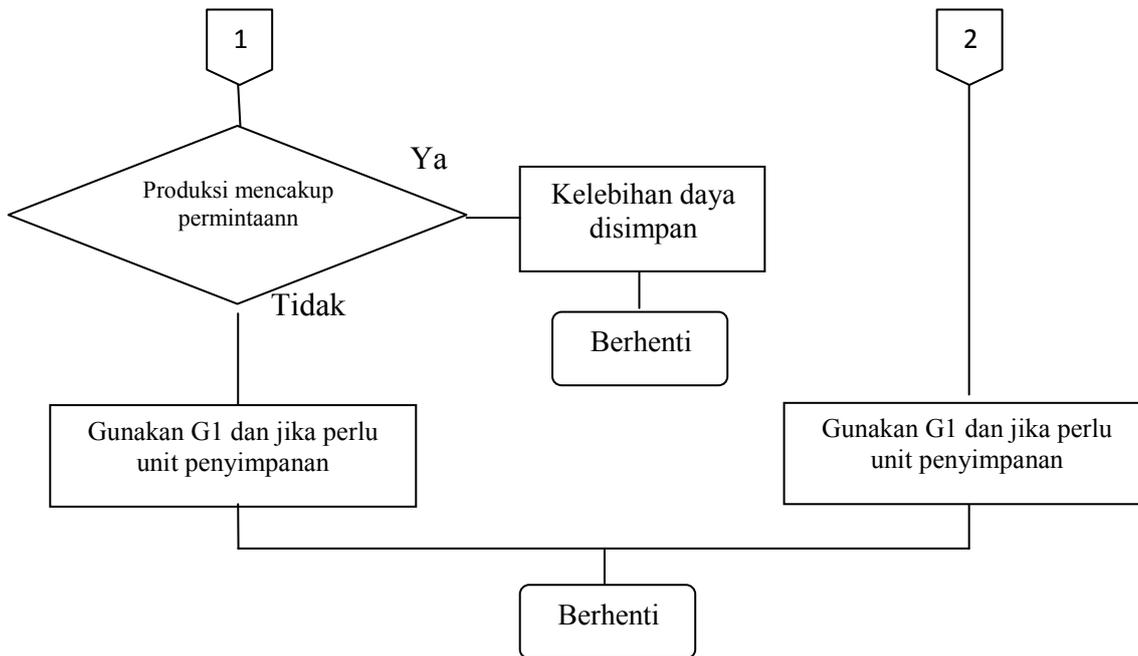
Tabel 2.1 Generator Order dalam Sistem

Generators order (DGs off-grid)	b [EUR/MWh]	Generator order (DGs on-grid)	b [EUR/MWh]
5	1	HYDRO	3
2	1.75	WT	4.1
HYDRO	3	PV	8
11	3	5	1
13	3	2	1.75
8	3.25	11	3
WT	4.1	13	3
PV	8	8	3.25
1	2	1	2

Sumber : Dulau dkk. (2015).

Diagram simulasi SCADA, yang mensintesis fungsi sistem yang dijelaskan sebelumnya, disajikan dalam Gambar 2.17





Gambar 2.16 Diagram Simulasi SCADA (Dulau dkk., 2015)

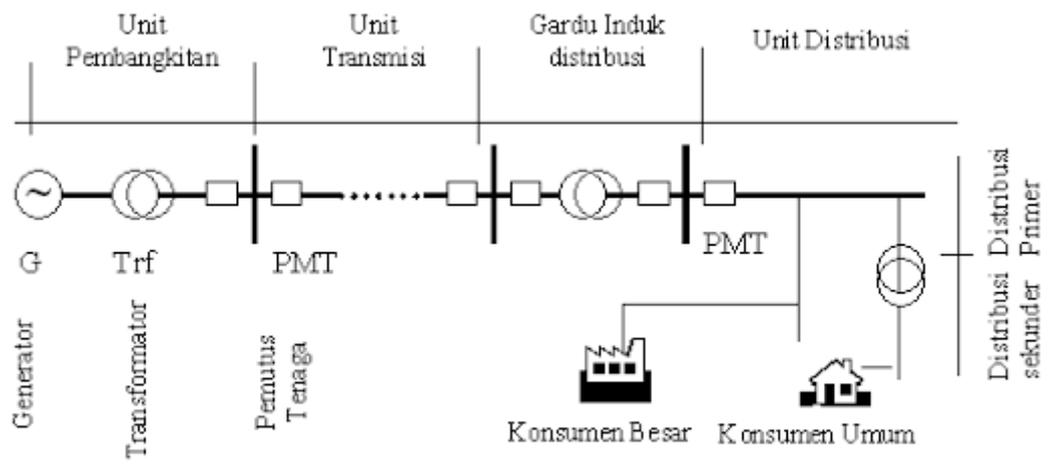
Simulasi ini menekankan bahwa generator yang didistribusikan tidak dapat menutupi beban sendirian. Pada LSF terendah, jika WT dan generator hidro di-grid, daya yang dihasilkan tidak cukup untuk menutup beban. Untuk menutupi beban G5, G2, G11, G13, G8 dan sebagian G1 (13.36 MW) harus digunakan. Pada LSF tertinggi, jika semua D adalah on-grid, daya yang dihasilkan tidak cukup untuk menutup beban. Untuk menutupi beban G5, G2, G11, G13, G8 dan G1 (197.5 MW) harus digunakan. Jika D adalah off-grid, maka daya yang dihasilkan lebih rendah dari konsumsi ($435 < 439,27$ MW), oleh karena itu unit penyimpanan harus digunakan. Ini adalah satu-satunya kasus ketika beban tidak dapat ditutup tanpa bantuan D atau unit penyimpanan. Ini menekankan bahwa D dan unit penyimpanan membantu menutupi beban puncak (Dulau dkk., 2015).

C. Sistem Tenaga Listrik

Menurut Suropto (2016), 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 membangkitkan tenaga listrik, yaitu mengubah energi yang berasal dari sumber energi lain misalnya: air, batu bara, panas bumi, minyak bumi dll. 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.

Berikut adalah contoh diagram satu garis sistem tenaga listrik dengan tiga unit utama disertai gardu induk distribusi dan Bagian distribusi primer dan sekunder.



Gambar 2.17. Diagram Satu Garis Sistem Tenaga Listrik (Wordpress, 2013)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode eksperimen menggunakan aplikasi PSCAD/EMTDC dengan membuat model SCADA pada sistem tenaga listrik, kemudian menjalankan simulasinya untuk mengetahui performa SCADA tersebut.

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Waktu : Maret 2018 hingga Juli 2018.
Tempat : Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar
Jalan Sultan Alauddin 259 Makassar.

B. Data (Parameter) dan Variabel Penelitian

1. Data (Parameter)

Data atau parameter yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. Pembangkit:

- Jenis Impedansi Sumber : R//L
- Daya : 100 (MVA)
- Tegangan : 150 (kV)
- Frekuensi Dasar : 50 (Hz)
- Waktu Tegangan Konstan : 0,05 (s)

b. Jalur Transmisi:

- Frekuensi *Steady-state* : 50 (Hz)
- Panjang Segmen : 70 (Km)
- Jumlah Konduktor : 3

c. Beban B1 dan B2:

- Beban Tiga Fase : 5 (MW)
- Tegangan Beban 3 Fase : 150 (kV)

2. Variabel Penelitian

Variabel yang diteliti pada penelitian ini adalah hasil simulasi dari model SCADA berbasis perangkat lunak PSCAD/EMTDC yaitu akuisisi data arus (kA) dan tegangan (kV) kondisi normal dan abnormal dari sistem tenaga listrik, pengontrolan beban pada sistem, dan fungsi supervisi SCADA.

C. Alat dan Bahan

1. Alat

Adapun alat yang digunakan pada penelitian ini adalah:

a. Laptop TOSHIBA Satellite L510 dengan spesifikasi:

- Prosesor : Intel Pentium® Dual-Core CPU.
- Prosesor Grafis : Mobile Intel® 4 Series Express Chipset Family.
- Memori RAM : 4 GB DDR3.
- Memori Harddisk : 150 GB.
- Sistem Operasi : Windows 7 Ultimate 64-bit.

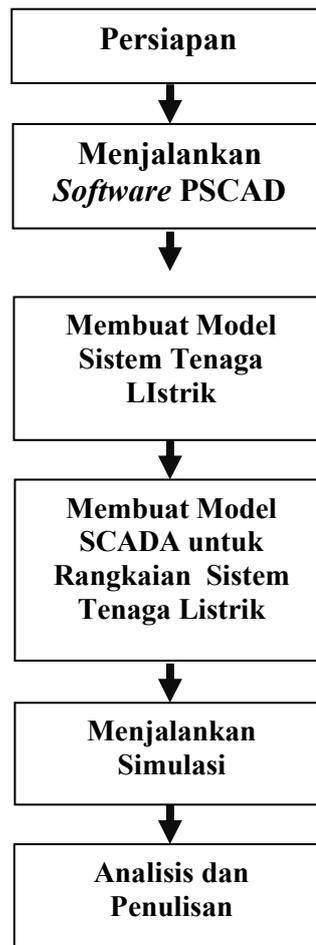
b. Perangkat Lunak *Power System Computer Aided Design* (PSCAD/EMTDC).

2. Bahan

Adapun bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah buku serta jurnal yang terlampir pada daftar pustaka.

D. Skema Penelitian

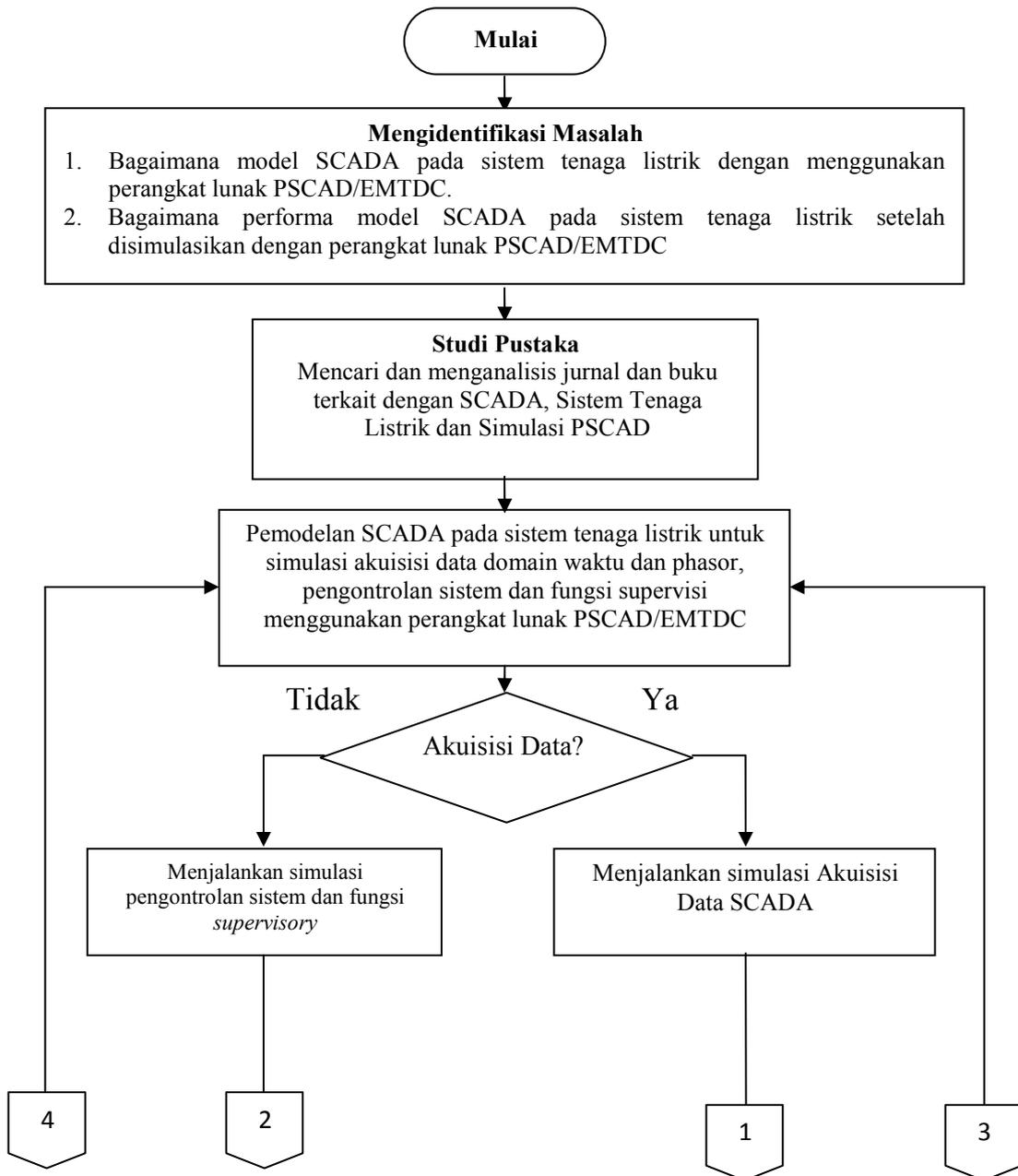
Adapun garis besar dari skema penelitian yang dilakukan ditunjukkan pada Gambar 3.1 berikut.

