

IMPLEMENTASI *BLACK START* PLTA BAKARU
TERHADAP *ISLAND* BAKARU DI SISTEM SULBAGSEL



SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan
pendidikan diploma empat (D-4) Program Studi Sarjana Terapan Teknik Listrik

Jurusan Teknik Elektro

Politeknik Negeri Ujung Pandang

SRI MULYANI. K

421 18 025

PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN TEKNIK LISTRIK
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG
MAKASSAR
2022

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi dengan Judul Implementasi *Black Start* PLTA Bakaru Terhadap Island Bakaru Di Sistem Sulbagsel oleh Sri Mulyani. K NIM 421 18 025 dinyatakan layak untuk diujikan.

Makassar, Agustus 2022

Pembimbing I,



Andi Wawan Indrawan, S.ST., M.Eng.
NIP. 19770306 200212 1 003

Pembimbing II,



Ahmad Rosyid Idris, S.T., M.T.
NIP. 19860404 201504 1 001

Mengetahui,
Ketua Program Studi,





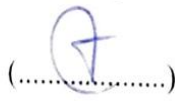



Ahmad Rosyid Idris, S.T., M.T.
NIP. 19860404 201504 1 001

HALAMAN PENERIMAAN

Pada hari ini, Jum'at tanggal 9 September 2022, Tim Penguji Ujian Sidang Skripsi telah menerima dengan baik hasil Skripsi oleh mahasiswa : Sri Mulyani. K NIM 421 18 025 dengan judul "Implementasi *Black Start* PLTA Bakaru Terhadap Island Bakaru Di Sistem Sulbagsel".

Makassar, 9 September 2022

Tim Seminar Proposal Skripsi:

- | | | |
|---------------------------------------|---------------|---|
| 1. Hamdani, S.T., M.T. | Ketua |  |
| 2. Muhammad Thahir, S.ST., M.T. | Sekretaris |  |
| 3. Ashar AR, S.T., M.T. | Anggota |  |
| 4. Musfirah Putri Lukman, S.T., M.T. | Anggota |  |
| 5. Andi Wawan Indrawan, S.ST., M.Eng. | Pembimbing I |  |
| 6. Ahmad Rosyid Idris, S.T., M.T. | Pembimbing II |  |

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena rahmat dan karuniaNya-lah sehingga dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini dengan judul “Implementasi *Black Start* PLTA Bakaru Terhadap Island Bakaru Di Sistem Sulbagsel”.

Skripsi ini merupakan hasil penelitian yang dilaksanakan mulai Desember 2021 sampai dengan Juli 2022 bertempat di PT PLN (Persero) UP2B Sistem Makassar.

Selama mengikuti pendidikan D-IV Teknik Listrik sampai dengan proses penyelesaian Skripsi, berbagai pihak telah memberikan fasilitas, membantu, membina dan membimbing sehingga laporan skripsi ini dapat terselesaikan.

Ucapan terima kasih dan penghargaan kepada Kedua orang tua tercinta yang selalu mendoakan dan mendukung penulis dengan penuh kesabaran.

Kesempatan ini pula penulis menyampaikan penghargaan dan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

- 1) Kedua orang tua tercinta, Bapak Kasmaruddin dan Ibu Nurhani yang senantiasa mendoakan serta memberikan semangat kepada penulis.
- 2) Bapak Prof.Ir.Muhammad Anshar, M.Si, Ph.D. selaku Direktur Politeknik Negeri Ujung Pandang.
- 3) Bapak Ahmad Rizal Sultan, S.T., M.T., Ph.D. sebagai Ketua Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Ujung Pandang.
- 4) Bapak Ahmad Rosyid Idris, S.T., M.T. sebagai Kordinator Program Studi Sarjana Terapan Teknik Listrik Politeknik Negeri Ujung Pandang.
- 5) Bapak Andi Wawan Indrawan, S.ST., M.Eng. selaku Pembimbing I yang telah

meluangkan waktu serta memberikan arahan kepada penulis untuk menyelesaikan skripsi ini.

- 6) Bapak Ahmad Rosyid Idris, S.T., M.T. selaku Pembimbing II yang telah meluangkan waktu serta memberikan arahan kepada penulis untuk menyelesaikan skripsi ini.
- 7) Bapak Edo Adrianto selaku Manager PT PLN (Persero) UP2B Sistem Makassar.
- 8) Bapak Agus Salim selaku Supervisor Operasi Sistem UP2B Sistem Makassar.
- 9) Bapak Firman Dewan Saputra selaku Supervisor Perancangan dan Evaluasi Operasi Sistem UP2B Sistem Makassar dan seluruh staf PT PLN (Persero) UP2B Sistem Makassar yang telah meluangkan waktu serta memberikan arahan kepada penulis dalam melakukan penelitian.
- 10) Segenap Dosen dan Staf pengajar jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Ujung Pandang.
- 11) Teman-teman kelas 4A D4 Teknik Listrik Angkatan 2018 yang selalu membantu dan memberi motivasi.

Penulis menyadari skripsi yang telah dibuat jauh dari sempurna. Oleh karena itu saran dan kritik sangat penulis harapkan demi perbaikan skripsi ini.

Akhir kata penulis mengharapkan semoga skripsi ini dapat berkontribusi dalam pengembangan ilmu pengetahuan yang bermanfaat bagi kita semua.

Makassar, 9 September 2022

Penulis

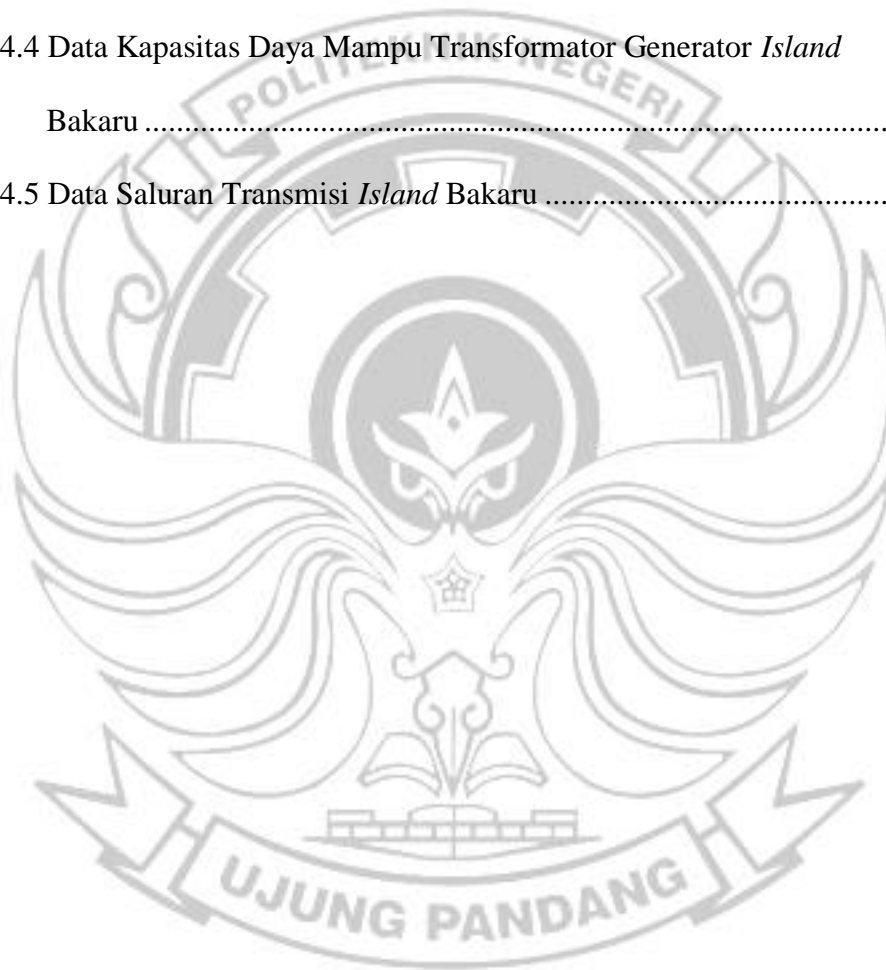
DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PENERIMAAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xii
SURAT PERNYATAAN.....	xiii
ABSTRAK.....	xiv
<i>ABSTRACT</i>	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Ruang Lingkup Penelitian.....	3
1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Sistem Tenaga Listrik	5
2.2 Gangguan Sistem Kelistrikan.....	6
2.3 <i>Black Start</i>	8
2.3.1 <i>Black Start</i> Pembangkit.....	9
2.3.2 Kemampuan Untuk <i>Black Start</i>	9

2.3.3	Generator	10
2.3.4	Estimasi Kapasitas Generator Sesuai Kebutuhan Beban <i>Black Start</i>	10
2.3.5	Trafo Pemakaian Sendiri	11
2.4	<i>Black Out</i>	16
2.5	Stabilitas Frekuensi	17
2.6	Stabilitas Sistem	18
2.7	Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Bakaru.....	19
2.8	Pelepasan Beban (<i>Load Shadding</i>).....	21
2.8.1	Beban Penting.....	22
2.8.2	Beban Yang Kurang Penting.....	22
2.8.3	<i>Manual Load Shadding</i>	22
2.8.4	<i>Automatic Load Shadding</i>	23
2.8.5	<i>Island Operation</i>	23
2.9	DIgSILENT.....	23
BAB III METODE PENELITIAN.....		26
3.1	Tempat dan Waktu Penelitian.....	26
3.2	Prosedur Penelitian.....	26
3.3	Teknik Pengumpulan Data	29
3.4	Teknik Analisis Data.....	30
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASA.....		31
4.1	Hasil Penelitian.....	31
4.1.1	<i>Single Line Diagram Island Bakaru</i>	32
4.1.2	Data Pembangkit <i>Island Bakaru</i>	32
4.1.3	Data Beban Gardu Induk <i>Island Bakaru</i>	33
4.1.4	Data Transformator Distribusi <i>Island Bakaru</i>	33
4.1.5	Data Transformator Generator <i>Island Bakaru</i>	34
4.1.6	Data Saluran Transmisi <i>Island Bakaru</i>	35

