

**ANALISIS PENGARUH LEPAS DAN MASUK REAKTOR 275 KV
TERHADAP TEGANGAN SWITCHYARD 150 KV GARDU INDUK
TEGANGAN EKSTRA TINGGI (GITET) 275 KV BENGKAYANG**

LAPORAN TUGAS AKHIR

LAPORAN INI DISUSUN UNTUK MEMENUHI SALAH SATU SYARAT
MEMPEROLEH GELAR S1 PADA PRODI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG



DISUSUN OLEH :

**AHMAD AZIZ HARTAWAN
NIM 30602200102**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG
2025**

FINAL PROJECT

**ANALYSIS OF THE 275 KV REACTOR ON-OFF IMPACT TO
THE 150 KV SWITCHYARD IN HIGH VOLTAGE SUBSTATION
BENGKAYANG**

*Proposed to complete the requirement to obtain a bachelor's degree (S1) at
Department of Industrial Engineering, Faculty of Industrial Technology,
Universitas Islam Sultan Agung*



ARRANGED BY :

AHMAD AZIZ HARTAWAN
NIM 30602200102

**MAJORING OF INDUSTRIAL ENGINEERING
INDUSTRIAL TECHNOLOGY FACULTY
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG
2025**

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Laporan Tugas Akhir dengan judul “ANALISIS PENGARUH LEPAS DAN MASUK REAKTOR 275 KV TERHADAP TEGANGAN *SWITCHYARD* 150 KV GARDU INDUK TEGANGAN EKSTRA TINGGI (GITET) 275 KV BENGKAYANG” ini disusun oleh:

Nama : Ahmad Aziz Hartawan
NIM : 30602200102
Program Studi : Teknik Elektro

Telah disahkan dan disetujui oleh dosen pembimbing pada:

Hari : Kamis
Tanggal : 20 Februari 2025

Pembimbing

Tanda Tangan

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



Mengetahui,

Kepala Program Studi Teknik Elektro

Jenny Putri Hapsari, S.T., M.T.
NIDN : 0607018501



070325

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Laporan Tugas Akhir dengan judul “ANALISIS PENGARUH LEPAS DAN MASUK REAKTOR 275 KV TERHADAP TEGANGAN *SWITCHYARD* 150 KV GARDU INDUK TEGANGAN EKSTRA TINGGI (GITET) 275 KV BENGKAYANG” ini telah dipertahankan di depan Penguji sidang Tugas Akhir pada:

Hari : Kamis
Tanggal : 20 Februari 2024

Tim Penguji

Tanda Tangan

Ir. Ida Widiastuti, M.T.

NIDN : 0005036501

Ketua



Prof. Dr. Ir. Hj. Sri Arttini Dwi P., M.Si.

NIDN : 0620026501

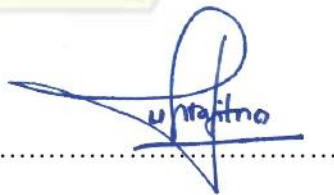
Penguji I



Agus Suprajitno, S.T., M.T.

NIDN : 0602047301

Penguji II



SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ahmad Aziz Hartawan
NIM : 30602200102
Jurusan : Teknik Elektro
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri

Dengan ini saya menyatakan bahwa Tugas Akhir yang diajukan dengan judul **“ANALISIS PENGARUH LEPAS DAN MASUK REAKTOR 275 KV TERHADAP TEGANGAN SWITCHYARD 150 KV GARDU INDUK TEGANGAN EKSTRA TINGGI (GITET) 275 KV BENGKAYANG”** adalah hasil karya sendiri, tidak pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di perguruan tinggi lain maupun ditulis dan diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam daftar pustaka. Tugas Akhir ini adalah milik saya segala bentuk kesalahan dan kekeliruan dalam Tugas Akhir ini adalah tanggung jawab saya.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sadar dan penuh tanggung jawab.

Semarang, 6 Maret 2025

Yang Menyatakan



Ahmad Aziz Hartawan

PERNYATAAN PERSETUJUAN UNGGAH KARYA ILMIAH

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama	: Ahmad Aziz Hartawan
NIM	: 0022334ZY
Program Studi	: Teknik Elektro
Fakultas	: Teknologi Industri

Dengan ini menyerahkan karya ilmiah berupa ~~Tugas Akhir/Skripsi/Tesis/Disertasi*~~ dengan judul :

ANALISIS PENGARUH LEPAS DAN MASUK REAKTOR 275 KV TERHADAP TEGANGAN
SWITCHYARD 150 KV GARDU INDUK TEGANGAN EKSTRA TINGGI (GITET) 275 KV
BENGKAYANG

dan menyetujuinya menjadi hak milik Universitas Islam Sultan Agung serta memberikan Hak Bebas Royalti Non-eksklusif untuk disimpan, dialihmediakan, dikelola dalam pangkalan data, dan dipublikasikannya di internet atau media lain untuk kepentingan akademis selama tetap mencantumkan nama penulis sebagai pemilik Hak Cipta.

Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh. Apabila dikemudian hari terbukti ada pelanggaran Hak Cipta/Plagiarisme dalam karya ilmiah ini, maka segala bentuk tuntutan hukum yang timbul akan saya tanggung secara pribadi tanpa melibatkan pihak Universitas Islam Sultan Agung.

Semarang, 3 Maret 2025
Yang menyatakan,



(Ahmad Aziz Hartawan)

*Coret yang tidak perlu

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kita panjatkan kepada Allah SWT. atas rahmat dan hidayah-Nya yang memberi saya kesempatan untuk menuntut ilmu dan menyelesaikan pendidikan dalam keadaan sehat wal'afiat. Shalawat serta Salam kepada baginda Rasulullah Muhammad SAW. semoga syafaatnya mengiringi setiap langkah kaki kita semua, Aamiin Yaa Robbaalalamin. Penelitian ini diajukan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi Strata Satu (S1) di Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung Semarang. Dalam penyusunannya, banyak pihak yang berperan membantu baik secara moral maupun material. Oleh karena itu saya menyampaikan ucapan banyak terimakasih kepada:

1. Allah SWT. atas rahmat dan hidayah-Nya sehingga saya bisa menyelesaikan penelitian ini.
2. Bapak Prof. Dr. H. Gunarto, SH., M.Hum. selaku Rektor Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
3. Ibu Dr. Ir. Novi Mariyana, ST., MT., IPU., ASEAN, Eng. selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
4. Ibu Jenny Putri Hapsari, ST., MT. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
5. Bapak Ir. Arief Marwanto, ST., M.Eng., Ph.D., IPM selaku Dosen Pembimbing saya yang membimbing, mengarahkan, mengajarkan, serta memberikan motivasi dengan bijak dan penuh kesabaran hingga penyusunan penelitian selesai.
6. Seluruh Dosen jurusan Teknik Elektro Universitas Islam Sultan Agung Semarang atas ilmu dan wawasan yang diajarkan selama masa perkuliahan, serta seluruh Staff Teknik Elektro Universitas Islam Sultan Agung Semarang yang selalu siap membantu dalam berbagai urusan administratif dan teknis selama masa perkuliahan.
7. Bapak, Ibu, serta Saudara-saudara saya tercinta atas dukungan kepada saya berupa materi, kasih sayang, dan doa yang telah diberikan.

8. Teman-teman alumni Politeknik Elektronika Negeri Surabaya yang melanjutkan pendidikan di Universitas Islam Sultan Agung Semarang khususnya Adinda Rahma Satya Meunasah, Ziauddin Haq Vafian Zafiro, M. Agus Rahmad Hidayat, M. Aufa Baharuddin Syah, dan Fikri Fadhillah Muhammad yang telah membantu banyak mulai dari mengajarkan, mengarahkan, serta tempat berdiskusi dan konsultasi sehingga penelitian ini dapat diselesaikan.
9. Ariany Resty Ningtyas Perbawani yang selalu senantiasa memberi semangat tiada hentinya kepada penulis sehingga penulis mendapat dorongan untuk selalu berpogres dalam setiap pengerjaan penelitian.
10. Greesella Sophina Adhalia atas energi positif yang selalu dia pancarkan dalam setiap kegiatan dan cuitannya di sosial media sehingga penulis merasakan hawa positif dalam setiap proses pengerjaan penelitian.
11. M. Khozy Al-Ghifari sebagai sahabat yang selalu bisa menjadi tempat bercerita sehingga dapat melepaskan penat sesaat ketika alam sedang tidak mendukung.
12. Semua pihak di luar yang tertulis dan telah memberikan bantuan hingga selesainya penelitian ini yang tidak dapat disebutkan satu per satu oleh penulis.

Semarang, 11 Februari 2024

Yang menyatakan,

Ahmad Aziz Hartawan

ABSTRAK

Proses Penyaluran daya listrik pada tegangan tinggi 275 kV dapat mengakibatkan lonjakan *switching*, gangguan stabilitas sistem, dan naiknya tegangan ketika kondisi beban rendah. Kasus yang terjadi pada GITET 275 kV Bengkayang adalah kenaikan tegangan sistem di GITET Bengkayang ketika beban rendah akibat efek kapasitif dan efek ferranti pada saluran udara tegangan ekstra tinggi (SUTET) Mambong-Bengkayang yang terbentang sepanjang 127 kilometer. Untuk mengatasi kenaikan tegangan yang berlebihan, dilakukan pemasangan reaktor di GITET Bengkayang guna menghasilkan beban MVAR tambahan dan menurunkan tegangan sistem di GITET Bengkayang.

Untuk mengetahui pengaruh reaktor terhadap tegangan *switchyard* 150 kV di GITET Bengkayang, maka dilakukan penelitian dengan membandingkan nilai tegangan *switchyard* 150 kV GITET Bengkayang sebelum dan sesudah reaktor masuk juga sebelum dan sesudah reaktor lepas. Data *real* di lapangan diambil melalui HMI (*Human Machine Interface*). Untuk mendukung penelitian agar lebih akurat, maka dilakukan simulasi dengan menggunakan aplikasi ETAP untuk menunjang hasil penelitian.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa reaktor efektif menurunkan tegangan pada *switchyard* 150 kV GITET Bengkayang dengan penurunan sebesar 1,01%-1,03% dari tegangan sebelumnya pada simulasi ETAP. Sedangkan penurunan tegangan di lapangan mencapai 0,64%-1,31% dari tegangan sebelumnya. Dengan begitu keandalan sistem GITET Bengkayang akan terjaga.

Kata Kunci: Transmisi, tegangan, kapasitif, GITET, reaktor

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL (BAHASA INDONESIA)	i
HALAMAN JUDUL (BAHASA INGGRIS).....	ii
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING	iii
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI.....	iv
SURAT PERNYATAAN	v
PERNYATAAN PERSETUJUAN UNGGAH KARYA ILMIAH	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
ABSTRAK	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Tujuan.....	3
1.5. Manfaat Penelitian.....	3
1.6. Sistematika Penulisan.....	4
BAB II	5
2.1. Tinjauan Pustaka	5
2.2. Landasan Teori	6
2.2.1. Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET)	6
2.2.2. Gardu Induk Tegangan Ekstra Tinggi (GITET)	8
2.2.3. Sifat Beban Listrik	9
2.2.4. Reaktor	12
BAB III.....	15
3.1. Tahapan Penelitian	15
3.2. Alat dan Bahan.....	17

3.2.1. Reaktor GITET 275kV Bengkayang	17
3.2.2. SAS HMI GITET 275 kV Bengkayang	19
3.2.3. ETAP	19
BAB IV	21
4.1. Hasil Simulasi	21
4.1.1. Simulasi Gejala Transien	21
4.1.2. Simulasi Skenario Pengoperasian Reaktor	23
4.2. Data Lepas dan Masuk Reaktor 275kV GITET Bengkayang	27
4.3. Analisis	32
4.3.1. Analisis Tegangan	32
4.3.2. Analisis Daya Reaktif	34
BAB V	35
5.1. Kesimpulan	35
5.2. Saran	36
DAFTAR PUSTAKA	37



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1.	Peta Kelistrikan Sistem Khatulistiwa	1
Gambar 2. 1.	Peta Saluran Transmisi Tenaga Listrik Kalimantan Barat	7
Gambar 2. 2.	Tower Transposisi	7
Gambar 2. 3.	Gardu Induk Tegangan Ekstra Tinggi 275 kV	8
Gambar 2. 4.	IBT 1 dan IBT 2 GITET 275 kV Bengkayang	9
Gambar 2. 5.	Gardu Induk 150 kV Bengkayang	9
Gambar 2. 6.	Gelombang Beban Resistif	10
Gambar 2. 7.	Gelombang Beban Induktif	11
Gambar 2. 8.	Sifat Beban Kapasitif	11
Gambar 2. 9.	Reaktor Kering	13
Gambar 2. 10.	Reaktor Minyak Terendam	13
Gambar 3. 1.	Single Line Diagram (SLD) GITET 275 kV Bengkayang	15
Gambar 3. 2.	Sistem Model Penelitian	15
Gambar 3. 3.	Diagram Flowchart Penelitian	16
Gambar 3. 4.	Reaktor 275 kV GITET Bengkayang	17
Gambar 3. 5.	Nameplate Reaktor GITET Bengkayang	18
Gambar 3. 6.	SAS HMI GITET 275kV Bengkayang	19
Gambar 3. 7.	Aplikasi ETAP	20
Gambar 4. 1.	Simulasi Gejala Transien	21
Gambar 4. 2.	Setting Simulasi Gejala Transien	21
Gambar 4. 3.	Hasil Simulasi Gejala Transien	22
Gambar 4. 4.	Waktu Saat Tegangan Busbar Stabil	22
Gambar 4. 5.	Simulasi Skenario Pengoperasian Reaktor	23
Gambar 4. 6.	Simulasi Reaktor Lepas	24
Gambar 4. 7.	Simulasi Reaktor Masuk	24
Gambar 4. 8.	Simulasi Matlab Efek Reaktor Terhadap GITET Mambong	26
Gambar 4. 9.	Simulasi Matlab Efek Reaktor Terhadap GITET Bengkayang	26
Gambar 4. 10.	Tegangan Bay Ngabang 2 31 Januari 2025 Pukul 17:25 WIB	33

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1. Hasil Simulasi Skenario Pengoperasian Reaktor	24
Tabel 4. 2. Hasil Simulasi Matlab Pengoperasian Reaktor	25
Tabel 4. 3. Data Monitoring Reaktor 275kV Lepas	28
Tabel 4. 4. Data Monitoring Reaktor 275kV Masuk.....	30



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Provinsi Kalimantan Barat memiliki wilayah yang sangat luas yaitu 147.307 km² dengan jumlah penduduk mencapai 5.541.376 jiwa. Bahkan luas wilayah Provinsi Kalimantan Barat melebihi luas Pulau Jawa yang memiliki luas wilayah 128.297 km². Hal ini menyebabkan antar daerah, kabupaten, atau kota memiliki jarak yang cukup jauh.