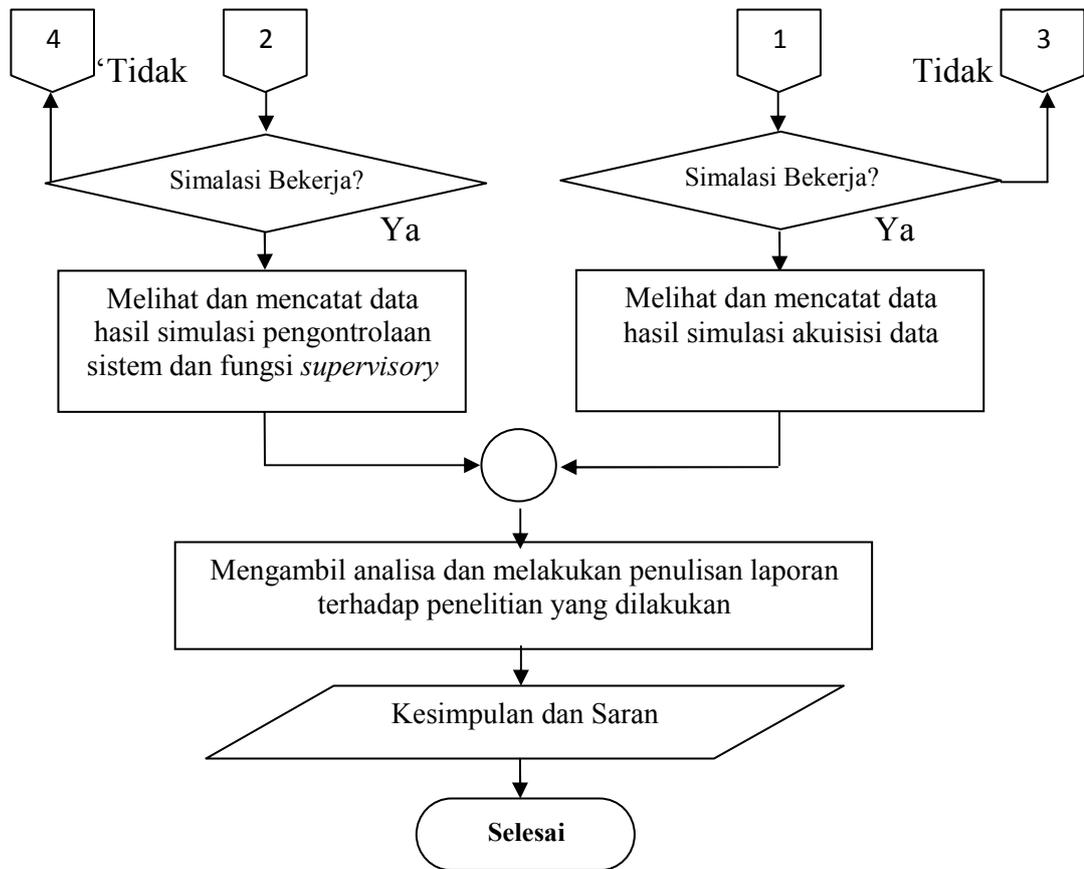


Gambar 3.1. Diagram Balok Skema Penelitian

E. Langkah Penelitian

Secara garis besar tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini di tunjukkan pada bagan alir berikut.





Gambar 3.2. Bagan Alir Proses Penelitian

F. Jadwal Penelitian

Tabel 3.1. Jadwal Penelitian Tahun 2018

No.	Kegiatan	Bulan				
		Mar	Apr	Mei	Jun	Jul
1	Mengidentifikasi Masalah	■				
2	Studi Pustaka	■	■			
3	Pemodelan sistem tenaga listrik		■	■		
4	Pemodelan sistem SCADA		■	■		
5	Uji coba rangkaian simulasi PSCAD			■	■	
6	Analisa data hasil pengujian			■	■	
7	Pembuatan laporan				■	■

BAB IV

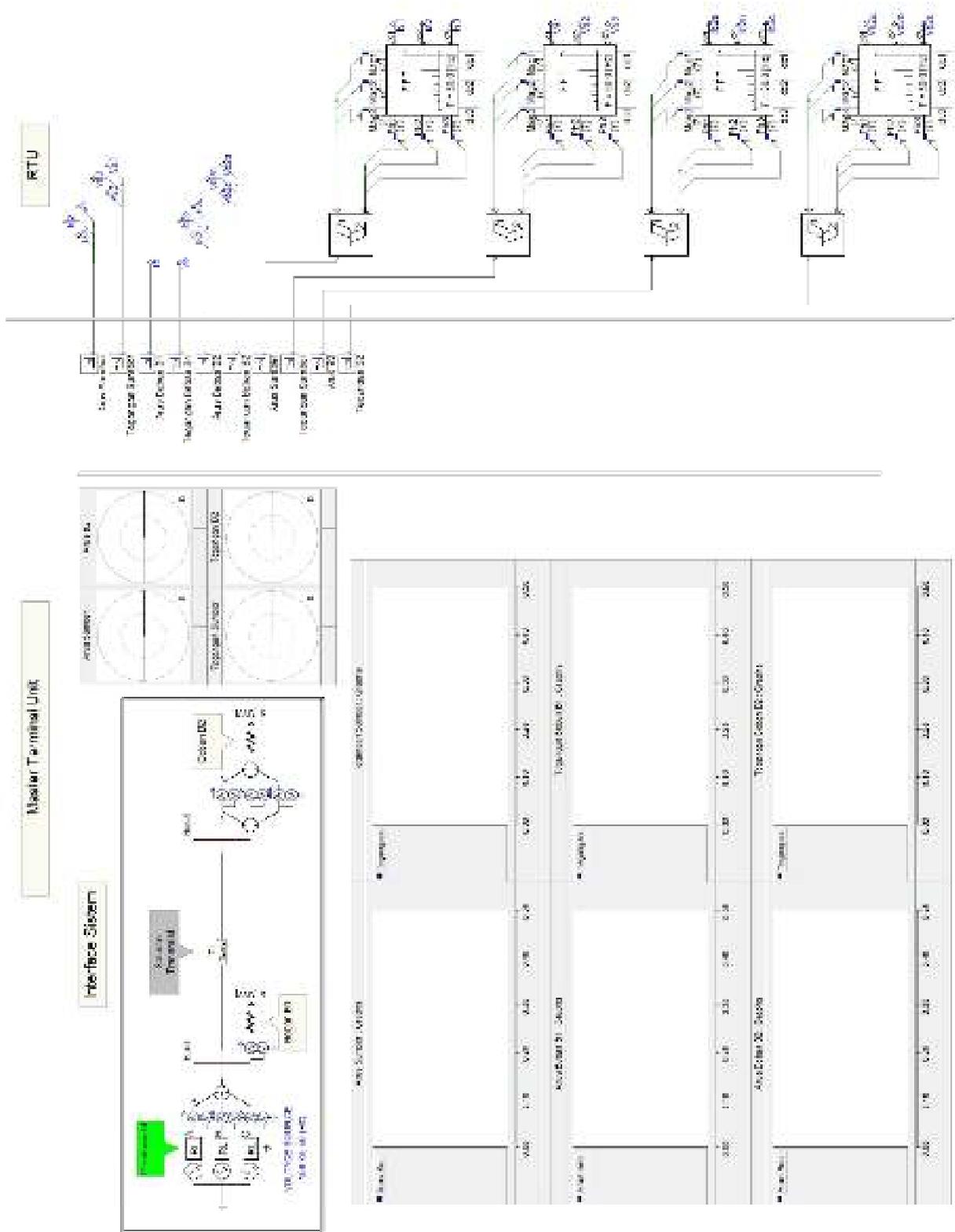
HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini dilakukan pembuatan model SCADA pada sistem tenaga listrik berbasis perangkat lunak PSCAD/EMTDC. Model sistem tenaga listrik yang dibuat terdiri dari 1 unit pembangkit, dengan 2 buah beban yaitu beban B1 yang terletak pada bus 1 dan beban B2 pada bus 2, kedua bus tersebut dipisahkan oleh sebuah saluran transmisi sepanjang 70 km. Model SCADA terdiri dari alat ukur yang berfungsi sebagai sensor, *signal name* dan frekuensi *scanner* sebagai RTU, *output channel* sebagai MTU dan *graph frame* serta fasor meter dari *output channel* sebagai HMI. Pada simulasi pengontrolan, HMI dilengkapi dengan tombol *Switch* dan tombol *Slider* kontrol CB, MTU dilengkapi dengan *control panel* dan RTU dilengkapi dengan *signal name* CB.

