



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - EE184801

## **ANALISIS KONTINGENSI N-2 SISTEM JAWA-BALI 500 KV PADA TAHUN 2026**

Muhammad Jaya Sasongko  
NRP 0711134000041

Dosen Pembimbing  
Dr. Dimas Fajar Uman Putra, ST., MT.  
Ir. Sjamsjul Anam, MT.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2020



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - EE184801

## **CONTINGENCY ANALYSIS N-2 OF 500 KV JAWA-BALI SYSTEM IN 2026**

Muhammad Jaya Sasongko  
NRP 0711134000041

Supervisors

Dr. Dimas Fajar Uman Putra, ST., MT.

Ir. Sjamsjul Anam, MT.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING  
Faculty of Intelligent Electrical and Informatics Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2020

## **PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR**

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “**Analisis Kontingensi N-2 Sistem Jawa-Bali 500 KV pada Tahun 2026**” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Januari 2020



**Muhammad Jaya Sasongko**  
NRP. 0711134000041

---Halaman ini sengaja dikosongkan---

# ANALISIS KONTINGENSI N-2 SISTEM JAWA-BALI 500 KV PADA TAHUN 2026

## TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada  
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga  
Departemen Teknik Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

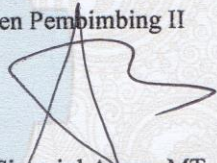
Menyetujui:

Dosen Pembimbing I



Dr. Dimas Fajar Uman Putra, ST., MT.  
NIP. 198811082012121001

Dosen Pembimbing II



Ir. Samsjul Anam, MT.  
NIP. 196307251990031002



---Halaman ini sengaja dikosongkan---

## **Analisis Kontingensi N-2 Sistem Jawa-Bali 500 KV pada Tahun 2026**

Nama : Muhammad Jaya Sasongko  
Pembimbing I : Dr. Dimas Fajar Uman Putra, ST., MT.  
Pembimbing II : Ir. Sjamsjul Anam, MT.

### **ABSTRAK**

Tujuan utama dari sistem tenaga listrik adalah menyalurkan daya listrik dari pusat pembangkit ke pusat beban secara aman, handal, efisien dan ekonomis. Namun, dalam suatu sistem tidak lepas dari suatu gangguan, baik dari internal sistem maupun dari lingkungan sekitar. Gangguan tersebut dapat bersifat permanen atau sementara dan dapat merusak atau mempengaruhi sistem aliran daya pada saluran. Untuk mengurangi risiko dan kerugian ketika terjadi gangguan, maka diperlukan perencanaan dalam menanggulangi efek yang timbul akibat gangguan. Usaha untuk mengurangi kerusakan-kerusakan yang terjadi karena gangguan dapat dilakukan dengan melakukan analisis kontingensi. Kontingensi adalah suatu kejadian yang disebabkan oleh kegagalan atau pelepasan dari satu atau lebih generator dan/atau transmisi. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui perubahan aliran daya dan tegangan bus saat terjadi pelepasan atau pemutusan saluran transmisi dari suatu sistem tenaga listrik. Pada tugas akhir ini akan diuraikan bagaimana pemodelan sistem Interkoneksi Jawa-Bali 500 KV pada tahun 2026 dan akan dilakukan analisis kontingensi N-2 untuk mengetahui keandalan sistem tersebut. Dengan hasil analisis kontingensi pada sistem ini diharapkan dapat menjadi solusi dari masalah yang ditimbulkan akibat terputusnya saluran transmisi.

**Kata kunci** : Saluran Transmisi, Analisis Aliran Daya, Analisis Kontingensi.

---Halaman ini sengaja dikosongkan---



## ***Contingency Analysis N-2 of 500 KV Jawa-Bali System in 2026***

Name : Muhammad Jaya Sasongko  
Lecturer Advisor I : Dr. Dimas Fajar Uman Putra, ST., MT.  
Lecturer Advisor II : Ir. Sjamsjul Anam, MT.

### **ABSTRACT**

The main purpose of an electric power system is to channel electricity from the power plant to the load center safely, reliably, efficiently and economically. However, in a system can not be separated from a disturbance, both from the internal system and from the surrounding environment. The interference can be permanent or temporary and can damage or affect the power flow system on the channel. To reduce risks and losses when disturbances occur, planning is needed to cope with the effects arising from disturbances. Efforts to reduce the damage caused by disturbances can be done by contingency analysis. Contingency is an event that is caused by a failure or release of one or more generators and / or transmissions. This analysis aims to determine changes in power flow and bus voltage when there is a release or disconnection of the transmission line from an electric power system. This final project will describe how to model the 500-KV Java-Bali Interconnection system in 2026 and an N-2 contingency analysis will be conducted to determine the reliability of the system. With the results of contingency analysis on this system it is expected to be a solution of the problems caused by the interruption of the transmission line.

**Keywords** : Transmission Line, Power Flow Analysis, Contingency Analysis.

---Halaman ini sengaja dikosongkan---

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT karena atas rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir. Tugas akhir ini merupakan salah satu mata kuliah yang harus ditempuh dalam persyaratan akademik program studi S1 di Departemen Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Buku penelitian ini dapat terselesaikan atas bantuan banyak pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua, Bapak dan Ibu tercinta yang senantiasa memberikan semangat , dukungan moril dan materil serta doa yang sangat berarti.
2. Bapak Dr. Dimas Fajar Uman Putra, ST., MT. dan Bapak Ir. Sjamsjul Anam, MT. yang telah membimbing dengan sabar dan memberikan banyak saran serta masukan yang sangat penting bagi penulis hingga terselesaikannya Tugas Akhir ini
3. Seluruh dosen Departemen Teknik Elektro yang telah memberikan pengetahuan-pengetahuan sebagai ilmu pendukung untuk mengerjakan Tugas Akhir ini.
4. Teman-teman Laboratorium Sistem Tenaga Listrik di Departemen Teknik Elektro ITS yang telah membantu dan mendukung terselesaikannya Tugas Akhir ini.
5. Parner terbaik, Fajriatul Hidayah, yang tanpa lelah selalu setia mendampingi dan menyuntikkan semangat serta memberikan support dalam berbagai hal.
6. Wahyu Prihartopo, Naufal Rasyiq, Irawan, Ahmad Febri, Habibur, Ikhlas, Giffari, Imam Faried, Rio, Fajrin, Nanang, Arba, Taufiq, Mas Putra dan Mas Syafaat yang

telah memberikan bantuan dan saran dalam proses pembuatan Tugas Akhir ini.

7. Teman-teman “Kontrakan Kirana” yang telah memberikan motivasi, bantuan dan saran dalam proses pembuatan Tugas Akhir ini.
8. Seluruh teman-teman teknik elektro ITS yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu atas segala bantuan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini baik secara langsung maupun tidak langsung.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih terdapat kekurangan. Pada kesempatan ini penulis mengharapkan kritik dan saran, demi kesempurnaan tugas akhir ini. Penulis berharap agar tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi para pembaca.

Surabaya, Januari 2020

Penulis

## DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	i
HALAMAN PENGESAHAN .....	iii
ABSTRAK .....	v
ABSTRACT .....	vii
KATA PENGANTAR .....	ix
DAFTAR ISI .....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR TABEL .....	xv
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Permasalahan .....	2
1.3 Tujuan .....	2
1.4 Batas Masalah .....	3
1.5 Metodologi.....	3
1.6 Sistematika Penulisan .....	4
1.7. Relevansi .....	5
<b>BAB II DASAR TEORI.....</b>	<b>7</b>
2.1 Sistem Tenaga Listrik .....	7
2.1.1 Sistem Pembangkit Tenaga Listrik .....	9
2.1.2 Saluran Transmisi .....	10
2.2 Kestabilan Tegangan.....	12
2.3 Studi Aliran Daya.....	12
2.3.1 Analisis Aliran Daya .....	13
2.3.2 Persamaan Aliran Daya .....	14
2.4 Kontingensi .....	16
2.3.1 Analisis Kontingensi [7].....	16
2.3.2 Seleksi Kontingensi .....	16
2.5 Defence Scheme [11] .....	17
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN DAN PEMODELAN. 19</b>	<b>19</b>
3.1 Metodologi.....	19
3.2 Data Sistem Kelistrikan Jawa-Bali	
500 kV tahun 2026 .....	22
3.2.1 Data Pembebanan Sistem	
Transmisi 500 kV .....	23
3.2.2 Data Pembangkitan Sistem Transmisi	
500 kV .....	24
3.2.3 Data Impedansi Saluran Sistem	

Transmisi 500 kV .....	26
3.3 ETAP (Electrial Transient Analyzer Program).....	30
<b>BAB IV SIMULASI DAN ANALISIS .....</b>	<b>33</b>
4.1 Sistem Kelistrikan Jawa-Bali 500 KV .....	33
4.2 Simulasi Aliran Daya pada Kondisi Normal .....	34
4.2.1 Tegangan Bus dan Pembebanan Bus .....	34
4.2.2 Data Pembebanan Saluran Transmisi.....	36
4.3 Kontingensi N-2 pada Saluran Transmisi .....	41
4.4 Seleksi Kontingensi .....	41
4.5 Analisis Kontingensi.....	42
4.5.1 Dampak Kontingensi (Undervoltage) .....	43
4.5.2 Dampak Kontingensi (Overvoltage) .....	44
<b>BAB V KESIMPULAN .....</b>	<b>47</b>
5.1 Kesimpulan.....	47
5.2 Saran .....	47
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>49</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>51</b>
<b>BIOGRAFI PENULIS.....</b>	<b>61</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sistem Tenaga Listrik .....	7
Gambar 2.2 Rangkaian pengganti saluran transmisi .....	11
Gambar 2.3 Gambar bus secara umum.....	15
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> metodologi dalam menyelesaikan tugas akhir.....	21
Gambar 4.1 Grafik Tegangan Bus pada Kondisi Awal .....	36

---Halaman ini sengaja dikosongkan---



## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Data Beban Puncak Sistem Transmisi Jawa-Bali Tahun 2026.....	23
Tabel 3.2	Data Pembangkitan Sistem Transmisi Jawa-Bali Tahun 2026.....	24
Tabel 3.3	Data Impedansi Saluran Transmisi 500 kV Jawa-Bali Tahun 2026.....	26
Tabel 3.1	<i>Flowchart</i> metodologi dalam menyelesaikan tugas akhir .....	26
Tabel 4.1	Data Sistem Kelistrikan 500 kV Jawa-Bali Tahun 2026.....	33
Tabel 4.1	Aliran Daya pada Bus 500 kV Jawa-Bali Tahun 2026.....	34
Tabel 4.2	Pembebanan Saluran Transmisi 500 kV Jawa-Bali .....	37
Tabel 4.3	Daftar Urutan Seleksi Kontingensi N-2 Saluran .....	42
Tabel 4.4	Kondisi BUS <i>Undervoltage</i> saat Terjadi Kontingensi N-2 .....	43
Tabel 4.5	Kondisi BUS <i>Overvoltage</i> saat Terjadi Kontingensi N-2 .....	45

---Halaman ini sengaja dikosongkan---

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Energi listrik telah menjadi kebutuhan utama yang harus dipenuhi dalam kehidupan masyarakat di masa kini. Seiring dengan bertambahnya kebutuhan jumlah penduduk, tingkat kebutuhan energi masyarakat di Indonesia akan bertambah, khususnya energi listrik sebagai energi utama yang digunakan langsung dalam menjalankan roda perekonomian. Pertumbuhan beban yang terus terjadi dan perkembangan sistem yang menjadi semakin kompleks menyebabkan sistem transmisi harus beroperasi pada batas kemampuannya.

Pertumbuhan beban yang terus terjadi dan perkembangan sistem yang menjadi semakin kompleks menyebabkan sistem transmisi harus dipaksa untuk beroperasi pada batas kemampuannya. Hal tersebut menjadi tantangan tersendiri bagi para insinyur dan praktisi kelistrikan untuk menjaga parameter kelistrikan agar tetap stabil dan berada dalam standar aman.

Terjadinya suatu gangguan di dalam operasi sistem tenaga listrik adalah suatu masalah yang tidak dapat dihindari. Gangguan tersebut dapat bersifat permanen atau sementara dan dapat merusak atau mempengaruhi sistem aliran daya pada saluran. Banyak gangguan yang dapat terjadi pada sistem tenaga listrik baik itu dari sistem pembangkit, sistem transmisi, maupun pada sistem distribusi. Namun bila dilihat frekuensi terjadinya gangguan, pada saluran transmisi adalah yang paling sering terjadi. Gangguan dapat berupa gangguan hubung singkat atau terputusnya salah satu saluran.

Untuk langkah pengamanan dari gangguan sistem tersebut perlu dilakukan pemutusan saluran yang sedang mengalami gangguan dari jaringan sistem. Dengan tidak bekerjanya suatu saluran (*Line outage*) maka akan terjadi perubahan aliran daya pada saluran-saluran lain akibat adanya perubahan aliran daya tersebut. Dari permasalahan itu diperlukan Analisis Kontingensi

untuk mengetahui jika ada saluran yang bermasalah apakah saluran yang masih tersisa sudah *overload* atau masih bisa di bebani.[2]

Untuk mengurangi risiko dan kerugian ketika terjadi gangguan, maka diperlukan perencanaan dalam menanggulangi efek yang timbul akibat gangguan. Usaha untuk mengurangi kerusakan-kerusakan yang terjadi karena gangguan, dapat dilakukan analisis kontingensi. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui perubahan aliran daya dan tegangan bus saat terjadi pelepasan atau pemutusan saluran transmisi dari suatu sistem tenaga listrik melalui tindakan pengamanan. Pada tugas akhir ini akan diuraikan bagaimana pemodelan sistem transmisi Jawa-Bali 500 KV dan akan dilakukan analisis kontingensi untuk menguji apakah sistem masih dalam kondisi stabil saat terjadi gangguan. Dengan dilakukannya analisis kontingensi, operasi sistem tenaga listrik diharapkan dapat berlanjut dengan aman walaupun terdapat gangguan pada sistem. [7]

## **1.2. Permasalahan**

1. Bagaimana aliran daya pada sistem transmisi Jawa-Bali 500 KV dalam keadaan normal pada tahun 2026
2. Bagaimana dampak terhadap sistem kelistrikan Jawa-Bali jika terjadi gangguan pada sistem transmisi tersebut.
3. Apakah sistem masih dapat beroperasi setelah terjadi gangguan putusnya 2 saluran.

## **1.3. Tujuan**

Penelitian tugas akhir ini bertujuan untuk

1. Melakukan aliran daya dan analisis kontingensi N-2 pada sistem transmisi Jawa-Bali 500 kV pada tahun 2026
2. Mengetahui pengaruh perubahan nilai arus, tegangan dan daya pada setiap bus dan saluran akibat dari analisis kontingensi sistem Jawa-Bali 500 kV
3. Mengetahui apakah sistem masih dapat beroperasi setelah terjadi gangguan berupa putusnya 2 saluran yang paling berpengaruh

#### **1.4. Batas Masalah**

Batasan masalah yang digunakan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Simulasi dan analisis yang dilakukan pada kondisi *steady state*.
2. Simulasi menggunakan software ETAP.
3. Pemodelan sistem hanya dilakukan pada sistem transmisi Jawa-Bali 500 kV AC tanpa tambahan kabel laut HVDC.
4. Analisis kontingensi hanya dilakukan pada saluran kabel transmisi 500 kV untuk mengetahui apakah sistem masih dapat beroperasi setelah terjadi gangguan.