Kalimantan Barat memiliki sistem kelistrikan yang biasa disebut sistem khatulistiwa. Sistem khatulistiwa memiliki beberapa sumber pembangkit antara lain PLTU Kalbar, PLTU Bengkayang, PLTU Sanggau, PLTU Sintang, PLTG MPP, PLTG Siantan, dan PLTBM Alaskusuma.



Gambar 1. 1. Peta Kelistrikan Sistem Khatulistiwa

Namun karena ketujuh pembangkit tersebut belum cukup untuk memasok kebutuhan listrik seluruh Kalimantan Barat. Untuk menambah pasokan listrik agar menjangkau lebih banyak daerah di Kalimantan Barat, maka dilakukan impor listrik dari Malaysia (Sarawak Energy Berhad) yang ditransmisikan dari GITET 275 kV Mambong menuju GITET 275 kV Bengkayang. Dengan panjang saluran transmisi mencapai 127 km dan peletakan tower transposisi pada tower 99 Bengkayang-Mambong, maka efek kapasitif yang terjadi pada jaringan transmisi Mambong-Bengkayang tidak dapat dihindarkan. Akibatnya terjadilah kenaikan tegangan pada sisi GITET 275 kV Bengkayang. Bila kenaikan tegangan melebihi batas yang diperbolehkan dalam SK DIR PLN (+5%) maka tegangan lebih ini dapat membahayakan peralatan kelistrikan pada sistem khatulistiwa. Sehingga diperlukan pemasangan reaktor guna menurunkan tegangan lebih. Dengan begitu sistem dan peralatan kelistrikan terjaga dari anomali atau kerusakan, sehingga keandalan sistem dapat terjaga. Untuk mengetahui dampak pemasangan Reaktor maka dilakukan analisis terhadap pengaruh penurunan tegangan pada *Switchyard* 150 kV Bengkayang.

1.2. Perumusan Masalah

1. Bagaimana mengetahui kondisi tegangan *Switchyard* 150 kV GITET 275 kV Bengkayang sebelum dan sesudah Reaktor masuk?
2. Bagaimana mengetahui kondisi tegangan *Switchyard* 150 kV GITET 275 kV Bengkayang sebelum dan sesudah Reaktor lepas?
3. Bagaimana hasil analisis setelah penentuan waktu kapan masuk dan lepasnya Reaktor 275 kV GITET 275 kV Bengkayang terhadap penurunan tegangan?

1.3. Batasan Masalah

Dalam penelitian ini penulis membatasi masalah sebagai berikut:

1. Sistem Kelistrikan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Sistem 275 kV pada GITET Bengkayang dan Sistem 150 kV pada Gardu Induk (GI) Bengkayang.

2. Reaktor yang digunakan adalah Reaktor 275 kV jenis Reaktor terendam minyak pada GITET 275 kV Bengkayang.
3. Penelitian ini hanya menganalisis kapan waktu yang tepat untuk memasukkan dan melepas Reaktor 275 kV serta pengaruhnya terhadap tegangan *Switchyard* 150kV GITET 275 kV Bengkayang.
4. Analisis ini dilakukan dengan menggunakan simulasi analisis efek transien dan simulasi skenario pengoperasian Reaktor dengan aplikasi ETAP.

1.4. Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui kondisi tegangan *Switchyard* 150 kV di GITET 275 kV Bengkayang sebelum dan sesudah Reaktor 275 kV GITET Bengkayang masuk.
2. Mengetahui kondisi tegangan *Switchyard* 150 kV di GITET 275 kV Bengkayang sebelum dan sesudah Reaktor 275 kV GITET Bengkayang lepas.
3. Mengetahui kapan menentukan waktu yang tepat untuk memasukkan atau melepaskan Reaktor 275 kV GITET 275 kV Bengkayang terhadap tegangan yang diturunkan.

1.5. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Bagi mahasiswa dapat digunakan sebagai referensi dan acuan serta menambah wawasan ilmu pengetahuan.
2. Bagi instansi, penelitian ini dapat menambah pengetahuan, wawasan, serta dapat digunakan sebagai data referensi sebagai solusi pada permasalahan tertentu.
3. Bagi masyarakat, penelitian ini dapat menambah wawasan dan pengetahuan terhadap masyarakat.

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika dalam penulisan laporan Skripsi ini adalah sebagai berikut:

BAB 1. PENDAHULUAN

Bab ini merupakan isi informasi penting mengenai latar belakang masalah, tujuan penulisan skripsi, ruang lingkup permasalahan, metodologi penelitian serta sistematika penyusunan skripsi.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

Bab ini berisi teori – teori dasar dari peralatan atau komponen yang digunakan dan juga keterangan-keterangan lain yang mendukung skripsi ini, serta penjelasan berbagai teori penunjang yang terdiri dari Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET), Gardu Induk Tegangan Ekstra Tinggi (GITET), Sifat Kapasitif Listrik, dan Reaktor.

BAB 3. METODE PENELITIAN

Bab ini menjelaskan tentang pendekatan penelitian, metode yang diambil untuk penelitian, proses yang dilakukan dalam penelitian, alat dan bahan yang digunakan selama proses penelitian, dan pengambilan kesimpulan.

BAB 4. DATA DAN ANALISIS

Bab ini mencakup data hasil simulasi, data waktu lepas dan masuk reaktor, data nilai tegangan sebelum dan sesudah reaktor masuk maupun lepas, serta hasil perbandingan antara hasil simulasi dengan data *real* di lapangan.

BAB 5. PENUTUP

Bab ini terdiri dari kesimpulan hasil penelitian serta saran untuk tindak lanjut pada penelitian yang telah dilakukan atau penelitian selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Tinjauan Pustaka yang digunakan sebagai materi pendukung dengan melampirkan abstrak berupa penelitian yang pernah digunakan peneliti terdahulu antara lain:

1. Analisa Pemasangan Kompensator Reaktor *Shunt* dalam Perbaikan Tegangan Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET)-500kV Antara Tasikmalaya-Depok oleh Bintang Unggul P. Penelitian dilakukan dengan cara menghitung menggunakan rumus secara manual nilai tegangan pada saluran transmisi Tasikmalaya-Depok, nilai reaktor dalam satuan *Henry* yang dibutuhkan untuk mengkompensasi kenaikan tegangan, serta nilai tegangan pada saluran transmisi Tasikmalaya-Depok setelah pemasangan reaktor *shunt*. Hasil dari analisis dan perhitungan menunjukkan kompensasi dengan pemasangan reaktor *shunt* dapat menurunkan tingkat tegangan pada saluran transmisi yang ada, khususnya antara Tasikmalaya-Depok[1].
2. Analisis Stabilitas Tegangan Menggunakan Reaktor *Shunt* pada Sistem Transmisi Jamali 500kV Tahun 2018 oleh Eka Rizky Aprierwanto. Penelitian dilakukan dengan mengkombinasikan perhitungan manual dan penggunaan *software* simulasi. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa Pemasangan reaktor *shunt* dapat mengatasi bus *overvoltage* (kelebihan tegangan). Sehingga tingkat kestabilan tegangan dan tegangan sistem masih dalam batas aman[2].
3. Analisa Pengaruh Pemasangan *Shunt Reactor* Terhadap Sistem Tenaga Listrik oleh Aksan dan Satriani Said. Penelitian dilakukan dengan melakukan eksperimen menggunakan *software* simulasi. Kesimpulan dari penelitian yang dilakukan adalah pemasangan *shunt reactor* di sisi penerima mempengaruhi kestabilan parameter sistem sisi penerima dan sisi pengirim[3].

4. Analisa Pengaturan Tegangan Menggunakan Reaktor *Shunt* pada Saluran Transmisi 150 kV Barikin-Tanjung oleh Puhrani Burhan, Setia Graha, dan Joni Riadi. Penelitian dilakukan dengan cara menghitung nilai reaktor dalam satuan *Henry* yang dibutuhkan untuk mengkompensasi tegangan lebih kemudian mensimulasikannya dengan menggunakan *software* simulasi. Hasil penelitian adalah dengan menggunakan reaktor *shunt*, Tegangan transmisi dapat dipertahankan konstan dari 165,7 KV menjadi 150 KV[4].

2.2. Landasan Teori

2.2.1. Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET)

Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) merupakan saluran yang berfungsi untuk mentransmisikan atau menyalurkan tenaga listrik dari sumber/pembangkit menuju Gardu Induk Tegangan Ekstra Tinggi (GITET) atau dari satu GITET menuju GITET lainnya dengan tegangan 275 kV hingga 500 kV. SUTET sendiri terdiri komponen primer dan sekunder. Komponen primer meliputi:

1. Pembawa Arus (Penghantar/Konduktor)
2. Isolasi (Isolator)
3. Struktur (*Tower*)
4. Penghubung

Sedangkan komponen sekunder terdiri dari:

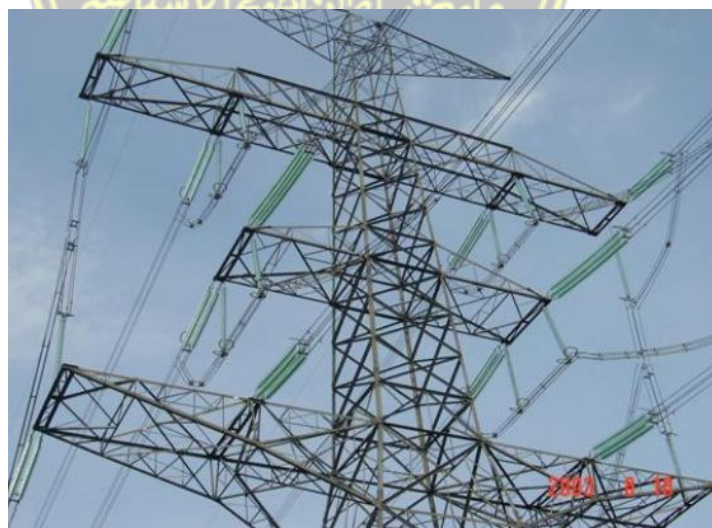
1. Proteksi
2. *Monitoring* dan Pemeliharaan Saluran Transmisi

GITET 275 kV Bengkayang merupakan GITET yang menerima hasil transmisi tenaga listrik dari GITET 275 kV Mambong. Panjang SUTET 275 kV Bengkayang-Mambong mencapai 127 km.



Gambar 2. 1. Peta Saluran Transmisi Tenaga Listrik Kalimantan Barat

Dengan jarak saluran transmisi yang sangat jauh, maka *drop*/jatuh tegangan tidak dapat dihindari. Sehingga untuk mencegah jatuh tegangan yang tinggi maka di pertengahan SUTET 275 kV Bengkayang-Mambong diletakkan *tower* transposisi. *Tower* transposisi adalah *tower* dengan tiang penegang yang berfungsi sebagai tempat perpindahan letak susunan fasa konduktor-konduktor Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) atau Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET)[5]. *Tower* transposisi ini terletak pada *tower* nomor 99 SUTET 275 kV Bengkayang-Mambong.



Gambar 2. 2. Tower Transposisi

Namun dengan adanya *tower* transposisi, muncul masalah baru dimana timbul sifat kapasitif pada SUTET sepanjang *tower* nomor 99 hingga GITET Bengkayang yang menyebabkan tegangan yang diterima oleh GITET Bengkayang melebihi 275 kV. Bila tegangan dibiarkan tinggi melebihi batas maksimal (+5% dari 275 kV) tentunya akan menyebabkan *breakdown* atau kegagalan pada peralatan GITET. Hal ini perlu dihindari agar keandalan listrik tetap terjaga.