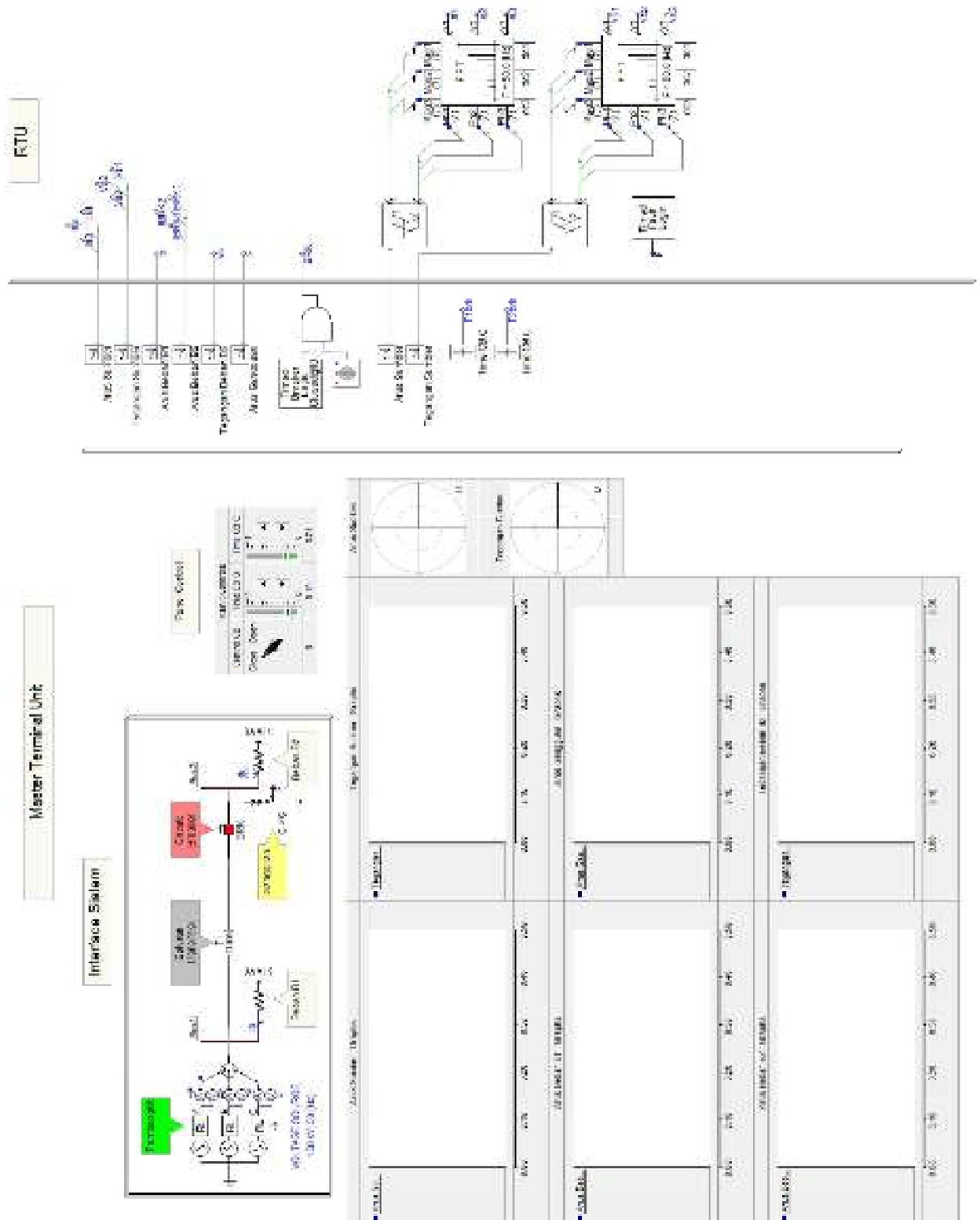
Pada pemodelan ini akan dilakukan beberapa simulasi sebagai fungsi dari SCADA antara lain akuisisi data sistem kondisi normal dan abnormal, pengontrolan sistem, dan fungsi supervisi untuk memantau status CB sistem tenaga listrik. Pada kondisi abnormal pada sistem, terdapat beberapa kemungkinan gangguan yang terjadi diantaranya, gangguan surya petir, gangguan hubung singkat fase ke fase, gangguan hubung singkat fase ke tanah dan sebagainya. Pada simulasi kondisi abnormal yang akan dilakukan, gangguan yang di simulasikan adalah gangguan fasa C ke tanah.

Model simulasi akuisisi data kondisi normal ditampilkan pada Gambar 4.1 yang terdiri dari bagian RTU, MTU, dan *interface* SCADA yang menampilkan *graph frame* magnitudo arus dan tegangan beban B1, beban B2, dan

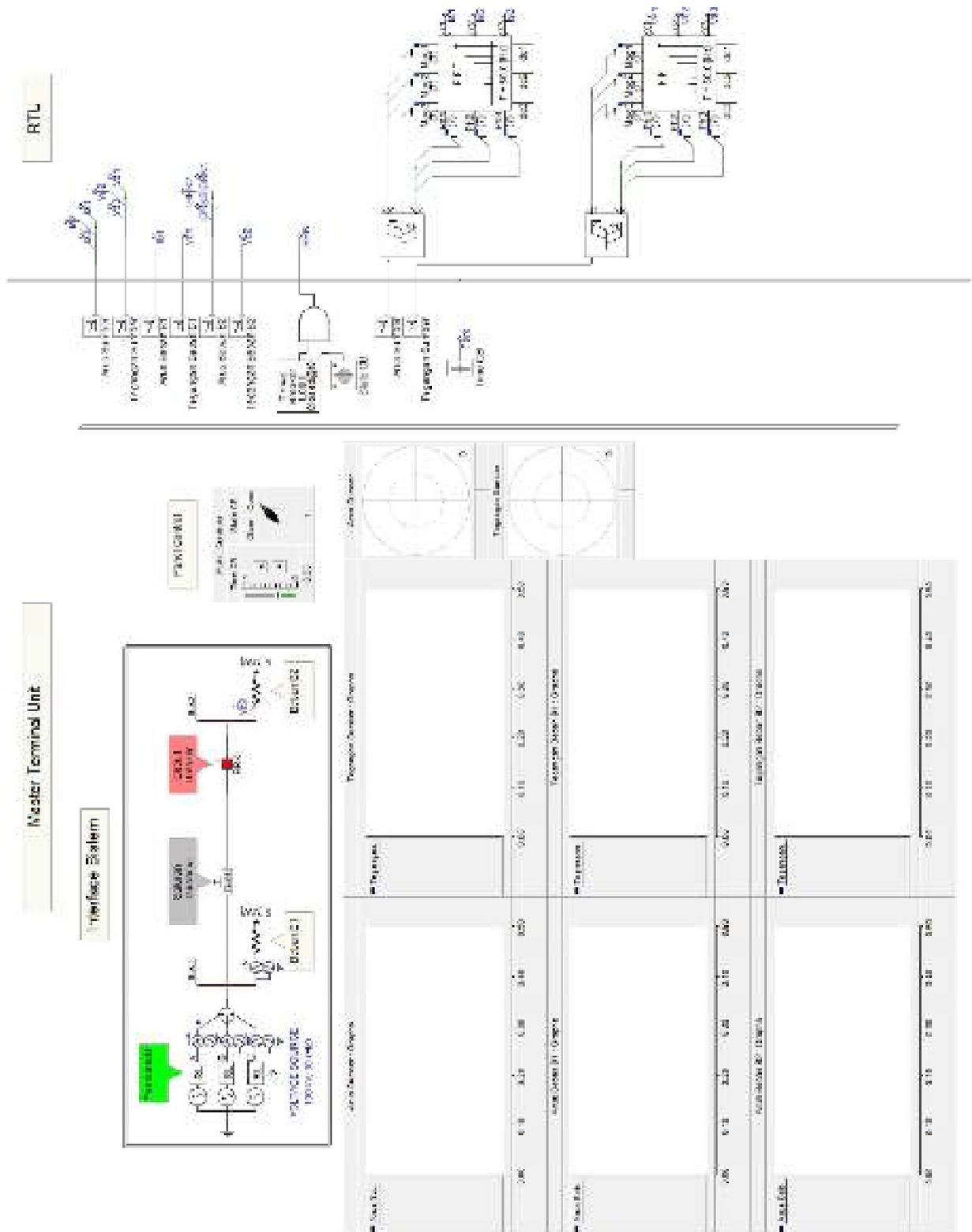
sumber/pembangkit, serta panel fasor meter arus RMS dan tegangan RMS sumber/pembangkit dan beban B2. Model simulasi akuisisi data kondisi abnormal ditampilkan pada Gambar 4.2 yang terdiri dari bagian RTU, MTU, dan *interface* SCADA yang menampilkan *graph frame* magnitudo arus dan tegangan dari sumber/pembangkit dan beban B2, arus beban B1 dan arus gangguan yang terjadi, panel fasor meter arus RMS dan tegangan RMS sumber/pembangkit, serta panel kontrol untuk CB pada sistem tenaga listrik. Model simulasi pengontrolan sistem ditampilkan pada Gambar 4.3 yang terdiri dari bagian RTU, MTU, dan *interface* SCADA yang menampilkan *graph frame* magnitudo arus dan tegangan beban B1, beban B2, dan sumber/pembangkit, panel fasor meter arus RMS dan tegangan RMS sumber/pembangkit, serta panel kontrol untuk CB pada sistem tenaga listrik. Fungsi supervisi ditampilkan pada *interface* (HMI) pada model simulasi pengontrolan sistem pada Gambar 4.3 yang menampilkan status posisi CB pada rangkaian sistem tenaga listrik.



Gambar 4.1 Model SCADA Berbasis PSCAD/EMTDC Simulasi saat Keadaan Normal



Gambar 4.2 Model SCADA Berbasis PSCAD/EMTDC Simulasi saat Keadaan Abnormal

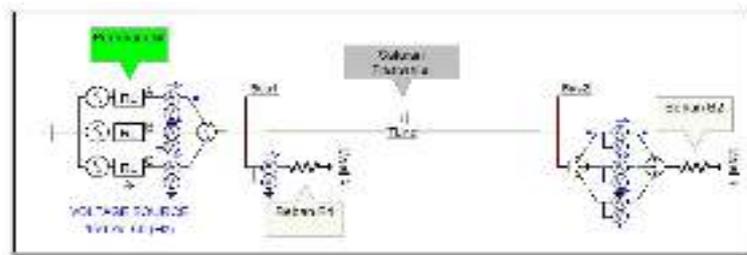


Gambar 4.3 Model SCADA Berbasis PSCAD/EMTDC Simulasi Pengontrolan Sistem

Ketika 3 model di atas disimulasikan dengan menggunakan PSCAD/EMTDC maka didapatkan hasil sebagai berikut:

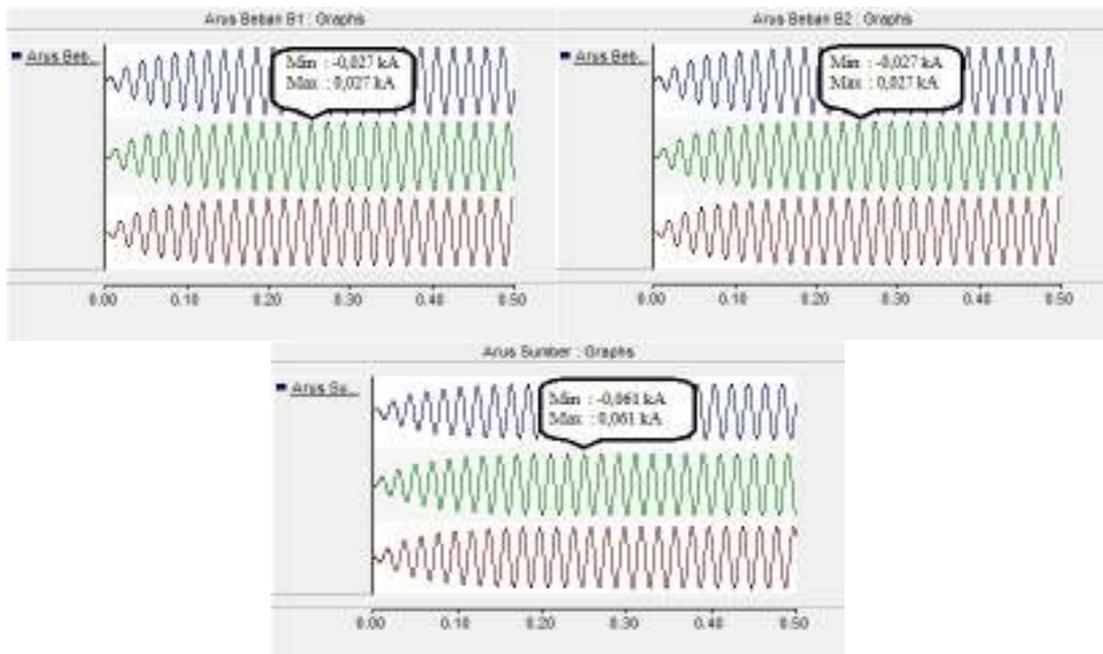
A. Akuisisi Data Domain Waktu dan Fasor

a. Simulasi Kondisi Normal



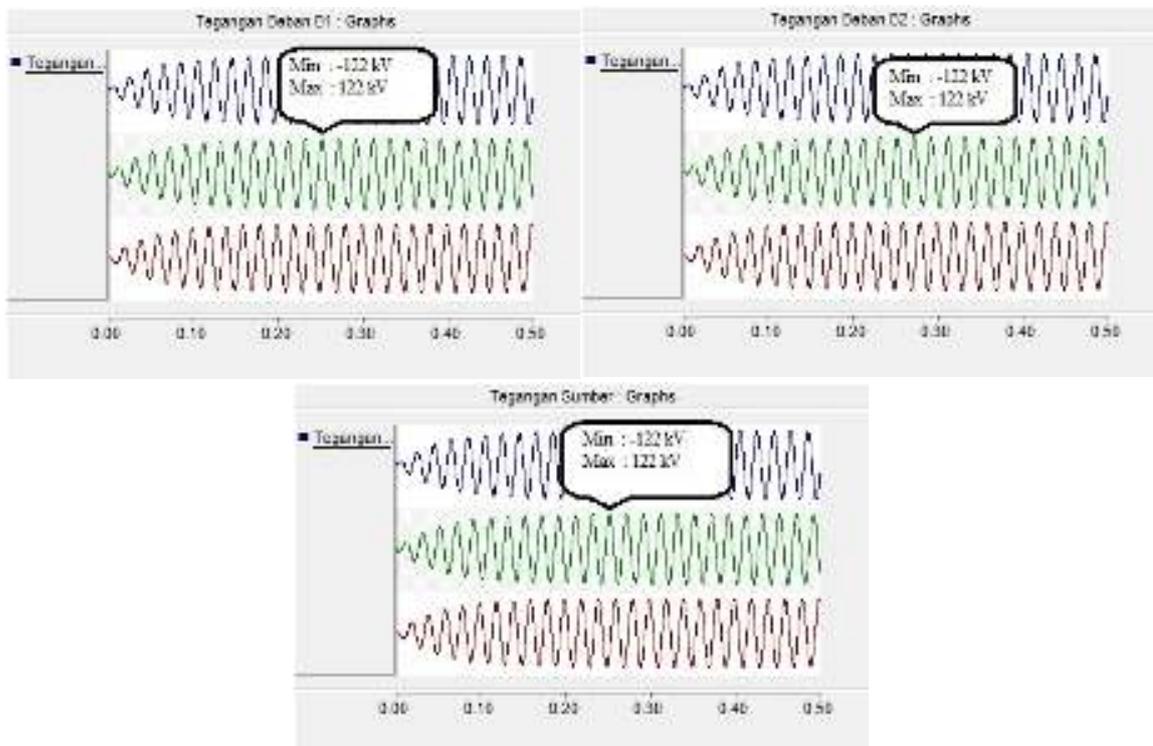
Gambar 4.4 Rangkaian Sistem Tenaga Listrik Kondisi Normal

Berikut hasil simulasi sistem dalam keadaan normal berupa grafik domain waktu arus dan tegangan dari beban B1, beban B2 dan sumber/pembangkit, serta domain fasor arus dan tegangan dari sumber/pembangkit dan beban B2.



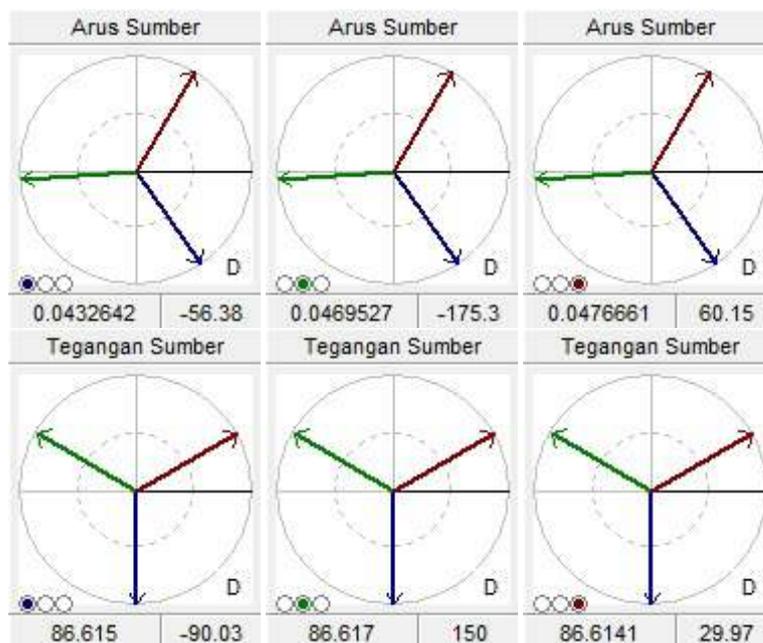
Gambar 4.5 Grafik Magnitudo Arus dari Beban B1, Beban B2 dan Sumber/Pembangkit saat Keadaan Normal

Grafik pada Gambar 4.5 menampilkan magnitudo arus (3 fase) yang terukur dari beban B1, beban B2, dan sumber/pembangkit dengan waktu simulasi selama 0,5 detik. Dapat dilihat bahwa sumber/pembangkit memiliki nilai magnitudo arus yang terukur lebih tinggi dibandingkan jika kedua nilai magnitudo arus beban yang terukur ditotalkan, hal ini menandakan bahwa arus sumber/pembangkit adalah arus total dari sistem tersebut. Dalam keadaan normal, magnitudo arus sumber/pembangkit dan kedua beban terlihat konstan dan stabil ketika sumber/pembangkit dalam keadaan *steady state*. Nilai beban B1 dan B2 adalah sama sehingga dalam simulasi, grafik menampilkan nilai magnitudo arus kedua beban tersebut juga terlihat sama yaitu sebesar 0,027 kA, sementara nilai magnitudo arus sumber/pembangkit yang terukur sebesar 0,061 kA.



Gambar 4.6 Grafik Magnitudo Tegangan Dari Beban B1, Beban B2 Dan Sumber/Pembangkit saat Keadaan Normal

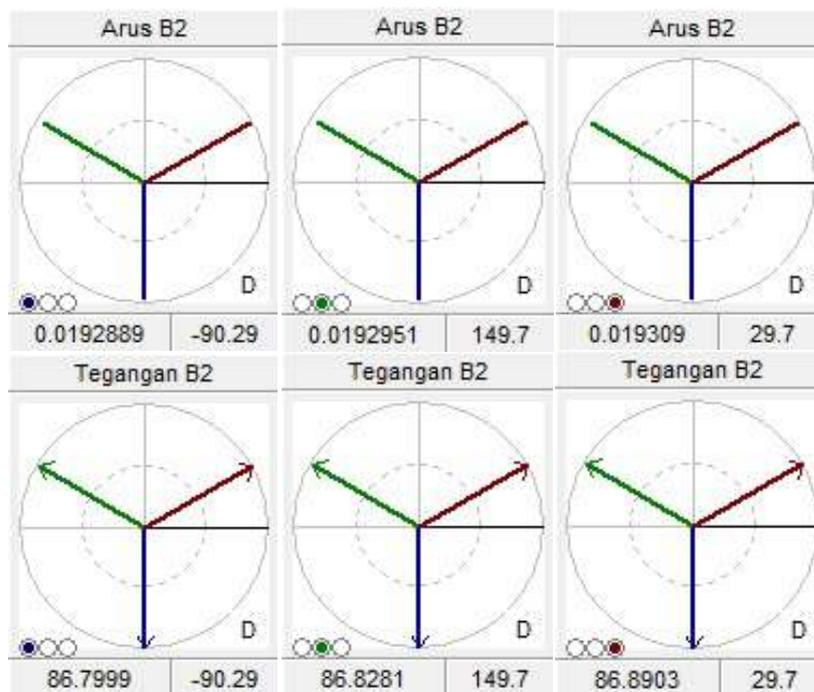
Grafik pada Gambar 4.6 menampilkan magnitudo tegangan (3 fase) yang terukur pada beban B1, beban B2 dan sumber/pembangkit dengan waktu simulasi selama 0,5 detik. Pada keadaan normal, magnitudo tegangan dari beban B1, beban B2 dan sumber/pembangkit terlihat konstan dan stabil saat sumber/pembangkit dalam keadaan *steady state*. Terlihat pada grafik nilai magnitudo tegangan yang terukur dari beban B1, beban B2, dan sumber/pembangkit memiliki nilai yang sama yaitu 122 kV.



Gambar 4.7 Domain Fasor dari Arus dan Tegangan Sumber/Pembangkit saat Keadaan Normal

Gambar 4.7 menampilkan fasor meter arus RMS dan tegangan RMS dari sumber/pembangkit, pada fasor meter di atas terukur arus RMS, tegangan RMS dan besar sudut dari setiap fase sumber/pembangkit, besar nilai arus RMS dan tegangan RMS sumber/pembangkit yang terbaca adalah $\frac{1}{\sqrt{2}}$ dari nilai maximum magnitudo arus dan tegangan sumber/pembangkit pada Gambar 4.5 dan 4.6.

Dalam keadaan normal, terlihat sudut 3 fase arus dan tegangan sumber/pembangkit membentuk pola simetris dengan beda sudut rata rata sebesar 120° . Dari panel fasor meter sumber/pembangkit dapat dilihat bahwa pada sumber/pembangkit, rata rata arus mengalami *leading* sebesar $\pm 33^\circ$ dari fase tegangan yang menandakan pada sistem terjadi fenomena kapasitansi pada saluran transmisi. Terlihat masing masing fase arus dan tegangan rata-rata memiliki nilai RMS 0,04 kA dan 86 kV.

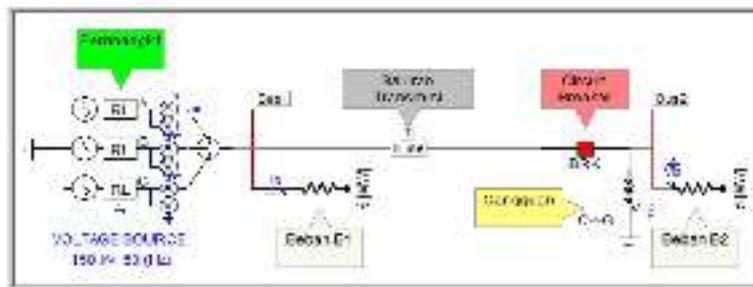


Gambar 4.8 Domain Fasor dari Arus dan Tegangan Beban B2 saat Keadaan Normal

Gambar 4.8 menampilkan fasor meter arus RMS dan tegangan RMS dari beban B2, pada fasor meter di atas terukur arus RMS, tegangan RMS dan besar sudut dari setiap fase beban B2, besar nilai arus RMS dan tegangan RMS beban B2 yang terbaca adalah $\frac{1}{\sqrt{2}}$ dari nilai maximum magnitudo arus dan tegangan