#### **1.5. Metodologi**

Dalam penyusunan dan pengerjaan tugas akhir ini, metodologi yang digunakan adalah sebagai berikut:

##### **1. Studi Literatur**

Studi literatur yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini berdasarkan pada *paper*, jurnal ilmiah atau buku yang berfokus pada analisis *Load Flow*, kestabilan sistem tenaga, analisis kontingensi.

##### **2. Pengumpulan Data**

Data-data yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah data sistem interkoneksi Jamali 500 KV yang didapatkan dari PT PLN (persero) yaitu berupa data saluran transmisi, data beban, dan data pembangkitan yang disesuaikan dengan RUPTL 2017-2026.

##### **3. Permodelan Sistem dan Simulasi**

Sistem tenaga listrik yang disimulasikan adalah sistem transmisi Jawa-Bali 500 kV. Simulasi dilakukan dengan menggunakan software ETAP 16.0.0. Simulasi dilakukan menggunakan program yang telah dibuat dengan memasukkan parameter sistem dan nilai hasil

simulasi aliran daya. Aliran daya akan disimulasikan untuk melakukan analisis kontingensi.

4. Analisis kontingensi dan kesimpulan

Melakukan analisis kontingensi N-2 sehingga diketahui irigasi terhadap analisis kontingensi tersebut.

5. Penulisan buku

Buku tugas akhir ini ditulis sebagai laporan hasil dari penelitian tugas akhir. Penulisan laporan tugas akhir dilakukan untuk menunjukkan hasil dan kesimpulan dari tugas akhir. Kesimpulan yang ditunjukkan merupakan analisis dan solusi dari permasalahan yang di ajukan.

## **1.6. Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan dalam tugas akhir ini terdiri atas lima bab, dengan uraian sebagai berikut :

1. BAB 1

Bab 1 merupakan pendahuluan tugas akhir yang berisi tentang latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, metodologi, sistematika penulisan, serta relevansi dari laporan tugas akhir.

2. BAB 2

Bab 2 merupakan teori penunjang yang menjadi acuan tugas akhir meliputi teori sistem tenaga listrik secara umum, studi aliran daya dengan menggunakan metode Newton Raphson, teori saluran transmisi tenaga listrik, teori analisis kontingensi.

3. BAB 3

Bab 3 menjelaskan tentang tahapan perancangan tugas akhir yang akan dilakukan, yaitu mengenai data yang digunakan, permodelan simulasi, serta perancangan program simulasi yang akan dijalankan untuk menganalisis permasalahan dalam tugas akhir.

#### 4. BAB 4

Bab 4 menjelaskan tentang analisis aliran daya dan pengaruh kontingensi saluran terhadap sistem transmisi Jawa-Bali 500 kV 2026.

#### 5. BAB 5

Bab 5 menjelaskan tentang kesimpulan yang diambil dari hasil simulasi program dan analisis yang telah dilakukan. Juga terdapat saran perbaikan agar hasil dari tugas akhir ini dapat dikembangkan dan disempurnakan pada tugas akhir selanjutnya.

### **1.7. Relevansi**

Hasil yang didapatkan dari tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap perkembangan teknologi di bidang sistem tenaga, perencanaan sistem transmisi tenaga listrik 500 kV. Hasil tugas akhir ini juga dapat digunakan sebagai dasar teori bagi penelitian di masa depan serta menjadi referensi bagi mahasiswa Teknologi Elektro ITS yang ingin meneliti masalah serupa sebagai Tugas Akhir.

---Halaman ini sengaja dikosongkan---

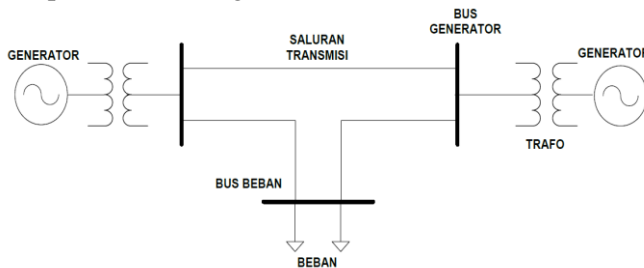


## BAB II DASAR TEORI

### 1.8. Sistem Tenaga Listrik

Sistem Tenaga Listrik yaitu sekumpulan pembangkit dan Gardu Induk yang terhubung oleh jaringan transmisi yang terkoneksi. Suatu sistem tenaga listrik memiliki tujuan untuk membangkitkan kemudian menyalurkan serta memanfaatkan energi listrik yang terbangkit tersebut. Suatu sistem tenaga listrik secara umum mengandung tiga unsur, yaitu:

- Unsur pembangkit tenaga listrik (Generator)
- Sistem transmisi & distribusi
- Unsur utilitas atas pemakaian, yang terdiri atas instalasi pemakaian tenaga listrik (Beban).



Gambar 2. 1. Sistem Tenaga Listrik

Energi listrik dibangkitkan oleh suatu pembangkit tenaga listrik. Pada sistem besar umumnya terdapat beberapa jenis pembangkit yang saling terhubung. Pembangkit umumnya membangkitkan energi listrik pada tegangan menengah yaitu antara 6 dan 20 kV. Pada sistem tenaga listrik yang besar, atau bila pembangkit terletak jauh dari pusat beban, maka energi listrik perlu diangkut melalui saluran transmisi. Proses penaikan tegangan dilakukan di gardu induk menggunakan transformator penaik tegangan (*step up transformer*). Standar tegangan tinggi di Indonesia adalah 70 kV, 1500 kV, dan 275 kV. Sedangkan untuk tegangan ekstra tinggi dipakai tegangan 500 kV.

Yang dimaksud dengan sistem tenaga listrik yaitu komponen-komponen tenaga listrik yang membentuk suatu sistem terpadu dan terhubung. Ada tiga komponen penting yang membentuk sistem tenaga listrik itu yaitu komponen pembangkit, komponen distribusi/transmisi dan komponen yang berkaitan dengan pembebanan.

Komponen pembangkit adalah pembangkit yang menghasilkan tenaga listrik yang kemudian ditransmisikan melalui komponen distribusi dan akhirnya dimanfaatkan berupa beban. Komponen distribusi bersifat relatif tetap pada besaran tertentu, sehingga bila terjadi perubahan pada beban ataupun gangguan pada jaringan transmisi maka yang harus menyesuaikan dengan perubahan tersebut adalah sistem pembangkit. Jadi dasar dari kestabilan adalah bagaimana sistem pembangkit mampu untuk menyesuaikan kondisi yang terjadi pada pembebanan ataupun jaringan transmisinya dan pembangkit tersebut mampu untuk menciptakan besaran baru sehingga perubahan yang terjadi tidak membuat sistem terganggu atau terhenti.

Sistem tenaga modern dipresentasikan oleh sebuah sistem interkoneksi yang sangat tergantung pada kontrol untuk memanfaatkan secara optimal sumber daya yang ada. Sumber yang dapat diperbarui serta ekonomi energi listrik adalah faktor penentu perkembangan industri yang bisa meningkatkan standar hidup masyarakat. Sejak revolusi industri, kebutuhan energi listrik meningkat tajam. Sebagian besar energi yang dibutuhkan oleh masyarakat modern disuplai dalam bentuk energi listrik, peningkatan kebutuhan energi listrik yang sebanding dengan keterbatasan antara sumber daya alam dan lingkungan merupakan tantangan yang harus dihadapi oleh para perancang sistem. Dengan keterbatasan yang ada, pembangkit hidro dapat dibangun di lokasi yang jauh dari pusat beban untuk pengambilan keuntungan sebesar mungkin. Sebuah keterbatasan pada penyaluran daya akan menimbulkan usaha untuk meningkatkan kemampuan jaring transmisi dalam pencarian solusi teknologi terbaik. Perkembangan

rekayasa kontrol yang sangat cepat cenderung mengatur penyaluran daya pada saluran transmisi daya Listrik sesuai kebutuhan dan bervariasi dari waktu ke waktu menggunakan kontrol yang terpadu dan optimal.

Kestabilan sistem tenaga listrik di definisikan sebagai kemampuan dari sistem untuk menjaga kondisi operasi yang seimbang dan kemampuan sistem tersebut untuk kembali ke kondisi operasi normal ketika terjadi gangguan. Sedangkan ketidakstabilan sistem dapat terjadi dalam berbagai bentuk, tergantung dari konfigurasi sistem dan model operasinya. Sistem akan masuk pada kondisi ketidakstabilan tegangan ketika terjadi gangguan, peningkatan beban atau pada saat terjadi perubahan kondisi sistem yang disebabkan oleh drop tegangan yang tidak terkontrol.

Penyebab utama ketidakstabilan tegangan adalah ketidakmampuan sistem tenaga untuk memenuhi permintaan daya reaktif. Inti dari permasalahan ini biasanya berhubungan dengan susut tegangan yang terjadi pada saat daya aktif dan daya reaktif mengalir melalui reaktansi induktif pada saat daya aktif dan daya reaktif mengalir melalui reaktansi induktif pada jaringan transmisi. Secara mendasar masalah kestabilan berarti menjaga sinkronisasi operasi sistem tenaga. Kestabilan pada sistem tenaga listrik merupakan masalah yang sangat penting dalam penyediaan daya kepada konsumen. Masalah kestabilan yang sering terjadi dalam hal ini adalah masalah beban lebih, berkurangnya pasokan daya reaktif yang pada akhirnya akan menempatkan sistem pada kondisi *voltage collapse* dan akan terjadi kemungkinan terburuk yaitu terjadinya *blackouts*.

### 2.1.1. Sistem Pembangkit Tenaga Listrik

Pembangkit tenaga listrik merupakan penghasil energi listrik, yang dihasilkan oleh generator-generator yang diputar oleh turbin sebagai penggerak mula (*prime mover*) [4]. Tenaga yang digunakan untuk menggerakkan turbin ini berasal dari berbagai macam sumber energi, dapat berasal dari uap panas, gas uap, air,

dari angin, cahaya matahari dan lain sebagainya. Secara umum, pembangkit tenaga listrik ada yang menggunakan energi terbarukan dan menggunakan energi fosil sebagai penghasil penggerak utamanya. Besar tegangan yang dihasilkan oleh generator dinaikkan menjadi 150 KV melalui *transformator step up* yang berada di Gardu Induk kemudian disalurkan melalui jaringan transmisi menuju ke pusat-pusat beban. Pada sistem transmisi interkoneksi pembangkit yang masuk ke dalam sistem lebih dari satu generator sehingga dalam memenuhi permintaan beban perlu adanya pengaturan berapa daya yang harus dibangkitkan oleh masing-masing generator [5].

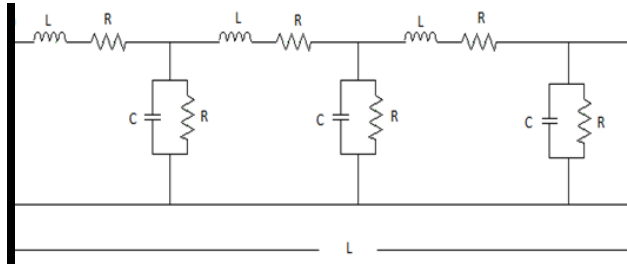
### 2.1.2. Saluran Transmisi [6]

Sistem transmisi adalah bagian dari sistem tenaga listrik yang berfungsi untuk mentransfer energi listrik dari pembangkit menuju pusat, pusat beban. Saluran transmisi yang saling terinterkoneksi satu dengan lainnya bukan hanya untuk keperluan penyaluran daya listrik dalam suatu regional, tetapi juga untuk keperluan transfer daya antara regional dalam kondisi darurat. Sebagian besar, saluran transmisi tenaga listrik di Indonesia dibangun dengan tipe saluran transmisi udara dengan variasi tegangan mulai dari 70 KV, 150 KV sering disebut SUTT (Saluran Udara Tegangan Tinggi) dan 500 KV sering disebut SUTET (Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi). Saluran transmisi di Indonesia sebagian besar juga terhubung interkoneksi untuk transmisi tenaga listrik.

Semua saluran transmisi dalam suatu sistem tenaga mempresentasikan sifat kelistrikan seperti resistensi, induktansi, kapasitansi dan konduktansi. Induktansi dan kapasitansi memiliki pengaruh medan magnet dan medan listrik di sekitar konduktor. Parameter-parameter ini sangat penting untuk pengembangan model saluran transmisi yang digunakan dalam analisa sistem tenaga.

Besar kecilnya parameter-parameter tersebut sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain, jenis konduktor yang digunakan, jenis konfigurasi yang bangun, temperatur sekitar dan

jarak saluran saluran. Dalam saluran transmisi juga dijumpai fenomena-fenomena kelistrikan seperti rugi daya, rugi tegangan, under voltage dan over voltage, yang kesemuanya sangat dipengaruhi oleh parameter-parameter sebagaimana yang disebutkan diatas.



Gambar 2.2 Rangkaian pengganti saluran transmisi

Saluran transmisi seperti yang terlihat pada gambar 2.2 merupakan model dengan pendekatan parameter per fase. Tegangan terminal dinyatakan sebagai tegangan line to netral dan arus dinyatakan sebagai arus per fase. Pemodelan saluran transmisi digunakan untuk memudahkan dalam melakukan perhitungan tegangan, arus dan aliran daya yang akan bergantung pada panjang saluran. Berdasarkan analisis pendekatan, pemodelan saluran transmisi yang paling akurat adalah yang memperhitungkan seluruh parameter yang ada.

Panjang saluran transmisi akan berpengaruh terhadap nilai parameter dari saluran transmisi yang mempengaruhi terhadap tegangan bus dan daya yang mengalir pada saluran. Dari gambar 2.2 menjelaskan parameter-parameter saluran antara lain tahanan (resistansi), reaktansi kapasitansi, dan konduktansi yang tersebar. Sehingga dalam permodelan saluran transmisi kedalam rangkaian simulasinya tergantung dari panjang saluran dan tingkat ketelitian. Berdasarkan panjangnya, saluran transmisi dibagi menjadi tiga, yaitu saluran transmisi pendek (*short line*), saluran transmisi menengah (*medium line*), saluran transmisi panjang (*long line*).

## **2.2. Kestabilan tegangan**

Kestabilan tegangan adalah kemampuan dari sistem tenaga listrik untuk mempertahankan ke stabilan level tegangan pada batas yang diizinkan di semua bus apabila terjadi gangguan [9]. Sebuah sistem dapat dikatakan stabil apabila mampu menjaga naik turun level tegangan pada batas yang sesuai standar dalam jangka waktu yang diizinkan saat terjadi keadaan tidak seimbang. Sebaliknya sistem tidak stabil apabila tidak dapat mengembalikan keadaan semula apabila terjadi gangguan. Salah satu penyebab ketidakstabilan adalah ketidaksinkronan antara kebutuhan beban dan pembangkit. Biasanya gangguan yang terjadi adalah lepasnya beban yang signifikan atau lepasnya generator sehingga tegangan menjadi berosilasi tidak stabil.

Kestabilan berdasarkan gangguan yang terjadi dapat dikategorikan menjadi dua yaitu kestabilan tegangan akibat gangguan besar dan kestabilan tegangan akibat gangguan kecil. Gangguan besar yang terjadi adalah hilangnya supply dari generator (generator outage), perubahan beban yang besar short circuit. Sedangkan gangguan kecil yaitu perubahan beban dengan kapasitas yang kecil.

Kestabilan berdasarkan lama gangguan dapat dibedakan menjadi gangguan jangka pendek dan jangka panjang. Gangguan kestabilan jangka pendek mengakibatkan voltage dip dan voltage swell. Sedangkan gangguan kestabilan jangka panjang dapat mengakibatkan undervoltage dan overvoltage.