DAFTAR TABEL

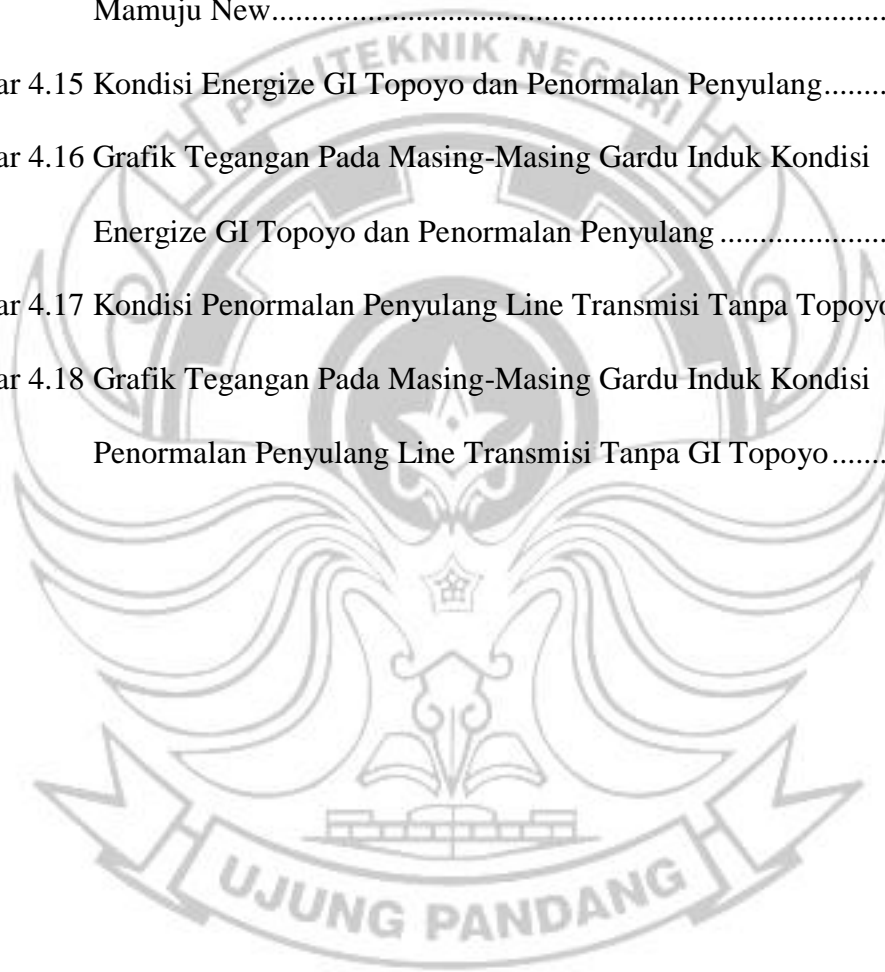
Tabel 4.1 Data Pembangkit dan Kapasitas <i>Island</i> Bakaru	32
Tabel 4.2 Data Beban Gardu Induk <i>Island</i> Bakaru	33
Tabel 4.3 Data Transformator Distribusi dan Kapasitas <i>Island</i> Bakaru	34
Tabel 4.4 Data Kapasitas Daya Mampu Transformator Generator <i>Island</i> Bakaru	34
Tabel 4.5 Data Saluran Transmisi <i>Island</i> Bakaru	35



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sistem Penyaluran Tenaga Listrik.....	6
Gambar 2.2 Trafo Pemakaian Sendiri.....	11
Gambar 2.3 Ilustrasi Kestabilan Frekuensi	17
Gambar 2.4 Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Bakaru.....	19
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	28
Gambar 4.1 Pemodelan Sistem <i>Island</i> Bakaru Dalam DIgSILENT 15.1	39
Gambar 4.2 Kondisi <i>Island</i> Bakaru Kehilangan Tegangan	41
Gambar 4.3 Kondisi PLTA Bakaru Beroperasi 1 Unit	44
Gambar 4.4 Grafik Tegangan Pada Masing-Masing Gardu Induk Kondisi PLTA Bakaru Beroperasi 1 Unit.....	45
Gambar 4.5 Kondisi 3 Unit PLTD Suppa Paralel.....	46
Gambar 4.6 Grafik Tegangan Masing-Masing Gardu Induk Kondisi 3 Unit PLTD Suppa Paralel.....	47
Gambar 4.7 Kondisi Energize GI Majene dan Penormalan Penyulang	48
Gambar 4.8 Grafik Tegangan Pada Masing-Masing Gardu Induk Kondisi Energize GI Majene dan Penormalan Penyulang.....	49
Gambar 4.9 Kondisi Energize GI Mamuju dan PLTD Suppa Paralel	51
Gambar 4.10 Grafik Tegangan Pada Masing-Masing Gardu Induk Kondisi GI Mamuju dan PLTD Suppa Paralel	52
Gambar 4.11 Kondisi Energize GI Mamuju New.....	53
Gambar 4.12 Grafik Tegangan Pada Masing-Masing Gardu Induk Kondisi	

Energize GI Mamuju New	54
Gambar 4.13 Kondisi Energize GI PLTU Mamuju dan Penormalan Penyulang GI Mamuju New	56
Gambar 4.14 Grafik Tegangan Pada Masing-Masing Gardu Induk Kondisi Energize GI PLTU Mamuju dan Penormalan Penyulang GI Mamuju New.....	57
Gambar 4.15 Kondisi Energize GI Topoyo dan Penormalan Penyulang.....	58
Gambar 4.16 Grafik Tegangan Pada Masing-Masing Gardu Induk Kondisi Energize GI Topoyo dan Penormalan Penyulang	59
Gambar 4.17 Kondisi Penormalan Penyulang Line Transmisi Tanpa Topoyo ..	61
Gambar 4.18 Grafik Tegangan Pada Masing-Masing Gardu Induk Kondisi Penormalan Penyulang Line Transmisi Tanpa GI Topoyo.....	62



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 <i>Island</i> Bakaru.....	66
Lampira 2 Simulasi <i>Black Start</i> Di DigSILENT.....	67
Lampiran 3 SOP Prosedur Operasi Sistem Sulbagsel.....	68



SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Sri Mulyani. K

NIM : 421 18 025

menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa segala pernyataan dalam skripsi ini yang berjudul “Implementasi *Black Start* PLTA Bakaru Terhadap Island Bakaru Di Sistem Sulbagsel” merupakan gagasan dan hasil karya saya sendiri dengan arahan komisi pembimbing, dan belum pernah diajukan dalam bentuk apapun pada perguruan tinggi dan instansi manapun.

Semua data dan informasi yang digunakan telah dinyatakan secara jelas dan dapat diperiksa kebenarannya. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam naskah dan dicantumkan dalam skripsi ini.

Jika pernyataan saya tersebut di atas tidak benar, saya siap menanggung resiko yang ditetapkan oleh Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, 9 September 2022



Sri Mulyani. K
421 18 025

IMPLEMENTASI *BLACK START* PLTA BAKARU TERHADAP *ISLAND* BAKARU DI SISTEM SULBAGSEL

ABSTRAK

Saat terjadi *blackout* di sistem 150 kV Sulbagsel terkhusus pada *island* Bakaru yang menjadi unit *black start* adalah PLTA Bakaru namun pada kondisi beban pada sistem yang bertambah dikhawatirkan PLTA Bakaru tidak dapat melakukan *black start* ketika terjadi *blackout*, hal ini tentu akan menjadi suatu masalah ketika PLTA Bakaru tidak dapat melakukan *black start*. Untuk mengatasi masalah tersebut perlu dilakukan penerapan untuk melihat kondisi kesiapan PLTA Bakaru dalam melakukan supply pemulihan sistem ketika terjadi *blackout*. Simulasi *black start* ini dilakukan menggunakan *software* DIGSILENT PowerFactory 15.1.6. Pada *software* DIGSILENT dilakukan pemodelan sistem *island* Bakaru dimana hasil akhir dari simulasi di dapatkan nilai tegangan normal pada setiap GI yang berada pada *Island* Bakaru yaitu pada GI Bakaru 151,5 kV, GI Pinrang 151,7 kV, GI Pare-Pare 152,7 kV, GI Suppa 152,8 kV, GI Polmas 157,2 kV, GI Majene 158,6 kV, GI Mamuju 161,2 kV, GI Mamuju New 161,9 kV, GI PLTU Mamuju 161,9 kV dan GI Topoyo 162 kV. Hasil penelitian menunjukkan bahwa PLTA Bakaru mampu melakukan *supply* daya menuju semua pembangkit yang berada dalam interkoneksi *island* Bakaru dan memulihkan beban sistem 121,7 MW.

Kata Kunci: *Black Start*, Pemulihan Sistem Tenaga Listrik, PLTA, *software* DIGSILENT PowerFactory 15.1.6.

**IMPLEMENTASI BLACK START PLTA BAKARU
TERHADAP ISLAND BAKARU DI SISTEM
SULBAGSEL**

ABSTRACT

When a blackout occurs in the 150 kV Sulbagsel system, especially on Bakar Island, the black start unit is the Bakar hydropower plant, but when the load on the system increases, it is feared that the Bakar hydropower plant will not be able to do a black start when a blackout occurs, this will certainly be a problem when the Bakar hydropower plant occurs. can't do black start. To overcome this problem, it is necessary to implement an application to see the readiness condition of the Bakar hydropower plant in supplying system recovery when a blackout occurs. This black start simulation was carried out using the DIgSILENT FowerFactory 15.1.6 software. In the DIgSILENT software, modeling of the Bakar island system is carried out where the final result of the simulation is to get the normal voltage values for each GI on Bakar Island, namely the Bakar GI 151.5 kV, Pinrang GI 151.7 kV, Pare-Pare GI 152.7 kV, GI Suppa 152.8 kV, GI Polmas 157.2 kV, GI Majene 158.6 kV, GI Mamuju 161.2 kV, GI Mamuju Baru 161.9 kV, GI PLTU Mamuju 161.9 kV and GI Topoyo 162 kV . The results showed that the Bakar Hydroelectric Power Plant was able to supply power to all power plants within the interconnection of Bakar Island and recover a system load of 121.7 MW.

Keywords: *Black Start, Electric Power System Recovery, HEPP, DIgSILENT FowerFactory 15.1.6 software.*

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem penyaluran kelistrikan Sulbagsel tidak terlepas dari gangguan alam yang terjadi, ketika hal tersebut tidak dimitigasi dengan cepat akan berdampak gangguan meluas pada sistem sehingga akan membutuhkan waktu yang cukup lama untuk proses pemulihan sistem agar kembali normal. Oleh karena itu dibentuklah 6 (enam) *island* di Sistem Sulbagsel untuk mempercepat proses pemulihan sistem ketika terjadi gangguan, dimana masing-masing *island* mempunyai pembangkit *black start*.

Beberapa *island* diantaranya : *Island* Makassar, *Island* Barru, *Island* Bakar, *Island* Sengkang, *Island* Poso dan *Island* Kendari. *Island operation* merupakan pola pengamanan sistem dengan memisahkan unit pembangkit dari sistem sehingga pembangkit hanya memikul beban terbatas sesuai dengan wilayahnya. *Island* Bakar memiliki PLTA Bakar 2x63 MW sebagai pembangkit *black start*, dimana ketika terjadi gangguan yang mempercepat waktu pemulihan akan lebih cepat karena pembagian wilayah yang kecil mampu untuk mempercepat pemulihan tergantung kesiapan peralatan. Berdasarkan kebutuhan daya pada proses *start up* unit pembangkit, terdapat beberapa pembangkit yang dapat *black start* misalnya PLTA, PLTD, PLTMG, PLTMH dan PLTGU.