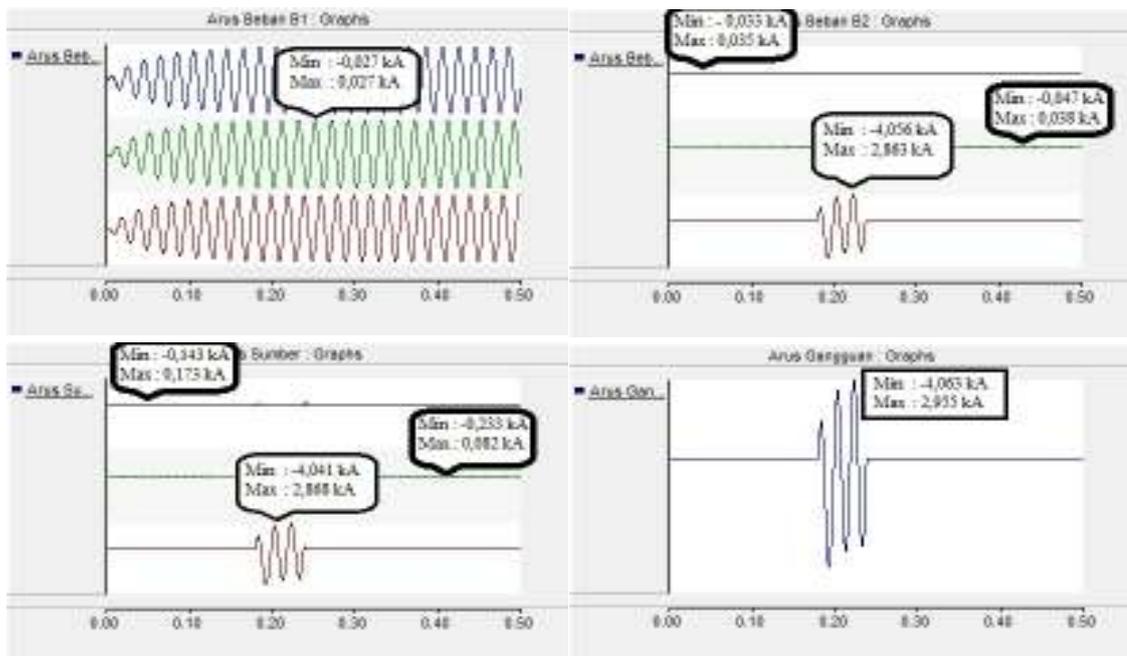
beban B2 pada Gambar 4.5 dan 4.6. Dalam keadaan normal, terlihat sudut 3 fase baik arus dan tegangan beban B2 membentuk pola simetris dengan beda sudut rata-rata sebesar 120° . Pada fasor meter, terlihat arus dan tegangan beban B2 sefase yang menandakan bahwa beban B2 adalah beban resistif. Terlihat masing-masing fase arus dan tegangan rata-rata memiliki nilai RMS 0,01 kA dan 86 kV.

b. Simulasi Kondisi Abnormal



Gambar 4.9 Rangkaian Sistem Tenaga Listrik Kondisi Abnormal

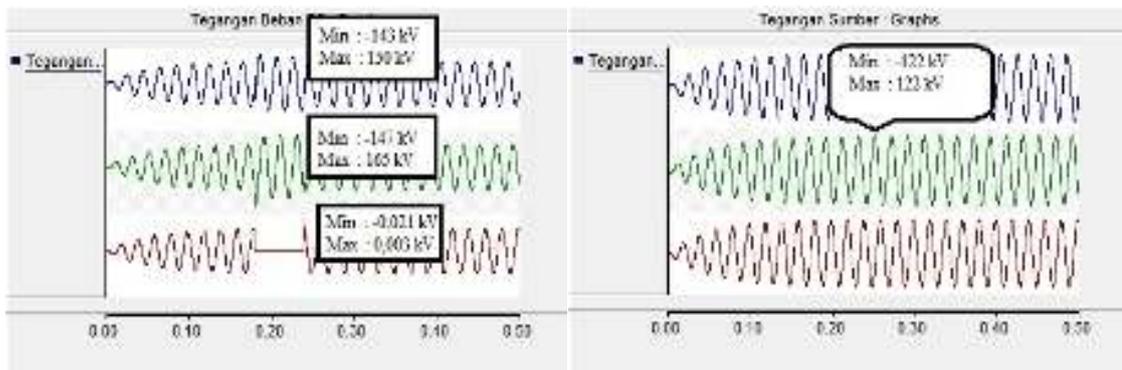
Berikut hasil simulasi ketika sistem mengalami gangguan fase C ke tanah pada detik ke 0,18 yang berlangsung selama 0,05 detik setelah simulasi dijalankan, dengan hasil berupa grafik domain waktu arus dan tegangan dari sumber/pembangkit dan beban B2, arus B1 dan arus gangguan yang terjadi, serta domain fasor arus dan tegangan sumber/pembangkit.



Gambar 4.10 Grafik Magnitudo Arus dari Beban B1, Gangguan, Beban B2 dan Sumber/Pembangkit saat Keadaan Abnormal

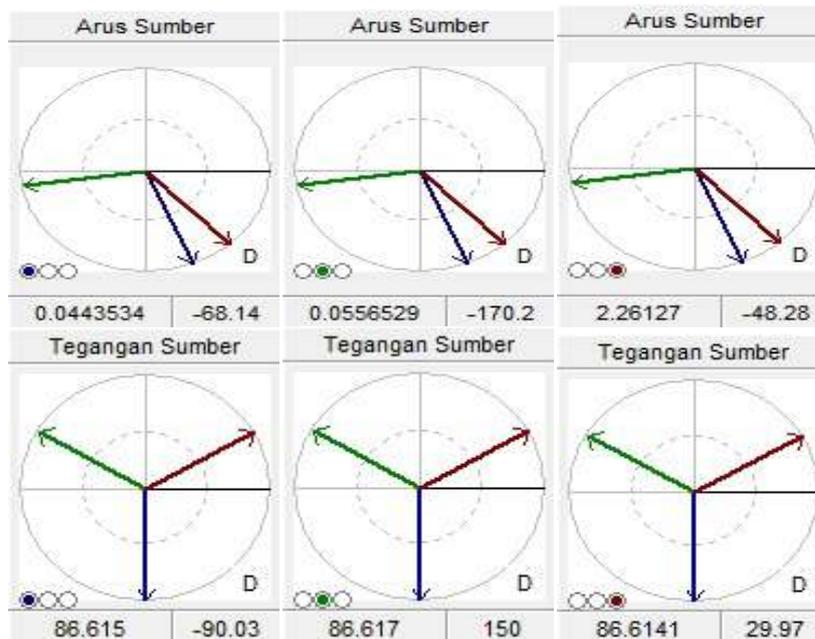
Grafik pada Gambar 4.10 menampilkan magnitudo arus (3 fase) dari sumber/pembangkit, beban B1, beban B2 dan besar arus gangguan yang terukur saat gangguan fasa C ke tanah terjadi, dengan waktu simulasi selama 0,5 detik. Terlihat bahwa saat gangguan terjadi, magnitudo arus sumber/pembangkit dan beban B2 terkhusus pada masing-masing fasa C mengalami perubahan signifikan, sementara magnitudo arus beban B1 terlihat normal. Nilai magnitudo arus sumber/pembangkit dan beban B2 saat keadaan normal masing-masing 0,061 kA dan 0,027 kA, tetapi ketika gangguan terjadi nilai magnitudo arus pada sisi sumber/pembangkit mengalami perubahan pada fase A min: -0,143 kA, mas: 0,173 kA; fase B min: -0,233 kA, max: 0,082 kA; fase C min: -4,041 kA, max: 2,868 kA; pada sisi beban B2 magnitudo arus yang terukur saat gangguan terjadi juga mengalami perubahan pada fase A min: -0,033 kA, max: 0,035 kA; fase B

min: -0,047 kA, max: 0,038 kA; fase C min: -4,056 kA, max: 2,863 kA; dan magnitudo arus gangguan yang terukur sebesar min: -4,063 kA, max: 2,955 kA, sementara pada sisi beban B1 arus tetap normal dengan nilai 0,027 kA.



Gambar 4.11 Grafik Magnitudo Tegangan dari Sumber/Pembangkit dan Beban B2 saat Keadaan Abnormal

Grafik pada Gambar 4.11 menampilkan magnitudo tegangan (3 fase) dari beban B2 dan sumber/pembangkit dengan waktu simulasi selama 0,5 detik. Terlihat bahwa saat gangguan terjadi, grafik magnitudo tegangan beban B2 pada fase C mengalami penurunan, sementara pada fase A dan B melonjak dari keadaan normal sebelumnya. Nilai magnitudo tegangan beban B2 saat keadaan normal adalah 122 kV, tetapi ketika gangguan terjadi tegangan mengalami perubahan pada fase A min: -143 kV, max: 150 kV, fase B min: -147 kV, max: 165 kV dan fase C min: -0,021 kV, max: 0,003 kV. Sementara magnitudo tegangan pada sisi sumber/pembangkit terlihat normal dengan nilai 122 kV.



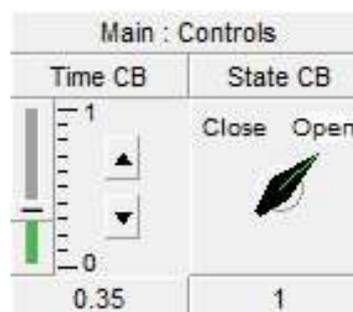
Gambar 4.12 Domain Fasor dari Arus dan Tegangan Sumber/Pembangkit saat Keadaan Abnormal

Gambar 4.12 menampilkan fasor meter arus RMS dan tegangan RMS dari sumber/pembangkit, pada fasor meter di atas terukur arus RMS, tegangan RMS dan besar sudut dari setiap fase sumber/pembangkit, , besar nilai arus RMS dan tegangan RMS sumber/pembangkit yang terbaca adalah $\frac{1}{\sqrt{2}}$ dari nilai maximum magnitudo arus dan tegangan sumber/pembangkit pada Gambar 4.10 dan 4.11. Dalam keadaan abnormal (Fasa C ke tanah), terlihat sudut 3 fase arus sumber.pembangkit membentuk pola asimetris, dengan perubahan sudut fase C yang bergeser $\pm 108^\circ$ dari keadaan normal sebelumnya, sementara fasor tegangan sumber/pembangkit tetap normal dengan sudut 3 fase membentuk pola simetris dengan beda sudut fase rata rata sebesar 120° . Terlihat saat terjadi gangguan, terukur nilai RMS arus fase A 0,04 kA, fase B 0,05 kA dan fase C melonjak

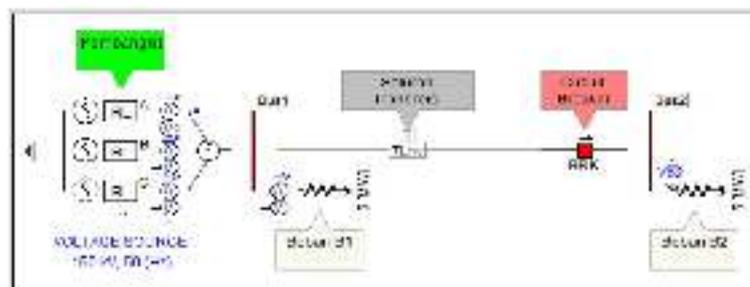
menjadi 2,26 kA, sementara tegangan sumber/pembangkit tetap normal dengan rata-rata memiliki nilai RMS 86 kV.

c. Simulasi Pengontrolan Sistem

Simulasi pengontrolan ini dilakukan dengan memutuskan beban B2 pada sistem ketika detik 0,35s setelah simulasi dijalankan.