## **2.3. Studi Aliran Daya**

Tujuan dari studi aliran daya yang dilakukan pada suatu sistem tenaga adalah untuk mendapatkan informasi yang dibutuhkan untuk dilakukan analisa dan studi lebih lanjut. Beberapa informasi yang dapat diperoleh yaitu besar dan sudut tegangan pada masing-masing bus, aliran daya aktif dan reaktif pada tiap saluran serta rugi-rugi daya pada saluran transmisi. Hasil dari studi aliran daya digunakan sebagai pedoman kondisi awal (*eksisting*) dalam melakukan studi operasi ekonomis, analisis hubung singkat,

analisis kestabilan, kontingensi serta perencanaan pengembangan sistem berupa analisis kondisi unit pembangkit, saluran transmisi dan beban dari sebuah sistem tenaga listrik.

### **2.3.1. Analisis Aliran Daya**

Dalam melakukan analisis aliran daya, sistem tenaga listrik diasumsikan beroperasi pada keadaan stabil dengan beban seimbang, serta dimodelkan dalam sistem satu fasa. Setiap bus pada sistem tenaga dihubungkan dengan empat besaran yaitu magnitudo tegangan  $|V|$ , sudut fasa ( $\theta$ ), daya aktif ( $P$ ), dan daya reaktif ( $Q$ ). Dalam solusi aliran daya, dua besaran telah ditentukan dan dua lainnya merupakan hasil dari perhitungan aliran daya.[3].

Bus pada sistem tenaga listrik dapat diklasifikasikan menjadi tiga tipe berdasarkan besaran-besarannya [4]:

1. Slack/swing bus adalah bus yang memiliki nilai magnitudo tegangan dan sudut fasa yang sudah ditentukan (tetap). Dalam sebuah sistem tenaga listrik diperlukan 1 bus sebagai pemenuh kebutuhan daya yang tidak dapat dibangkitkan oleh bus-bus pembangkit yang lain. Karena nilai beban yang berubah serta rugi-rugi saluran yang tidak dapat ditentukan di awal, maka daya  $P$  dan  $Q$  yang dikirim slack bus akan berubah-ubah sesuai dengan kekurangan daya pada sistem.
2. Generator bus (P-V bus), adalah bus dengan suplai daya aktif yang sudah ditentukan dengan nilai magnitudo tegangan tetap. Berbeda dengan slack bus, bus ini menyuplai daya berdasarkan ketetapan daya aktif.
3. Load bus (P-Q bus), adalah bus yang terhubung dengan peralatan beban.  $P$  dan  $Q$  dari beban telah diketahui dan bernilai tetap, sehingga hasil perhitungan aliran daya adalah tegangan  $V$  dan sudut fasa.

Untuk melakukan sebuah studi aliran daya suatu pada sistem tenaga listrik dibutuhkan data-data dari bus dan saluran transmisi.

Data data yang terdapat pada tiap-tiap bus yaitu :

1. Magnitude tegangan (dalam satuan p.u)
2. Sudut tegangan ( $\theta$ )
3. Nilai pembebanan berupaya daya aktif (P) dan daya reaktif (Q)
4. Nilai pembangkit berupa daya aktif (P) , daya reaktif (Q),  $Q_{min}$  dan  $Q_{max}$ .

Data- data yang terdapat pada saluran transmisi yaitu :

1. Resistansi saluran transmisi (dalam satuan per unit)
2. Reaktansi saluran transmisi (dalam satuan per unit)
3. Nilai tap pada trafo
4. Rating tegangan (dalam Kv)

### 2.3.2. Persamaan Aliran Daya

Berdasarkan hukum Kirchoff arus, persamaan titik tegangan dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$I_b = Y_b V_b \quad (2.1)$$

keterangan

$I_{bus}$  = arus pada bus

$Y_{bus}$  = admitansi pada bus

$V_{bus}$  = tegangan pada bus

Persamaan tersebut dapat dinyatakan dalam bentuk matriks admitansi seperti berikut.

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \dots & Y_{1n} \\ Y_{21} & Y_{22} & \dots & Y_{2n} \\ \vdots & \dots & \dots & \vdots \\ Y_{n1} & Y_{n2} & \dots & Y_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_n \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

keterangan

$n$  = jumlah total bus

$I_i$  = arus fasor yang mengalir ke bus  $i$

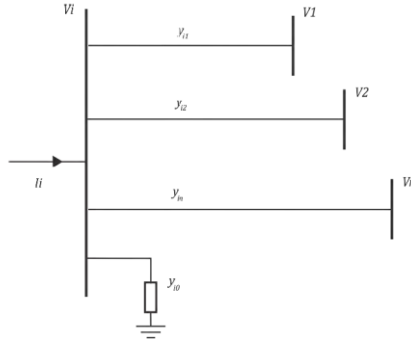
$Y_{11}$  = admitansi sendiri dari bus  $i$

$Y_{21}$  = mutual admitansi dari bus  $i$  dan  $j$

$V_i$  = tegangan fasor pada bus  $i$



Penggambaran secara umum bus pada sistem tenaga listrik dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2. 2. Gambar bus secara umum

Arus, tegangan, daya beban dan impedansi adalah data sistem yang diolah oleh persamaan aliran daya. Gambar 2.2 menunjukkan sebuah bus dengan beberapa cabang saluran. Besarnya arus bus  $i$  tersebut dapat dihitung menggunakan pendekatan hukum Kirchoff untuk arus sebagai berikut:

$$\begin{aligned} I_i &= y_0 V_i + y_{i1}(V_i - V_1) + y_{i2}(V_i - V_2) + \dots + y_{in}(V_i - V_n) \\ &= (y_{i0} + y_{i1} + y_{i2} + \dots + y_{in})V_i - y_{i1}V_1 - y_{i2}V_2 + \dots + y_{in}V_n \end{aligned} \quad (2.3)$$

atau

$$I_i = V_i \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n y_{ij} V_j \quad j \neq 1 \quad (2.4)$$

Untuk daya aktif dan reaktif pada bus  $i$  ditunjukkan pada persamaan berikut ini.

$$P_i + jQ_i = V_i I_i^* \quad (2.5)$$

Atau

$$I_i = \frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} \quad (2.6)$$

Berdasarkan persamaan 2.4 dan 2.6, maka substitusi nilai  $I_i$  menghasilkan persamaan

$$\frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} = V_i \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n y_{ij} V_j \quad j \neq 1 \quad (2.7)$$

Perhitungan aliran daya tersebut diselesaikan dengan proses pengulangan (iterasi). Pada proses tersebut ditetapkan nilai perkiraan untuk tegangan bus yang tidak diketahui, kemudian menghitung nilai baru untuk setiap tegangan bus berdasarkan nilai perkiraan bus yang lain. Proses tersebut akan terus berlangsung hingga perubahan yang terjadi pada setiap bus sesuai dengan batasan yang ditentukan.

## **2.4. Kontingensi**

Kontingensi adalah suatu kejadian yang disebabkan oleh kegagalan atau pelepasan dari satu atau lebih generator dan/atau transmisi. Istilah ini berkaitan erat dengan kemampuan suatu sistem tenaga listrik umum melayani beban bila terjadi gangguan pada salah satu komponennya. Untuk alasan kontingensi pula, lebih dari satu saluran digunakan untuk menyalurkan daya listrik ke beban, meski sebenarnya dalam keadaan normal. Sistem transmisi secara periodik harus dianalisis oleh fungsi *Contingency Analysis* (CA) untuk memprediksi masalah yang potensial apabila elemen terpilih dari sistem tenaga dikeluarkan (*out of service*).

### **2.4.1. Analisis Kontingensi [7]**

Analisis kontingensi adalah komponen sangat penting dari fungsi pengujian sistem keamanan dan merupakan sebagai kelanjutan hasil program *load flow* untuk memperhitungkan berbagai kondisi yang mungkin terjadi dalam sistem pada masa yang akan datang dengan melakukan berbagai kontingensi. Penganalisaan terhadap kontingensi yang mungkin terjadi sangat diperlukan untuk menentukan langkah-langkah pengoperasian sistem yaitu untuk mengatasi terjadinya kasus-kasus yang ditimbulkan oleh kontingensi tersebut.

### **2.4.2. Seleksi Kontingensi [9]**

Untuk melakukan pengelompokan saluran maka diperlukan suatu parameter yang dapat dipakai untuk menghitung seberapa parah pengaruh saluran tersebut pada sistem, Performasi Index (IP)

dapat memenuhi kebutuhan ini. Indeks performasi dapat menggunakan beberapa parameter seperti perubahan tegangan, arus, atau aliran daya pada saat sebelum dan sesudah terjadi kontingensi.

Pada studi kasus analisis kontingensi pada software ETAP parameter yang dipakai sebagai seleksi kontingensi adalah dengan menghitung Indeks Keamanan Tegangan Bus atau *Bus Voltage Security Index*. Rumus perhitungan Indeks Keamanan Tegangan Bus adalah sebagai berikut:

$$PI_{V/V_{sp}} = \left[ \sum_{n=1}^N \left( (V_{n\_PostCon} - V_{n\_Spec}) / V_{limit} \right)^2 \right] / N \quad (2.9)$$

dimana

$$V_{limit} = |V_{critical} - 100\%| \quad (2.10)$$

$PI_{V/V_{sp}}$  : Indeks Keamanan Tegangan Bus

$V_{n\_PostCon}$  : tegangan pada bus n setelah kontingensi (%)

$V_{n\_Spec}$  : tegangan pada bus (%)

$V_{limit}$  : batas tegangan kritis bus

Indeks Keamanan Tegangan Bus dihitung berdasarkan perbedaan tegangan bus sebelum dan sesudah kontingensi.

## 2.5. Defence Scheme [11]

Skema pertahanan (*Defence Scheme*) adalah suatu tindakan dalam mempertahankan sistem dari hal –hal yang tidak diinginkan seperti pemadaman (blackout) partial / sebagian dan pemadaman total. Skema pertahanan diperlukan agar sistem kelistrikan tidak mengalami keruntuhan sistem (collapsed). Tindakan –tindakan yang dilakukan dalam cakupan skema pertahanan / defence scheme adalah *Manual Load Shedding (MLS)*, *Brown Out*, *Load Shedding (Under Frekuensi Relay)*, *Island Operation* dan *host load*.

*Load shedding* adalah pelepasan beban secara sengaja (otomatis / manual) dengan pemutusan beban tertentu oleh sistem karena kejadian abnormal, untuk mempertahankan integritas Jaringan dan menghindari pemadaman yang lebih besar. Pelepasan beban otomatis ini terjadi jika terjadi gangguan suplai pembangkit yang mengakibatkan sistem mengalami defisit secara tiba tiba dan tidak dapat diseimbangkan dengan Manual Load Shedding. Pelepasan beban otomatis ini bekerja berdasarkan pengaturan setting frekuensi sistem yang menggunakan UFR (Under Frequency Relay).

*Load Shedding* dilaksanakan apabila terjadi penurunan frekuensi secara tiba-tiba (dan menyentuh setting) yang disebabkan hilangnya pasokan daya sistem. Pelepasan beban dilakukan seketika dan secara otomatis dengan menggunakan relai UFR. Dalam praktek pelepasan beban (load shedding) dilakukan dengan memasang UFR pada berbagai penyulang distribusi yang dipilih menurut kondisi setempat. Jumlah UFR pada penyulang (feeder) harus sedikitnya cukup untuk melepas beban sebesar unit terbesar dalam sistem.

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN DAN PEMODELAN SISTEM**

Pada bab ini akan diuraikan metodologi dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Dimulai dari sistem tenaga listrik yang akan menjadi objek dalam penelitian tugas akhir ini yaitu menggunakan sistem transmisi Jawa-Bali 500 KV pada tahun 2026. Kemudian akan dilakukan analisis kontingensi N-2 untuk mengetahui keandalan sistem tersebut. Dengan hasil analisis kontingensi pada sistem ini akan diketahui apakah sistem masih dapat beroperasi dalam kondisi 2 saluran penting terputus dan diharapkan dapat menjadi solusi dari masalah yang ditimbulkan akibat terputusnya saluran transmisi. Pemodelan sistem hanya dilakukan pada sistem transmisi Jawa-Bali 500 kV AC tanpa tambahan kabel laut HVDC.

Simulasi dan analisis yang dilakukan menggunakan software ETAP pada kondisi steady state. Analisis aliran daya pada penelitian tugas akhir ini disimulasikan pada kondisi sistem beroperasi pada saat musim kemarau, yang mana diasumsikan bahwa pada blok pembangkitan di PLTA hanya sebagian pembangkit yang dioperasikan. Analisis kontingensi dilakukan pada saluran kabel transmisi 500 kV untuk mengetahui apakah sistem masih dapat beroperasi setelah terjadi gangguan berupa putusnya 2 saluran yang paling berpengaruh. Penelitian tugas akhir ini bertujuan untuk memperoleh hasil analisis kontingensi N-2 pada sistem transmisi Jawa-Bali 500 kV.

#### **2.6. Metodologi**

Metode yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

##### **1. Studi Literatur**

Studi Literatur dilakukan untuk membantu pemahaman terhadap pengerjaan penelitian tugas akhir. Studi literatur dilakukan berdasarkan pada Paper, jurnal, dan buku yang berfokus

pada analisis sistem tenaga, sistem transmisi, dan analisis kontingensi

## 2. Pengumpulan Data

Data-data yang dibutuhkan pada penelitian ini adalah data sistem transmisi 500 kV Jawa-Bali yaitu berupa data pembangkitan, data saluran, dan data beban pada sistem. Data yang digunakan mengacu pada data sistem Jawa-Bali 500 kV tahun 2017 yang dimiliki PT. P3B JB yang disesuaikan dengan RUPTL PT. PLN 2017-2026, serta beberapa asumsi.

## 3. Pemodelan Sistem dan Simulasi

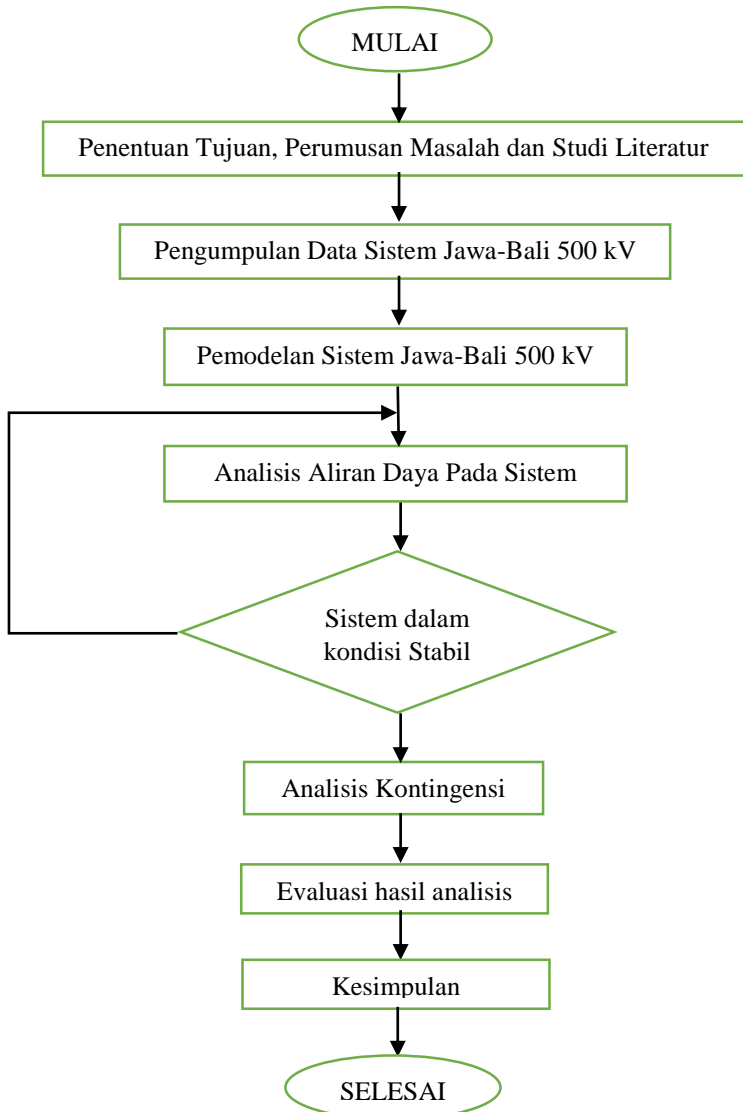
Sistem tenaga listrik yang dimodelkan dalam penelitian ini yaitu sistem transmisi 500 kV Jawa-Bali. Sistem dimodelkan dengan software ETAP. Analisis aliran daya pada penelitian tugas akhir ini disimulasikan pada kondisi sistem beroperasi pada saat musim kemarau. Yang mana diasumsikan bahwa pada blok pembangkitan di PLTA hanya sebagian pembangkit yang dioperasikan.