Proses *black start* ini berfungsi untuk membantu dalam pemulihan sistem dalam waktu singkat. Waktu pemulihan dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu kemampuan *black start*, jalur pemberian energi dan jumlah saklar. Selama

sistem pemulihan sistem tenaga, beberapa masalah kritis harus ditangani dengan hati-hati, diantaranya keseimbangan daya reaktif, tegangan *transien switching*, keseimbangan dan koordinasi beban dan pembangkit, urutan *start up* pembangkit, dan definisi pengaturan relay.

Pembangkit *black start* merupakan unit pembangkit yang dapat dioperasikan dari kondisi awal/*stop* unit hingga berbeban penuh tanpa adanya bantuan pasokan tenaga listrik/tegangan dari luar. Jika sistem terjadi *blackout*, pembangkit yang mempunyai fasilitas *black start* dapat membantu pembangkit berdaya besar lainnya untuk dapat kembali beroperasi. PLTA Bakaru merupakan salah satu pembangkit di sistem Sulbagsel yang memiliki fitur *black start* untuk *island Bakaru*.

Pada kondisi beban sistem yang bertambah pada saat ini dikhawatirkan *black start* PLTA Bakaru tidak mampu melakukan pemulihan sistem ketika terjadi gangguan pada *island* Bakaru saat ini, maka dari itu untuk mengantisipasi kinerja *black start* pada kondisi beban sistem tahun 2021 perlu di terapkan *black start* pada *island* Bakaru untuk melihat kesiapan *black start* dalam melakukan proses pemulihan sistem.

Sebagai evaluasi dari permasalahan tersebut, maka penulis akan mengadakan penelitian dengan judul “**IMPLEMENTASI *BLACK START* PLTA BAKARU TERHADAP *ISLAND* BAKARU DI SISTEM SULBAGSEL**”.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, maka rumusan masalah adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana penyebab awal terjadinya *black start*
2. Bagaimana proses *black start* PLTA Bakaru dapat mensuplai gardu induk yang tersebar di *island* Bakaru

1.3 Ruang Lingkup Penelitian

Untuk menghindari meluasnya permasalahan yang dibahas dan tercapainya sasaran pembahasan yang tepat dan terarah, maka penulis membatasi permasalahan dalam penelitian ini, sebagai berikut :

1. Membahas seputar sistem *backup* pembangkit menggunakan *black start*.
2. Membuat *single line diagram* dan menganalisa pada *software* DIGSILENT FowerFactory 15.1.6.
3. Skenario yang dilakukan dalam tugas akhir ini adalah proses berjalannya operasi *black start*.
4. Tidak membahas proses *defense scheme island*.

1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian

1.4.1 Tujuan Penelitian

1. Menganalisis penyebab awal terjadinya *black start*
2. Melakukan simulasi proses *black start* PLTA Bakaru pada saat mensuplai gardu induk yang tersebar di *island* Bakaru.

1.4.2 Manfaat Penelitian

Penelitian ini bermanfaat bagi penulis, akademis dan peneliti lain :

1. Bagi Penulis

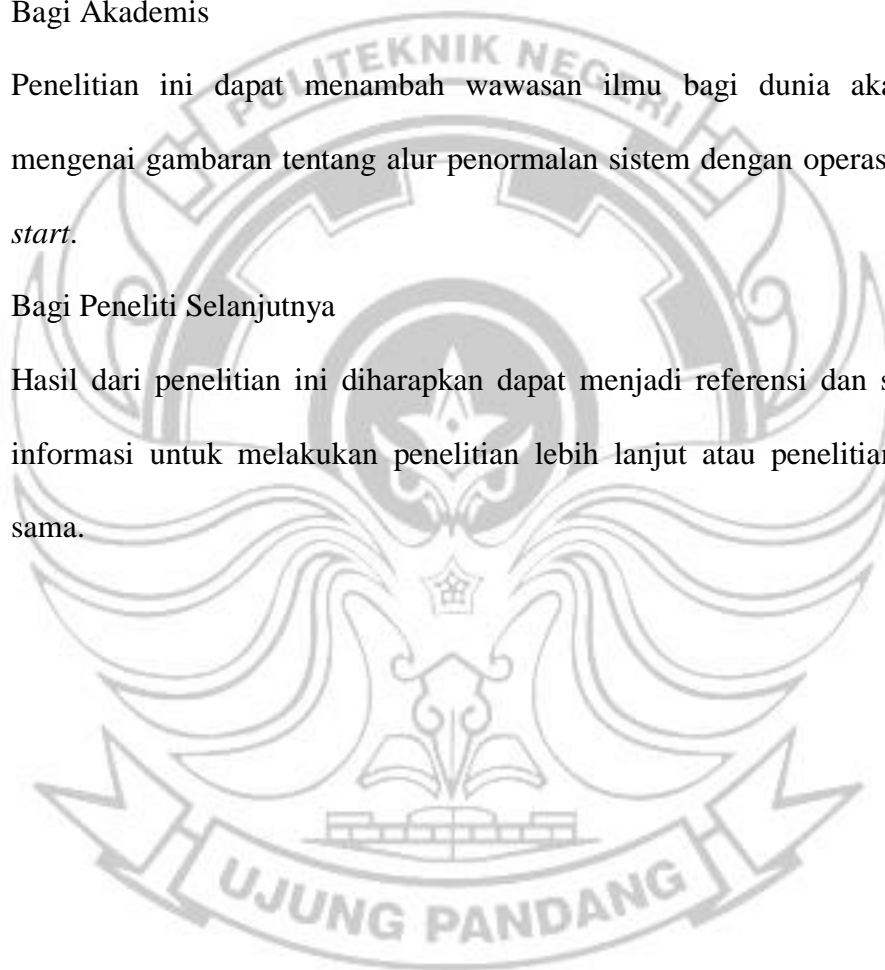
Menambah wawasan, pengetahuan, dan pengembangan ilmu penulis khususnya yang berhubungan *recovery* sistem dengan operasi *black start*.

2. Bagi Akademis

Penelitian ini dapat menambah wawasan ilmu bagi dunia akademik mengenai gambaran tentang alur penormalan sistem dengan operasi *black start*.

3. Bagi Peneliti Selanjutnya

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi dan sumber informasi untuk melakukan penelitian lebih lanjut atau penelitian yang sama.



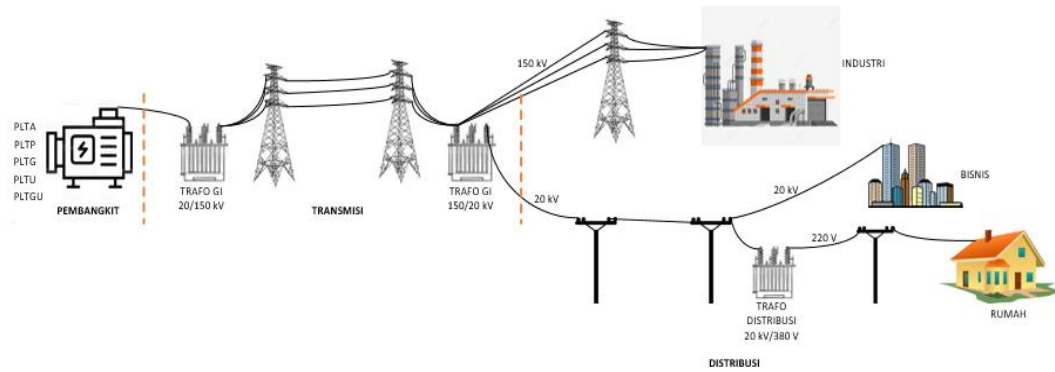
BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Tenaga Listrik

Gambar berikut ini menunjukkan sistem penyaluran tenaga listrik dari pembangkit, transmisi, distribusi, dan konsumen. Sistem pembangkit yang terdiri dari beberapa jenis pembangkit, seperti pembangkit listrik tenaga uap (PLTU), pembangkit listrik tenaga panas bumi (PLTP), pembangkit listrik tenaga gas (PLTG), pembangkit listrik tenaga uap (PLTU), dan pembangkit listrik tenaga gas dan uap (PLTGU), serta jenis pembangkit lainnya yang akan mengonversikan energy mekanik menjadi energy listrik. Daya listrik yang dihasilkan akan ditransfer dari unit-unit pembangkit di berbagai lokasi, dengan jarak yang jauh melalui sistem transmisi ke sistem distribusi. Sistem distribusi ini berfungsi menghantarkan energi listrik langsung ke konsumen (Sigi syah wibowo, 2018, pp. 2).

Sistem pembangkit berperan untuk menghasilkan energi listrik. Sumber energy utama pada pembangkit listrik berasal dari sumber energi primer yang tersedia dari alam. Sistem transmisi berfungsi untuk menyalurkan energi listrik dari unit pembangkit ke distribusi. Dari saluran transmisi, tegangan diturunkan dengan transformator penurun tegangan (*step down*), kemudian dengan sistem tegangan tersebut penyaluran tenaga listrik dilakukan oleh saluran distribusi primer. Dari saluran distribusi primer, tegangan diturunkan melalui trafo distribusi menjadi sistem tegangan rendah, yaitu 220/380 Volt. Kemudian, disalurkan oleh

saluran distribusi sekunder ke konsumen-konsumen, seperti rumah, tempat bisnis, dan tempat sosial (Cekmas, 2010, p. 2).



Gambar 2.1 Sistem Penyaluran Tenaga Listrik

Dari gambar 2.1 tampak bahwa sistem kelistrikan tidaklah mudah, lebih lagi jika dilakukan analisis secara mendalam, akan terdapat beberapa persoalan-persoalan yang sangat rumit yang timbul, yang disebabkan oleh gangguan dari luar maupun dari dalam sistem itu sendiri. Namun demikian, sistem penyaluran tenaga listrik tersebut dapat disederhanakan melalui sebuah sistem simulasi. Proses evaluasi dan analisis dapat dilakukan dengan sederhana dengan bantuan *software* atau komputer. Simulasi sistem pembangkit dapat dilakukan oleh pengguna secara sederhana dan cepat, tanpa mengganggu proses pembangkitan listrik yang sementara berjalan dalam sebuah sistem, begitu pula halnya pada sistem transmisi dan distribusi (Marwan, 2019, p. 3).