2.2.2. Gardu Induk Tegangan Ekstra Tinggi (GITET)

Gardu Induk (GI) merupakan tempat singgah listrik sebelum diteruskan menuju GI lainnya atau disalurkan menuju beban. GI sendiri terdiri dari beberapa peralatan pengoperasian tenaga listrik bertegangan tinggi seperti PMT, PMS, alat *monitoring* seperti PT/CVT dan CT, serta alat pengaman seperti *lightning arrester*. Perbedaan antara GI dan GITET terletak pada nominal tegangan dimana listrik yang diterima atau disalurkan oleh GI memiliki nilai tegangan 70 kV hingga 150 kV sedangkan untuk GITET memiliki nilai tegangan 275 kV hingga 500 kV. Selain itu pada beberapa GITET memiliki *Interbus Transformator* (IBT) yang bertujuan menurunkan tegangan ekstra tinggi menjadi tegangan 150 kV. GITET Bengkayang merupakan GITET dengan tegangan 275 kV dan memiliki 2 bay IBT. Masing-masing bay IBT memiliki 3 IBT (fasa R, fasa S, fasa T).



Gambar 2. 3. Gardu Induk Tegangan Ekstra Tinggi 275 kV



Gambar 2. 4. IBT 1 dan IBT 2 GITET 275 kV Bengkayang

Sedangkan untuk GI Bengkayang memiliki 6 *bay Line*, 2 *bay Trafo*, dan 1 *bay Coupler*.



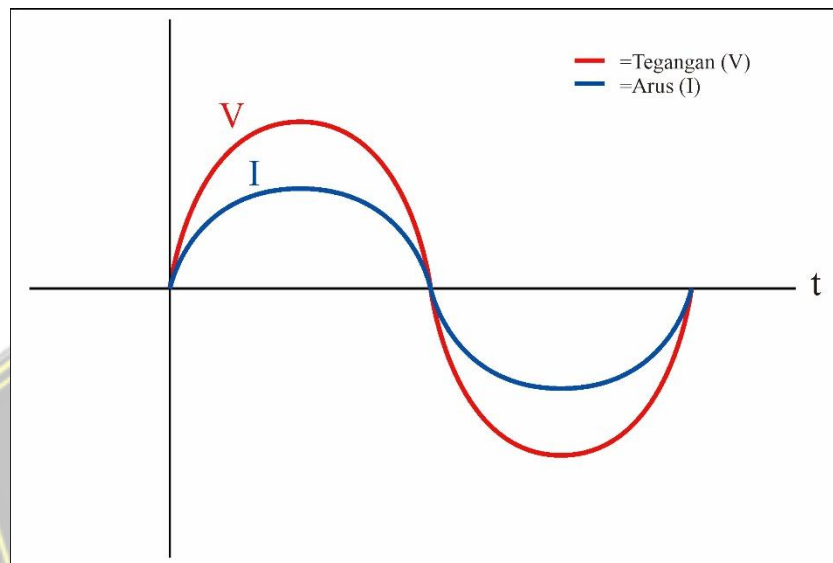
Gambar 2. 5. Gardu Induk 150 kV Bengkayang

2.2.3. Sifat Beban Listrik

Listrik memiliki 3 jenis beban terdiri dari beban resistif, beban induktif, dan beban kapasitif. Setiap beban memiliki sifat dan karakteristik yang berbeda.

2.2.3.1. Beban Resistif

Beban resistif merupakan beban yang memiliki nilai tahanan tetap. Ketika beban resistif dilalui arus, maka beban resistif hanya akan menghasilkan panas. Sifat gelombang dari beban resistif adalah gelombang arus dan gelombang tegangan saling beriringan di waktu atau periode yang sama.

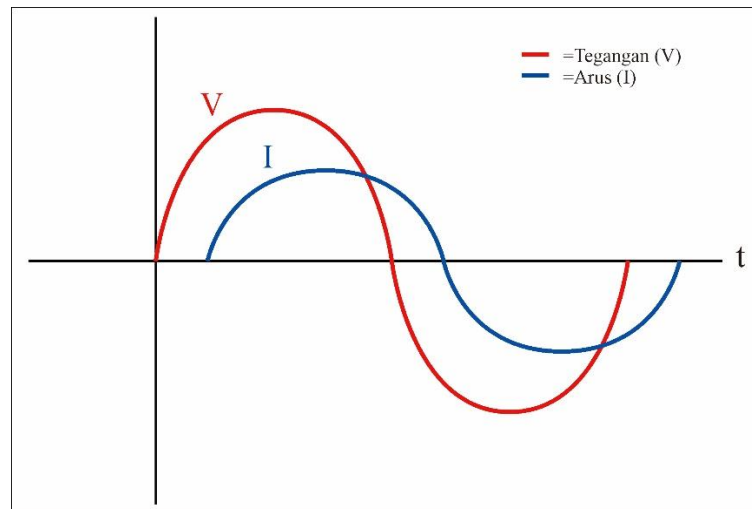


Gambar 2. 6. Gelombang Beban Resistif

Dalam sistem tenaga listrik, beban resistif biasanya berupa beban rumah tangga seperti dari peralatan lampu pijar, setrika, kompor listrik, dan lainnya.

2.2.3.2. Beban Induktif

Beban induktif merupakan beban yang dapat menghasilkan medan magnet saat dialiri arus listrik. Medan magnet timbul dikarenakan arus mengalir pada kumparan. Berbeda dengan beban resistif, sifat gelombang pada beban induktif adalah *lagging* dimana gelombang arus akan terlambat atau tertinggal dari gelombang tegangan.

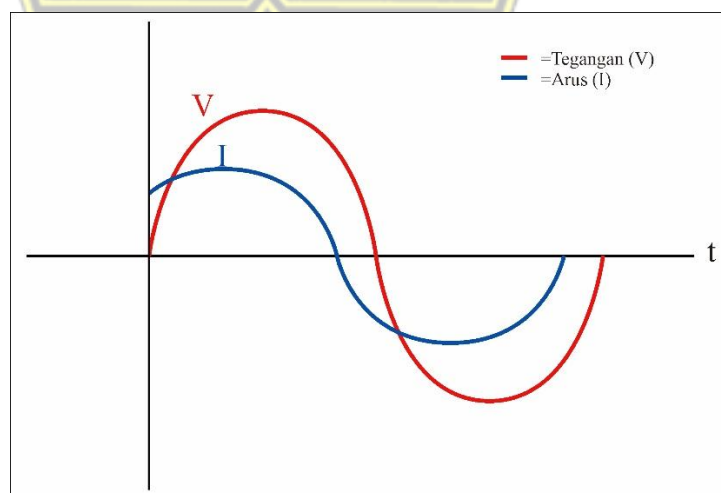


Gambar 2. 7. Gelombang Beban Induktif

Dalam sistem tenaga listrik, beban induktif biasanya berupa pabrik atau industri yang membutuhkan medan magnet untuk menggerakkan motor atau generator.

2.2.3.3. Beban Kapasitif

Beban kapasitif adalah beban yang memiliki sifat kapasitansi atau sifat yang dapat menyerap dan menyimpan listrik dalam waktu sesaat. Beban Kapasitif mengkonsumsi daya aktif dan menghasilkan daya reaktif sehingga beban kapasitif dapat juga digunakan untuk memperbaiki faktor daya. Sifat beban kapasitif adalah *leading* atau gelombang arus mendahului gelombang tegangan.



Gambar 2. 8. Sifat Beban Kapasitif

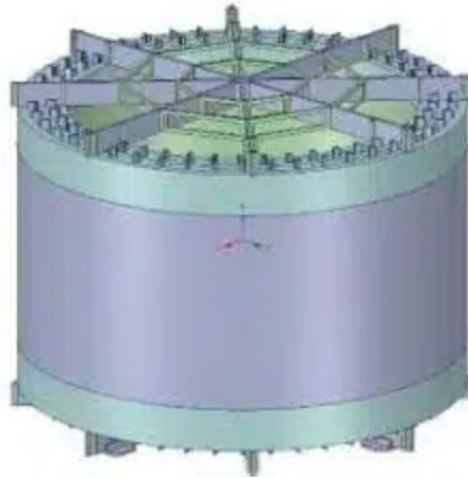
Kasus yang terjadi pada SUTET Mambong-Bengkayang adalah efek kapasitif yang disebabkan oleh kapasitansi dan efek ferranti pada konduktor saluran. Adanya ruang hampa antara konduktor dengan tanah dan akhirnya membentuk sebuah kapasitor yang terhubung secara paralel dengan sistem transmisi. Sifat kapasitif dapat menyebabkan kenaikan tegangan, sehingga tegangan akan terus bertambah sepanjang jalur sistem transmisi. Hal ini menyebabkan terjadinya kenaikan tegangan pada sisi GITET penerima. Bila kenaikan tegangan melebihi batas maksimum toleransi, maka akan membahayakan peralatan serta sistem kelistrikan pada GITET penerima.

2.2.4. Reaktor

Reaktor merupakan sebuah induktor besar yang hanya memiliki satu belitan, berbeda dengan transformator yang memiliki dua belitan atau lebih. Aplikasi pemasangan reaktor dalam sistem tenaga listrik pada prinsipnya untuk membentuk suatu reaktansi induktif dengan tujuan tertentu. Beberapa tujuan tersebut diantaranya adalah membatasi arus gangguan, membatasi arus *inrush* pada motor dan kapasitor, menyaring harmonisa, mengkompensasi VAR, mengurangi arus *ripple*, mencegah masuknya daya pembawa *signal (blocking of power-line carrier)*, pentanahan titik netral, peredam surja *transient (damping of switching transient)*, mereduksi *flicker* pada aplikasi tanur listrik, *circuit detuning*, penyeimbang beban dan *power conditioning*[6]. Terdapat 2 macam jenis reaktor yaitu:

2.2.4.1. Reaktor Kering

Reaktor kering adalah reaktor dengan *body* terbuka yang memungkinkan udara masuk kedalam belitan reaktor. Reaktor jenis ini memiliki kelebihan *losses* yang rendah, berat yang ringan, dan pemeliharaan yang mudah karena tidak perlu melakukan pemeliharaan terhadap minyak reaktor. Sedangkan kekurangannya adalah *rating* tegangan yang rendah yakni 34,5 kV dan menghasilkan medan magnet yang cukup besar di sekitar reaktor.



Gambar 2. 9. Reaktor Kering

2.2.4.2. Reaktor Minyak Terendam

Reaktor Minyak Terendam merupakan reaktor dengan belitan yang terendam oleh minyak. Reaktor jenis ini memiliki kerangka yang mirip dengan trafo dan lebih tertutup dibandingkan dengan reaktor kering sehingga medan magnet yang dihasilkan oleh reaktor ini tertahan di dalam *body* reaktor.



Gambar 2. 10. Reaktor Minyak Terendam

Untuk menghitung nilai induktansi yang dibutuhkan untuk menurunkan tegangan, diawali dengan mencari nilai panjang elektrik saluran:

$$\begin{aligned}\varphi &= \beta \times l \\ \varphi &= \sqrt{ZY} \times l\end{aligned}\quad (2.1)$$

Dimana:

φ : Panjang Elektrik Saluran

l : Panjang Saluran Transmisi

Z : Impedansi (Ohm)

Y : Admitansi (Mho)

Dari persamaan (2.1), nilai admitansi baru untuk menurunkan tegangan dapat dihitung menggunakan rumus:

$$\frac{\varphi'}{\varphi} = \frac{\sqrt{ZY'}}{\sqrt{ZY}} \quad (2.2)$$

Setelah mendapatkan nilai admitansi Y' dilanjutkan mencari nilai induktansi dengan rumus:

$$\frac{Y'}{2} = \frac{Y}{2} - \frac{j}{X_{sh}} \quad (2.3)$$

Dimana:

X_{sh} : Reaktansi Shunt (Ohm)

Setelah menemukan nilai reaktansi shunt, nilai induktansi shunt dapat ditemukan melalui perhitungan:

$$L_{sh} = \frac{X_{sh}}{\omega} \quad (2.4)$$

Dimana:

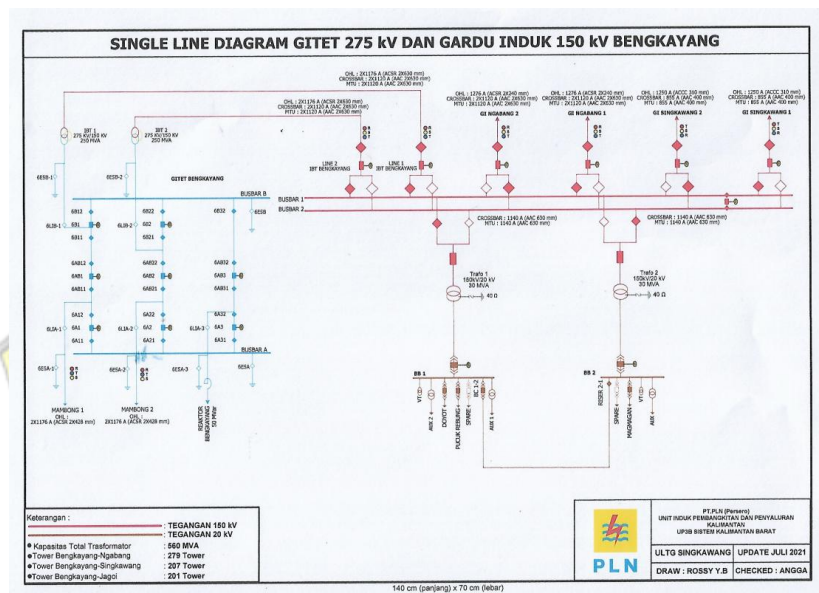
L_{sh} : Induktansi Shunt (Henry)