## 4. Analisis dan Penarikan Kesimpulan

Akan dilakukan analisis kontingensi N-2 setelah sistem dalam kondisi stabil. Analisis kontingensi hanya dilakukan pada saluran kabel transmisi 500 kV untuk mengetahui apakah sistem masih dapat beroperasi setelah terjadi gangguan. Analisis kontingensi dilakukan untuk mengetahui pengaruh perubahan nilai arus, tegangan dan daya pada setiap bus atau saluran akibat dari kontingensi N-2 sistem.

## 5. Pembuatan Laporan

Penulisan laporan tugas akhir dilakukan untuk menunjukkan hasil dan kesimpulan dari tugas akhir. Kesimpulan yang ditunjukkan merupakan analisis dan solusi dari permasalahan yang di ajukan.



**Gambar 3.1** Flowchart metodologi dalam menyelesaikan tugas akhir

Berikut merupakan penjelasan rinci dari flowchart gambar 3.1 mengenai metodologi dalam menyelesaikan tugas akhir.

- Langkah 1 : Metodologi dimulai dari penentuan tujuan, perumusan masalah dan Studi Literatur yang dilakukan untuk membantu pemahaman terhadap pengerjaan penelitian tugas akhir.
- Langkah 2 : Pengumpulan data pada penelitian ini meliputi data data pembangkitan, data saluran, dan data beban pada sistem transmisi 500 kV Jawa-Bali. Data diambil dari PLN P2B Jawa-Bali yang disesuaikan dengan RUPTL PLN 2017-2026
- Langkah 3 : Sistem dimodelkan dengan *software* ETAP.
- Langkah 4 : Melakukan simulasi aliran daya atau *load flow analysis* . Analisis aliran daya pada penelitian tugas akhir ini disimulasikan pada kondisi sistem beroperasi pada saat musim kemarau. Yang mana diasumsikan bahwa pada salah satu blok pembangkitan di PLTA hanya sebagian pembangkit yang dioperasikan.
- Langkah 5 : Simulasi analisis aliran daya dianalisa. Hasil analisis aliran daya yang diperoleh akan digunakan untuk proses analisis berikutnya.
- Langkah 6 : Dilakukan analisis kontingensi N-2 pada saluran transmisi 500 kV
- Langkah 7 : Dampak kontingensi N-2 pada saluran sistem transmisi 500 kV dianalisis, apakah sistem masih dapat beroperasi secara stabil jika terjadi kontingensi pada 2 saluran yang paling berdampak.

## **2.7. Data Sistem Kelistrikan Jawa-Bali 500 kV tahun 2026**

Dalam melakukan simulasi analisis kontingensi diperlukan pemodelan sistem tenaga listrik. Sistem tenaga listrik yang dimodelkan dalam penelitian ini yaitu sistem transmisi 500 kV Jawa-Bali. Sistem dimodelkan dengan *software* ETAP. Analisis aliran daya pada penelitian tugas akhir ini disimulasikan pada kondisi sistem beroperasi pada saat musim kemarau. Yang mana



diasumsikan bahwa pada blok pembangkitan di PLTA hanya sebagian pembangkit yang dioperasikan. Gambar pemodelan sistem transmisi 500 kV Jawa-Bali tercantum pada lampiran.

Data-data yang diperlukan pada penelitian ini adalah data sistem transmisi 500 kV Jawa-Bali yaitu berupa data pembangkitan, data saluran, dan data beban pada sistem.

### 3.2.1. Data Pembebanan Sistem Transmisi 500 kV

**Tabel 3.1** Data Beban Puncak Sistem Transmisi Jawa-Bali Tahun 2026

Bus	Load	
	MW	Mvar
BANGIL	889,100	430,720
BDSLN	324,100	157,010
BEKASI	937,100	453,970
BLRJA	1149,400	556,820
BOGOR	274,100	132,790
CAWANG	846,900	410,280
CBATU2	522,500	253,120
CBTU	1251,000	606,040
CIBINONG	922,800	447,050
CIGRE	754,000	365,270
CKUPA	651,000	315,370
CLGON	341,600	165,490
CRATA	375,100	181,720
DEPOK	537,300	260,290
DEPOK2	541,100	-195,364
DLTMS	553,700	268,240
DUKSB	1330,600	644,600
GANDUL	1287,800	623,870
GRATI	645,700	312,810
GRESIK	38,400	18,600
JW3SW	1000,000	484,440
KEDIRI	752,700	364,640
KMBNG	865,700	-39,385
KRIAN	971,400	470,590
LKONG	687,300	332,960
MDRCN	702,300	340,230

**Tabel 3.1** Data Beban Puncak Jawa-Bali Sistem Transmisi 2026 (lanjutan)

Bus	Load	
	MW	Mvar
MKRNG	538,800	261,020
MUARA TAWAR	549,100	266,010
NEW SURALAYA	67,900	32,890
NGMBG	440,100	213,300
PAITON	710,500	344,200
PEDAN	993,200	481,150
PEMALANG	417,800	202,400
PRIOK	701,300	339,740
RWLO	960,100	465,120
SBSEL	680,500	329,660
SURALAYA	36,300	17,590
TANJUNG JATI	704,600	341,340
TASIK	525,400	254,530
TMBUN	384,000	-274,534
TNDES	111,900	54,210
TUNTANG	413,900	200,510
UBRNG	472,300	228,800
UNGARAN	88,200	42,730
WTDDL	718,900	348,270
TOTAL	28667,500	12511,108

**3.2.2. Data Pembangkitan Sistem Transmisi 500 kV****Tabel 3.2** Data Pembangkitan Sistem Transmisi Jawa-Bali Tahun 2026

Bus	Rating	Pembangkitan	
		MW	Mvar
59.SURALAYA4	370 MW	350,000	210,253
60.SURALAYA6	600 MW	424,483	328,261
61.SURALAYA7	600 MW	550,000	334,968
62.NEW SURALAYA1	600 MW	500,000	136,486
63.BANTEN1	625 MW	450,000	322,932
64.JAWA9	600 MW	450,000	322,932
65.PLTU JAWA7_1.1	1000 MW	700,000	235,511
66. PLTU JAWA7_2.1	1000 MW	700,000	235,511
67.JAWA5_1.1	500 MW	470,000	274,754

**Tabel 3.2** Data Pembangkitan Sistem Transmisi Jawa-Bali Tahun 2026 (lanjutan)

Bus	Rating	Pembangkitan	
		MW	Mvar
68.JAWA5_1.2	500 MW	470,000	274,754
69.JAWA5_2.1	500 MW	470,000	274,754
70.JAWA5_2.2	500 MW	470,000	274,754
71.PLTGU_JAWA2	800 MW	600,000	478,673
72.MTAWAR1.0	230,4 MW	215,000	130,208
73.MTAWAR5.0	230,4 MW	215,000	130,208
74.MTAWAR6- ADD_ON	650 MW	615,000	369,140
75.JAWA1_1.1	800 MW	750,000	475,737
76.JAWA1_2.1	800 MW	750,000	475,737
77.PLTGU_JAWA7.1	800 MW	700,000	478,048
78.INDRAMAYU4_1.1	500 MW	400,000	103,910
79.INDRAMAYU4_1.2	500 MW	400,000	103,910
80.PLTU_JAWA4_2.1	500 MW	470,000	16,649
81.PLTU_JAWA4_2.2	500 MW	470,000	16,649
82.CIRATA1	112 MW	100,000	50,388
86.CISOKAN1	260 MW	240,000	67,840
87.CISOKAN2	260 MW	240,000	67,840
88.SAGULING1	164,88 MW	120,000	45,541
89.PLTU_JAWA1_1(1)	500 MW	470,000	97,729
90.PLTU_JAWA1_1(2)	500 MW	470,000	97,730
91.JATENG1(1)	500 MW	470,000	41,910
92.JATENG1(2)	500 MW	470,000	41,910
93.JATENG2(1)	500 MW	470,000	41,910
94.JATENG2(2)	500 MW	470,000	41,910
95.TJATIB_1(1)	641,6 MW	600,000	46,445
96.TJATIB_1(2)	641,6 MW	600,000	46,445
97.TJATIB_2(1)	641,6 MW	600,000	46,445
98.TJATIB_2(2)	641,6 MW	600,000	46,445
99.PLTU_JAWA4_1(1)	500 MW	470,000	28,101
100.PLTU_JAWA4_1(2)	500 MW	470,000	28,101
101.RWLO1	660 MW	475,000	45,177
102.MATTENGGENG1	225 MW	200,000	65,379
103.MATTENGGENG2	225 MW	200,000	65,379
104.MATTENGGENG3	225 MW	200,000	65,379

**Tabel 3.2** Data Pembangkitan Sistem Transmisi Jawa-Bali Tahun 2026 (lanjutan)

Bus	Rating	Pembangkitan	
		MW	Mvar
105.CILCAP3 EXP	614 MW	350,000	159,312
106.JAWA8_1(1)	500 MW	450,000	163,221
107.JAWA8_1(2)	500 MW	450,000	163,221
108..ADIPALA1	660 MW	600,000	1,514
109.JAWA3	800 MW	700,000	283,170
110.GRATI4_PEAKER	450 MW	250,000	200,273
111.JAWA5.1	800 MW	750,000	236,739
112.JAWA5.2	800 MW	750,000	236,739
113.PAITON5	640 MW	600,000	162,624
114.PAITON6	640 MW	600,000	162,624
115.PAITON7	640 MW	600,000	162,624
116.PAITON8	640 MW	600,000	162,624
117.PAITON9	640 MW	600,000	162,624
118.BOGOR1	800 MW	700,000	332,427
119.BOGOR2	800 MW	700,000	332,427
120.BOGOR3	800 MW	700,000	332,427
TOTAL		28924,483	10337,333

**3.2.3. Data Impedansi Saluran Sistem Transmisi 500 kV****Tabel 3.3** Data Impedansi Saluran Transmisi 500 kV Jawa-Bali Tahun 2026

ID	BUS		Impedansi		
	dari Bus	ke Bus	R	X	Y
1-2	NEW SURALAYA	SURALAYA	0,002	0,016	0,000
1-2_2	NEW SURALAYA	SURALAYA	0,002	0,016	0,000
1-3	SURALAYA	CLGON	0,012	0,144	0,000
1-3_2	SURALAYA	CLGON	0,012	0,144	0,000
1-6	BLRJA	SURALAYA	0,052	0,588	0,000
1-6_2	BLRJA	SURALAYA	0,052	0,588	0,000
2-55	BANTEN	NEW SURALAYA	0,004	0,032	0,000
2-55_2	BANTEN	NEW SURALAYA	0,004	0,032	0,000
3-4	CLGON	BOGOR	0,254	2,432	54,432
3-4_2	CLGON	BOGOR	0,254	2,432	54,432
4-13	DEPOK	BOGOR	0,022	0,264	0,000
4-13_2	DEPOK	BOGOR	0,022	0,264	0,000
4-14	CIGRE	BOGOR	0,126	1,220	109,227

**Tabel 3.3** Data Impedansi Saluran Transmisi 500 kV Jawa-Bali Tahun 2026 (lanjutan)

ID	BUS		Impedansi		
	dari Bus	ke Bus	R	X	Y
4-14_2	CIGRE	BOGOR	0,126	1,220	109,227
4-15	CIBINONG	BOGOR	0,070	0,676	0,000
4-15_2	CIBINONG	BOGOR	0,070	0,676	0,000
5-6	LKONG	BLRJA	0,038	0,366	0,000
5-6_2	LKONG	BLRJA	0,038	0,366	0,000
5-12	GANDUL	LKONG	0,046	0,440	0,000
5-12_2	GANDUL	LKONG	0,046	0,440	0,000
6-11	CKUPA	BLRJA	0,012	0,184	0,000
6-11_2	CKUPA	BLRJA	0,012	0,184	0,000
6-50	BLRJA	BJNEGARA	0,048	0,718	0,000
6-50_2	BLRJA	BJNEGARA	0,048	0,718	0,000
6-51	BLRJA	TANARA	0,018	0,278	0,000
6-51_2	BLRJA	TANARA	0,018	0,278	0,000
7-8	MKRNG	PRIOK	0,008	0,092	0,000
7-8_2	MKRNG	PRIOK	0,008	0,092	0,000
7-9	DUKSB	MKRNG	0,012	0,138	0,000
7-9_2	DUKSB	MKRNG	0,012	0,138	0,000
8-20	PRIOK	MUARA TAWAR	0,012	0,138	0,000
8-20_2	PRIOK	MUARA TAWAR	0,012	0,138	0,000
9-10	KMBNG	DUKSB	0,002	0,028	0,000
9-10_2	KMBNG	DUKSB	0,002	0,028	0,000
10-11	KMBNG	CKUPA	0,022	0,244	0,000
10-11_2	KMBNG	CKUPA	0,022	0,244	0,000
10-12	GANDUL	KMBNG	0,030	0,338	0,000
10-12_3	GANDUL	KMBNG	0,030	0,338	0,000
12-13	DEPOK	GANDUL	0,024	0,240	0,000
12-13_2	DEPOK	GANDUL	0,024	0,240	0,000
12-16	DEPOK2	GANDUL	0,016	0,240	0,000
12-16_2	DEPOK2	GANDUL	0,016	0,240	0,000
13-15	CIBINONG	DEPOK	0,016	0,158	0,000
13-15_2	CIBINONG	DEPOK	0,016	0,158	0,000
14-25	TASIK	CIGRE	0,156	1,756	158,178
14-25_2	TASIK	CIGRE	0,156	1,756	158,178
14-27	BDSLN	CIGRE	0,094	0,906	81,043