2.2 Gangguan Sistem Tenaga Listrikan

Gangguan yang terjadi pada sistem Saluran Transmisi listrik sangat beragam besaran dan jenisnya. Gangguan dalam sistem Saluran Transmisi listrik adalah keadaan tidak normal dimana keadaan ini dapat mengakibatkan terganggunya kontinuitas pelayanan transmisi listrik (Sulasno, 1993, p. 12)

Menurut (Masarrang et al., 2019, p. 68) Adapun beberapa klasifikasi gangguan pada sistem tenaga listrik disebabkan oleh 2 faktor, yaitu :

- 1) Gangguan yang berasal dari dalam sistem
- 2) Gangguan yang berasal dari luar sistem

Adapun penyebab gangguan dari dalam sistem antara lain :

- 1) Tegangan dan Arus abnormal
- 2) Pemasangan yang kurang baik
- 3) Kesalahan mekanis karena proses penuaan
- 4) Beban lebih
- 5) Kerusakan materi seperti isolator pecah, kawat putus, atau kabel cacat isolasinya

Menurut (Masarrang et al., 2019, p. 68) Adapun dari segi lama waktu gangguan, dapat dikelompokkan menjadi:

- 1) Gangguan yang bersifat temporer, yang dapat hilang dengan sendirinya atau dengan memutuskan sesaat bagian yang terganggu dari sumber tegangannya. Gangguan sementara jika dapat tidak dapat hilang dengan segera, baik hilang dengan sendirinya maupun kerana bekerjanya alat pengaman dapat berubah menjadi gangguan permanen.
- 2) Gangguan yang bersifat permanen, dimana untuk membebaskannya diperlukan tindakan perbaikan atau menyingkirkan penyebab gangguan tersebut.

Menurut (Masarrang et al., 2019, p. 68) Untuk gangguan yang bersifat sementara setelah arus gangguannya terputus misalnya karena terbukannya

circuit breaker oleh rele pengamannya, peralatan atau saluran yang terganggu tersebut siap dioperasikan kembali. Sedangkan pada gangguan permanen terjadi kerusakan yang bersifat permanen sehingga baru bisa dioperasikan kembali setelah bagian yang rusak diperbaiki atau diganti.

Menurut Masarrang dkk. (2019: 68) Pada saat terjadi gangguan akan mengalir arus yang sangat besar pada fasa yang terganggu menuju titik gangguan, dimana arus gangguan tersebut mempunyai harga yang jauh lebih besar dari rating arus maksimum yang diijinkan, sehingga terjadi kenaikan temperatur yang dapat mengakibatkan kerusakan pada peralatan listrik yang di gunakan.

2.3 ***Black Start***

Black start adalah sebuah sistem tenaga listrik atau bagian dari jaringan listrik untuk beroperasi kembali tanpa mengandalkan tenaga listrik eksternal untuk pulih dari padam total atau persial. Berdasarkan kebutuhan daya pada proses *start-up*, unit dapat dibagi menjadi dua kelompok: *Black Start* unit misalnya PLTA, PLTG dan PLTGU yang bisa melakukan *start* dengan sumber listrik internal dan Non *Black Start* unit seperti PLTMG dan PLTU yang memerlukan sumber listrik eksternal. Dalam hal kondisi sistem membutuhkan fasilitas *black start* (Hidayat, 2021, p. 42).

Tujuan utama *Black Start* adalah untuk membantu memulihkan sistem dalam waktu singkat. Waktu pemulihan dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor; kemampuan *black start*, jalur pemberian energi, dan jumlah saklar. Selama pemulihan sistem tenaga listrik, terdapat beberapa masalah kritis yang harus

ditangani dengan hati-hati, diantaranya keseimbangan daya reaktif, tegangan *transien switching*, keseimbangan dan koordinasi beban dan pembangkit, urutan *start-up* unit pembangkit, dan definisi pengaturan relai (Hidayat, 2021, p. 42).

2.3.1 *Black Start* Pembangkit

Sesuai dengan kebutuhan daya *start-up*, unit pembangkit dapat dibagi menjadi dua kelompok. Pertama yaitu generator *Black Start*, seperti unit hidro, diesel, atau turbin gas, dapat dimulai dengan daya sendiri. Kedua generator *non-black start*, seperti berbahan bakar fosil atau unit nuklir, dan membutuhkan daya tambahan dari luar (Hidayat 2021: 42-44).

Generator hidroelektri membutuhkan daya awal yang sangat sedikit untuk membuka pintu masuk, dan memiliki karakteristik respon yang cepat untuk menyediakan tenaga untuk memulai stasiun berbahan bakar fosil atau nuklir. Generator diesel dapat dihidupkan dengan cepat dengan menggunakan baterai untuk memasok daya dan kemudian memulai unit pembangkit yang lebih besar (Hidayat 2021: 42-44).

2.3.2 Kemampuan untuk *Black Start*

Unit pembangkit yang memiliki *black start* sangat diperlukan dalam jaringan tenaga listrik. Pengelola operasi sistem PT. PLN (Persero) mengidentifikasi dan merekomendasikan unit pembangkit yang harus memiliki kemampuan unit pembangkit untuk start tanpa bantuan daya dari luar disertai unit *Redundant Emergency Diesel Generator* (EDG) untuk keandalan, dimana kemampuan fasilitas *black start* unit pembangkit yang memilikinya harus dipelihara. Operator unit pembangkit tersebut harus siap untuk melakukan uji

black start sesuai permintaan pengelola operasi sistem PT. PLN (PERSERO) (Hidayat 2021: 42-44).

2.3.3 Generator

Generator adalah sumber tegangan listrik yang diperoleh melalui perubahan energi mekanik menjadi energi listrik. Generator bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik, yaitu dengan memutar suatu kumparan dalam medan magnet sehingga timbul gaya gerak listrik induksi. Generator mempunyai dua komponen utama, yaitu bagian yang diam (stator) dan bagian yang bergerak (rotor). Rotor berhubungan dengan poros generator yang berputar di pusat stator. Poros generator biasanya diputar menggunakan usaha luar yang dapat berasal dari turbin, baik turbin air atau turbin uap dan selanjutnya berproses menghasilkan arus listrik (Saputra, n.d., p. 9).

2.3.4 Estimasi Kapasitas Generator Sesuai Kebutuhan Beban *Black Start*

Pendekatan paling mudah untuk menentukan besarnya kapasitas *diesel engine generator* baru untuk menjalankan prosedur *black start* adalah dengan memperhitungkan besarnya kapasitas daya mampu dari generator eksisting. Setelah itu diperhitungkan kebutuhan beban-beban *black start* dengan mempertimbangkan kondisi khusus, yaitu terjadi kejadian total *power failure* ketika ada kegiatan pemeliharaan rutin pada salah satu diantara 2 generator eksisting yang dimiliki oleh *Island* Bakaru saat ini. Sehingga, generator untuk menjalankan prosedur *black start* masih bisa dioperasikan secara parallel karena memenuhi konfigurasi $N + 1$, dimana N merupakan jumlah generator yang tersedia. Generator itu nantinya dioperasikan sekitar 80 % dari kapasitas

Pada Gambar 2.2 memperlihatkan model instalasi sendiri pada pusat listrik dengan kapasitas di atas 15MW keterangan:

G : Generator

Tr ps : Trafo pemakaian sendiri

Tr Blok : transformator blok

Tr Unit : Transformator unit

Menurut (Saputra, n.d., p. 19) Pada unit pembangkit besar, setiap unit pembangkit memiliki transformator pemakaian sendiri (Tr PS) yang dipasang langsung oleh generator (G). Tetapi pada saat start, generator (G) belum berputar sehingga belum menghasilkan tegangan. Sedangkan padahal pada saat itu sudah diperlukan daya untuk menjalankan alat-alat bantu, maka daya terlebih dahulu di ambil dari transformator pemakaian sendiri bersama. Setelah generator (G) berputar dan menghasilkan tegangan, PMT B ditutup. Kemudian disusul dengan pembukaan PMT A sehingga pasokan daya alat-alat bantu berpindah ke generator (G).

Pada saat PMT B ditutup dan sebelum PMT A dibuka, terjadi penutupan rangkaian ring. Perlu di perhatikan bahwa transformator-transformator yang ada di dalam ring tidak menimbulkan pergeseran fasa tegangan sehingga tidak terjadi gangguan. Besarnya energi yang di perlukan untuk pemakaian sendiri berkisar antara 1-10% dari produksi energi yang di hasilkan oleh pusat listrik (Saputra, n.d., p. 19).

Apabila terjadi gangguan besar dan semua unit pembangkit trip, maka tidak tersedia tegangan untuk menjalankan alat-alat bantu dalam rangka start

kembali. Dalam keadaan demikian diperlukan pengiriman tegangan diluar pusat listrik, dimana seharusnya ada unit pembangkit yang dapat star sendiri (black start) tanpa ada tegangan dari luar (Saputra, n.d., p. 19).

2.3.6 Tanggung Jawab Pengoperasian

Menurut (PT PLN (Persero) UP2B Sistem Makassar, 2021) para pelaku usaha dalam Sistem interkoneksi Sulawesi Selatan, Sulawesi Barat, Sulawesi Tengah dan Sulawesi Tenggara memiliki kewajiban untuk memenuhi semua ketentuan dalam Prosedur Operasi sebagai dasar pengoperasian instalasi penyediaan tenaga listrik yang dimilikinya. Disamping itu ketentuan–ketentuan dalam dalam Prosedur Operasi akan memberikan kejelasan mengenai hak dan kewajiban masing-masing pelaku usaha pada sistem interkoneksi Sulawesi Selatan, Sulawesi Barat, Sulawesi Tengah dan Sulawesi Tenggara. Adapun Tanggung Jawab Pengoperasian sebagai berikut :

1. Dispatcher UP2B Sistem Makassar

Adalah pelaksana pengendali operasi PT PLN (Persero) UP2B Sistem Makassar yang bertanggung jawab untuk:

- a. Mensuplai Subsistem yang ada di Sulbagsel dalam keadaan normal, pekerjaan atau pemeliharaan instalasi, darurat dan menormalkan instalasi setelah gangguan,
- b. Mengatur tegangan Subsistem Sulbagsel di sisi 275 kV, 150 kV, 66 kV dan 30 kV,
- c. Mengatur pembebanan unit pembangkit yang terinterkoneksi ke sistem Sulbagsel,

- d. *Checklist* tahapan UFR,
- e. Melaksanakan perintah Dispatcher UP2B untuk *Load Shedding*, *Load Curtailment* dan *Brown Out* yang berkoordinasi dengan Dispatcher UP2D Makassar serta melepas penghantar 275 kV, 150 kV, 66 kV dan 30 kV yang diperlukan dalam rangka mengatur tegangan Subsistem Sulbagsel pada hari-hari khusus yang mengacu pada SOP hari khusus,
- f. Melaksanakan *Switching* dan penormalan instalasi setelah terjadi gangguan yang dilaksanakan secara *remote control* melalui SCADA dari ACC, mendownload dan menganalisa DFR di Wilayah UP2B Sistem Makassar, apabila mengalami kegagalan fungsi *remote control* tersebut atau dalam keadaan tertentu maka Dispatcher UP2B Sistem Makassar dapat memerintahkan *Supervisor* ULTG untuk membuka atau menutup PMT dan PMS Busbar secara lokal dari *control room* atau *switchyard* Gardu Induk, serta menindaklanjuti kegagalan download DFR dari Master DFR,
- g. Memberikan informasi yang jelas kepada Manager Bagian Operasi Sistem, Supervisor ULTG, Supervisor Pembangkit dan Dispatcher UP2D Makassar apabila terjadi gangguan total, *Blackout* atau gangguan sebagian Subsistem (*Parsial*) di Sulbagsel.