BAB III

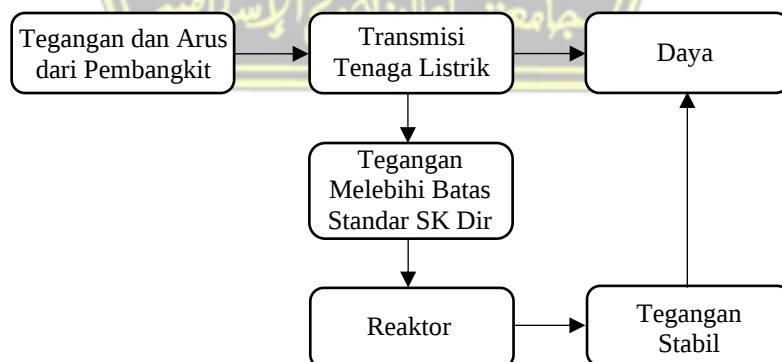
METODE PENELITIAN

3.1. Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilakukan di GITET 275 kV Bengkayang yang berlokasi di Dusun Magmagan, Kec. Lumar, Kab. Bengkayang, Kalimantan Barat. Dimana *Single Line Diagram* GITET 275 kV Bengkayang dapat dilihat pada gambar berikut:



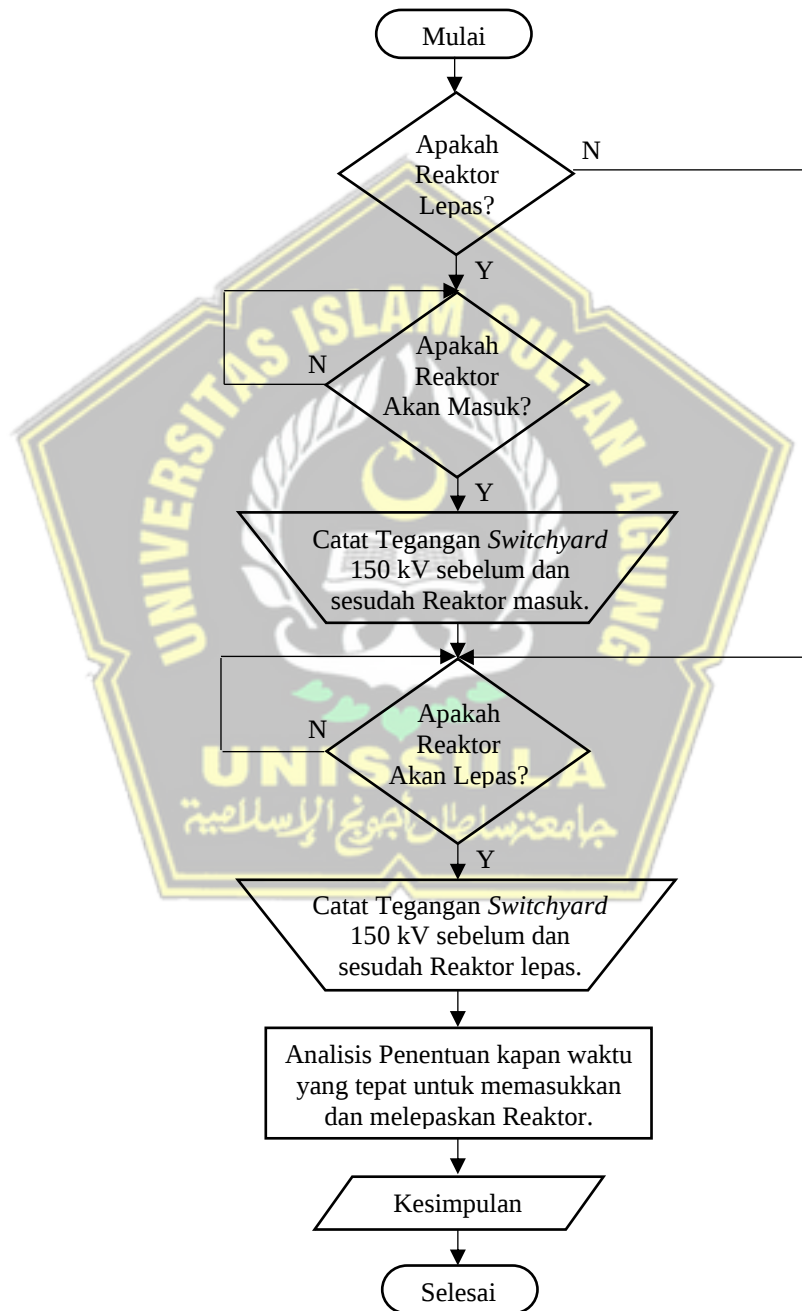
Gambar 3. 1. *Single Line Diagram* (SLD) GITET 275 kV Bengkayang



Gambar 3. 2. Sistem Model Penelitian

GITET Bengkayang memiliki 3 diameter. Diameter 1 terhubung dengan *Line 1* arah GITET 275 kV Mambong dan *bay* IBT 1. Diameter 2 terhubung dengan *Line 2* arah

GITET 275 kV Mambong dan bay IBT 2. Diameter 3 terhubung dengan reaktor. Sedangkan pada sisi *switchyard* 150 kV terdapat 6 bay *Line* yang terdiri dari *Line* 1 dan *Line* 2 Bengkayang-Ngabang, *Line* 1 dan *Line* 2 Bengkayang-Singkawang, *Line* 1 dan *Line* 2 IBT Bengkayang, 2 bay Trafo 150kV, dan 1 bay *Coupler* dengan kondisi *Coupler* masuk. *Flowchart* penelitian dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 3. 3. Diagram *Flowchart* Penelitian

Penelitian dimulai dari pengumpulan data nilai tegangan *switchyard* 150 kV. Data diambil ketika Reaktor 275 kV GITET 275 kV Bengkayang akan dimasukkan maupun dilepaskan. Nilai tegangan *switchyard* 150 kV yang diambil adalah sebelum-sesudah Reaktor masuk dan sebelum-sesudah Reaktor lepas. Dilanjutkan menganalisis batas tegangan pada *switchyard* 150 kV GITET 275 kV Bengkayang untuk memasukkan maupun melepas reaktor. Selanjutnya menganalisis perbedaan nilai tegangan sebelum dan sesudah reaktor masuk, serta sebelum dan sesudah reaktor lepas. Terakhir menyimpulkan hasil penelitian pengaruh reaktor pada tegangan *switchyard* 150 kV GITET 275 kV Bengkayang terhadap penurunan tegangan.

3.2. Alat dan Bahan

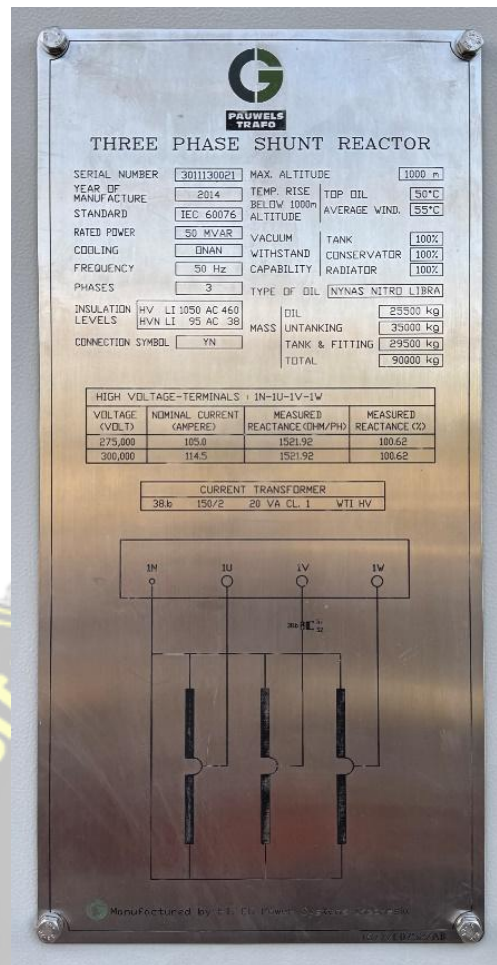
Beberapa alat yang diperlukan dalam penelitian ini antara lain:

3.2.1. Reaktor GITET 275kV Bengkayang

Reaktor ini terletak pada diameter 3 GITET 275 kV Bengkayang dan terpasang secara paralel dengan *Line* 1 dan *Line* 2 Bengkayang-Mambong. Kapasitas reaktor sebesar 50MVAR dan berjenis Reaktor Terendam Minyak.



Gambar 3. 4. Reaktor 275 kV GITET Bengkayang



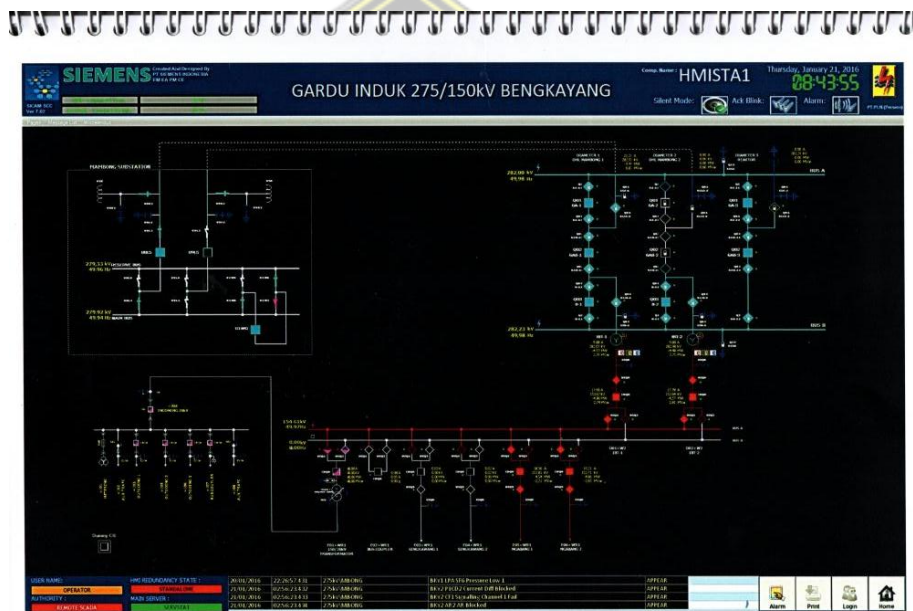
Gambar 3. 5. Nameplate Reaktor GITET Bengkayang

Reaktor GITET 275 kV Bengkayang akan masuk ketika salah satu dari beberapa parameter ini terpenuhi antara lain:

- Tegangan *Busbar/Line* di salah satu GITET 275 kV dibawah naungan SEB (Sarawak Energy Berhad) melebihi 288 kV (*Request* masuk Reaktor 275 kV dari SEB).
- Tegangan *Busbar* 150 kV GI Bengkayang melebihi 159 kV (*Request* masuk Reaktor 275 kV dari *Dispatcher* UP2B Kalbar).
- Tegangan *Busbar* 150 kV GI Ngabang melebihi 159 kV (*Request* masuk Reaktor 275 kV dari *Dispatcher* UP2B Kalbar).
- Tegangan *Busbar* 150 kV GI Sintang melebihi 159 kV (*Request* masuk Reaktor 275 kV dari *Dispatcher* UP2B Kalbar).

3.2.2. SAS HMI GITET 275 kV Bengkayang

SAS HMI (*Substation Automation System Human Machine Interface*) merupakan suatu teknologi yang berfungsi untuk *monitoring* serta kontrol terhadap peralatan Gardu Induk. SAS HMI dapat *me-monitoring* nilai tegangan *switchyard* 150 kV GITET Bengkayang tiap waktunya. Untuk merk SAS HMI yang digunakan di GITET 275 kV Bengkayang adalah merk Siemens. Data waktu masuk dan lepas reaktor, serta nilai tegangan *switchyard* 150kV sebelum dan sesudah reaktor masuk maupun lepas bisa didapatkan atau dilihat melalui *trend* di tiap *bay* pada SAS HMI.