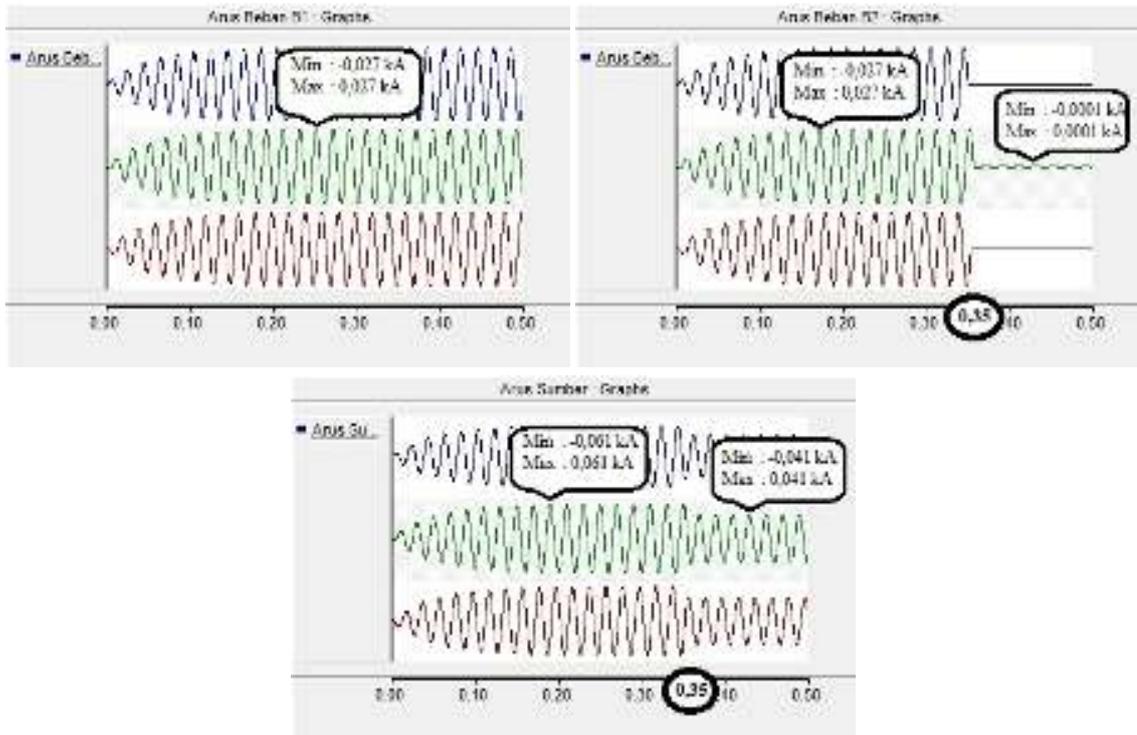


Gambar 4.13 Pengontrolan CB dalam Simulasi Pemutusan Beban Bus 2 dari Sistem



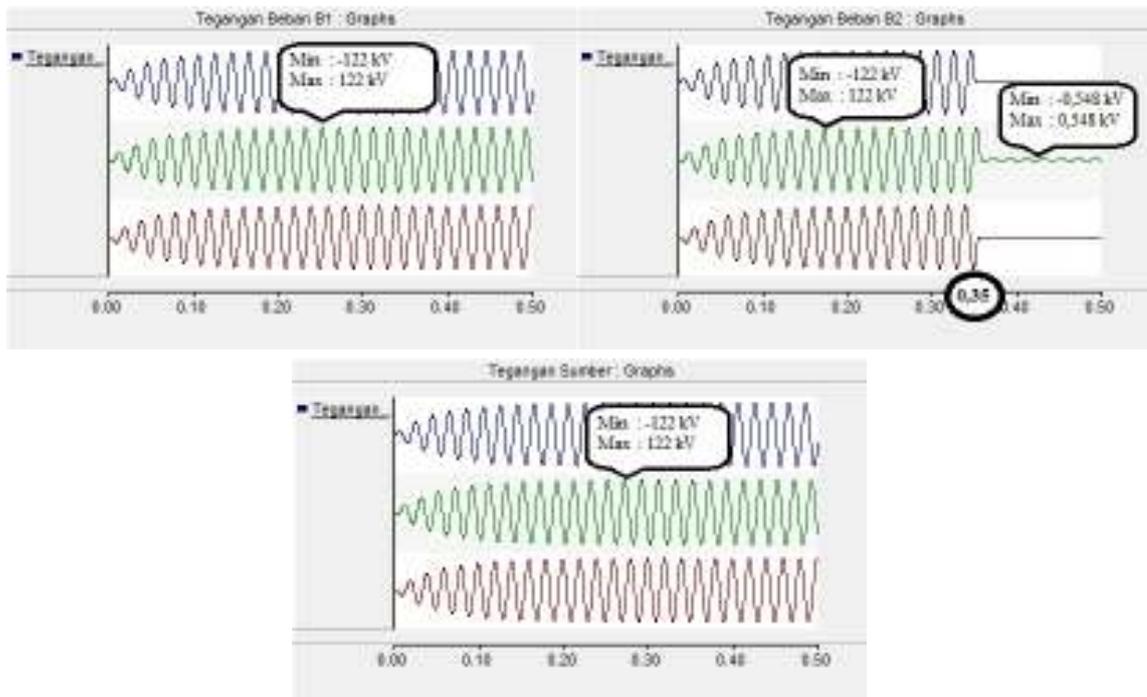
Gambar 4.14 Rangkaian Sistem Tenaga Listrik Simulasi Pengontrolan Sistem

Dari gambar diatas, CB dikontrol untuk membuka/memutus beban Bus 2 setelah 0,35 detik saat simulasi dijalankan. Hasil dari pengaturan tersebut dapat dilihat pada hasil simulasi berikut:



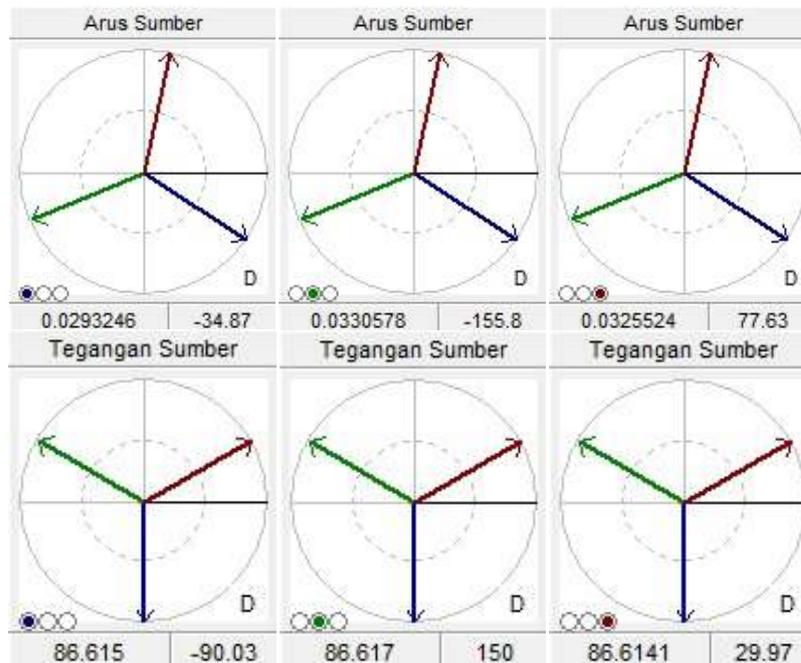
Gambar 4.15 Grafik Magnitudo Arus dari Beban B1, Beban B2 dan Sumber/Pembangkit saat Pengontrolan Sistem

Grafik pada Gambar 4.15 menampilkan magnitudo arus (3 fase) yang terukur dari beban B1, beban B2, dan sumber/pembangkit ketika CB dikontrol memutuskan beban B2 dari sistem pada detik 0,35, dengan waktu simulasi 0,5 detik. Terlihat magnitudo arus pada beban B2 ketika terputus dari sistem pada detik 0,35 mengalami penurunan yang signifikan, sementara magnitudo arus beban B1 terlihat tetap normal. Karena arus sumber/pembangkit adalah arus total dari sistem, maka ketika beban B2 terputus dari sistem pada waktu 0,35 detik setelah simulasi dijalankan, terlihat magnitudo arus sumber/pembangkit juga mengalami penurunan. Magnitudo arus beban B2 mengalami penurunan dari 0,027 kA menjadi 0,0001 kA dan magnitudo arus sumber/pembangkit mengalami penurunan dari 0,061 menjadi 0,041 kA.



Gambar 4.16 Grafik Magnitudo Tegangan dari Beban B1, Beban B2 dan Sumber/Pembangkit saat Pengontrolan Sistem

Grafik pada Gambar 4.16 menampilkan magnitudo tegangan (3 fase) yang terukur dari beban B1, beban B2 dan sumber/pembangkit ketika CB memutuskan beban B2 dari sistem pada detik 0,35, dengan waktu simulasi selama 0,5 detik. Terlihat bahwa magnitudo gelombang yang mengalami perubahan setelah simulasi dijalankan adalah magnitudo tegangan pada beban B2, sementara magnitudo tegangan beban B1 dan sumber/pembangkit tetap normal. Nilai magnitudo tegangan beban B2.mengalami penurunan dari 122 kV menjadi 0,548 kV, sementara nilai magnitudo tegangan beban B1 dan sumber/pembangkit tetap 122 kV.



Gambar 4.17 Domain Fasor dari Arus dan Tegangan Sumber/Pembangkit saat Pengontrolan Sistem

Gambar 4.17 menampilkan fasor meter arus RMS dan tegangan RMS dari sumber/pembangkit setelah CB memutuskan beban B2 pada detik 0,35, pada fasor meter di atas terukur arus RMS, tegangan RMS dan besar sudut dari setiap fase sumber/pembangkit, besar nilai arus RMS dan tegangan RMS sumber/pembangkit yang terbaca adalah $\frac{1}{\sqrt{2}}$ dari nilai maximum magnitudo arus dan tegangan sumber/pembangkit pada Gambar 4.15 dan 4.16. Fasor sumber terlihat normal dengan ketiga sudut fase baik arus dan tegangan sumber/pembangkit membentuk pola simetris dengan beda sudut rata rata sebesar 120° . Fasor arus (3 fase) sumber ketika beban B2 terputus mengalami pergeseran fase sebesar $\pm 19^\circ$ dari sudut arus (3 fase) sumber saat simulasi kondisi normal. Dari panel fasor meter sumber/pembangkit dapat dilihat bahwa rata rata arus mengalami *leading* $\pm 53^\circ$

dari fase tegangan yang menandakan pada sistem terjadi fenomena kapasitansi pada saluran transmisi. Dari fasor meter dapat dilihat pula rata-rata nilai arus RMS sumber/pembangkit menurun dibandingkan ketika simulasi dalam keadaan normal yaitu dari 0,04 kA menjadi 0,03 kA, yang menandakan bahwa pada sistem mengalami pengurangan beban setelah CB memutuskan beban B2, sementara nilai tegangan RMS sumber/pembangkit tetap 86 kV.

d. Perbandingan Hasil Simulasi

Tabel 4.1 Perbandingan Nilai Maksimum Magnitudo Arus dan Tegangan Hasil Simulasi Kondisi Normal, Abnormal dan Pengontrolan Sistem

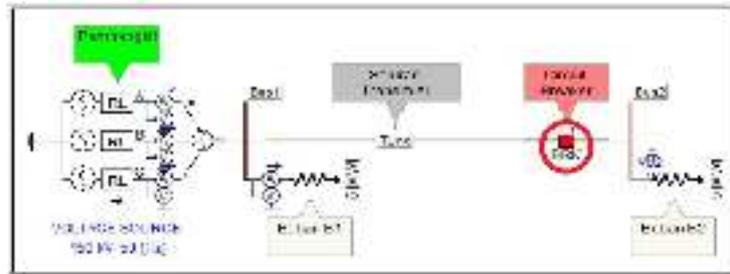
No	Bag. Sistem	Fasa	Mag.	Akuisisi Data					
				Normal		Abnormal		Pengontrolan Sistem	
				Arus (kA)	Tegangan (kV)	Arus (kA)	Tegangan (kV)	Arus (kA)	Tegangan (kV)
1	Pembangkit	Fasa A	Min (-)	0,061	122	0,143	122	0,041	122
			Max	0,061	122	0,173	122	0,041	122
		Fasa B	Min (-)	0,061	122	0,233	122	0,041	122
			Max	0,061	122	0,082	122	0,041	122
		Fasa C	Min (-)	0,061	122	4,041	122	0,041	122
			Max	0,061	122	2,868	122	0,041	122
2	Beban B1	Fasa A	Min (-)	0,027	122	0,027	(-)	0,027	122
			Max	0,027	122	0,027	(-)	0,027	122
		Fasa B	Min (-)	0,027	122	0,027	(-)	0,027	122
			Max	0,027	122	0,027	(-)	0,027	122
		Fasa C	Min (-)	0,027	122	0,027	(-)	0,027	122
			Max	0,027	122	0,027	(-)	0,027	122
3	Beban B2	Fasa A	Min (-)	0,027	122	0,033	143	0,001	0,548
			Max	0,027	122	0,035	150	0,001	0,548
		Fasa B	Min (-)	0,027	122	0,047	147	0,001	0,548
			Max	0,027	122	0,038	165	0,001	0,548
		Fasa C	Min (-)	0,027	122	4,056	0,021	0,001	0,548
			Max	0,027	122	2,863	0,003	0,001	0,548