2. Operator Gardu Induk Bakaru

Menurut (PT PLN (Persero) UP2B Sistem Makassar, 2021) Operator Gardu Induk yang dimaksud adalah Operator pada Gardu Induk Bakaru yang bertuga. Berfungsi melaksanakan pengoperasian instalasi Gardu Induk Bakaru

atas perintah Dispatcher UP2B dan berkoordinasi dengan DCC Selatan, pada instalasi tegangan tinggi di Gardu Induk Bakaru atas perintah Dispatcher UP2B, sementara untuk tegangan menengah atas permintaan Dispatcher UP2D Makassar.

- a. Mensupervisi Gardu Induk dalam keadaan normal, pekerjaan atau pemeliharaan instalasi, darurat dan penormalan instalasi setelah gangguan atas perintah Dispatcher UP2B Sistem Makassar,
- b. Mengambil langkah-langkah yang diperlukan untuk keamanan personil beserta peralatannya dan segera melaporkan kepada Dispatcher UP2B Sistem Makassar,
- c. Melaksanakan perintah Dispatcher UP2B Sistem Makassar untuk melihat suhu (*temperature*), beban Transformator Distribusi dan Transformator Interbus, merubah *tap charger* serta mengoprasikan kapasitor,
- d. Melaksanakan perintah Dispatcher UP2B Sistem Makassar untuk bertindak atau melangkah lebih lanjut sesuai SOP Gardu Induk setelah terjadi gangguan dalam rangka proses pemulihan atau penormalan,
- e. Melaksanakan koordinasi dengan pengawas maneuver, pengawas pekerjaan dan pengawas K3 dalam rangka pekerjaan atau pemeliharaan peralatan instalasi listrik yang ada di Gardu Induk serta melaporkan kepada Dispatcher UP2B Sistem Makassar,
- f. Mengingatkan Dispatcher UP2B Sistem Makassar apabila lupa untuk menormalkan konfigurasi jaringan seperti semula setelah pekerjaan atau pemeliharaan dan checklist tahapan UFR,

- g. Meminta informasi yang jelas kepada Dispatcher UP2B Sistem Makassar apabila Gardu Induk Bakaru terjadi gangguan hilang tegangan sebelum bertindak atau melangkah lebih maju,
- h. Memberikan informasi kondisi anomali instalasi Gardu Induk kepada Dispatcher UP2B Sistem Makassar apabila kondisi anomali tersebut berlaku selama lebih dari 24 jam maka harus ada pernyataan secara tertulis dari Manajemen UPT Makassar paling lambat pada hari berikutnya.

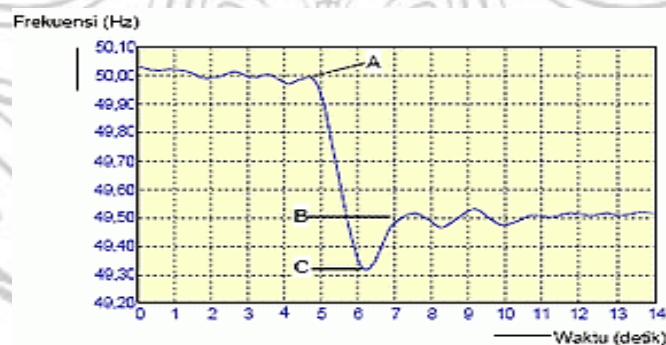
2.4 Blackout

Blackout merupakan keadaan gangguan meluas pada sistem tenaga listrik dimana seluruh unit pembangkit berhenti bekerja (*trip*) sehingga seluruh konsumen padam. *Blackout* memiliki dampak yang sangat merugikan baik secara materi maupun non materi. Untuk menghindarinya, saat ini telah berkembang metode pengaturan preventif dan pengaturan darurat seperti yang mampu mengembalikan keseimbangan sistem setelah mengalami guncangan akibat gangguan. Namun, jika gagal maka akan terjadi *blackout* (Abdullah et al., 2018, p. 12).

Cara paling efektif mencegah pemadamannya seluruh sistem (total grid *blackout*) yaitu dengan menjamin bahwa keseimbangan pembangkit dengan beban selalu dipertahankan dalam semua kondisi yang diperkirakan akan terjadi. Harus tersedia fasilitas pelepasan beban yang memadai secara otomatis dengan frekuensi rendah untuk mengembalikan kondisi sistem ke operasi yang normal setelah terjadinya kemungkinan yang signifikan (Hidayat 2021: 42-44).

2.5 Stabilitas Frekuensi

Kestabilan frekuensi adalah indikator utama dari keseimbangan daya yang dibangkitkan dengan beban total sistem. Frekuensi dapat mengalami penurunan apabila terjadi kelebihan beban. Penurunan frekuensi yang besar mengakibatkan terjadinya kegagalan unit pembangkitan yang beruntun dan dapat menyebabkan kegagalan sistem secara menyeluruh. Ada beberapa cara untuk dapat menstabilkan frekuensi yaitu dengan menggunakan relay frekuensi (*under frequency relay*). Yang berfungsi untuk mencegah terjadinya penurunan frekuensi dan dapat mengembalikannya ke frekuensi normal. Kestabilan frekuensi sistem tenaga listrik sangat penting untuk dijaga, karena berkaitan erat dengan upaya untuk menghasilkan sumber energi yang berkualitas bagi konsumen. Pasokan energi yang berkualitas dapat menjaga konsumen dari kerusakan peralatan listrik (pada umumnya peralatan hanya dapat bekerja dalam frekuensi 50 s.d 60 Hz).



Gambar 2.3 Ilustrasi Kestabilan Frekuensi

Sumber: <https://budi54n.wordpress.com/2008/03/26/pengaturan-frekuensi-sistem-tenaga-listrik/>

Ilustrasi gambar 2.3 menunjukkan bahwa ketidakseimbangan antara pembangkitan dan beban akan menyebabkan frekuensi bergeser dari nilai

normalnya. Dalam hal ini ketika pembangkitan $>$ beban maka frekuensi sistem akan $>$ 50 Hz, begitu pula sebaliknya. Oleh karena itu perlu selalu dijaga keadaan yang seimbang antara pembangkitan dan beban agar tercipta frekuensi sistem yang normal 50 Hz.

2.6 Stabilitas Sistem

Menurut Hidayat (2021: 42-44) Sistem menghadapi beberapa jenis gangguan besar yang berkaitan dengan masalah stabilitas diantaranya :

1. Ketidakstabilan transien terjadi jika bagian dari sistem berisolasi tidak teredam dan berakhir dengan terpecahnya sistem (biasanya dalam beberapa detik). Gangguan semacam ini biasanya terjadi setelah suatu gangguan hubung singkat besar atau terlepasnya beberapa unit pembangkit.
2. Ketidakstabilan dinamik, dimana isolasi kecil tidak teredam terjadi yang diawali oleh sebab yang tidak jelas, yaitu karena sistem dioperasikan terlalu dekat dengan kondisi tidak stabil.
3. Ketidakstabilan tegangan yaitu merosotnya tegangan sistem lebih rendah dari suatu tingkat/batas dimana peralatan pengendali tegangan dapat mengembalikan tegangan ke tingkat yang dapat diterima. Dalam kasus tersebut kenaikan rugi-rugi daya reaktif memperburuk permasalahan sehingga memperluas dan mempercepat penurunan tegangan seluruh sistem.

2.7 Pembangkit Listrik Tenaga Air Bakaru



Gambar 2.4 Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Bakaru

Sumber: <https://energibaik.id/produksi-listrik-plta-bakaru-optimal-di-musim-hujan/>

Gambar 2.2 adalah salah satu Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Bakaru yang merupakan pusat listrik tenaga air yang memiliki desain mesin poros tegak dengan tipe turbin Francis, dengan kapasitas 2 x 63 MW. PLTA Bakaru menjadi pembangkit yang sangat diharapkan keandalannya untuk menyuplai listrik ke sistem interkoneksi 150 kV Sulawesi Selatan dan Sulawesi Barat. Pengoperasian PTA Bakaru sangat dipengaruhi oleh kondisi cuaca dan musim (Musa et al., 2020, pp. 71–72).

Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) adalah salah satu pembangkit yang memanfaatkan energi terbarukan berupa aliran air untuk diubah menjadi energi listrik. Energi listrik ini disebut sebagai hidroelektrik. Pembangkit listrik ini bekerja dengan cara merubah energi air yang mengalir (dari bendungan atau air terjun) menjadi energi mekanik (dengan bantuan turbin air) dan dari energi

mekanik menjadi energi listrik (dengan bantuan generator). Kemudian energi listrik tersebut dialirkan melalui jaringan distribusi atau transmisi tersebut sampai ke konsumen (beban) (Musa et al., 2020, pp. 71–72).

PLTA terdiri dari pembangkit yang berskala *micro hydro*, *mini hydro* sampai berskala besar seperti PLTA Bakaru yang dapat menyediakan energi listrik untuk mensuplai beban pada sistem kelistrikan Sulselbar. Keunggulan dari pembangkit ini adalah responnya yang cepat sehingga sangat sesuai untuk kondisi beban puncak maupun saat terjadi gangguan di jaringan (Musa et al., 2020, pp. 71–72).

PLTA Bakaru memiliki daya pembangkit sebesar 2 x 63 MW, dimana daya pembangkit ini digunakan untuk mensuplay *island bakaru*. PLTA Bakaru memanfaatkan potensi air dari sungai Mamasa, Sulawesi Barat yang berpotensi dikembangkan menjadi tenaga listrik sebesar 252 MW. Tenaga listrik yang dibangkitkan di PLTA tersebut kemudian disalurkan melalui jaringan transmisi 150 kV sepanjang 350 km ke gardu induk Pinrang, Sulawesi Barat di Polewali Mandar, Pare-pare, Barru, Sidrap, Soppeng dan Bone (Musa et al., 2020, pp. 71–72).