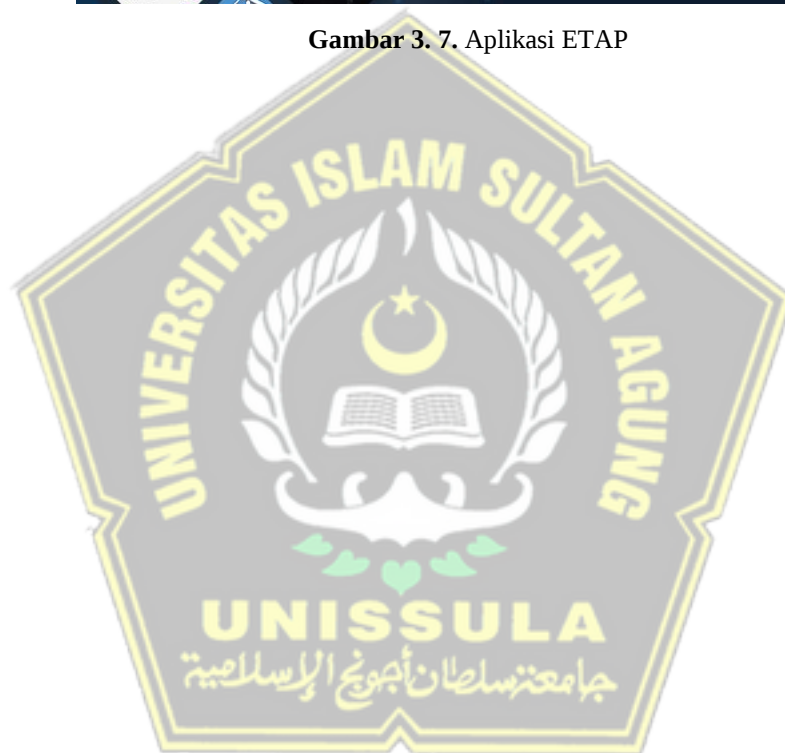
Gambar 3. 6. SAS HMI GITET 275kV Bengkayang

3.2.3. ETAP

ETAP (*Electric Transient and Analysis Program*) merupakan suatu aplikasi yang berfungsi untuk mensimulasikan dan menganalisis aliran daya atau *load flow* dari sistem tenaga listrik. Selain aliran daya, aplikasi ini biasa digunakan juga untuk menganalisis sistem transmisi daya listrik sehingga dapat digunakan untuk mensimulasikan kondisi sistem kelistrikan pada GITET 275 kV Bengkayang.



Gambar 3. 7. Aplikasi ETAP



BAB IV

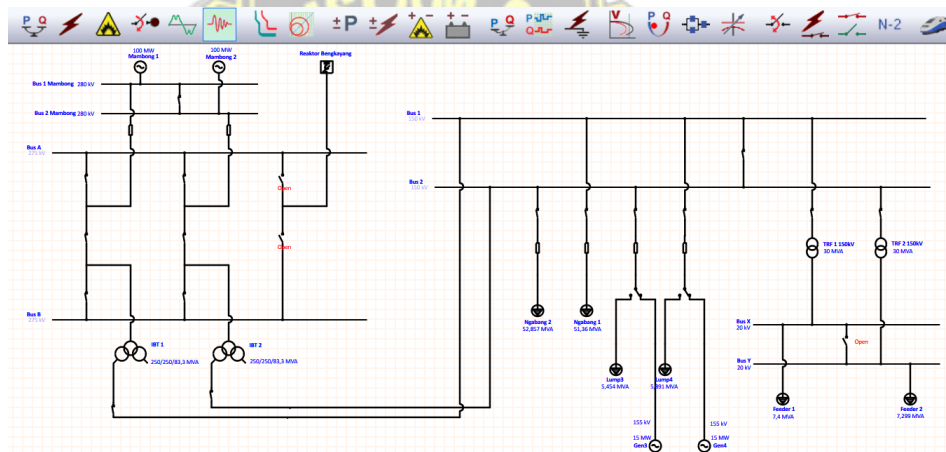
DATA DAN ANALISIS

4.1. Hasil Simulasi

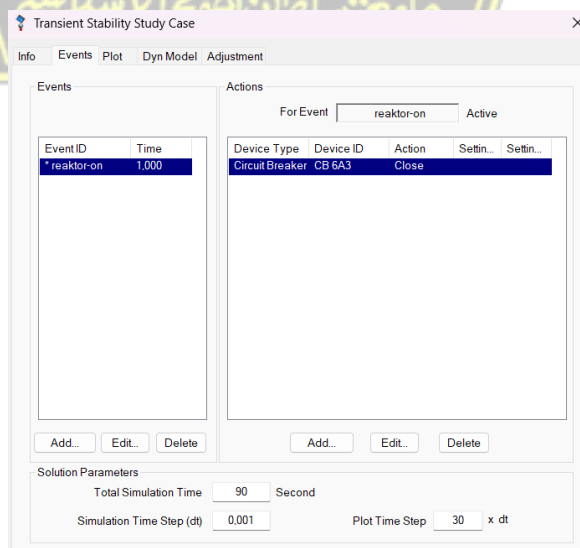
Simulasi dilakukan dalam beberapa 2 skema yakni:

4.1.1. Simulasi Gejala Transien

Simulasi gejala transien dilakukan dengan tujuan untuk memastikan kondisi tegangan pada GITET Bengkayang ketika terjadi proses *switching* PMT saat hendak mengoperasikan reaktor. Simulasi gejala transien dilakukan dengan menggunakan aplikasi ETAP pada menu *Transient Stability*. *Setting* simulasi gejala transien dapat dilihat pada gambar 4.2.

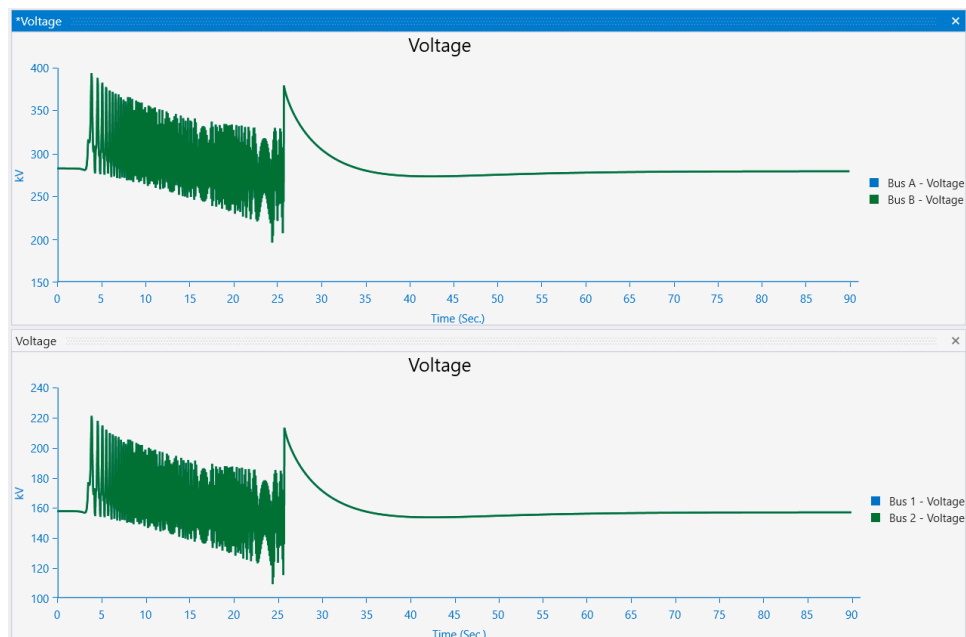


Gambar 4. 1. Simulasi Gejala Transien



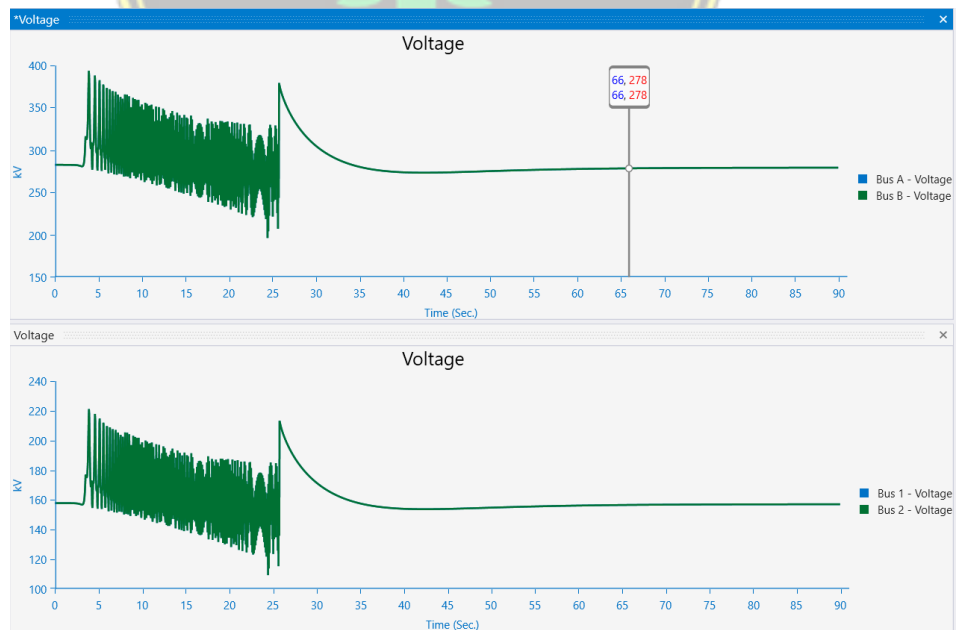
Gambar 4. 2. Setting Simulasi Gejala Transien

Hasil dari simulasi gejala transien dapat dilihat pada gambar 4.3.



Gambar 4. 3. Hasil Simulasi Gejala Transien

Bus A dan *bus B* merupakan busbar pada switchyard 275 kV sedangkan *bus 1* dan *bus 2* merupakan busbar pada switchyard 150 kV. Selama masa transien, tegangan pada keempat busbar mengalami kenaikan dan penurunan tegangan dan mulai stabil setelah 66 detik waktu berjalan.

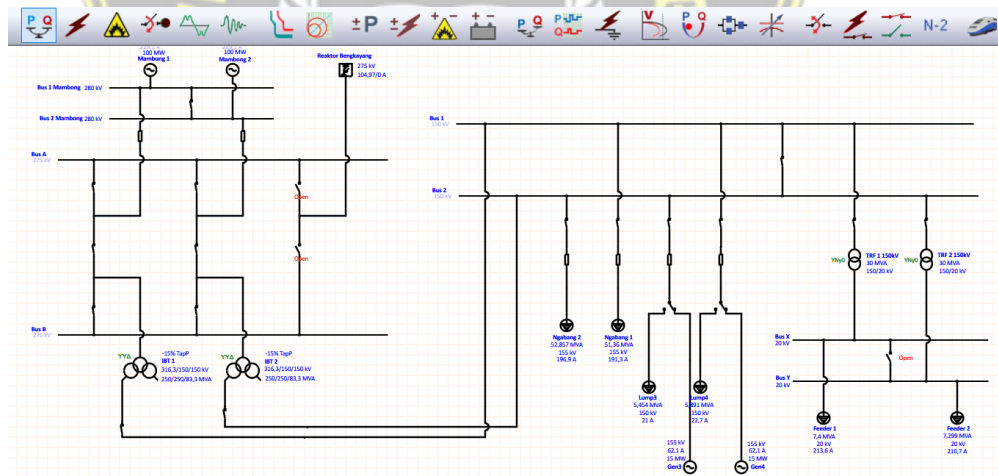


Gambar 4. 4. Waktu Saat Tegangan Busbar Stabil

Hasil simulasi gejala transien menunjukkan bahwa saat proses masuknya reaktor, terjadi lonjakan tegangan akibat dari masuknya *circuit breaker* atau PMT 6A3. Kejadian ini disebut efek Surja *Switching* yang biasa terjadi ketika ada penyambungan atau pelepasan sirkuit listrik dalam kasus penelitian ini adalah masuk dan lepasnya reaktor. Efek surja *switching* akan berakhir kemudian kondisi tegangan pada keempat *busbar* akan kembali stabil setelah 66 detik sejak masuknya PMT reaktor yang dalam simulasi kali ini menggunakan PMT 6A3. Nilai tegangan saat kondisi tegangan *busbar* stabil berada di 278 kV untuk *switchyard* 275 kV dan 156 kV untuk *switchyard* 150 kV menunjukkan bahwa reaktor memberikan efek penurunan tegangan terhadap tegangan keempat *busbar* di GITET Bengkayang.

4.1.2. Simulasi Skenario Pengoperasian Reaktor

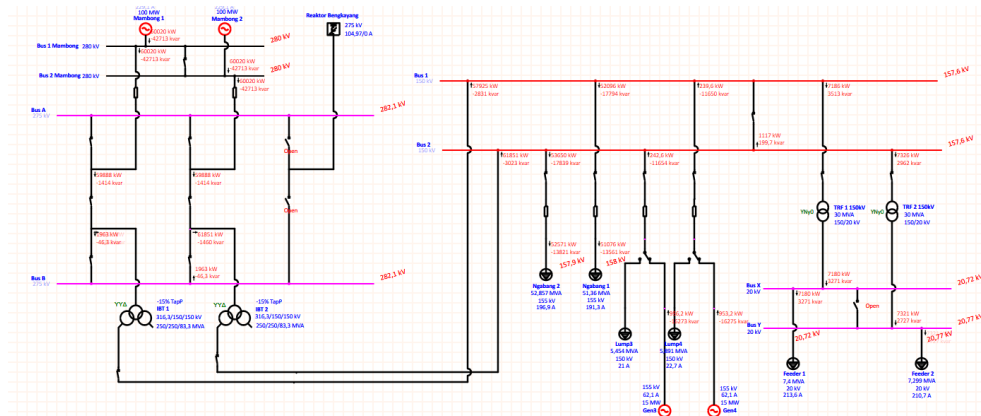
Simulasi ini menguji dan membandingkan nilai tegangan busbar 275 kV dan busbar 150 kV saat reaktor lepas dan masuk. Simulasi dilakukan menggunakan aplikasi ETAP pada menu *Load Flow*.