Tabel 4.1 mempresentasikan data nilai maksimum magnitudo arus dan tegangan pada setiap fase dari sumber/pembangkit, beban B1 dan beban B2 hasil simulasi akuisisi data kondisi normal, abnormal, dan saat pengontrolan beban. Terlihat bahwa dalam kondisi abnormal nilai magnitudo arus sumber/pembangkit dan beban B2 mengalami lonjakan, dimana lonjakan terbesar terjadi pada fasa C. dilain sisi nilai magnitudo tegangan beban B2 mengalami kenaikan pada fasa A dan fasa B, sementara fasa C mengalami penurunan yang signifikan. Pada simulasi pengontrolan sistem saat CB dikontrol memutuskan beban B2, nilai magnitudo yang berubah adalah arus sumber/pembangkit, serta arus dan tegangan pada beban B2 yang mengalami penurunan, sementara tegangan sumber/pembangkit dan beban B1 tetap seperti saat kondisi normal.

B. Fungsi Supervisi

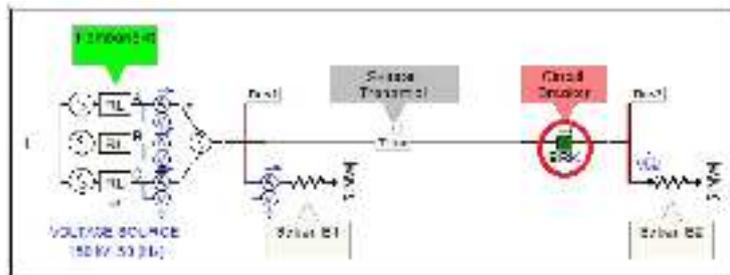
Fungsi supervisi dilakukan pada model SCADA simulasi pengontrolan sistem yang ditampilkan pada layar *interface* sistem (HMI), layar menampilkan status posisi CB pada sistem. Posisi CB tertutup (*On*) dianimasikan dengan simbol CB berwarna merah, sedangkan posisi CB terbuka (*Off*) dianimasikan dengan simbol CB berwarna hijau. Pada simulasi pengontrolan sistem, terlihat dari detik 0 sampai detik 0,35 *interface* menampilkan informasi visual CB pada rangkaian sistem tenaga listrik dalam status tertutup (*On*) seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.18, kemudian setelah 0,35 detik sampai simulasi berakhir, *interface* menampilkan informasi visual CB dalam status terbuka (*Off*) seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.19.

- CB dalam posisi tertutup



Gambar 4.18 Tampilan *Interface* Sistem dengan Status Posisi CB Tertutup

- CB dalam status posisi terbuka



Gambar 4.19 Tampilan *Interface* Sistem dengan Status Posisi CB Terbuka

BAB V

PENUTUP

A. Simpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Model SCADA berbasis PSCAD/EMTDC telah berhasil terealisasi dengan memiliki beberapa komponen penting sebagai arsitektur SCADA pada umumnya, diantaranya alat ukur yang berfungsi sebagai sensor, *signal name* dan frekuensi *scanner* sebagai RTU, *output channel* sebagai MTU dan *graph frame* serta fasor meter dari *output channel* sebagai HMI. Pada simulasi pengontrolan, HMI dilengkapi dengan tombol *Switch* dan tombol *Slider* untuk kontrol CB, MTU dilengkapi dengan *control panel* dan RTU dilengkapi dengan *signal name* CB.
2. Performa model SCADA berbasis perangkat lunak PSCAD/EMTDC mampu merepresentasikan fungsi SCADA pada sistem tenaga listrik yang telah dibuat yaitu pengawasan, pengontrolan dan akuisisi data. Fungsi pengawas menampilkan status CB sistem tenaga listrik pada *interface* sistem (HMI), posisi CB tertutup (*On*) dianimasikan dengan simbol CB berwarna merah, sedangkan posisi CB terbuka (*Off*) dianimasikan dengan simbol CB berwarna hijau, dimana pada simulasi pengontrolan sistem ketika CB dikontrol membuka pada detik 0,18 maka pada detik yang sama pada *interface* sistem, simbol CB menampilkan perubahan warna dari merah (posisi tertutup)

menjadi warna hijau (posisi terbuka), Fungsi pengontrolan dapat dilakukan untuk mengontrol CB sistem tenaga listrik pada HMI secara manual dari tombol *Switch* untuk mengontrol status CB dan tombol *Slider* untuk mengatur waktu kerja CB. Fungsi akuisisi data menyajikan data hasil simulasi dalam bentuk fasor serta grafik magnitudo arus dan tegangan pada titik sensor sistem tenaga listrik, saat kondisi normal grafik magnitudo arus dan tegangan terlihat konstan dan stabil serta fasor meter yang menampilkan pola 3 fase yang simetris, sementara kondisi abnormal menampilkan perubahan magnitudo arus dan tegangan yang tidak stabil berupa lonjakan dan penurunan magnitudo yang signifikan pada titik yang mengalami gangguan serta perubahan fasor meter yang menampilkan pola 3 fase yang asimetris, hasil simulasi pengontrolan juga menampilkan perubahan fasor serta magnitudo arus dan tegangan pada sumber dan beban B2 yang mengalami penurunan saat pengontrolan dilakukan.

B. Kelemahan Penelitian

Kelemahan penelitian ini terletak pada perangkat lunak yang digunakan yaitu PSCAD/EMTDC versi 4.2 *Student (free)* yang memiliki keterbatasan penggunaan nodes (simpul) pada rangkaian simulasi yang akan dibuat, sehingga pemodelan sistem tenaga listrik yang dibuat sangat sederhana. Pemodelan sistem tenaga listrik yang sederhana dan keterbatasan nodes (simpul) perangkat lunak menjadikan peletakan alat ukur (sensor), model kontrol sistem, dan komponen

pendukung lainnya yang digunakan untuk pemodelan SCADA juga sangat sederhana dan terbatas.

C. Saran

Dikarenakan keterbatasan versi PSCAD/EMTDC yang digunakan dalam penelitian ini, maka diharapkan untuk pemodelan SCADA yang lebih komplit seperti pengontrolan otomatis dan sebagainya sebaiknya menggunakan versi PSCAD/EMTDC yang lebih tinggi (*full version*) dari versi PSCAD/EMTDC yang digunakan pada penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

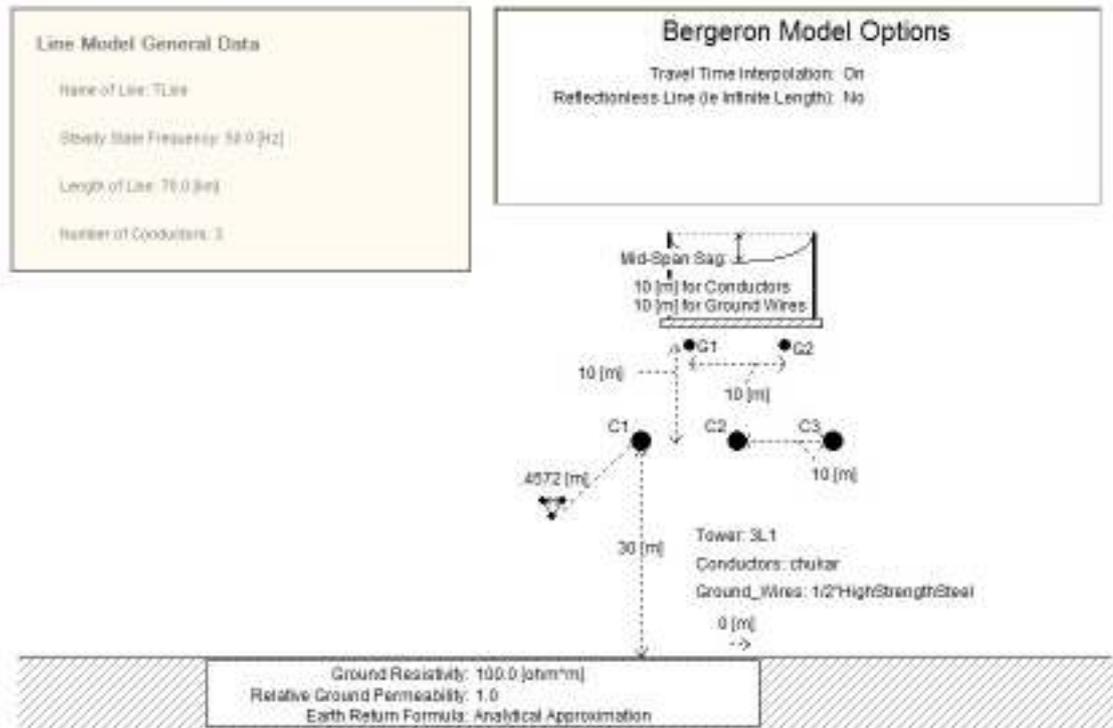
- Bayusari, Ike, dkk. 2013. *Perancangan Sistem Pemantauan Pengendali Suhu pada Stirred Tank Heater menggunakan Supervisory Contro*. Jurnal Rekayasa Elektrika Vol.10, No. 3, April 2013
- Binazar, Anas, Haris Rachmat, dan Denny Sukma Eka Atmaja. 2015. *PERANCANGAN SUPERVISORY CONTROL AND DATA ACQUISITION (SCADA) PADA PROSES PENGEPAKAN TEH DILENGKAPI DENGAN PELAPORAN DATA MENGGUNAKAN GENERIC DATA GRID*. e-Proceeding of Engineering: Vol.2, No.1 April 2015.
- Chamdareno, Prian Gagani, Faris Azharuddin, dan Budiyanto. 2017. *Sistem Monitoring Energi Listrik Sel Surya Secara Realtime dengan Sistem Scada*. <https://jurnal.umj.ac.id/index.php/elektum/article/download/1736/1465> (Diakses 29 Maret 2018)
- Dulau, Lucian Ioan, Mihail Abrudean, dan Dorin Bica. 2015. *SCADA simulation of a distributed generation system with storage technologie*. Procedia Technology 19 (2015) 665 – 672
- Gozali, H.R.B. Moch. 2011. *Desain Perancangan kwh meter Digital Berbasis Sistem SCADA pada Pelanggan Tegangan Menengah 20 KV di PT PLN (Persero) APJ Jember*. Jurnal Rekayasa Elektrika Vol. 9, No. 4, Oktober 2011
- Kurniawan, Muhammad Supono, Iwan Setiawan, dan Aris Triwiyatno. 2012. *Perancangan Simulasi Supervisory Control and Data Acquisition pada Prototipe Sistem Listrik Redundant*. ISSN 1411–0814. TRANSMISI, 14 (1), 2012, 7-12
- Liu, J. F., dan P. L. Wilson. 2004. *A Pscad/Emtdc Based Simulation Study Of Protective Relay*. 2014 The Institution of Electrical Engineers. Printed and published by the IEE, Michael Faraday House, Six Hills Way, Stevenage, SGI 2AY.
- Muller, Craigh. 2005. *on the use of PSCAD (Power System Computers Aided Design)*. 2005 Manitoba HVDC Research Centre Inc.