PLTA Bakaru telah menerapkan beberapa mode operasi sejak pertama kali didirikan. Mode operasi yang pertama kali diterapkan adalah mode operasi Power Set. Setelah itu, PLTA Bakaru menerapkan mode Joint Power. Hingga tahun 2019, mode operasi yang diterapkan pada PLTA Bakaru adalah mode operasi Load Limit. Mode operasi Speed Governing menjadi metode baru yang akan diterapkan pada PLTA Bakaru. Mode ini dapat mencegah pemadaman listrik

secara total di wilayah Sulawesi Selatan. Selain itu, metode ini juga mengurangi penggunaan air untuk pembangkitan listrik Langkah-langkah pengoperasiannya adalah sebagai berikut:

- Pembatas baling-baling air dinaikkan ke posisi maksimal saat baling-baling mencapai beban maksimal.
- Pembatas gerbang dan pengaturan tegangan dibuka perlahan-lahan untuk mengatur peningkatan daya.
- Fluktuasi frekuensi sistem harus diperhatikan secara terus-menerus oleh operator.
- Saat daya keluaran generator sudah sesuai dengan kebutuhan, frekuensi sistem dijaga agar tetap konstan.
- Saat daya keluaran hampir mencapai batas minimum, generator lain harus diturunkan daya keluarannya atau operasinya dihentikan sementara
- Saat daya keluaran generator hampir mencapai batas maksimu, generator lain harus dinaikkan dayanya.
- Kondisi beban dikondisikan pada generator-generator yang terhubung secara paralel.

2.8 Pelepasan Beban (*Load Shadding*)

Load Shadding merupakan suatu tindakan pelepasan beban yang terjadi secara otomatis maupun manual untuk menyeimbangkan daya suplai pembangkit dengan daya yang dibutuhkan beban, pengamanan operasi dari unit-unit pembangkit untuk menghindari atau mencegah terjadinya pemadaman total (*black out*) (Marsudi, 2016, p. 556).

Apabila turunnya daya pembangkit berkisar 10% sampai dengan 15%, maka akan terjadi penurunan frekuensi karena governor pembangkit masih sempat bekerja dan daya cadangan panas yang ada (*Spinning Reserve*) sebesar 10% sampai dengan 15% dapat digunakan dengan mengkonversikan menjadi daya listrik (Marsudi, 2016, p. 556).

Menurut (Marsudi, 2016, p. 557) pada perencanaan pelepasan beban dapat dikriteriakan beban-beban mana yang akan dilepas dan tidak boleh dilepas, dimana dibagi menjadi 2 kriteria :

2.8.1 Beban Penting

Beban-beban yang memegang peranan dalam proses suatu produksi dimana bila terjadi suatu gangguan dapat merusak atau mengurangi mutu dan hasil produksi tersebut.

2.8.2 Beban yang kurang penting

Beban-beban yang tidak mempunyai pengaruh langsung terhadap proses pengolahan produksi.

Menurut (Marsudi, 2016, p. 557) pelepasan beban dapat dilakukan dengan cara manual (*Manual Load Shadding*) dan otomatis (*Automatic Load Shedding*) diantaranya sebagai berikut :

2.8.3 *Manual Load Shadding*

Pelepasan beban secara manual hanya digunakan dalam keadaan yang tidak begitu penting atau pada saat *Control Load Shedding* tidak bekerja sebagaimana mestinya (tidak dalam keadaan normal).

2.8.4 *Automatic Load Shedding*

Sistem pelepasan beban otomatis yang seringkali merupakan perpanjangan relai pengaman generator seperti *Under Frequency Relay* (UFR). Beban-beban yang akan dilepas harus ditentukan dahulu dan akan secara bertahap pada tiap-tiap frekuensi yang telah ditentukan. Masalah pokok dalam pelepasan beban disebuah sistem :

- a. Besar beban yang akan dilepas per tingkat
- b. Menentukan jumlah tahapan pelepasan beban
- c. Kelambatan waktu yang direncanakan pada setiap waktu pelepasan
- d. Frekuensi dimana setiap tahapan dilepas

2.8.5 *Island Operation*

Island Operation adalah pola pengamanan sistem dengan memisahkan unit pembangkit dari sistem tenaga listrik secara otomatis dengan hanya memikul beban disekitarnya terbatas sesuai kemampuan unit pembangkitnya apabila mengalami gangguan.

2.9 **DIgSILENT**

DIgSILENT merupakan akronim dari *Digital SimuLation and Electrical NeTwork*. DIgSILENT adalah sebuah program computer rekayasa untuk analisis transmis, distribusi, dan sistem tenaga listrik industry. *Software* ini dirancang sebagai paket perangkat lunak yang terintegrasi dan interaktif canggih didedikasikan teruntuk sistem tenaga listrik dan analisis kontrol dalam rangka

mencapai tujuan utama dan perancangan dan operasi optimasi (Marwan, 2019, p. 5).

Dari penjelasan tersebut dapat dikatakan, bahwa DIgSILENT merupakan program khusus rekayasa yang menganalisis permasalahan dalam sistem tenaga listrik. Untuk mengatasi penggunaan sistem tenaga persyaratan analisis, PowerFactory dirancang sebagai alat rekayasa terpadu untuk menyediakan rangkaian lengkap (Marwan, 2019, p. 5).

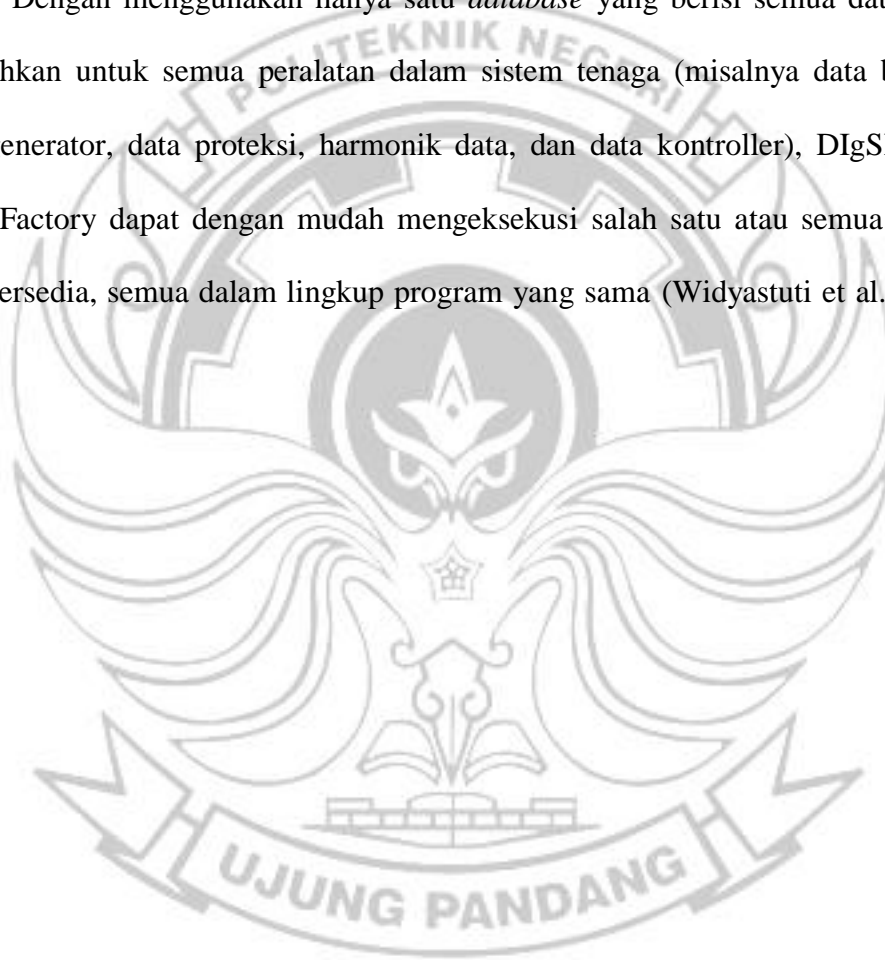
DIgSILENT PowerFactory dirancang dan dikembangkan oleh para insinyur berkualitas dan programmer dengan penguasaan bertahun-tahun di kedua bidang analisis sistem tenaga listrik dan bidang pemrograman. Akurasi dan validitas dari hasil yang diperoleh dengan perangkat lunak ini telah dikonfirmasi dalam sejumlah besar dan diimplementasi oleh organisasi-organisasi yang terlibat dalam perencanaan dan operasi sistem tenaga (Widyastuti et al., 2015, p. 25).

Menurut (Widyastuti et al., 2015, p. 25) dalam rangka memenuhi kebutuhan analisis sistem kekuasaan saat ini, kekuatan sistem paket perhitungan DIgSILENT dirancang sebagai alat rekayasa terpadu yang menyediakan teknik lengkap “*walk-around*” melalui semua fungsi yang tersedia, bukannya sekumpulan modul perangkat lunak yang berbeda. Fitur kunci berikut ini diberikan dalam satu program *executable* tunggal DIgSILENT PowerFactory :

1. Fungsi inti DIgSILENT PowerFactory: Definisi, modifikasi dan organisasi kasus, rutinitas numerik inti, dan fungsi dokumentasi *output*
2. Garis grafis dan data penanganan kasus tunggal interaktif terpadu
3. Elemen daya sistem dan database pada studi kasus-kasus dasar

4. Fungsi perhitungan terintegrasi (misalnya garis dan perhitungan parameter mesin berdasarkan informasi geometris atau papan nama/*name plate*)
5. Sistem tenaga konfigurasi jaringan dengan akses interaktif atau terhubung/*online* ke sistem SCADA
6. *Interface* yang generik untuk sistem pemetaan berbasis komputer

Dengan menggunakan hanya satu *database* yang berisi semua data yang dibutuhkan untuk semua peralatan dalam sistem tenaga (misalnya data busbar, data generator, data proteksi, harmonik data, dan data kontroller), DIGSILENT PowerFactory dapat dengan mudah mengeksekusi salah satu atau semua fungsi yang tersedia, semua dalam lingkup program yang sama (Widyastuti et al., 2015, p. 25).



BAB III METODE PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

3.1.1. Tempat Penelitian

Kegiatan penelitian ini dilaksanakan di PT PLN (Persero) Unit Pelaksana Pengaturan Beban (UP2B) Subsystem Makassar di Jl.Letjen Hertasning Blok B, Pandang, Kec. Panakkukang, Kota Makassar, Sulawesi Selatan.