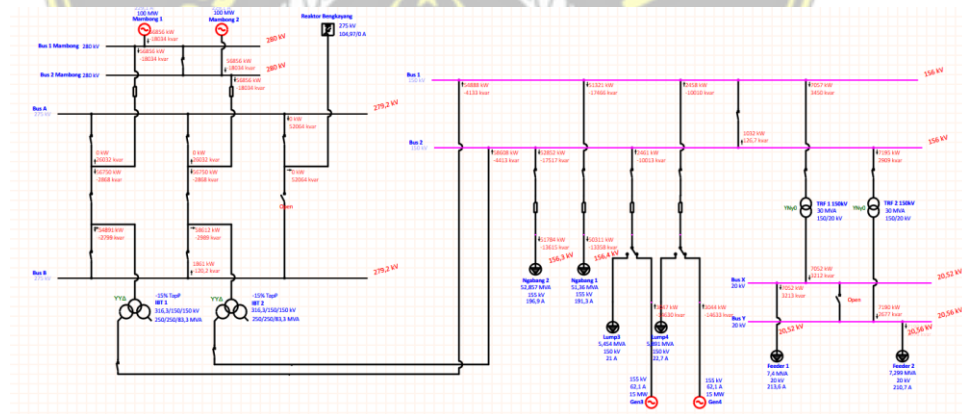
Gambar 4. 5. Simulasi Skenario Pengoperasian Reaktor

Pada simulasi skenario pengoperasian reaktor, *bay line* Singkawang 1 dan Singkawang 2 terlihat memiliki 2 opsi yaitu terhubung dengan *lumped load* atau generator. Hal ini dikarenakan kondisi *real* di lapangan, *bay line* Singkawang 1 maupun Singkawang 2 memiliki 2 peran yakni sebagai beban atau sebagai suplai daya sekaligus kompensator daya reaktif. Namun selama

proses penelitian (30 Desember 2024 - 31 Januari 2025) *bay line* Singkawang 1 dan Singkawang 2 lebih banyak berperan sebagai suplai daya dan kompensator daya reaktif. Sehingga pada simulasi kali ini, *bay line* Singkawang 1 dan Singkawang 2 diilustrasikan sebagai generator. Hasil *running* simulasi dapat dilihat pada gambar 4.6 dan gambar 4.7.



Gambar 4. 6. Simulasi Reaktor Lepas



Gambar 4. 7. Simulasi Reaktor Masuk

Tabel 4. 1. Hasil Simulasi Skenario Pengoperasian Reaktor

Bay	Tegangan saat Reaktor Lepas (kV)	Tegangan saat Reaktor Masuk (kV)	%Tegangan
Bus A 275kV	282,1	279,2	1,03
Bus B 275kV	282,1	279,2	1,03
Bus 1 150kV	157,6	156	1,01
Bus 2 150kV	157,6	156	1,01
Trafo 1 150kV	157,6	156	1,01
Trafo 2 150 kV	157,6	156	1,01

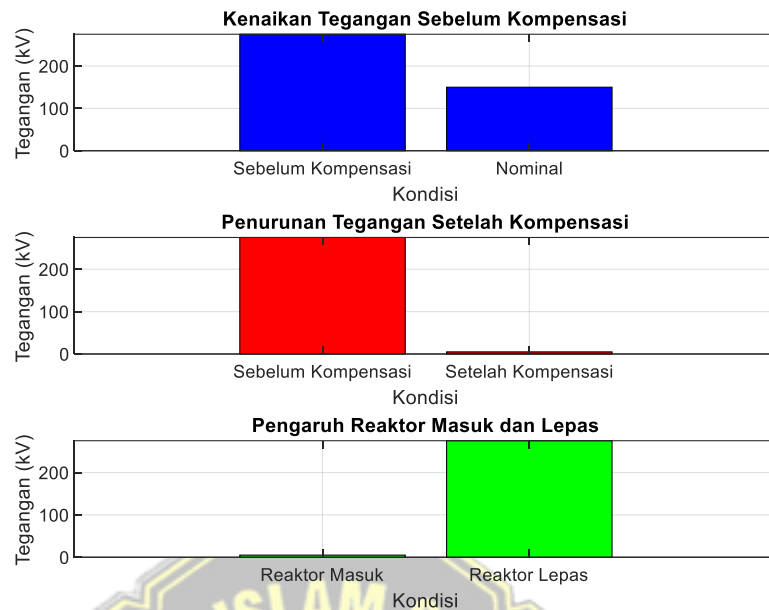
Bay	Tegangan saat Reaktor Lepas (kV)	Tegangan saat Reaktor Masuk (kV)	%Tegangan
Singkawang 1	155	155	0
Singkawang 2	155	155	0
Ngabang 1	158	156,4	1,01
Ngabang 2	157,9	156,3	1,01

Hasil simulasi kali ini menunjukkan bahwa saat reaktor masuk kedalam sistem di GITET Bengkayang, maka tegangan keempat *busbar* dan keempat *bay* di *switchyard* 150 kV GITET Bengkayang (*bay line* 1 Bengkayang-Ngabang, *bay line* 2 Bengkayang-Ngabang, *bay* Trafo 1, dan *bay* Trafo 2) akan mengalami penurunan sebesar 1,01%-1,03% dari tegangan sebelumnya. Pada *bay line* Singkawang 1 dan Singkawang 2 tidak mengalami penurunan tegangan dikarenakan kedua *bay* tersebut disimulasikan sebagai generator sehingga tegangan kedua *bay* tersebut harus dalam keadaan stabil. Simulasi kali ini menunjukkan bahwa reaktor dapat menjadi solusi ketika tegangan di GITET Bengkayang mengalami kenaikan.

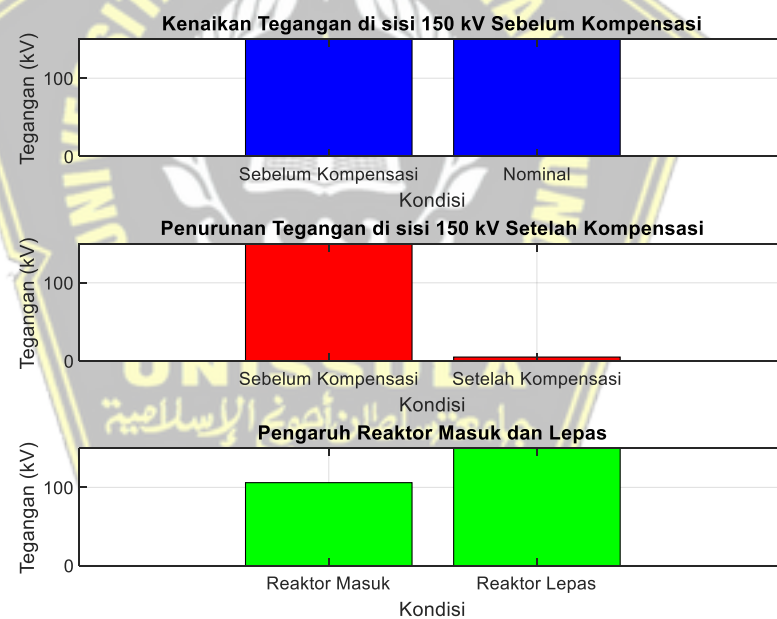
Untuk validasi hasil simulasi ETAP, maka skenario pengoperasian reaktor juga dilakukan menggunakan aplikasi Matlab. Hasil simulasi menggunakan aplikasi Matlab dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2. Hasil Simulasi Matlab Pengoperasian Reaktor

GITET 275 kV Mambong	GITET 150 kV Bengkayang
Kapasitansi Saluran : 0,960000 uF	
Arus Pengisian (275 kV): 82,94 A	Arus Pengisian (150 kV): 45,24 A
Tegangan Tanpa Beban (275 kV): 275,08 kV	Tegangan Tanpa Beban (150 kV): 150,04 kV
Kenaikan Tegangan (275 kV): 125,08 kV	Kenaikan Tegangan (150 kV): 0,04 kV
Penurunan Tegangan (275 kV): 270,10 kV	Penurunan Tegangan (150 kV): 145,07 kV
Tegangan Reaktor Masuk (275 kV): 4,98 kV	Tegangan Reaktor Masuk (150 kV): 106,07 kV
Tegangan Reaktor Lepas (275 kV): 275,16 kV	Tegangan Reaktor Lepas (150 kV): 150,09 kV



Gambar 4. 8. Simulasi Matlab Efek Reaktor Terhadap GITET Mambong



Gambar 4. 9. Simulasi Matlab Efek Reaktor Terhadap GITET Bengkayang

Arus pengisian menandakan terdapat daya reaktif pada saluran transmisi antara Mambong-Bengkayang. Tegangan tanpa beban menunjukkan kondisi tegangan sistem di kedua GITET saat belum terhubung beban. Kenaikan tegangan menunjukkan kondisi tegangan saat GITET mulai terhubung dengan beban namun tidak dalam kondisi beban penuh atau maksimal. Penurunan

tegangan menunjukkan kondisi tegangan saat GITET terhubung dengan beban secara maksimal. Tegangan reaktor masuk menunjukkan tegangan GITET saat reaktor masuk, sedangkan tegangan reaktor lepas menunjukkan kondisi tegangan GITET saat reaktor dilepas. Saat reaktor masuk terjadi penurunan tegangan pada GITET Mambong dan GITET Bengkayang. Namun penurunan tegangan di GITET 275 kV Mambong sangat signifikan dimana tegangan hanya bernilai 4,98 kV sedangkan tegangan *switchyard* 150 kV GITET Bengkayang bernilai 106,07 kV. Hal ini menunjukkan bahwa reaktor sukses menurunkan tegangan terhadap kedua GITET. Penjelasan mengenai mengapa penurunan tegangan di GITET Mambong sangat besar berkaitan dengan stabilitas sistem dan kapasitas saluran. Sistem 275 kV memiliki kapasitas saluran yang besar sehingga membutuhkan waktu lebih lama untuk mencapai nilai stabilnya. Sedangkan nilai yang tercatat dalam hasil simulasi merupakan nilai sesaat setelah reaktor masuk. Pada *switchyard* 150 kV GITET Bengkayang tidak terjadi hal serupa dikarenakan kapasitas saluran 150 kV tidak sebesar pada saluran 275 kV sehingga tidak terlalu rentan terhadap fluktuasi tegangan dan tidak membutuhkan waktu selama yang dibutuhkan sistem 275 kV untuk mencapai kondisi stabilnya. Kemudian ketika reaktor dilepas tegangan di GITET 275 kV Mambong dan *switchyard* 150 kV GITET Bengkayang akan kembali normal mendekati tegangan nominal. Hal ini menunjukkan bahwa pelepasan reaktor dapat menaikkan tegangan.

4.2. Data Lepas dan Masuk Reaktor 275kV GITET Bengkayang

Proses manuver reaktor 275 kV terekap dalam SAS HMI. Berikut adalah data tegangan *switchyard* 150 kV GITET 275 kV Bengkayang meliputi parameter tegangan, arus, daya aktif, daya reaktif sebelum dan sesudah reaktor lepas/masuk. Untuk data lepasnya reaktor dapat dilihat pada Tabel 4.3 sedangkan data masuknya reaktor dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4. 3. Data Monitoring Reaktor 275kV Lepas

Tanggal	Bay	Tegangan Sebelum (kV)	Tegangan Sesudah (kV)	Arus Sebelum (A)	Arus Sesudah (A)	MW Sebelum	MW Sesudah	MVAR Sebelum	MVAR Sesudah	%Teg.
30-12-24	Trafo 1	153	155	23,93	23,89	6,05	6,09	0,86	0,92	-1,31
	Trafo 2	153	155	25,39	25,55	6,22	6,29	2	2,09	-1,31
	Skw 1	153	154	52,73	51	-11,69	-11,16	2,83	5,23	-0,65
	Skw 2	153	154	45	49	-11,38	-11,18	2,88	5,28	-0,65
	Ngb 1	152	153	207	203	56,71	58,1	-14,52	-12,96	-0,66
	Ngb 2	155	157	207	204	51,88	51,89	-14,93	-13,54	-1,29
31-12-24	Trafo 1	153	155	22,16	22,05	5,61	5,65	0,8	0,86	-1,31
	Trafo 2	153	154	25,31	25,45	6,2	6,27	2,06	2,13	-0,65
	Skw 1	153	154	37,1	42,78	-9,24	-9,35	-1,11	3,5	-0,65
	Skw 2	153	154	37	43	-9,51	-9,93	-1,16	3,57	-0,65
	Ngb 1	152	153	205	202	56,42	56,8	-14,26	-12,8	-0,66
	Ngb 2	155	157	206	202	51,48	51,79	-14,6	-13,2	-1,29
02-01-25	Trafo 1	153	154	22,76	22,76	5,72	5,75	0,7	0,79	-0,65
	Trafo 2	153	154	24,22	24,4	6	6,04	1,91	1,95	-0,65
	Skw 1	152	154	43,57	45,76	-10,68	-10,86	-1,25	3,37	-1,32
	Skw 2	153	154	43	44	-10,79	-10,22	-1,39	3,43	-0,65
	Ngb 1	151	153	202	201	50,54	51,07	-10,65	-9,04	-1,32
	Ngb 2	155	156	201	200	51,43	52,13	-10,99	-9,28	-0,65
03-01-25	Trafo 1	153	155	23,37	23,05	5,93	5,97	0,85	0,93	-1,31
	Trafo 2	153	155	24,18	24,38	6,02	6,08	1,92	2,02	-1,31
	Skw 1	153	154	7,43	15,56	-1,78	-1,28	-1,93	3	-0,65
	Skw 2	153	155	6,99	13	0,02	-0,82	-2	2,76	-1,31
	Ngb 1	152	153	213	214	53,44	54,51	-13,52	-11,95	-0,66
	Ngb 2	155	157	217	215	54,84	54,91	-14,08	-12,33	-1,29
06-01-25	Trafo 1	154	155	23,15	23,21	5,86	5,88	0,91	0,97	-0,65
	Trafo 2	154	155	20,86	21,17	5,09	5,15	1,74	1,86	-0,65
	Skw 1	153	155	45,88	52,17	-12,31	-13,06	0,34	5,04	-1,31
	Skw 2	153	155	44	52	-12,32	-11,52	0,1	4,91	-1,31
	Ngb 1	152	154	197	192	47,72	48,19	-15,83	-14,38	-1,32
	Ngb 2	156	157	196	194	48,76	48,16	-15,76	-14,64	-0,64