**Tabel 3.3** Data Impedansi Saluran Transmisi 500 kV Jawa-Bali Tahun 2026 (lanjutan)

ID	BUS		Impedansi		
	dari Bus	ke Bus	R	X	Y
14-27_2	BDSLN	CIGRE	0,094	0,906	81,043
15-19	CIBINONG	TMBUN	0,036	0,340	0,000
15-19_2	CIBINONG	TMBUN	0,036	0,340	0,000
15-53	CISOKAN	CIBINONG	0,084	0,936	84,422
15-53_2	CISOKAN	CIBINONG	0,084	0,936	84,422
16-17	DEPOK2	CAWANG	0,006	0,068	0,000
16-17_2	DEPOK2	CAWANG	0,006	0,068	0,000
17-18	BEKASI	CAWANG	0,030	0,332	0,000
17-18_2	BEKASI	CAWANG	0,030	0,332	0,000
17-20	CAWANG	MUARA TAWAR	0,096	0,920	0,000
17-20_2	CAWANG	MUARA TAWAR	0,096	0,920	0,000
18-19	TMBUN	BEKASI	0,008	0,068	0,000
18-19_2	TMBUN	BEKASI	0,008	0,068	0,000
18-20	BEKASI	MUARA TAWAR	0,042	0,404	0,000
18-20_2	BEKASI	MUARA TAWAR	0,042	0,404	0,000
20-21	CBATU2	MUARA TAWAR	0,056	0,542	0,000
20-21_2	CBATU2	MUARA TAWAR	0,056	0,542	0,000
21-22	CBATU2	CBTU	0,006	0,056	0,000
21-22_2	CBATU2	CBTU	0,006	0,056	0,000
21-52	CILAMAYA	CBATU2	0,050	0,556	0,000
21-52_2	CILAMAYA	CBATU2	0,050	0,556	0,000
22-23	CBTU	DLTMS	0,002	0,022	0,000
22-23_2	CBTU	DLTMS	0,002	0,022	0,000
23-24	CRATA	DLTMS	0,042	0,476	0,000
23-24_2	CRATA	DLTMS	0,042	0,476	0,000
23-56	DLTMS	INDRAMAYU	0,104	1,554	143,813
23-56_2	DLTMS	INDRAMAYU	0,104	1,554	143,813
24-54	SAGULING	CRATA	0,028	0,270	0,000
24-54_2	SAGULING	CRATA	0,028	0,270	0,000
25-47	KSGHN	TASIK	0,040	0,588	0,000
25-47_2	KSGHN	TASIK	0,040	0,588	0,000
26-35	PEDAN	RWLO	0,306	3,420	308,230
26-35_2	PEDAN	RWLO	0,306	3,420	308,230
26-47	RWLO	KSGHN	0,098	0,936	83,813

**Tabel 3.3** Data Impedansi Saluran Transmisi 500 kV Jawa-Bali Tahun 2026 (lanjutan)

ID	BUS		Impedansi		
	dari Bus	ke Bus	R	X	Y
26-47_2	RWLO	KSGHN	0,098	0,936	83,813
26-49	ADIPALA	RWLO	0,012	0,166	0,000
26-49_2	ADIPALA	RWLO	0,012	0,166	0,000
27-28	BDSLN	UBRNG	0,078	0,740	0,000
27-28_2	BDSLN	UBRNG	0,078	0,740	0,000
27-29	MDRCN	BDSLN	0,344	3,850	346,898
27-29_2	MDRCN	BDSLN	0,344	3,850	346,898
27-54	BDSLN	SAGULING	0,038	0,422	0,000
27-54_2	BDSLN	SAGULING	0,038	0,422	0,000
28-29	UBRNG	MDRCN	0,688	7,698	173,449
28-29_2	UBRNG	MDRCN	0,688	7,698	173,449
29-32	PEMALANG	MDRCN	0,096	1,440	133,128
29-32_2	PEMALANG	MDRCN	0,096	1,440	133,128
29-58	MDRCN	CIREBON	0,018	0,210	0,000
29-58_2	MDRCN	CIREBON	0,018	0,210	0,000
30-32	PEMALANG	JW3SW	0,188	2,104	189,615
30-32_2	PEMALANG	JW3SW	0,188	2,104	189,615
30-46	JW3SW	TJJATIA	0,002	0,016	0,000
30-46_2	JW3SW	TJJATIA	0,002	0,016	0,000
30-56	INDRAMAYU	JW3SW	0,356	5,338	493,658
30-56_2	INDRAMAYU	JW3SW	0,356	5,338	493,658
31-32	PEMALANG	TANJUNG JATI	0,188	2,104	189,615
31-32_2	PEMALANG	TANJUNG JATI	0,188	2,104	189,615
31-33	UNGARAN	TANJUNG JATI	0,136	1,514	136,452
31-33_2	UNGARAN	TANJUNG JATI	0,136	1,514	136,452
32-33	PEMALANG	UNGARAN	0,116	1,292	116,460
32-33_2	PEMALANG	UNGARAN	0,116	1,292	116,460
32-57	PEMALANG	JATENG PLTU	0,016	0,240	0,000
32-57_2	PEMALANG	JATENG PLTU	0,016	0,240	0,000
33-34	TUNTANG	UNGARAN	0,022	0,248	0,000
33-34_2	TUNTANG	UNGARAN	0,022	0,248	0,000
33-42	UNGARAN	KRIAN	0,596	5,724	128,117
33-42_2	UNGARAN	KRIAN	0,596	5,724	128,117
33-45	UNGARAN	NGMBG	0,486	4,678	104,681

**Tabel 3.3** Data Impedansi Saluran Transmisi 500 kV Jawa-Bali Tahun 2026 (lanjutan)

ID	BUS		Impedansi		
	dari Bus	ke Bus	R	X	Y
33-45_2	UNGERAN	NGMBG	0,486	4,678	104,681
34-35	PEDAN	TUNTANG	0,056	0,628	0,000
34-35_2	PEDAN	TUNTANG	0,056	0,628	0,000
35-36	KEDIRI	PEDAN	0,140	1,572	141,667
35-36_2	KEDIRI	PEDAN	0,140	1,572	141,667
36-37	BANGIL	KEDIRI	0,104	1,162	104,804
36-37_2	BANGIL	KEDIRI	0,104	1,162	104,804
37-39	BANGIL	PAITON	0,112	1,256	113,210
37-39_2	BANGIL	PAITON	0,112	1,256	113,210
38-39	WTDDL	PAITON	0,184	2,774	256,650
38-39_2	WTDDL	PAITON	0,184	2,774	256,650
39-40	PAITON	GRATI	0,088	0,992	89,446
39-40_2	PAITON	GRATI	0,088	0,992	89,446
40-41	GRATI	SBSEL	0,106	1,014	90,720
40-41_2	GRATI	SBSEL	0,106	1,014	90,720
40-42	GRATI	KRIAN	0,080	0,898	0,000
40-42_2	GRATI	KRIAN	0,080	0,898	0,000
42-43	KRIAN	GRESIK	0,028	0,270	0,000
42-43_2	KRIAN	GRESIK	0,028	0,270	0,000
42-45	KRIAN	NGMBG	0,112	1,076	0,000
42-45_2	KRIAN	NGMBG	0,112	1,076	0,000
43-44	GRESIK	TNDES	0,016	0,172	0,000
43-44_2	GRESIK	TNDES	0,016	0,172	0,000
48-49	ADIPALA	CILACAP	0,004	0,058	0,000
48-49_2	ADIPALA	CILACAP	0,004	0,058	0,000
50-55	BJNEGARA	BANTEN	0,024	0,226	0,000
50-55_2	BJNEGARA	BANTEN	0,024	0,226	0,000
53-54	SAGULING	CISOKAN	0,016	0,168	0,000
53-54_2	SAGULING	CISOKAN	0,016	0,168	0,000

## 2.8. ETAP (*Electrial Transient Analyzer Program*)

Dalam melakukan proses aliran daya sistem tenaga listrik telah tersedia beberapa perangkat lunak. Salah satunya adalah ETAP (*Electrial Transient Analyzer Program*) perangkat lunak ini



memiliki beberapa tools seperti *load flow analysis*, *short-circuit analysis*, *motor acceleration analysis*, *harmonic analysis* , dan lain-lain. Pada tugas akhir digunakan perangkat lunak ETAP dengan tools yaitu menggunakan *load flow analysis* dan studi kasus analisis kontingensi N-2 saluran.

Gambar pemodelan sistem Transmisi 500 kV Jawa-Bali pada tahun 2026 yang diteliti pada tugas akhir ini tercantum pada halaman lampiran.

---Halaman ini sengaja dikosongkan---

## **BAB IV**

### **SIMULASI DAN ANALISIS**

Pada bab ini akan diuraikan analisis terkait dengan analisis aliran daya atau *load flow analysis* pada sistem transmisi Jawa-Bali 500 KV pada tahun 2026. Kemudian akan dilakukan analisis kontingensi N-2 untuk mengetahui dampak yang ditimbulkan dari kasus kontingensi N-2.

Simulasi dan analisis yang dilakukan menggunakan *software* ETAP pada kondisi *steady state*. Analisis aliran daya pada penelitian tugas akhir ini disimulasikan pada kondisi sistem beroperasi pada saat musim kemarau, yang mana diasumsikan bahwa pada blok pembangkitan di PLTA hanya sebagian pembangkit yang dioperasikan.

#### **2.9. Sistem Kelistrikan Jawa-Bali 500 KV**

Sistem tenaga listrik yang disimulasikan adalah sistem transmisi 500 kV yang terdiri dari 59 Generator, 1 Generator swing, 152 bus, dan 144 saluran transmisi. Beberapa rangkuman data pembangkitan dan beban hasil simulasi analisis aliran daya ini ditunjukkan pada tabel berikut

**Tabel 4.1** Data Sistem Kelistrikan 500 kV Jawa-Bali Tahun 2026

1	Buses	152
2	Branches	238
3	Generators	59
4	Swing Generators	1
5	Loads	58
6	Load-MW	28924,48 MW
7	Load-Mvar	10337,33 Mvar
8	Generation-MW	28924,48 MW
9	Generation-Mvar	10337,33 Mvar
10	Loss-MW	256,983 MW
11	Loss-Mvar	-2177,48 Mvar

## 2.10. Simulasi Aliran Daya pada Kondisi Normal

Perhitungan aliran daya pada tugas akhir ini dilakukan dengan menggunakan *software* ETAP dengan metode Newton Raphson untuk mengetahui kondisi awal dari sistem (*Base Case*) sebelum terjadi kontingensi N-2.

Setelah semua data dimasukkan dalam pemodelan sistem transmisi 500 kV Jawa-Bali tahun 2026 maka dilakukan *running Load flow analysis* untuk mengetahui keadaan tiap bus dan saluran transmisi pada sistem. Pada keadaan awal ini beban sistem dalam kondisi puncak. Keadaan ini diperlukan sebelum melakukan kontingensi saluran, karena analisis aliran daya ini digunakan sebagai parameter untuk melakukan analisis kontingensi saluran.

### 5.2.1. Tegangan Bus dan Pembebanan Bus

**Tabel 4.1** Aliran Daya pada Bus 500 kV Jawa-Bali Tahun 2026

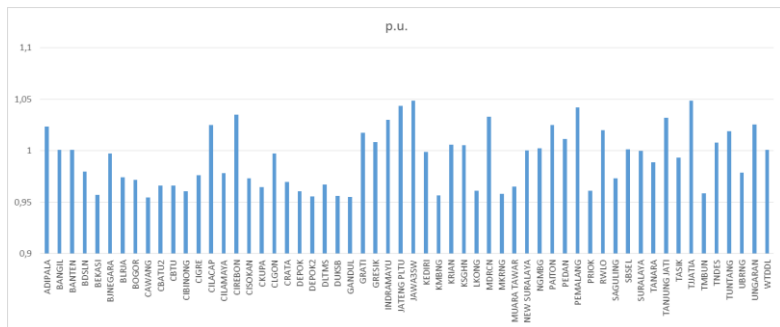
No	Bus ID	kV	Voltage %	MW	Mvar
1	ADIPALA	500	102,36	1847,43	392,90
2	BANGIL	500	100,08	1315,07	430,72
3	BANTEN	500	100,07	898,22	556,67
4	BDSLN	500	97,96	1203,23	402,16
5	BEKASI	500	95,72	1224,80	570,19
6	BJNEGARA	500	99,74	1474,22	583,35
7	BLRJA	500	97,42	5097,51	1996,36
8	BOGOR	500	97,14	3000,68	1034,30
9	CAWANG	500	95,47	846,90	410,28
10	CBATU2	500	96,63	832,25	351,07
11	CBTU	500	96,61	1385,80	606,04
12	CIBINONG	500	96,04	1729,43	481,86
13	CIGRE	500	97,63	1315,12	365,27
14	CILACAP	500	102,50	1248,24	397,64
15	CILAMAYA	500	97,84	699,09	369,22
16	CIREBON	500	103,51	938,66	128,46
17	CISOKAN	500	97,29	689,66	129,35
18	CKUPA	500	96,47	2454,57	808,55
19	CLGON	500	99,71	771,83	287,75

**Tabel 4.1** Aliran Daya pada Bus 500 kV Jawa-Bali Tahun 2026 (lanjutan)

No	Bus ID	kV	Voltage %	MW	Mvar
20	CRATA	500	96,94	886,45	241,85
21	DEPOK	500	96,07	1913,31	600,50
22	DEPOK2	500	95,53	643,68	456,26
23	DLTMS	500	96,69	1939,74	798,42
24	DUKSB	500	95,60	1330,60	644,60
25	GANDUL	500	95,51	1933,07	623,87
26	GRATI	500	101,74	1985,90	696,97
27	GRESIK	500	100,82	699,28	196,65
28	INDRAMY	500	102,97	1442,41	658,80
29	JATENG PLTU	500	104,36	1877,41	38,17
30	JAWA3SW	500	104,84	1650,37	515,97
31	KEDIRI	500	99,87	752,70	364,64
32	KMBNG	500	95,66	1800,65	904,94
33	KRIAN	500	100,58	1266,46	503,02
34	KSGHN	500	100,55	1861,78	352,32
35	LKONG	500	96,10	1484,15	516,04
36	MDRCN	500	103,31	2324,34	340,23
37	MKRNG	500	95,80	934,70	510,09
38	MUARA TAWAR	500	96,49	2850,44	1205,61
39	NEW SURALAYA	500	100,01	1321,49	365,97
40	NGMBG	500	100,25	440,10	213,30
41	PAITON	500	102,49	2997,30	594,72
42	PEDAN	500	101,13	1321,74	481,15
43	PEMALANG	500	104,20	2859,47	352,00
44	PRIOK	500	96,09	1636,50	855,52
45	RWLO	500	101,99	2320,11	594,16
46	SAGULING	500	97,33	997,45	235,52
47	SBSEL	500	100,11	680,50	329,66
48	SURALAYA	500	99,97	2575,09	1064,40
49	TANARA	500	98,85	1876,43	920,25
50	TANJUNG JATI	500	103,18	3336,31	449,44
51	TASIK	500	99,30	1854,68	254,53
52	TJJATIA	500	104,85	938,72	30,89
53	TMBUN	500	95,84	805,36	482,08
54	TNDES	500	100,76	111,90	54,21

**Tabel 4.1** Aliran Daya pada Bus 500 kV Jawa-Bali Tahun 2026 (lanjutan)

No	Bus ID	kV	Voltage %	MW	Mvar
55	TUNTANG	500	101,89	1649,98	361,71
56	UBRNG	500	97,89	526,80	228,80
57	UNGARAN	500	102,53	1950,45	449,00
58	WTDDL	500	100,09	718,90	348,27



**Gambar 4.1** Grafik Tegangan Bus pada Kondisi Awal

Berdasarkan grafik diatas dapat diketahui bahwa tegangan pada tiap bus pada sistem dalam keadaan normal mengacu pada standar ( $\pm 5\%$  p.u.).