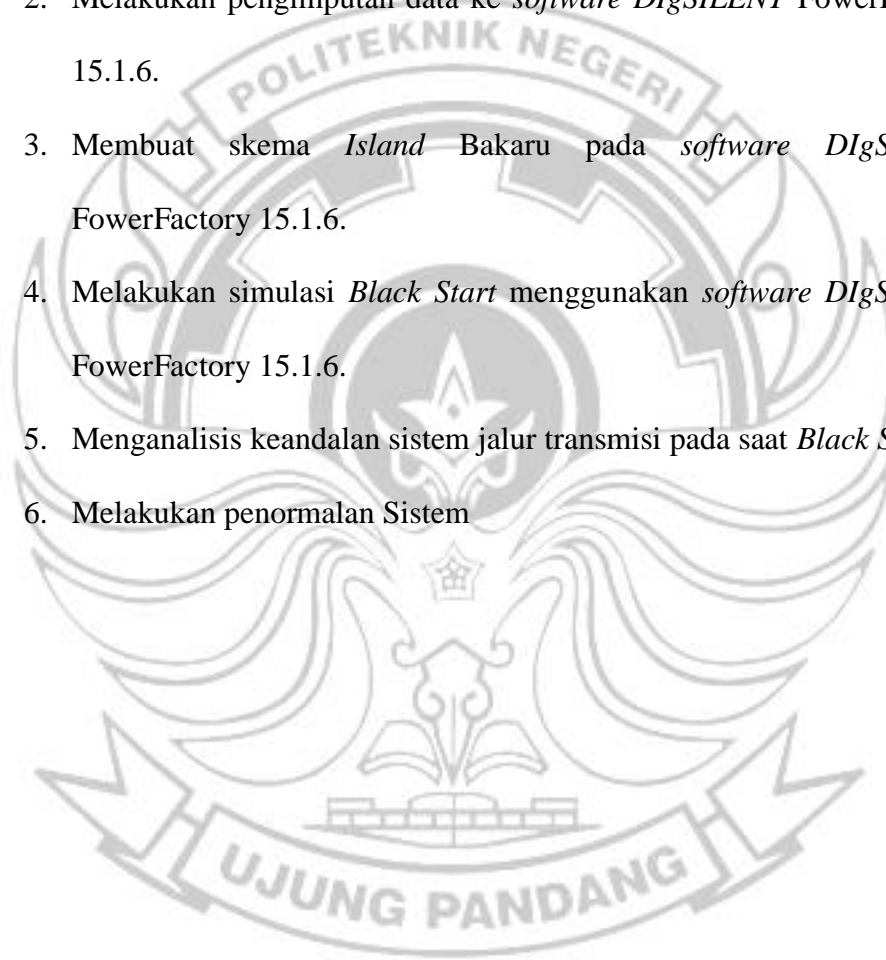
3.1.2. Waktu Penelitian

Waktu penelitian dilaksanakan selama lima bulan, mulai bulan Desember 2021 sampai bulan Juli 2022. Dalam rentang waktu tujuh bulan ini dilakukan tahapan penelitian yaitu penyusunan proposal, pencarian studi pustaka kemudian dilakukan seminar proposal. Setelah seminar proposal, dilakukan pengambilan data kemudian dilanjut dengan pembuatan simulasi. Setelah membuat simulasi maka perlu dilakukan pengujian hasil sebelum seminar hasil. Tahap terakhir adalah pembuatan laporan hasil penelitian yang telah dilakukan.

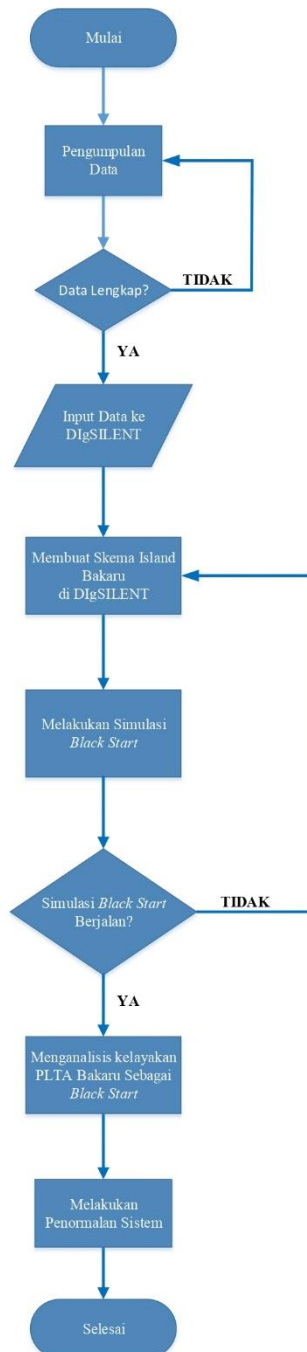
3.2. Prosedur Penelitian

Pada penelitian ini peneliti telah memperoleh data-data yang dibutuhkan dalam penelitian yang mana kemudian data-data ini akan dilakukan simulasi dan pembuatan skema *Black Start* pada PLTA Bakaru sebagai berikut:

1. Mengumpulkan data-data yang diperlukan pada penelitian ini :
 - a. Data Kapasitas Pembangkit
 - b. Data Beban Distribusi
 - c. Jumlah Gardu Induk (GI)
 - d. Titik Singkron
2. Melakukan pengimputan data ke *software DIgSILENT FowerFactory* 15.1.6.
3. Membuat skema *Island* Bakaru pada *software DIgSILENT FowerFactory* 15.1.6.
4. Melakukan simulasi *Black Start* menggunakan *software DIgSILENT FowerFactory* 15.1.6.
5. Menganalisis keandalan sistem jalur transmisi pada saat *Black Start*
6. Melakukan penormalan Sistem



Adapun *flowchart* dari prosedur penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.1



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.3. Teknik Pengumpulan Data

Berikut adalah metode atau teknik pengumpulan data yang digunakan dalam mengumpulkan data dari penelitian yang dilakukan:

3.3.1. Pengumpulan Literatur

Penelitian ini dimulai dengan mengumpulkan literatur melalui Buku, Jurnal, dan Web terkait dengan *Black Start*. Literatur-literatur tersebut berguna untuk mempelajari lebih dalam mengenai proses pengembangan *Black Start* di PLTA Bakaru serta digunakan pula sebagai dasar, acuan, dan pembanding dalam penelitian.

3.3.2. Wawancara

Wawancara yang akan dilakukan pada berbagai narasumber yang dianggap mampu memberikan informasi mengenai objek yang sedang diteliti.

3.3.3. Observasi

Penulis melakukan observasi di PT PLN (Persero) khususnya pada Unit Pelaksana Pengaturan Beban (UP2B) Sistem Makassar. Proses ini berlangsung dengan melakukan pengamatan yang meliputi: melihat, mencatat keadaan, dan menganalisis keadaan.

3.3.4. Dokumentasi

Dokumentasi adalah teknik pengumpulan data yang dilakukan dengan cara mengambil data-data yang diperlukan dari pihak PT PLN (Persero) Unit Pelaksana Pengaturan Beban (UP2B) Subsistem Makassar.

3.4. Teknik Analisis Data

Data *black start* dari PT PLN (Persero) Unit Pelaksana Pengaturan Beban (UP2B) Sistem Makassar diolah dengan menggunakan aplikasi *DIgSILENT* PowerFactory 15.1 dan Microsoft Excel. Aplikasi *DIgSILENT* digunakan untuk mensimulasikan proses *black start* pada *island bakaru*, selain mensimulasikan *black start* juga melihat tegangan, aliran daya dan keseimbangan beban sistem.



BAB IV PEMBAHASAN

4.1. Hasil Penelitian

Generator PLTA Bakaru memiliki kapasitas terpasang sebesar 126 MegaWatt. Generator ini terbagi menjadi dua buah turbin dengan masing-masing berdaya listrik 63 MegaWatt. PLTA Bakaru digunakan sebagai salah satu pembangkit *Black Start* pada *island* Bakaru untuk proses pemulihan Sistem dalam waktu singkat. *Island* Bakaru merupakan sistem yang berada pada sistem Sulbagsel, dimana *Island* Bakaru ini disuplai oleh PLTA Bakaru, PLTD Suppa, dan PLTU Mamuju. adapun Gardu Induk yang berada pada *Island* Bakaru diantaranya GI Bakaru, GI Polmas, GI Pinrang, GI Pare-Pare, GI Suppa, GI Majene, GI Mamuju, GI Mamuju Baru, dan GI Topoyo. Pada skripsi ini, penelitian difokuskan pada proses *Recovery* Sistem dan antisipasi kesiapan PLTA Bakaru dalam membangun *Island* Bakaru pada kondisi *Blackout* / Padam total pada saat proses pemulihan Sistem. Penelitian ini dilakukan di PT PLN (Persero) UP2B Sistem Makassar dimana diperoleh data-data yang berkaitan dengan permasalahan dan tujuan penelitian yaitu tentang Implementasi PLTA Bakaru Terhadap *Island* Bakaru di Sistem Sulbagsel. Adapun data yang diambil pada PT PLN (Persero) adalah data *single line diagram island* bakaru, data pembangkit, data beban gardu induk, data transformator distribusi, data transformator generator, data penghantar dan data durasi padam.

4.1.1. *Single Line Diagram Island* Bakaru 150 kV

Untuk melihat *Single Line Diagram* (SLD) dari *Island* Bakaru 150 kV dapat dilihat pada Lampiran 1.