Tanggal	Bay	Tegangan Sebelum (kV)	Tegangan Sesudah (kV)	Arus Sebelum (A)	Arus Sesudah (A)	MW Sebelum	MW Sesudah	MVAR Sebelum	MVAR Sesudah	%Teg.
08-01-25	Trafo 1	154	155	20,99	21,01	5,33	5,35	0,86	0,95	-0,65
	Trafo 2	154	155	19,85	20	4,68	4,93	1,56	1,67	-0,65
	Skw 1	153	155	36,05	40,73	-8,5	-9,09	-0,39	4,17	-1,31
	Skw 2	154	155	35	40	-8,75	-9,1	-0,48	4,25	-0,65
	Ngb 1	152	154	207	203	56,43	56,93	-15,26	-13,59	-1,32
	Ngb 2	156	157	206	204	51,66	51,7	-15,58	-13,92	-0,64
09-01-25	Trafo 1	154	155	21,46	21,43	5,42	5,47	0,81	0,9	-0,65
	Trafo 2	153	155	19,99	20,05	4,89	4,96	1,57	1,72	-1,31
	Skw 1	153	155	12,01	12,99	2,57	1,69	-2,4	2,43	-1,31
	Skw 2	153	155	10	12	2,77	1,64	-2,45	2,46	-1,31
	Ngb 1	152	154	216	213	53,2	53,55	-14	-12,94	-1,32
	Ngb 2	155	157	216	213	54,01	54,88	-14,94	-13,31	-1,29
10-01-25	Trafo 1	154	156	18,87	18,71	4,83	4,87	0,34	0,4	-1,30
	Trafo 2	154	156	20,61	20,58	5,08	5,1	1,51	1,6	-1,30
	Skw 1	154	155	6,89	17,43	-1,61	-1,21	-0,92	3,92	-0,65
	Skw 2	154	156	8,53	17	-1,77	-0,81	-0,9	3,93	-1,30
	Ngb 1	153	154	193	193	47,39	48,52	-14,45	-12,53	-0,65
	Ngb 2	156	158	193	191	48,67	49,15	-14,81	-12,82	-1,28
16-01-25	Trafo 1	152	154	16,12	16,12	4,12	4,11	0,39	0,46	-1,32
	Trafo 2	153	154	19,41	19,26	4,8	4,79	1,49	1,63	-0,65
	Skw 1	153	154	10,54	14,67	2,06	2,53	-1,21	2,95	-0,65
	Skw 2	152	154	11	15	2,77	2,23	-1,55	3,04	-1,32
	Ngb 1	152	153	180	177	45,09	44,82	-11,64	-8,9	-0,66
	Ngb 2	155	156	182	177	46,21	45,9	-11,9	-9,13	-0,65
17-01-25	Trafo 1	153	154	23,24	23,24	5,88	5,93	0,75	0,84	-0,65
	Trafo 2	153	154	20,03	20,14	4,89	4,92	1,54	1,63	-0,65
	Skw 1	152	154	44,85	49,57	-10,9	11,3	0,18	4,91	-1,32
	Skw 2	152	154	44	47	-10,56	-10,17	1,06	4,67	-1,32
	Ngb 1	151	153	211	213	52,5	53,59	-12,69	-10,81	-1,32
	Ngb 2	155	156	211	209	53,53	54,15	-13,03	-11,81	-0,65
24-01-25	Trafo 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
	Trafo 2	153	155	36,99	37,16	9,31	9,4	2,4	2,55	-1,31
	Skw 1	153	155	19,49	13,82	2,55	2,61	-5,29	-0,73	-1,31

Tanggal	Bay	Tegangan Sebelum (kV)	Tegangan Sesudah (kV)	Arus Sebelum (A)	Arus Sesudah (A)	MW Sebelum	MW Sesudah	MVAR Sebelum	MVAR Sesudah	%Teg.
24-01-25	Skw 2	153	155	20,71	8,55	2,69	2,27	-4,08	-1,75	-1,31
	Ngb 1	152	154	229	226	57,07	57,44	-13,05	-11,96	-1,32
	Ngb 2	155	157	230	225	58,62	58,8	-13,73	-12,35	-1,29

Keterangan:

Skw : Singkawang

Ngb : Ngabang

Tabel 4. 4. Data Monitoring Reaktor 275kV Masuk

Tanggal	Bay	Tegangan Sebelum (kV)	Tegangan Sesudah (kV)	Arus Sebelum (A)	Arus Sesudah (A)	MW Sebelum	MW Sesudah	MVAR Sebelum	MVAR Sesudah	%Teg.
30-12-24	Trafo 1	155	153	23,82	23,76	6,18	6,14	0,44	0,39	1,29
	Trafo 2	155	153	27,63	27,5	6,98	6,89	2,55	1,72	1,29
	Skw 1	154	152	41,96	40,89	-9,06	-9,74	4,34	-1,33	1,30
	Skw 2	155	153	44,9	41,17	-9,25	-9,9	4,26	-0,21	1,29
	Ngb 1	153	151	242	244	60,93	61,44	-14,38	-15,76	1,31
	Ngb 2	157	155	241	244	63	62,44	-14,74	-16,37	1,27
31-12-24	Trafo 1	156	154	29,13	29,22	7,64	7,58	1,02	0,49	1,28
	Trafo 2	155	154	28,46	28,28	7,25	7,18	2,95	1,81	0,65
	Skw 1	155	154	79,35	74,52	-18,4	-18,4	7,27	2,47	0,65
	Skw 2	155	154	79,79	74,06	-18,71	-18,37	7,08	2,41	0,65
	Ngb 1	154	153	210	210	52,42	51,22	-15,52	-17,14	0,65
	Ngb 2	157	156	210	211	53	52,7	-15,89	-17,56	0,64
02-01-24	Trafo 1	155	153	24,73	24,7	6,46	6,36	0,41	0,32	1,29
	Trafo 2	155	153	26,65	26,56	6,84	6,74	2,7	1,68	1,29
	Skw 1	154	153	50,53	48,94	-11,34	-11,6	4,5	-0,23	0,65
	Skw 2	155	153	50	47,47	-10,07	-11,79	4,43	-1,51	1,29
	Ngb 1	153	152	197	194	49,64	48,23	-11,45	-13,18	0,65
	Ngb 2	157	155	197	195	51,12	49,56	-11,75	-13,44	1,27
03-01-25	Trafo 1	155	153	26,78	26,99	7	6,96	0,45	0,47	1,29
	Trafo 2	155	153	27,37	27,49	7,02	6,97	2,67	1,64	1,29
	Skw 1	154	152	79,5	77,58	-17,83	-17,96	6,29	0,32	1,30

Tanggal	Bay	Tegangan Sebelum (kV)	Tegangan Sesudah (kV)	Arus Sebelum (A)	Arus Sesudah (A)	MW Sebelum	MW Sesudah	MVAR Sebelum	MVAR Sesudah	%Teg.
03-01-25	Skw 2	155	153	76	75	-18,66	-18,41	6,06	0,96	1,29
	Ngb 1	153	152	226	226	57,04	56,31	-13,35	-14,94	0,65
	Ngb 2	157	155	226	227	58,28	57,35	-13,69	-15,26	1,27
06-01-25	Trafo 1	155	153	24,62	24,59	6,38	6,31	0,46	0,35	1,29
	Trafo 2	155	153	23	22,84	5,81	5,74	1,47	1,38	1,29
	Skw 1	154	153	79,31	77,71	-18,29	-18,59	7,25	2,55	0,65
	Skw 2	155	153	80	76	-18,88	-18,03	7,11	2,35	1,29
	Ngb 1	154	152	233	230	59,01	57,68	-14,3	-16,08	1,30
	Ngb 2	157	155	231	232	59,88	59,32	-14,57	-16,62	1,27
08-01-25	Trafo 1	156	154	25,51	25,55	6,67	6,59	0,45	0,38	1,28
	Trafo 2	156	154	22,91	22,85	5,84	5,76	1,69	1,32	1,28
	Skw 1	155	153	45,79	43,38	-9,53	-10,56	4,74	-0,12	1,29
	Skw 2	155	153	46	41,54	-10,28	-11,06	4,67	-0,13	1,29
	Ngb 1	154	152	212	216	53,27	52,74	-16,51	-18,07	1,30
	Ngb 2	158	156	215	214	54,36	53,79	-16,99	-17,59	1,27
09-01-25	Trafo 1	155	154	30,28	29,92	7,73	7,73	1,7	0,56	0,65
	Trafo 2	155	154	24,85	23,83	6,2	6,02	1,68	1,32	0,65
	Skw 1	155	153	78,7	76,41	-18,74	-18,88	4,07	-0,44	1,29
	Skw 2	155	153	75	74	-18,31	-18,62	4,04	-2,6	1,29
	Ngb 1	154	152	252	250	62,54	61,7	-16,9	-17,77	1,30
	Ngb 2	157	156	252	250	63,69	62,66	-16,61	-18,44	0,64
10-01-25	Trafo 1	156	154	27,88	26,63	6,96	6,88	1,88	0,52	1,28
	Trafo 2	156	154	30,3	28,75	5,75	5,77	3,6	1,35	1,28
	Skw 1	156	154	72,67	64,1	-15,5	-15,85	6,82	2,24	1,28
	Skw 2	156	154	68	65	-14,68	-16,23	6,63	2,19	1,28
	Ngb 1	155	153	220	221	55,54	54,33	-15,76	-17,45	1,29
	Ngb 2	158	156	219	223	56,47	56,32	-16,35	-17,99	1,27
16-01-25	Trafo 1	155	153	24,74	21,56	5,57	5,52	1,17	0,28	1,29
	Trafo 2	155	154	19,58	19,54	4,95	4,88	1,66	1,22	0,65
	Skw 1	155	153	39,35	35,25	-7,12	-7,94	5,86	1,2	1,29
	Skw 2	155	153	40	34	-7,25	-8,2	5,83	1,07	1,29
	Ngb 1	154	152	234	232	59,45	58,76	-13,05	-14,52	1,30
	Ngb 2	157	156	233	232	60,44	59,56	-13,51	-14,87	0,64

Tanggal	Bay	Tegangan Sebelum (kV)	Tegangan Sesudah (kV)	Arus Sebelum (A)	Arus Sesudah (A)	MW Sebelum	MW Sesudah	MVAR Sebelum	MVAR Sesudah	%Teg.
17-01-25	Trafo 1	155	153	26,23	24,44	6,4	6,4	1,48	0,36	1,29
	Trafo 2	155	153	21,6	21,45	5,46	5,39	2,74	1,34	1,29
	Skw 1	155	153	14,2	6,61	0,12	-0,01	3,07	-1,9	1,29
	Skw 2	155	153	10,13	6,69	0,64	0,03	2,97	-1,87	1,29
	Ngb 1	154	152	220	220	54,71	54,06	-13,98	-15,9	1,30
	Ngb 2	157	155	220	220	56,2	55,6	-14,39	-15,93	1,27
24-01-25	Trafo 1	155	153	19,66	19,64	5,15	5,06	0,25	0,11	1,29
	Trafo 2	155	153	23,99	22,29	5,36	5,3	1,75	1,19	1,29
	Skw 1	155	153	5,52	16,19	2,12	1,99	-0,55	-5,57	1,29
	Skw 2	155	153	4,63	16,68	1,91	1,93	-0,1	-4,81	1,29
	Ngb 1	154	152	247	249	63,55	63,01	-12,94	-13,87	1,30
	Ngb 2	157	155	251	250	64,73	64,48	-13,16	-14,17	1,27

Keterangan:

Skw : Singkawang

Ngb : Ngabang

4.3. Analisis

Pada hasil *monitoring* lepas dan masuknya reaktor, dapat dilihat bahwa nilai yang berubah secara konsisten selalu turun adalah tegangan dan daya reaktif (MVAR). Maka analisis akan dibagi menjadi 2 yakni analisis tegangan dan daya reaktif.