### 5.2.2. Data Pembebanan Saluran Transmisi

**Tabel 4.2** Pembebanan Saluran Transmisi 500 kV Jawa-Bali

Bus ID	Dari Bus	Ke Bus	MW Flow	Mvar Flow	Amp Flow	%Load ing
1-2	NEW SURALAYA	SURALAYA	626,80	166,54	748,8	31,200
1-2_2	NEW SURALAYA	SURALAYA	626,80	166,54	748,8	31,200
1-3	SURALAYA	CLGON	386,12	146,33	476,9	19,871
1-3_2	SURALAYA	CLGON	386,12	146,33	476,9	19,871
1-6	BLRJA	SURALAYA	883,28	377,07	1109,0	46,208
1-6_2	BLRJA	SURALAYA	883,28	377,07	1109,0	46,208
2-55	BANTEN	NEW SURALAYA	411,23	135,99	499,8	20,825
2-55_2	BANTEN	NEW SURALAYA	411,23	135,99	499,8	20,825

**Tabel 4.2** Pembebanan Saluran Transmisi 500 kV Jawa-Bali (lanjutan)

Bus ID	Dari Bus	Ke Bus	MW Flow	Mvar Flow	Amp Flow	% Loading
3-4	CLGON	BOGOR	213,73	100,65	280,8	11,700
3-4_2	CLGON	BOGOR	213,73	100,65	280,8	11,700
4-13	DEPOK	BOGOR	959,05	329,01	1205,0	50,208
4-13_2	DEPOK	BOGOR	959,05	329,01	1205,0	50,208
4-14	CIGRE	BOGOR	237,81	62,15	292,2	12,175
4-14_2	CIGRE	BOGOR	237,81	62,15	292,2	12,175
4-15	CIBINONG	BOGOR	404,24	121,75	501,8	20,908
4-15_2	CIBINONG	BOGOR	404,24	121,75	501,8	20,908
5-6	LKONG	BLRJA	744,62	282,48	944,0	39,333
5-6_2	LKONG	BLRJA	744,62	282,48	944,0	39,333
5-12	GANDUL	LKONG	398,43	91,54	491,2	20,467
5-12_2	GANDUL	LKONG	398,43	91,54	491,2	20,467
6-11	CKUPA	BLRJA	1229,44	437,29	1547,0	64,458
6-11_2	CKUPA	BLRJA	1229,44	437,29	1547,0	64,458
6-50	BLRJA	BJNEGARA	737,11	291,67	917,8	38,242
6-50_2	BLRJA	BJNEGARA	737,11	291,67	917,8	38,242
6-51	BLRJA	TANARA	938,21	460,13	1221,0	50,875
6-51_2	BLRJA	TANARA	938,21	460,13	1221,0	50,875
7-8	MKRNG	PRIOK	467,60	257,89	641,7	26,738
7-8_2	MKRNG	PRIOK	467,60	257,89	641,7	26,738
7-9	DUKSB	MKRNG	197,95	124,54	281,9	11,746
7-9_2	DUKSB	MKRNG	197,95	124,54	281,9	11,746
8-20	PRIOK	MUARA TAWAR	519,05	239,18	683,9	28,496
8-20_2	PRIOK	MUARA TAWAR	519,05	239,18	683,9	28,496
9-10	KMBNG	DUKSB	467,48	199,38	613,4	25,558
9-10_2	KMBNG	DUKSB	467,48	199,38	613,4	25,558
10-11	KMBNG	CKUPA	901,78	246,59	1119,0	46,625
10-11_2	KMBNG	CKUPA	901,78	246,59	1119,0	46,625
10-12	GANDUL	KMBNG	0,61	-43,40	52,4	2,183
10-12_3	GANDUL	KMBNG	0,61	-43,40	52,4	2,183
12-13	DEPOK	GANDUL	569,86	168,64	714,3	29,763
12-13_2	DEPOK	GANDUL	569,86	168,64	714,3	29,763

**Tabel 4.2** Pembebanan Saluran Transmisi 500 kV Jawa-Bali (lanjutan)

Bus ID	Dari Bus	Ke Bus	MW Flow	Mvar Flow	Amp Flow	%Loading
12-16	DEPOK2	GANDUL	321,84	-28,31	390,5	16,271
12-16_2	DEPOK2	GANDUL	321,84	-28,31	390,5	16,271
13-15	CIBINONG	DEPOK	118,15	1,46	142,0	5,917
13-15_2	CIBINONG	DEPOK	118,15	1,46	142,0	5,917
14-25	TASIK	CIGRE	664,64	-3,31	772,9	32,204
14-25_2	TASIK	CIGRE	664,64	-3,31	772,9	32,204
14-27	BDSLN	CIGRE	42,00	-78,12	104,9	4,371
14-27_2	BDSLN	CIGRE	42,00	-78,12	104,9	4,371
15-19	CIBINONG	TMBUN	403,31	17,41	485,3	20,221
15-19_2	CIBINONG	TMBUN	403,31	17,41	485,3	20,221
15-53	CISOKAN	CIBINONG	343,68	130,73	442,1	18,421
15-53_2	CISOKAN	CIBINONG	343,68	130,73	442,1	18,421
16-17	DEPOK2	CAWANG	51,29	68,75	103,7	4,321
16-17_2	DEPOK2	CAWANG	51,29	68,75	103,7	4,321
17-18	BEKASI	CAWANG	143,85	58,11	187,2	7,800
17-18_2	BEKASI	CAWANG	143,85	58,11	187,2	7,800
17-20	CAWANG	MUARA TAWAR	229,01	85,10	292,4	12,183
17-20_2	CAWANG	MUARA TAWAR	229,01	85,10	292,4	12,183
18-19	TMBUN	BEKASI	210,68	148,02	310,2	12,925
18-19_2	TMBUN	BEKASI	210,68	148,02	310,2	12,925
18-20	BEKASI	MUARA TAWAR	402,61	145,52	512,3	21,346
18-20_2	BEKASI	MUARA TAWAR	402,61	145,52	512,3	21,346
20-21	CBATU2	MUARA TAWAR	154,88	9,71	185,4	7,725
20-21_2	CBATU2	MUARA TAWAR	154,88	9,71	185,4	7,725
21-22	CBATU2	CBTU	67,40	-39,26	93,2	3,884
21-22_2	CBATU2	CBTU	67,40	-39,26	93,2	3,884
21-52	CILAMAYA	CBATU2	349,55	184,61	466,5	19,438
21-52_2	CILAMAYA	CBATU2	349,55	184,61	466,5	19,438
22-23	CBTU	DLTMS	693,02	265,09	886,1	36,921
22-23_2	CBTU	DLTMS	693,02	265,09	886,1	36,921
23-24	CRATA	DLTMS	255,68	30,06	306,7	12,779
23-24_2	CRATA	DLTMS	255,68	30,06	306,7	12,779



**Tabel 4.2** Pembebanan Saluran Transmisi 500 kV Jawa-Bali (lanjutan)

Bus ID	Dari Bus	Ke Bus	MW Flow	Mvar Flow	Amp Flow	% Loading
23-56	DLTMS	INDRAMY	714,49	372,50	962,3	40,096
23-56_2	DLTMS	INDRAMY	714,49	372,50	962,3	40,096
24-54	SAGULING	CRATA	393,74	104,49	483,3	20,138
24-54_2	SAGULING	CRATA	393,74	104,49	483,3	20,138
25-47	KSGHN	TASIK	930,89	176,16	1088,0	45,333
25-47_2	KSGHN	TASIK	930,89	176,16	1088,0	45,333
26-35	PEDAN	RWLO	44,93	178,95	210,7	8,779
26-35_2	PEDAN	RWLO	44,93	178,95	210,7	8,779
26-47	RWLO	KSGHN	631,10	113,15	736,3	30,679
26-47_2	RWLO	KSGHN	631,10	113,15	736,3	30,679
26-49	ADIPALA	RWLO	923,72	168,37	1059,0	44,125
26-49_2	ADIPALA	RWLO	923,72	168,37	1059,0	44,125
27-28	BDSLN	UBRNG	27,24	-12,34	35,3	1,469
27-28_2	BDSLN	UBRNG	27,24	-12,34	35,3	1,469
27-29	MDRCN	BDSLN	532,41	201,08	670,9	27,954
27-29_2	MDRCN	BDSLN	532,41	201,08	670,9	27,954
27-54	BDSLN	SAGULING	439,56	109,31	533,9	22,246
27-54_2	BDSLN	SAGULING	439,56	109,31	533,9	22,246
28-29	UBRNG	MDRCN	263,40	102,13	333,3	13,888
28-29_2	UBRNG	MDRCN	263,40	102,13	333,3	13,888
29-32	PEMALANG	MDRCN	697,54	-21,89	773,4	32,225
29-32_2	PEMALANG	MDRCN	697,54	-21,89	773,4	32,225
29-58	MDRCN	CIREBON	469,33	64,23	528,4	22,017
29-58_2	MDRCN	CIREBON	469,33	64,23	528,4	22,017
30-32	PEMALANG	JAWA3SW	358,13	-154,11	432,1	18,004
30-32_2	PEMALANG	JAWA3SW	358,13	-154,11	432,1	18,004
30-46	JAWA3SW	TJJATIA	469,36	-15,44	517,2	21,550
30-46_2	JAWA3SW	TJJATIA	469,36	-15,44	517,2	21,550
30-56	INDRAMY	JAWA3SW	321,71	250,51	457,2	19,050
30-56_2	INDRAMY	JAWA3SW	321,71	250,51	457,2	19,050
31-32	PEMALANG	TANJUNG JATI	496,77	-170,60	587,8	24,492
31-32_2	PEMALANG	TANJUNG JATI	496,77	-170,60	587,8	24,492

**Tabel 4.2** Pembebanan Saluran Transmisi 500 kV Jawa-Bali (lanjutan)

Bus ID	Dari Bus	Ke Bus	MW Flow	Mvar Flow	Amp Flow	%Loading
31-33	UNGARAN	TANJUNG JATI	819,09	-54,12	918,7	38,279
31-33_2	UNGARAN	TANJUNG JATI	819,09	-54,12	918,7	38,279
32-33	PEMALANG	UNGARAN	164,71	177,43	272,7	11,363
32-33_2	PEMALANG	UNGARAN	164,71	177,43	272,7	11,363
32-57	PEMALANG	JATENG PLTU	938,71	19,08	1039,0	43,292
32-57_2	PEMALANG	JATENG PLTU	938,71	19,08	1039,0	43,292
33-34	TUNTANG	UNGARAN	826,50	197,90	957,1	39,879
33-34_2	TUNTANG	UNGARAN	826,50	197,90	957,1	39,879
33-42	UNGARAN	KRIAN	31,41	95,60	115,5	4,813
33-42_2	UNGARAN	KRIAN	31,41	95,60	115,5	4,813
33-45	UNGARAN	NGMBG	72,76	92,78	135,8	5,658
33-45_2	UNGARAN	NGMBG	72,76	92,78	135,8	5,658
34-35	PEDAN	TUNTANG	618,04	80,60	706,3	29,429
34-35_2	PEDAN	TUNTANG	618,04	80,60	706,3	29,429
35-36	KEDIRI	PEDAN	163,84	133,71	244,5	10,188
35-36_2	KEDIRI	PEDAN	163,84	133,71	244,5	10,188
36-37	BANGIL	KEDIRI	212,98	-50,89	252,6	10,525
36-37_2	BANGIL	KEDIRI	212,98	-50,89	252,6	10,525
37-39	BANGIL	PAITON	657,53	164,47	782,0	32,583
37-39_2	BANGIL	PAITON	657,53	164,47	782,0	32,583
38-39	WTDDL	PAITON	359,45	174,14	460,8	19,200
38-39_2	WTDDL	PAITON	359,45	174,14	460,8	19,200
39-40	PAITON	GRATI	118,88	112,76	186,0	7,750
39-40_2	PAITON	GRATI	118,88	112,76	186,0	7,750
40-41	GRATI	SBSEL	340,25	164,83	436,1	18,171
40-41_2	GRATI	SBSEL	340,25	164,83	436,1	18,171
40-42	GRATI	KRIAN	328,48	106,51	391,9	16,329
40-42_2	GRATI	KRIAN	328,48	106,51	391,9	16,329
42-43	KRIAN	GRESIK	274,48	61,85	322,3	13,429
42-43_2	KRIAN	GRESIK	274,48	61,85	322,3	13,429
42-45	KRIAN	NGMBG	147,53	16,22	170,4	7,100
42-45_2	KRIAN	NGMBG	147,53	16,22	170,4	7,100

**Tabel 4.2** Pembebanan Saluran Transmisi 500 kV Jawa-Bali (lanjutan)

Bus ID	Dari Bus	Ke Bus	MW Flow	Mvar Flow	Amp Flow	%Loading
43-44	GRESIK	TNDES	55,96	27,17	71,3	2,969
43-44_2	GRESIK	TNDES	55,96	27,17	71,3	2,969
48-49	ADIPALA	CILACAP	624,12	198,82	737,9	30,746
48-49_2	ADIPALA	CILACAP	624,12	198,82	737,9	30,746
50-55	BJNEGARA	BANTEN	37,87	142,34	170,0	7,083
50-55_2	BJNEGARA	BANTEN	37,87	142,34	170,0	7,083
53-54	SAGULING	CISOKAN	104,98	13,27	125,5	5,229
53-54_2	SAGULING	CISOKAN	104,98	13,27	125,5	5,229

Berdasarkan hasil simulasi aliran daya yang ditunjukkan pada tabel 4.2. dapat diketahui bahwa saluran pada sistem transmisi 500 kV Jawa-Bali dalam kondisi normal atau tidak ada yang melebihi batas KHA. Pada tugas akhir ini diasumsikan seluruh saluran memiliki KHA sebesar 2400 A. Pembebanan tertinggi berada pada 2 saluran CIKUPA-BALARAJA dengan pembebanan sebesar 64,45 %

### 5.3. Kontingensi N-2 pada Saluran Transmisi

Setelah melakukan analisis aliran daya pada sistem dan dipastikan sistem dalam keadaan normal selanjutnya akan dilakukan simulasi kontingensi N-2 pada seluruh saluran transmisi 500 kV Jawa-Bali. Simulasi kasus kontingensi N-2 dilakukan dengan menggunakan tools dalam *software* ETAP. Tools yang digunakan adalah *Contingency Analysis Study Case* dengan opsi studi kasus kontingensi N-2. Simulasi pada studi kasus kontingensi N-2 ini akan didapatkan data berupa daftar seleksi kontingensi yang diurutkan berdasarkan indeks keamanan tegangan bus atau *Bus Voltage Security Index*.

### 5.4. Seleksi Kontingensi

Berdasarkan hasil dari simulasi kontingensi yang telah dilakukan maka akan diketahui urutan dampak yang paling kritis saat terjadi kontingensi N-2 terhadap sistem transmisi. Daftar seleksi kontingensi diurutkan berdasarkan indeks performansi,

dalam kasus tugas akhir ini digunakan parameter indeks keamanan tegangan bus atau *Bus Voltage Security Index*. Daftar seleksi kontingensi ini dibutuhkan untuk mengetahui saluran-saluran mana yang paling memiliki dampak membahayakan bagi sistem jika terlepas. Dibawah ini adalah daftar urutan 10 teratas seleksi kontingensi dari simulasi kontingensi N-2 yang telah dilakukan dengan *software* ETAP.

**Tabel 4.3** Daftar Urutan Seleksi Kontingensi N-2 Saluran

No	Kontingensi Saluran		Indeks Performasi (PI)	Case	Status
	Outage 1	Outage 2			
1	23-56_2	23-56	1,5794	Undervoltage, Overvoltage	Critical
2	6-11_2	6-11	0,5353	Undervoltage	Critical
3	27-29	23-56	0,5124	Undervoltage	Critical
4	27-29_2	23-56	0,5124	Undervoltage	Critical
5	27-29	23-56_2	0,5124	Undervoltage	Critical
6	27-29_2	23-56_2	0,5124	Undervoltage	Critical
7	14-25	23-56	0,4942	Undervoltage	Critical
8	14-25_2	23-56	0,4942	Undervoltage	Critical
9	14-25	23-56_2	0,4942	Undervoltage	Critical
10	14-25_2	23-56_2	0,4942	Undervoltage	Critical

Berdasarkan data tabel 4.3 dapat diketahui bahwa kontingensi N-2 saluran 23-56\_2 dan 23-56 yaitu 2 saluran yang menghubungkan bus DLTMS dengan bus INDRAMY adalah 2 saluran yang paling berdampak terhadap sistem jika terjadi gangguan secara bersamaan. Jika 2 saluran tersebut lepas dari sistem secara bersamaan maka akan menyebabkan beberapa bus mengalami mengalami ketidakstabilan tegangan.