- Nayak, Corp., 2005. *Using PSCAD For Studying Bus Transfer Transienst in a Nuclear Power Plant*. 2005 Nayak Corporation. T: (609) 279-9050 F: (609) 279-9051
- Pratama, Eva Argarini. 2015. *knowledge management system dalam peningkatan mutu pemeliharaan jaringan distribusi tenaga listrik berbasis supervisory control and data acquisition*. ISSN: 2338-8161. Evolusi Vol.III No.1 Maret 2015
- Prayuda, Rezka Bunaiya, M. Ary Murty, dan Porman Pangaribuan. 2015. *DESAIN DAN IMPLEMENTASI SCADA (SUPERVISORY CONTROL AND DATA ACQUISITION) PADA SISTEM BOILER DRUM MENGGUNAKAN PLC OMRON*. e-Proceeding of Engineering: Vol.2, No.2 Agustus 2015.
- Saini, M, dkk. 2012. *Fault Analysis Using PSCAD/EMTDC for 150 kV South Sulawesi Transmission System*. IEEE Symposium on Industrial Electronics and Applications (ISIEA2012)
- Setiawan, Ahmad Budi. 2016. *Peningkatan keamanan supervisory control and Data acquisition (scada) pada smart grid sebagai Infrastruktur kritis*. Jurnal Penelitian Pos dan Informatika, 578/AKRED/P2MI-LIPI/07/2014. JPPI Vol 6 No 1 (2016) 59 – 78
- Suripto, Slamet. 2016. *SISTEM TENAGA LISTRIK*. <https://slametumy.files.wordpress.com/2016/02/buku-ajar-stl.pdf> (Diakses Pada 29 Maret 2018)
- Susiono, Antoni, Handy Wicaksono, dan Hany Ferdinando 2006. *Aplikasi Scada System pada Miniatur Water Level Control*. <http://jurnalelektro.petra.ac.id/index.php/elk/article/view/16435> (Diakses 29 Maret 2018)
- Tangdililing, Ferdianto dan Stefany Yunita Bara'langi. 2015. *SISTEM AKUISISI DATA BESARAN LISTRIK GEDUNG KOMERSIAL*. <http://download.portalgaruda.org/article.php?article=520698&val=10654&title=Sistem%20Akuisisi%20Data%20Besaran%20Listrik%20Gedung%20Komersial> (Diakses 27 Maret 2018)

Wikipedia. 2018. *Akuisisi Data*.
https://en.wikipedia.org/wiki/Data_acquisition (Diakses 27 Maret 2018)

Wordpress. 2013. *Jaringan Distribusi*.
<https://armanbacktrack5.wordpress.com/2013/02/25/jaringan-distribusi/>
(Diakses 27 Maret 2018)

LAMPIRAN

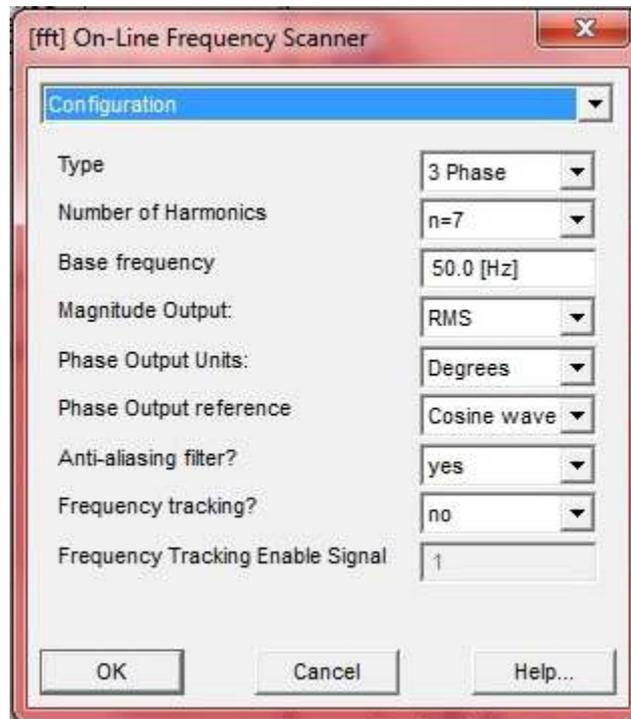


Gambar Rancangan *Defenition* Transmisi

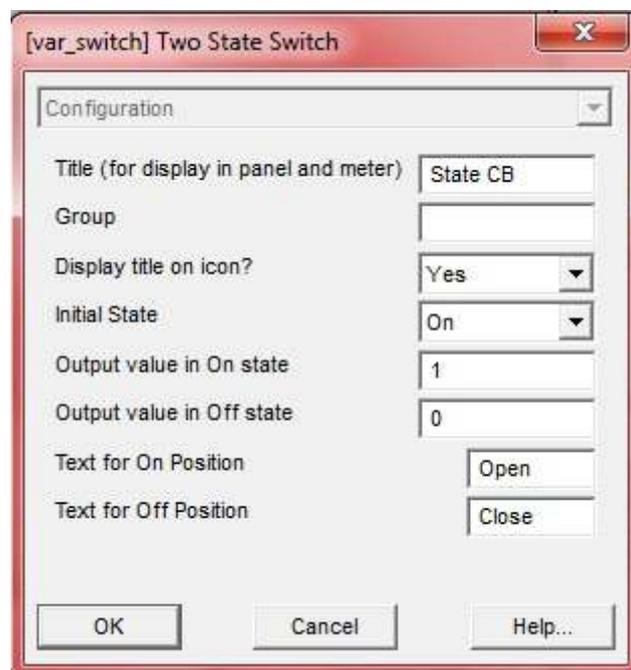
Bus		
General		
I	Number (1-99999)	1
NAME	Name	Bus2
BASKV	Bus base voltage	1
IDE	Type Code	1
GL	Shunt conductance	0.0
BL	Shunt admittance to gnd	0.0
AREA	Area Number (1-100)	1
ZONE	Zone Number (1-999)	1
VM	Voltage magnitude	1.0
VA	Voltage angle	0.0
OWNER	Owner	1

OK Cancel Help...

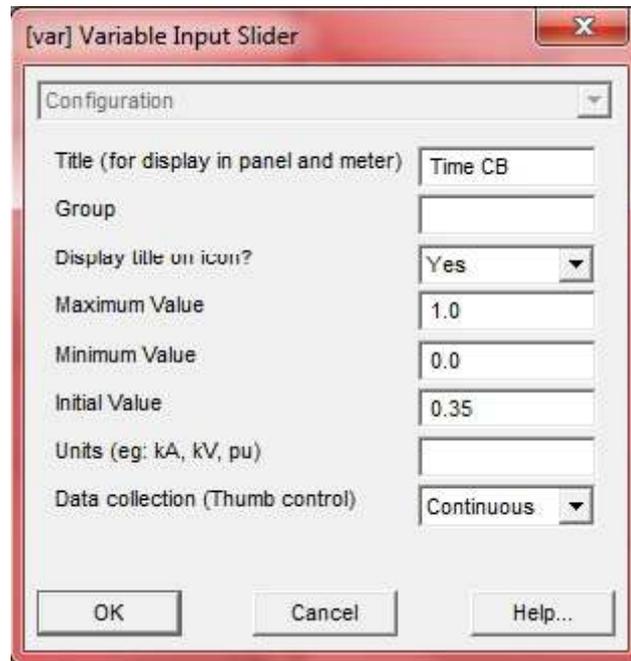
Gambar Properties Bus/Rel



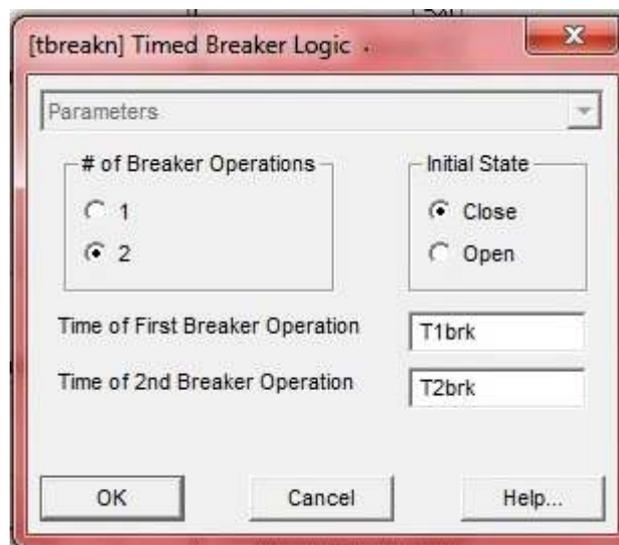
Gambar Properties Frekuensi *Scanner*



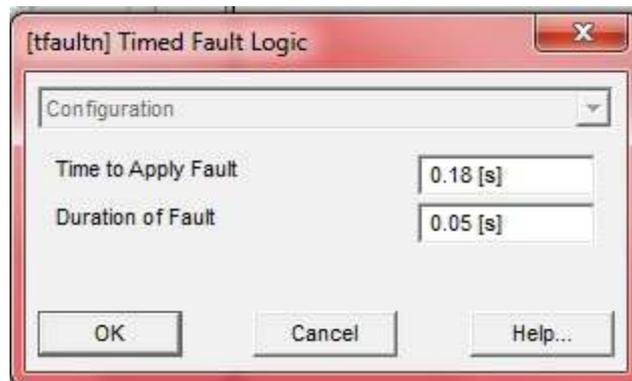
Gambar Properties Tombol *Switch* Kontrol CB



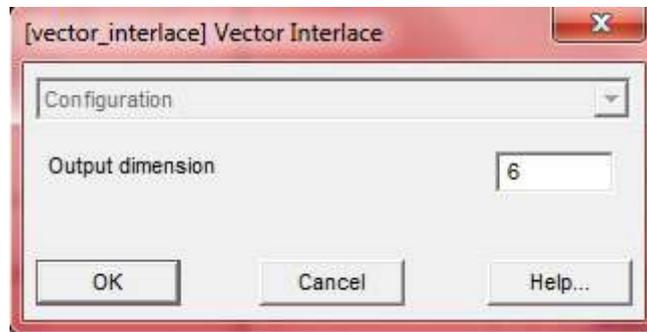
Gambar Properties Tombol *Slider* Kontrol CB



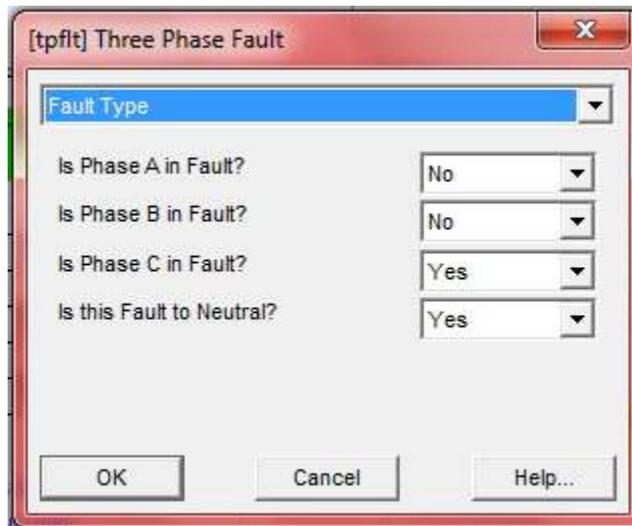
Gambar Pengaturan Waktu Kerja Pengontrolan CB



Gambar Pengaturan Waktu Gangguan



Gambar Pengaturan Vektor *Interlace* Fasor



Gambar Pengaturan Tipe Gangguan 3 Fase (Fasa C ke Tanah)