4.3.1. Analisis Tegangan

Hasil *monitoring* menunjukkan bahwa ketika beban rendah atau arus mengecil, maka nilai tegangan akan meningkat. Dari Tabel 4.4 dapat kita lihat bahwa tegangan pada *switchyard* 150kV GITET Bengkayang dapat meningkat 2,67%-5,33% dari tegangan nominal 150kV. *Bay line* Ngabang 2 selalu memiliki tegangan tertinggi diantara *bay* lainnya yang mencapai 158 kV pada tanggal 8 dan 10 Januari 2025. Ketika tegangan pada *bay line* Ngabang 2 sudah mencapai 157 kV hingga 158 kV, maka reaktor akan masuk guna menurunkan tegangan seluruh *bay* pada *switchyard* 150kV. Penurunan tegangan mencapai

0,64%-1,31% dari tegangan sebelumnya. Tegangan tertinggi masih dimiliki oleh *bay line* Ngabang 2 dengan nilai tegangan dapat mencapai 156 kV (+4% dari tegangan nominal). Tetapi, kondisi di lapangan menyatakan semakin malam maka beban akan semakin menurun dan nilai tegangan akan meningkat kembali. Tepantau dari HMI bahwa dalam kondisi reaktor masuk, tegangan *bay line* Ngabang 2 masih bisa meningkat hingga 159 kV.



Gambar 4. 10. Tegangan *Bay* Ngabang 2 31 Januari 2025 Pukul 17:25 WIB

Dari gambar 4.10, tegangan *bay line* Ngabang 2 untuk fasa R-S mencapai 158 kV dan fasa T-R mencapai 159 kV saat kondisi reaktor 275 kV masuk. Bila dalam kondisi tegangan setinggi 159 kV reaktor dilepas, bukan tidak mungkin tegangan akan meningkat melebihi 160 kV bahkan mendekati batas maksimal

165 kV (+10% tegangan nominal) yang tentunya akan membahayakan peralatan. Sehingga keputusan memasukkan reaktor saat tegangan *bay line* Ngabang 2 mencapai 157 kV-158 kV merupakan suatu keputusan yang tepat.

Kemudian di pagi hari ketika manusia mulai melakukan aktivitas arus akan meningkat secara perlahan dan menyebabkan tegangan menurun. Dapat dilihat pada Tabel 4.3 bahwa sebelum reaktor masuk, tegangan bisa menurun hingga ke angka 151 kV di *bay line* Ngabang 1. Bila reaktor dibiarkan masuk, bukan tidak mungkin tegangan bisa semakin menurun hingga di bawah 150 kV seiring menambahnya jumlah beban. Sehingga reaktor dilepas untuk menaikkan tegangan kembali. Kenaikan tegangan setelah reaktor dilepas mencapai 0,64%-1,32% dari tegangan sebelumnya. Dengan begitu, melepas reaktor saat ada tegangan *bay* di *switchyard* 150 kV yang menyentuh nilai 151 kV merupakan keputusan yang tepat dalam rangka menjaga kestabilan dan keandalan sistem.

4.3.2. Analisis Daya Reaktif

Dari Tabel 4.4, dapat kita ketahui bahwa setiap reaktor masuk maka nilai MVAR akan selalu menurun di semua *bay* di *switchyard* 150 kV. Menurunnya tegangan ini tidak lepas dari daya reaktif yang dihasilkan oleh reaktor. Daya reaktif dari reaktor menyebabkan penambahan beban pada sistem 275 kV GITET Bengkayang sehingga dengan adanya penambahan beban dapat menurunkan tegangan di GITET Bengkayang. Hal sebaliknya terjadi ketika reaktor dilepas. Pada Tabel 4.3, terlihat nilai MVAR pada saat reaktor dilepas mengalami kenaikan. Pada proses ini sistem melepas beban reaktif yang menurunkan tegangan untuk mempersiapkan kapasitas daya listrik seiring dengan berjalannya aktivitas manusia. Tegangan kemudian akan meningkat sementara karena melepas beban reaktif dan kemudian akan perlahan turun kembali saat arus beban meningkat. Dengan begitu, reaktor berperan sebagai beban reaktif yang dapat menurunkan tegangan di GITET Bengkayang.

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, kesimpulan yang dapat diambil adalah:

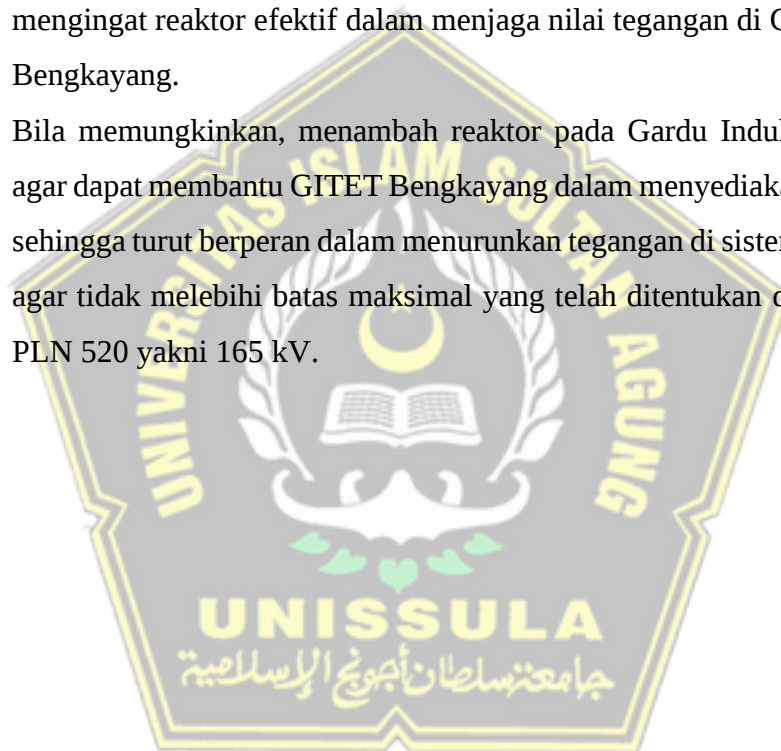
1. Hasil penelitian menunjukkan reaktor 275 kV Bengkayang efektif dalam menurunkan tegangan keenam *bay* di *switchyard* 150kV GITET Bengkayang dengan penurunan tegangan mencapai 0,64%-1,31% dari tegangan sebelumnya.
2. Hasil penelitian menunjukkan ketika arus mulai meningkat, tegangan akan semakin menurun sehingga ketika reaktor dilepas, tegangan keenam *bay* di *switchyard* 150 kV akan meningkat kembali dengan peningkatan 0,64%-1,32% dari tegangan sebelumnya.
3. Reaktor 275 kV GITET Bengkayang dimasukkan ketika salah satu tegangan *bay line* di *switchyard* 150 kV GITET Bengkayang mencapai 157kV. Sedangkan Reaktor 275 kV GITET Bengkayang dilepas ketika salah satu tanganan tegangan *bay line* di *switchyard* 150 kV GITET Bengkayang berada di nilai 151 kV.
4. Ketika reaktor masuk maka nilai daya reaktif di GITET Bengkayang akan meningkat, menyebabkan dalam pembacaan *metering* peralatan nilai MVAR menurun karena lebih banyak MVAR yang diserap oleh GITET Bengkayang. Sedangkan ketika reaktor lepas maka nilai daya reaktif di GITET Bengkayang akan berkurang, menyebabkan dalam pembacaan *metering* peralatan nilai MVAR meningkat karena lebih sedikit MVAR yang diserap oleh GITET Bengkayang
5. Simulasi gejala transien menunjukkan bahwa tegangan busbar 275 kV dan busbar 150 kV mengalami fluktuasi tegangan dan membutuhkan waktu selama 66 detik semenjak masuknya *circuit breaker* atau PMT untuk mencapai kestabilan.

6. Hasil simulasi skenario pengoperasian reaktor menunjukkan ketika reaktor masuk, tegangan busbar 275 kV dan busbar 150 kV GITET Bengkayang mengalami penurunan dan akan meningkat kembali ketika reaktor dilepas.

5.2. Saran

Saran yang bisa diberikan dalam penelitian ini adalah:

1. Perlu dilakukan pengecekan, pemeliharaan, dan memastikan kesiapan reaktor 275 kV GITET Bengkayang karena sangat vital dan krusial mengingat reaktor efektif dalam menjaga nilai tegangan di GITET 275 kV Bengkayang.
2. Bila memungkinkan, menambah reaktor pada Gardu Induk Singkawang agar dapat membantu GITET Bengkayang dalam menyediakan daya reaktif sehingga turut berperan dalam menurunkan tegangan di sistem khatulistiwa agar tidak melebihi batas maksimal yang telah ditentukan dalam SK DIR PLN 520 yakni 165 kV.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. U. P, “Analisa Pemasangan Kompensator Reaktor Shunt dalam Perbaikan Tegangan Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET)-500kV Antara Tasikmalaya-Depok,” *J. Sains dan Teknol. Utama*, vol. XI, pp. 79–86, 2016.
- [2] E. R. Aprierwanto, “Analisis Stabilitas Tegangan Menggunakan Reaktor Shunt Pada Sistem Transmisi Jamali 500 kV Tahun 2018,” *Inst. Teknol. Sepuluh Nop.*, p. 75, 2017, [Online]. Available: <http://repository.its.ac.id/43977/>
- [3] Aksan and S. Said, “Analisis Pengaruh Pemasangan Shunt Reactor Terhadap Sistem Tenaga Listrik,” *Tek. Elektro Politek. Negeri Ujung Pandang*, pp. 68–73, 2020.
- [4] P. Burhan, S. Graha, and J. Riadi, “Analisa Pengaturan Tegangan Menggunakan Reaktor Shunt Pada Saluran Transmisi 150 Kv Barikin-Tanjung,” *Intekna*, vol. 2, no. 2, pp. 137–144, 2013.
- [5] PT PLN (Persero), “Buku Pedoman Pemeliharaan Transmisi Kepdir 0520-1.K.Dir.2014,” vol. 1, p. 145, 2014.
- [6] PT PLN (Persero), “Buku Pedoman Reaktor,” 2014.
- [7] Mt. Prasetyo dan Andika Akhmad, Mt. Prasetyo, dan Andika Akhmad, and J. Teknik Elektro, “Efektifitas Pemakaian Reaktor Shunt Gilet Ungaran Dalam Mengkompensir Daya Reaktif Sutet 500 Kv Ungaran-Bandung Selatan,” *Media Elektr.*, vol. 6, no. 2, pp. 42–56, 2012.
- [8] W. S. Salama, A. Arief, and N. Harun, “Analisis Kestabilan Tegangan Pada Sistem Tenaga Listrik SULBAGSEL Akibat Hilangnya Beban Besar,” *J. Eksitasi*, vol. 1, no. 1, pp. 28–33, 2022.
- [9] V. Kolesnikova, “Mitigating Overvoltage in High Voltage and Extra-High Voltage Transmission Lines Using Shunt Reactors Date : October , 2024,” no. October, 2024, doi: 10.13140/RG.2.2.36618.07366.
- [10] V. Kolesnikova, “Optimization of Shunt Reactor Design for High Voltage and Extra- High Voltage Transmission Lines : Addressing Overvoltage Challenges Date : October , 2024,” no. October, 2024, doi:

10.13140/RG.2.2.23825.44648.

- [11] V. Kuchanskyy, "Application of Controlled Shunt Reactors for Suppression Abnormal Resonance Overvoltages in Assymetric Modes," *2019 IEEE 6th Int. Conf. Energy Smart Syst. ESS 2019 - Proc.*, no. April, pp. 122–125, 2019, doi: 10.1109/ESS.2019.8764196.
- [12] A. Hashimov, H. Guliyev, and A. Babayeva, "Placement of controlled shunt reactors in 330 kV electrical networks and study of their operating modes," *E3S Web Conf.* 584, vol. 01019, pp. 1–6, 2024.
- [13] M. Zhu, "Mechanism and problem analysis of high-voltage shunt reactor," *AIP Conf. Proc.*, vol. 2066, no. June, 2019, doi: 10.1063/1.5089097.
- [14] C. Ngnie Ngonseu, M. Petit, M. Hennebel, D. Larraillet, and F. Petit, "Medium Voltage Shunt Reactor Design and Switching," *IEEE PES Innov. Smart Grid Technol. Conf. Eur.*, 2023, doi: 10.1109/ISGTEUROPE56780.2023.10408185.
- [15] S. S. Wibowo, H. Suyono, and R. N. Hasanah, "Analisis Implementasi Fixed Capacitor, SVC, dan STATCOM untuk Perbaikan Performansi Stabilitas Tegangan pada Sistem Petrochina," *Eeccis*, vol. 7, no. 2, pp. 147–152, 2013.
- [16] R. Afrianita and H. Dibyo Laksono, "STUDI ALIRAN DAYA DENGAN METODA NEWTON RAPHSON (Aplikasi PT. PLN Sumbar-Riau 150 KV)," *Teknika*, vol. 2, no. 27, p. 25, 2007.
- [17] F. Djauhari, R. Tegar, S. Putra, and A. Kerat, "Analysis of North Jakarta 500 kV Extra High Voltage Transmission Line using Shunt Reactor," vol. 27, no. November, pp. 61–77, 2024.
- [18] D. Marlen, "Teknik Pengendalian Daya Reaktif untuk Memperbaiki Tingkat Tegangan pada," *Indones. Res. J. Educ.*, vol. 4, no. 3, pp. 1404–1410, 2024.
- [19] Wikipedia, "Switchyard Reactor." [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Switchyard_reactor
- [20] E. Wat, "Shunt Reactor : Circuit, Working, Types & Its Applications." [Online]. Available: <https://www.watelectrical.com/shunt-reactor/>