### 5.5. Analisis Kontingensi

Hasil studi kasus kontingensi N-2 menunjukkan bahwa saluran transmisi mempunyai risiko yang sangat besar jika terlepas dari

sistem karena akan menyebabkan gangguan terhadap aliran daya. Dari hasil seleksi kontingensi yang terdapat pada tabel 4.3 dapat diketahui bahwa saluran yang paling berdampak pada sistem transmisi 500 kV Jawa-Bali tahun 2026 adalah 2 saluran yang menghubungkan antara bus DLTMS dengan bus INDRAMY. Ketika saluran tersebut lepas dari sistem secara bersamaan, sebanyak 25 bus pada sistem 500 kV mengalami ketidakstabilan tegangan. Pada kasus kontingensi N-2 terparah terdapat 20 bus mengalami *undervoltage* dan 5 bus mengalami *overvoltage*. Beberapa bus yang terdampak oleh lepasnya 2 saluran tersebut dari sistem ditunjukkan pada Tabel 4.4 dan Tabel 4.5

### 5.5.1. Dampak Kontingensi (*Undervoltage*)

Terdapat 25 bus pada sistem yang mengalami *undervoltage* setelah terjadinya kontingensi N-2 di saluran 23-56\_2 dan 23-56. Beberapa bus mengalami *undervoltage* karena daya yang disuplai pembangkit menuju bus harus melewati saluran lain akibat dari lepasnya 2 saluran. Akibatnya saluran yang harus dilewati menjadi lebih panjang dan arus saluran semakin besar sehingga rugi-rugi saluran menjadi besar.

**Tabel 4.4** Kondisi BUS *Undervoltage* saat Terjadi Kontingensi N-2

No	BUS	Kasus	Rating (kV)	Post Contingency		Status
				Tegangan (kV)	Tegangan (%)	
1	CAWANG	Undervoltage	500	469,25	93,85	Critical
2	CBATU2	Undervoltage	500	466	93,2	Critical
3	CBTU	Undervoltage	500	464,85	92,97	Critical
4	CIBINONG	Undervoltage	500	471,75	94,35	Critical
5	CILAMAYA	Undervoltage	500	473,7	94,74	Critical
6	CISOKAN	Undervoltage	500	473,95	94,79	Critical
7	CRATA	Undervoltage	500	468,9	93,78	Critical
8	DEPOK	Undervoltage	500	472,4	94,48	Critical
9	DEPOK2	Undervoltage	500	469,65	93,93	Critical
10	DLTMS	Undervoltage	500	464,85	92,97	Critical
11	DUKSB	Undervoltage	500	470,85	94,17	Critical

**Tabel 4.4** Kondisi BUS *Undervoltage* saat Terjadi Kontingensi N-2 (lanjutan)

No	BUS	Kasus	Rating (kV)	Post Contingency		Status
				Tegangan (kV)	Tegangan (%)	
12	GANDUL	Undervoltage	500	470,05	94,01	Critical
13	KMBNG	Undervoltage	500	471,3	94,26	Critical
14	LKONG	Undervoltage	500	474,5	94,9	Critical
15	TMBUN	Undervoltage	500	470,75	94,15	Critical
16	UBRNG	Undervoltage	500	473,3	94,66	Critical
17	PRIOK	Undervoltage	500	472,55	94,51	Critical
18	SAGULING	Undervoltage	500	472,65	94,53	Critical
19	MUARA TAWAR	Undervoltage	500	473,85	94,77	Critical
20	MKRNG	Undervoltage	500	471,4	94,28	Critical

Kontingensi 2 saluran berdampak penurunan tegangan pada 20 bus sehingga mengalami bus *undervoltage*. Dari 20 bus yang mengalami *undervoltage*, bus yang paling terdampak mengalami *undervoltage* paling kritis adalah bus DLTMS (92,97%) dan bus CBTU (92,97%). Jika kondisi ini tidak segera dilakukan perbaikan tegangan, maka dikhawatirkan akan menyebabkan kondisi yang lebih buruk yaitu sistem padam total atau *blackout*.

Untuk memperbaiki dampak dari kondisi *undervoltage* tersebut dapat dilakukan kajian yang lebih mendalam mengenai analisis skema pertahanan pada sistem atau *defense scheme* pada sistem saat terjadi gangguan outage 2 saluran yang paling berdampak. Skema pertahanan diperlukan untuk mempertahankan sistem dari hal-hal yang tidak diinginkan seperti pemadaman (*blackout*) partial/ sebagian dan pemadaman total. Skema pertahanan diperlukan agar sistem kelistrikan tidak mengalami keruntuhan sistem (*collapsed*).

### 5.5.2. Dampak Kontingensi (*Overvoltage*)

Terdapat 5 bus pada sistem yang mengalami *overvoltage* setelah terjadinya kontingensi N-2 di saluran 23-56\_2 dan 23-56. Beberapa bus mengalami *overvoltage* karena pada bus tersebut terhubung langsung atau berada dekat dengan pembangkit.

Sehingga saat terjadi kontingensi N-2 saluran, aliran daya pada bus menjadi terganggu.

**Tabel 4.5** Kondisi BUS *Overvoltage* saat Terjadi Kontingensi N-2

No	BUS	Kasus	Rating (kV)	Post Contingency		Status
				Tegangan (kV)	Tegangan (%)	
1	PEMALANG	Overvoltage	500	526,6	105,32	Critical
2	TJJATIA	Overvoltage	500	573,85	114,77	Critical
3	INDRAMY	Overvoltage	500	657,9	131,58	Critical
4	JATENG PLTU	Overvoltage	500	526,5	105,3	Critical
5	JW3SW	Overvoltage	500	573,8	114,76	Critical

Berdasarkan data yang tertera pada tabel 4.5 dapat diketahui bahwa kontingensi 2 saluran berdampak kenaikan tegangan melewati standar batas normal pada 5 bus sehingga mengalami bus *overvoltage*. Dari 5 bus yang mengalami undervoltage, bus yang paling terdampak mengalami undervoltage paling kritis adalah bus INDRAMY (131,58%). Jika kondisi ini tidak segera dilakukan tindakan penstabilan sistem, maka dikhawatirkan akan menyebabkan kondisi yang lebih buruk seperti kerusakan peralatan pada bus dalam hal ini bus merepresentasikan Gardu Induk Tegangan Ekstra Tinggi (GITET) karena *overrating*.

Untuk memperbaiki dampak dari kondisi *overvoltage* tersebut dapat dilakukan kajian yang lebih mendalam mengenai analisis skema pertahanan pada sistem atau *defense scheme* pada sistem saat terjadi gangguan outage 2 saluran yang paling berdampak. Skema pertahanan diperlukan untuk mempertahankan sistem dari hal –hal yang tidak diinginkan seperti pemadaman (*blackout*) partial/ sebagian dan pemadaman total. Skema pertahanan diperlukan agar sistem kelistrikan tidak mengalami keruntuhan sistem (*collapsed*).

---Halaman ini sengaja dikosongkan---



## **BAB V**

### **KESIMPULAN**

#### **5.6. Kesimpulan**

Berdasarkan simulasi dan analisis yang telah dilakukan pada tugas akhir ini, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Kasus kontingensi saluran N-2 terparah terjadi pada saluran transmisi 500 kV terjadi pada 2 saluran yang menghubungkan bus DELTAMAS dengan bus CIBATU
2. Lepasnya 2 saluran paling berdampak menyebabkan gangguan pada sistem berupa *undervoltage* sebanyak 20 bus dan *overvoltage* sebanyak 5 bus.
3. Hasil studi kasus kontingensi N-2 menunjukkan bahwa saluran transmisi mempunyai risiko yang sangat besar jika terlepas dari sistem karena akan menyebabkan gangguan terhadap aliran daya.
4. Terjadinya gangguan aliran daya pada sistem setelah terjadinya kontingensi dapat menyebabkan kegagalan operasi peralatan. Apabila tidak dilakukan mitigasi atau skema pertahanan sistem lebih lanjut, dikhawatirkan kegagalan operasi peralatan tersebut dapat mengakibatkan pemadaman pada beberapa titik. Dan bila tidak bisa diatasi, dapat berakhir dengan pemadaman sebagian atau bahkan pemadaman total (black out) pada sistem.

#### **5.7. Saran**

Adapun saran untuk memperbaiki dan mengembangkan hasil penelitian terkait tugas akhir ini yaitu:

1. Analisis kontingensi ini dapat digunakan untuk menguji keandalan dari sebuah sistem yang berukuran besar, dalam hal ini keandalan sistem dalam mengatasi gangguan.
2. Perlu dilakukan studi kasus skema pertahanan sistem (*defense scheme*) lebih lanjut agar sistem tetap berjalan dengan stabil saat terjadi kontingensi N-2 saluran.

---Halaman ini sengaja dikosongkan---

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] KEMENESDM, “Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik 2017-2026,” vol. 2027, no. 1415, 2017.
- [2] Grainger, John J., and William D. Stevenson. *Power system analysis*. Vol. 621. New York: McGraw-Hill, 1994.
- [3] Saadat, Hadi, “Power System Analysis 2nd Edition”, McGraw Hill, Boston, 2004.
- [4] Penangsang, Ontoseno, “*Analisis Aliran daya pada sistem tenaga listrik*”, Surabaya 2012
- [5] F.U.P, Dimas, “ Analisis Kontingensi Sistem Kelistrikan Sulawesi Selatan dan Barat,” Tugas Akhir Teknik Elektro-ITS, 2010
- [6] Penangsang, Ontoseno.”Kestabilan Sistem Tenaga Listrik” Diktat Kuliah Analisis Sistem Tenaga Listrik 2, Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- [7] Hermawan, Ahmad. "Analisis Kontingensi pada Sistem Tenaga Listrik dengan Metode Aliran Daya." *Jurnal ELTEK* 5 (2007).
- [8] Susilo , Yusuf “Analisis Kontingensi Sistem Transmisi 500 KV Jawa-Bali menggunakan EDSA . Skripsi S1, Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi FT UGM 2005
- [9] Eko Setiawan,”Analisis Kontingensi pada Sistem Tenaga menggunakan ANN” ITS Surabaya, 1999.
- [10] Mirza, “*Peningkatan Kestabilan Tegangan Di Sistem Kelistrikan Jawa Bali Dengan Manajemen Cadangan Daya Reaktif BAB IP*”, Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. 2008
- [11] Rachaman, Arif,”Analisis Kontingensi Pada Sistem Jawa-Bali 500KV Untuk Mendesain Keamanan Operasi”, Tugas Akhir Teknik Elekrto-ITS, 2010

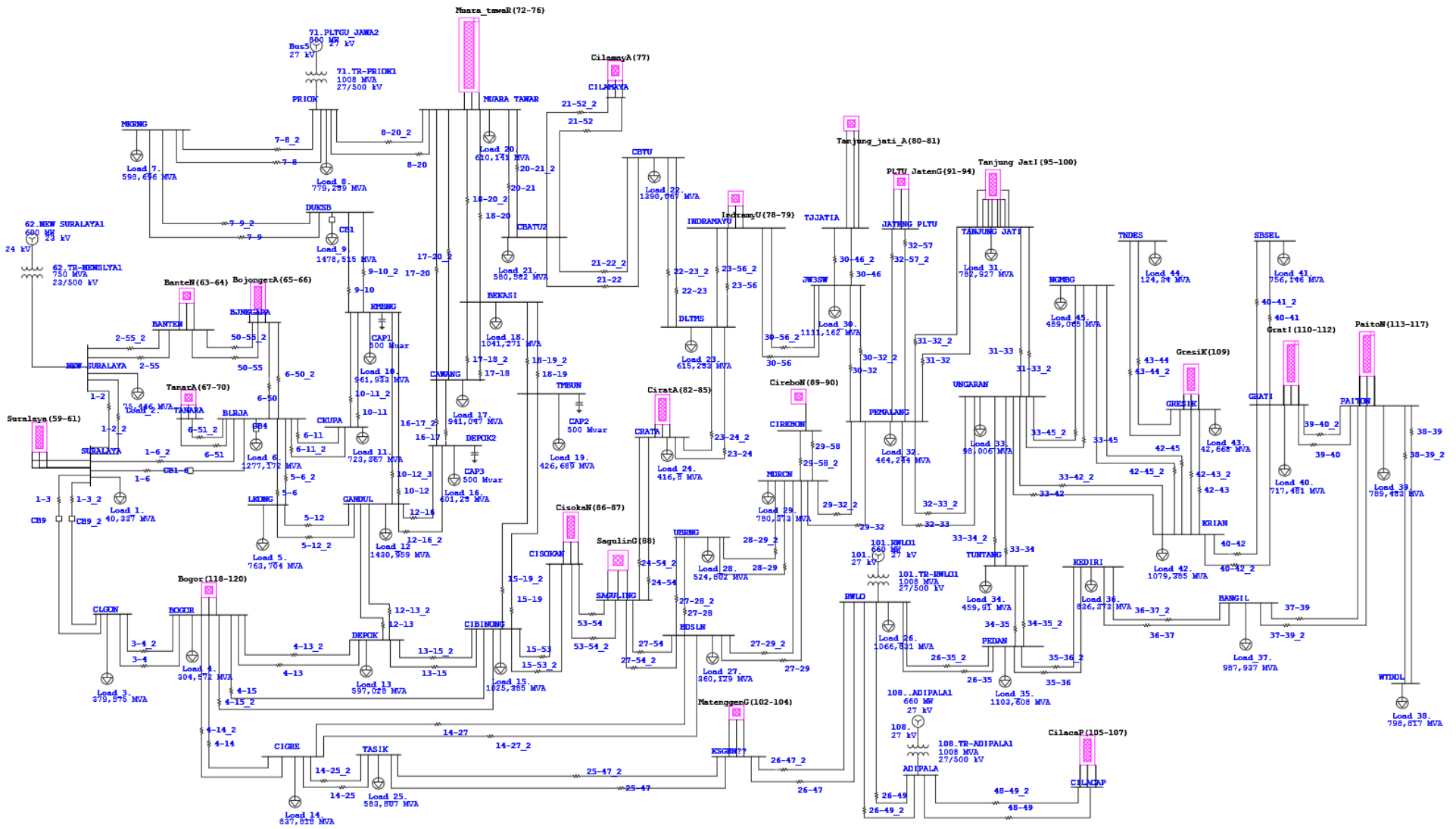
- [12] PT. PLN (persero), “Data Pembangkit dan transmisi dari Sistem Jawa-Bali 500KV” 2017
- [13] Glover, J. Duncan, “ Power System Analysis and Design 5th Edition “, Cengage Learning, USA, 2011.
- [14] Pradeep Yemula, “Transmission Expansion Planning Considering Contingency Criteria and Network Utilization”, Fiftenth National Power System Conference,IIT Bombay,December 2008
- [15] M. Faishol Adityo,”Analisis Kestabilan Transien Pada Sistem Kelistrikan PT. Pupuk Kalimantan Timur Akibat Pengaktifan Kembali Pembangkit 11 MW,”Inst. Teknol. Sepuluh Nop., 2012

## **LAMPIRAN**

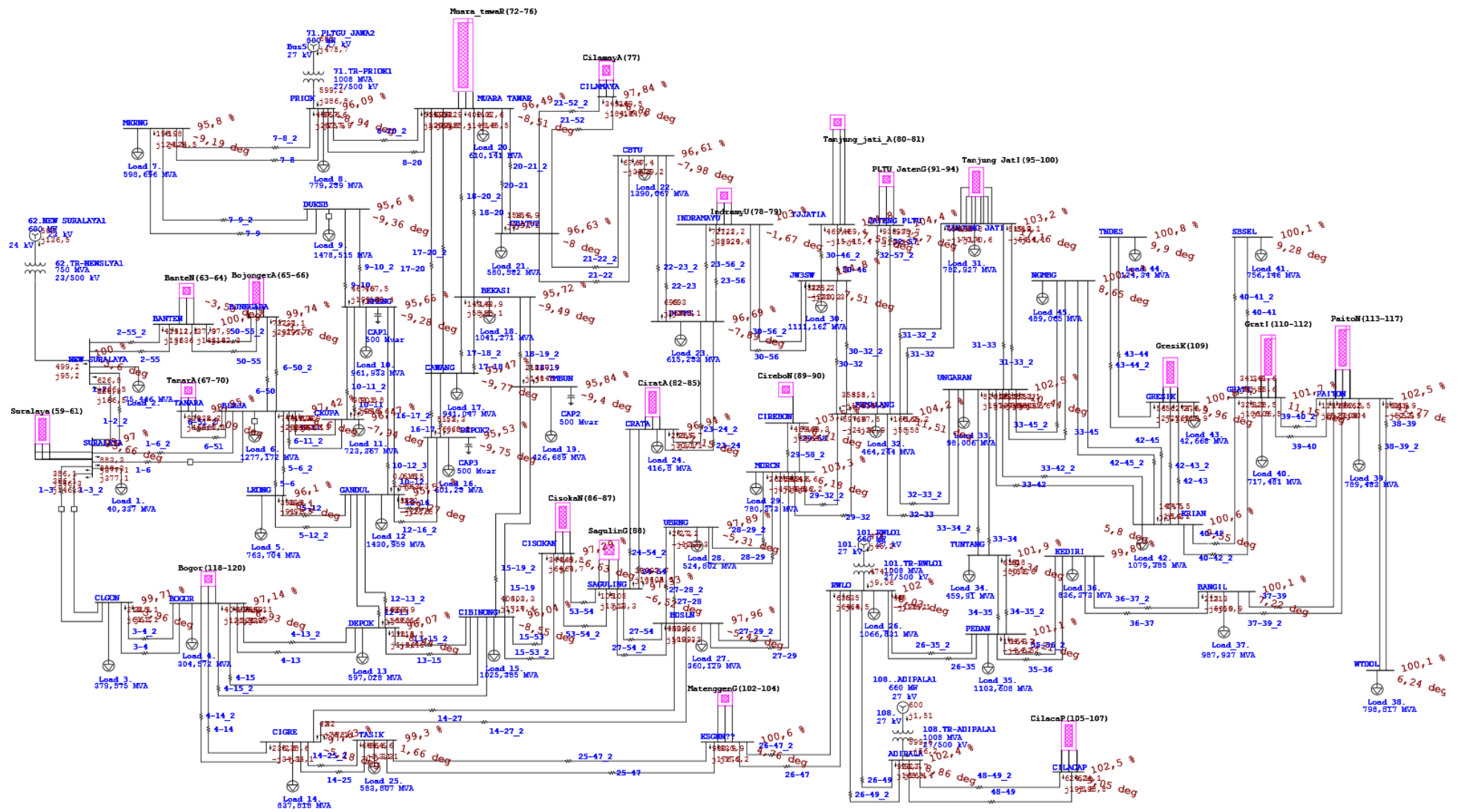
- Lampiran 1 : Pemodelan Sistem 500 kV Jawa-Bali Tahun 2026
- Lampiran 2 : Simulasi Aliran Daya Sistem 500 kV Jawa-Bali Tahun 2026 dalam Keadaan Normal
- Lampiran 3 : Simulasi Aliran Daya Sistem 500 kV Jawa-Bali Tahun 2026 Setelah Terjadi Kontingensi
- Lampiran 4 : Gambar Peta Saluran Transmisi pada sistem 500 kV Jawa-Bali berdasarkan RUPTL PLN 2017-2026
- Lampiran 5 : *Line Transmission Technical Parameters*

--Halaman ini sengaja dikosongkan--

# LAMPIRAN 1

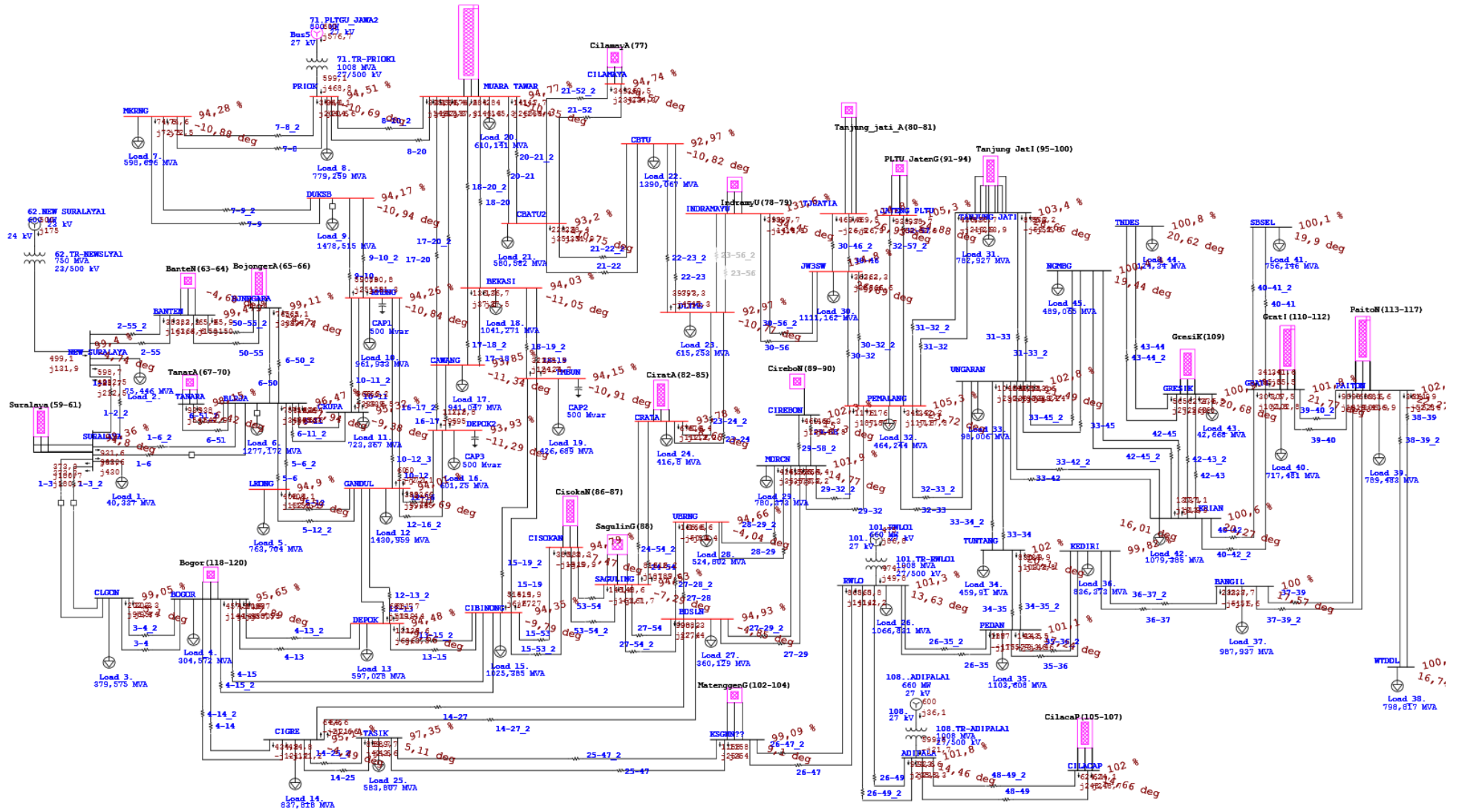


LAMPIRAN 2





LAMPIRAN 3



## LAMPIRAN 4



# LAMPIRAN 5

## TECHNICAL PARAMETERS OF CONDUCTOR

OVERHEAD LINES												
VOLTAGE (kV)	CONDUCTORS PER PHASE	CODE NAME	Z <sub>1</sub> (Ohm/km)		B <sub>1</sub> (uS/km)	AMPS.	THERMAL CAPACITY (MVA)	L (Henry) per km 10 <sup>-4</sup>	C(pF)/km	Surge Impedance Zo (Ohm)	S I L (MW)	Charging MVA per km
			R	X								
150 (pu/km)	1 x 160 mm <sup>2</sup>	-	0.20600	0.4200	2.73000	399	101	6.688	4347	392	57	0.0614
			0.00292	0.00187	0.00021							
150 (pu/km)	1 x 200 mm <sup>2</sup>	-	0.15600	0.4110	2.79200	477	124	6.544	4346	388	58	0.0628
			0.00269	0.00193	0.00053							
150 (pu/km)	1 x 241.7 mm <sup>2</sup>	HEN	0.13100	0.4017	2.84600	535	139	6.398	4532	376	60	0.0640
150 (pu/km)	1 x 241.7 mm <sup>2</sup>	HAWK	0.12900	0.4049	2.83300	535	139	6.447	4511	378	60	0.0637
150 (pu/km)	2 x 241.7 mm <sup>2</sup>	HAWK	0.06470	0.2000	4.03700	1058	275	4.458	6460	263	85	0.0913
150 (pu/km)	1 x 282 mm <sup>2</sup>	DOVE	0.11120	0.3997	2.87000	593	154	6.365	4570	373	60	0.0645
150 (pu/km)	2 x 282 mm <sup>2</sup>	DOVE	0.05560	0.2775	4.09300	1185	308	4.419	6518	260	87	0.0921
150 (pu/km)	1 x 306.6 mm <sup>2</sup>	DUCK	0.10210	0.3990	2.88300	620	161	6.354	4569	372	60	0.0642
150 (pu/km)	1 x 330 mm <sup>2</sup>	-	0.09750	0.3960	2.90000	650	169	6.300	4518	368	61	0.0658
150 (pu/km)	2 x 330 mm <sup>2</sup>	-	0.04880	0.2775	4.12300	1301	338	4.387	6568	258	87	0.0928
150 (pu/km)	1 x 402 mm <sup>2</sup>	DRAKE	0.07810	0.3888	2.95600	724	188	6.191	4707	363	62	0.0665
150 (pu/km)	2 x 402 mm <sup>2</sup>	DRAKE	0.03900	0.2720	4.18100	1447	376	4.331	6658	255	88	0.0940
150 (pu/km)	1 x 426.9 mm <sup>2</sup>	ZEBRA	0.07940	0.3865	2.95000	754	196	6.194	4697	363	62	0.0664
150 (pu/km)	2 x 426.9 mm <sup>2</sup>	ZEBRA	0.03970	0.2720	4.17300	1509	382	4.331	6645	255	88	0.0939
150 (pu/km)	4 x 426.9 mm <sup>2</sup>	ZEBRA	0.01985	0.2074	4.20000	3018	784	4.258	6688	252	89	0.0945
275 (pu/km)	2 x 426.9 mm <sup>2</sup>	ZEBRA	0.03830	0.3100	3.55623	1300	720	-	-	-	-	-
500 (pu/km)	4 x 282 mm <sup>2</sup>	DOVE	0.02770	0.2760	4.04500	2292	1985	4.379	6441	261	958	1.0115
500 (pu/km)	4 x 337.8 mm <sup>2</sup>	GANNET	0.02400	0.2740	4.04300	2551	2209	4.383	6438	260	961	1.0109
500 (pu/km)	4 x 570/40 mm <sup>2</sup>	-	0.01362	0.2903	3.98029	4200	3637	-	-	-	-	-
500 (pu/km)	1 x 630/80 mm <sup>2</sup>	-	0.00307	0.00912	0.00920	4200	3637	-	-	-	-	-
500 (pu/km)	1 x 630/80 mm <sup>2</sup>	-	0.01500	0.2900	3.74666	4200	3637	-	-	-	-	-
500 (pu/km)	1 x 630/80 mm <sup>2</sup>	-	0.00307	0.00912	0.00927	4200	3637	-	-	-	-	-

\* Based on conductor temp of 75°C, ambient temp of 35°C, wind vel: 1.6 km/hic, solar radiation: 0.12 W/cm<sup>2</sup>.  
 \*\* Assume :  
 - Lossless line  
 - No net reactive flow in/out the line  
 - Flat voltage profile along the line

TACSR = 1.6 kL

UNDERGROUND CABLES					
VOLTAGE (kV)	CROSS SECTION	Z <sub>1</sub> (Ohm/km)		B <sub>1</sub> (uS/km)	THERMAL CAPACITY
		R	X		
150	3 single core Al 630 mm <sup>2</sup>	0.0689	0.1147	141.4	172 MVA/circuit <sup>1</sup>
					150 MVA/circuit <sup>2</sup>
150	3 single core Al 500 mm <sup>2</sup>	0.0775	0.0949	143.1	150 MVA/circuit <sup>1</sup>
					131 MVA/circuit <sup>2</sup>

<sup>1</sup> One circuit in operation  
<sup>2</sup> Two circuits in operation

Rating and parameters for 630 mm<sup>2</sup> cable are manufacturer data.  
 Rating and parameters for 500 mm<sup>2</sup> cable are based on BICC information.

Notes :  
 MVA base 100

R base (150 kV) 225  
 X base (150 kV) 225  
 B1 base (150 kV) 225  
 R base (500 kV) 2500  
 X base (500 kV) 2500  
 B1 base (500 kV) 2500  
 R (pu) = R / R base  
 X (pu) = X / X base  
 B1 (pu) = B1 / B1 base

## BIOGRAFI PENULIS



Penelitian dengan judul “**Analisis Kontingensi N-2 Sistem Jawa-Bali 500kV pada Tahun 2026**” di selesaikan oleh penulis bernama **Muhammad Jaya Sasongko**, salah satu mahasiswa S1 Teknik Elektro FTE – ITS, program studi Teknik Sistem Tenaga, yang lahir di Pati, 09 April 1995. Penulis menempuh pendidikan formal di SDIT Ya Ummi Fatimah Pati, SMPN 2 Pati dan SMAN 1 Pati. Jaya adalah seorang mahasiswa yang memiliki hobi *travelling* dan fotografi.

Alhamdulillah semasa kuliahnya penulis telah merintis beberapa usaha kecil dibidang jasa fotografi dan digital marketing. Selain itu, penulis aktif dalam beberapa organisasi antara lain pernah menjadi Staff Departemen Komunikasi dan Informasi BEM FTI-ITS, Staff Departemen Syiar Kajian Islam elektro ITS dan Anggota BSO Artwork elektro ITS. Tahun 2015-2016, pernah diamanahi sebagai Kepala Divisi Kajian Syiar KALAM elektro ITS dan Kadiv Fotografi BSO Artwork elektro ITS. Penulis juga memiliki pengalaman pelatihan softskill maupun profesional seperti ESQ Training, LKMM Pra TD ITS, Pelatihan Teknologi Informasi dan Jurnalistik BEM FTI-ITS, Leadership and Organizing Training 1 BEM FTI-ITS, dan Load Flow Analysis Training by Power System Simulation Laboratory.

Penulis dapat dihubungi melalui :  
**[muhjays@gmail.com](mailto:muhjays@gmail.com)**

---Halaman ini sengaja dikosongkan---