4.1.2. Data Pembangkit *Island* Bakaru

Island Bakaru memiliki tiga pembangkit yang digunakan untuk mensuplai tegangan pada *Island* Bakaru. Secara rinci data pembangkit dan kapasitas *island* bakaru dapat dilihat pada table 4.1 berikut ini:

Tabel 4.1 Data Pembangkit dan Kapasitas *Island* Bakaru

No	Nama Pembangkit	MW
1	PLTA BAKARU #1	63
2	PLTA BAKARU #2	63
3	PLTD SUPPA #1	10.41
4	PLTD SUPPA #2	10.41
5	PLTD SUPPA #3	10.41
6	PLTD SUPPA #4	10.41
7	PLTD SUPPA #5	10.41
8	PLTD SUPPA #6	10.41
9	PLTU MAMUJU #1	25
10	PLTU MAMUJU #2	25

(Sumber : PT. PLN (Persero) UP2B Sistem Makassar)

4.1.3. Data Beban Gardu Induk *Island* Bakaru

Data beban pada *island* bakaru yang digunakan pada penelitian ini diambil dari beban puncak tertinggi pada tahun 2021. Data tersebut dapat dilihat pada tabel 4.2 berikut ini:

Tabe 4.2 Data Beban Gardu Induk *Island* Bakaru

No	Gardu Induk	Tegangan (kV)	Beban (MW)
1	BAKARU	150	0.4
2	POLMAS	150	17.9
3	PINRANG	150	35.6
4	PARE-PARE	150	20.6
5	MAJENE	150	16.2
6	MAMUJU	150	15.2
7	MAMUJU BARU	150	7.2
10	TOPOYO	150	8.6

(Sumber : PT. PLN (Persero) UP2B Sistem Makassar)

4.1.4. Data Transformator Distribusi *Island* Bakaru

Transformator Distribusi *Island* Bakaru memiliki beberapa kapasitas yaitu 60 MVA, 30 MVA, 20 MVA, dan 16 MVA dengan *rating* tegangan 150 kV. Secara rinci data Transformator Distribusi dan Kapasitas *Island* Bakaru dapat dilihat pada tabel 4.3 berikut ini:

Tabel 4.3 Data Transformator Distribusi dan Kapasitas *Island* Bakaru

No	Transformator Distribusi	MW	MVAR
1	BAKARU #1	14.4	13.9
2	POLMAS #1	14.4	13.9
3	POLMAS #2	21.6	20.8
4	PINRANG #1	21.6	20.8
5	PINRANG #2	11.5	11.1
6	PINRANG #3	21.6	20.8
7	PARE-PARE #1	21.6	20.8
8	PARE-PARE #2	11.5	11.1
9	PARE-PARE #3	21.6	20.8
10	MAJENE #1	14.4	13.9
11	MAMUJU #1	14.4	13.9
12	MAMUJU #2	21.6	20.8
13	MAMUJU #3	43.2	41.6
14	MAMUJU BARU #1	21.6	20.8
15	TOPOYO #1	21.6	20.8

(Sumber : PT. PLN (Persero) UP2B Sistem Makassar)

4.1.5. Data Transformator Generator *Island* Bakaru

Transformator Generator pada *Island* Bakaru memiliki kapasitas daya mampu pada tiap generator. Adapun secara rinci data kapasitas daya mampu Transformator Generator *Island* Bakaru dapat dilihat pada table 4.4 berikut ini:

Tabel 4.4 Data Kapasitas Daya Mampu Transformator Generator *Island* Bakaru

No	Transformator Generator	MVA
1	PLTA BAKARU #1	80
2	PLTA BAKARU #2	80
3	PLTD SUPPA #1	45
4	PLTD SUPPA #2	45
5	PLTU MAMUJU #1	40
6	PLTU MAMUJU #2	40

(Sumber : PT. PLN (Persero) UP2B Sistem Makassar)

4.1.6. Data Saluran Transmisi *Island* Bakaru

Island Bakaru disuplai oleh 10 gardu induk dengan 16 saluran transmisi, adapun data saluran transmisi *Island* Bakaru secara lengkap dapat dilihat pada tabel 4.5 berikut ini:

Tabel 4.5 Data Saluran Transmisi *Island* Bakaru

No	Nama Penghantar	Type	Panjang (km)	R1 (ohm)	X1 (ohm)	R0 (ohm)	X0 (ohm)
1	BAKARU - PINRANG	ACSR - BAKARU	58,65	6,9207	24,80895	15,65955	74,42686
2	BAKARU - POLMAS	ACSR 240 - BAKARU	50,02	5,90236	21,2585	13,40536	63,72548
3	PAREPARE - PINRANG	ACSR 240 - PINRANG	26,057	3,231068	10,68337	8,260069	7,8171
4	PAREPARE - POLMAS	ACSR 240 - POLMAS	91,1	10,7498	38,6264	74,1554	113,2373
5	PAREPARE - SUPPA #1	ACSR 240 - SUPPA	7,5	0,8775	3,0675	2,4675	7,5675
6	PAREPARE - SUPPA #2	ACSR 240 - SUPPA	7,5	0,8775	3,0675	2,4675	7,5675
7	SIDRAP - PAREPARE #1	ACSR 240 - SIDRAP	17,5	2,345	7,63	5,4425	19,6175
8	SIDRAP - PAREPARE #2	ACSR 240 - SIDRAP	17,5	2,345	7,63	5,4425	19,6175
9	MAJENE - MAMUJU #1	ACSR 240 - MAJENE	114,3	14,7447	45,2628	32,004	108,9279
10	MAJENE - MAMUJU #2	ACSR 240 - MAJENE	114,3	14,7447	45,2628	32,004	108,9279
11	MAMUJU - MAMUJU NEW #1	ACSR 240 - MNEW	75	2,9025	21,0525	14,1525	63,15
12	MAMUJU - MAMUJU NEW #2	ACSR 240 - MNEW	75	2,9025	21,0525	14,1525	63,15
13	PLTU MAMUJU - MAMUJU NEW #1	ACSR 240 PLTU MAMUJU	4	0,2588	1,12	1,2	4
14	PLTU MAMUJU - MAMUJU NEW #2	ACSR 240 - PLTU MAMUJU	4	0,2588	1,12	1,2	4
15	POLMAS - MAJENE #1	ACSR 240 - MAJENE	50,16	6,06936	19,863352	13,64352	49,6584
16	POLMAS MAJENE #2	ACSR 240 - MAJENE	50,16	6,06936	19,863352	13,64352	49,6584

(Sumber : PT. PLN (Persero) UP2B Sistem Makassar)

4.2. Sistem Kerja *Black Start*

Sistem kerja *black start* diawali dengan adanya pembentukan *island operation* pada sistem yang dimana *island* ini beroperasi ketika frekuensi sistem turun sampai 48,1 Hz, ketika sistem telah membentuk masing-masing *island* maka peran pembangkit yang dapat *black start* dibutuhkan guna memulihkan sistem *island*-nya sendiri agar sistem dapat pulih dengan cepat. Selanjutnya dilakukan pengaturan operasi pembangkit dimana pada saat pelaksanaan *black start* PLTA Bakaru unit pembangkit yang beroperasi yaitu :

- a. PLTA Bakaru
- b. PLTA Poso 1
- c. PLTA Poso 2
- d. PLTA Bili-Bili
- e. PLTA Tangka
- f. PLTGU Sengkang
- g. PLTU Mamuju
- h. PLTU Jenepono
- i. PLTU Jenepono Ekspansi
- j. PLTU Punagaya
- k. PLTU Barru
- l. PLTU Moramo
- m. PLTU Sidrap
- n. PLTU Tolo

Sebelum dilakukan black start dan line charging di PLTA Bakaru maka pastikan PMT dan PMS Bus 150 kV line Bakaru di GI Pinrang dilepas (kondisi open) dan Unit Pembangkit yang akan melakukan black start dan line charging PLTA Bakaru dilepas (kondisi open), begitupun setiap PMT dan PMS pada line transmisi lainnya pada *island* Bakaru dilakukan validasi apakah telah sesuai dengan kondisi gardu induk dan memperhatikan SOP gardu induk pada setiap tahapan pelaksanaan *black start*. Kondisi ini dilakukan agar pada saat pengoperasian pembangkit tegangan tidak langsung masuk pada semua line transmisi 150 kV sehingga dapat menyebabkan pembangkit trip kembali.

4.3. Pembahasan Penelitian

Tahapan pada pembahasan penelitian dimulai dengan membahas penyebab awal terjadinya *black start* kemudian membuat dan melakukan simulasi *black start* pada DigSILENT PowerFactory 15.1.6. selanjutnya dilakukan analisis kelayan PLTA Bakaru sebagai pembangkit *black start*.

4.3.1. Penyebab Awal Terjadinya *Black Start*

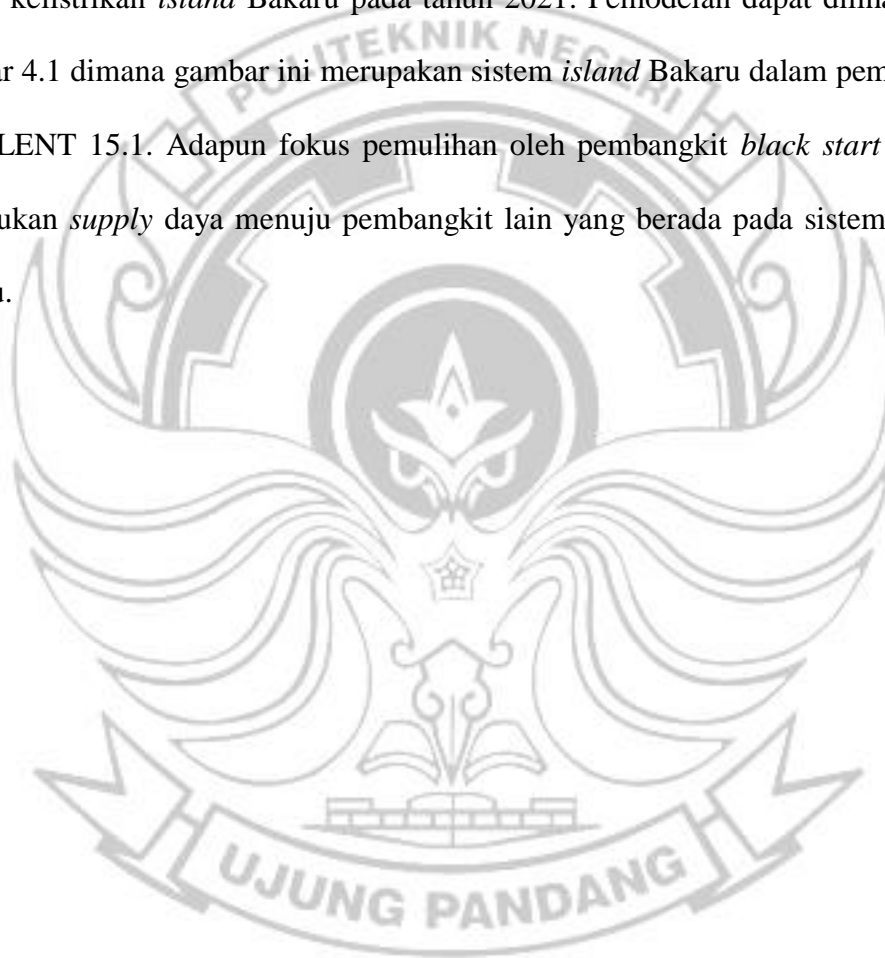
PLTA Bakaru mempunyai fasilitas *black start* dimana ketika terjadi gangguan *black out* yang mengakibatkan sistem interkoneksi terpecah dan seluruh pembangkit trip kemudian membentuk beberapa skema *island* pada frekuensi 48.1 Hz dimana pada frekuensi ini terbentuk tiga *island* yaitu *island* poso, *island* kendari dan *island* selatan (sidrap arah makale dan sidrap arah enrekang lepas) selanjutnya pada tahapan frekuensi 47.9 Hz terbagi menjadi enam *island* yaitu *island* bakaru, *island* barru, *island* sengkang, *island* makassar, *island* poso, dan

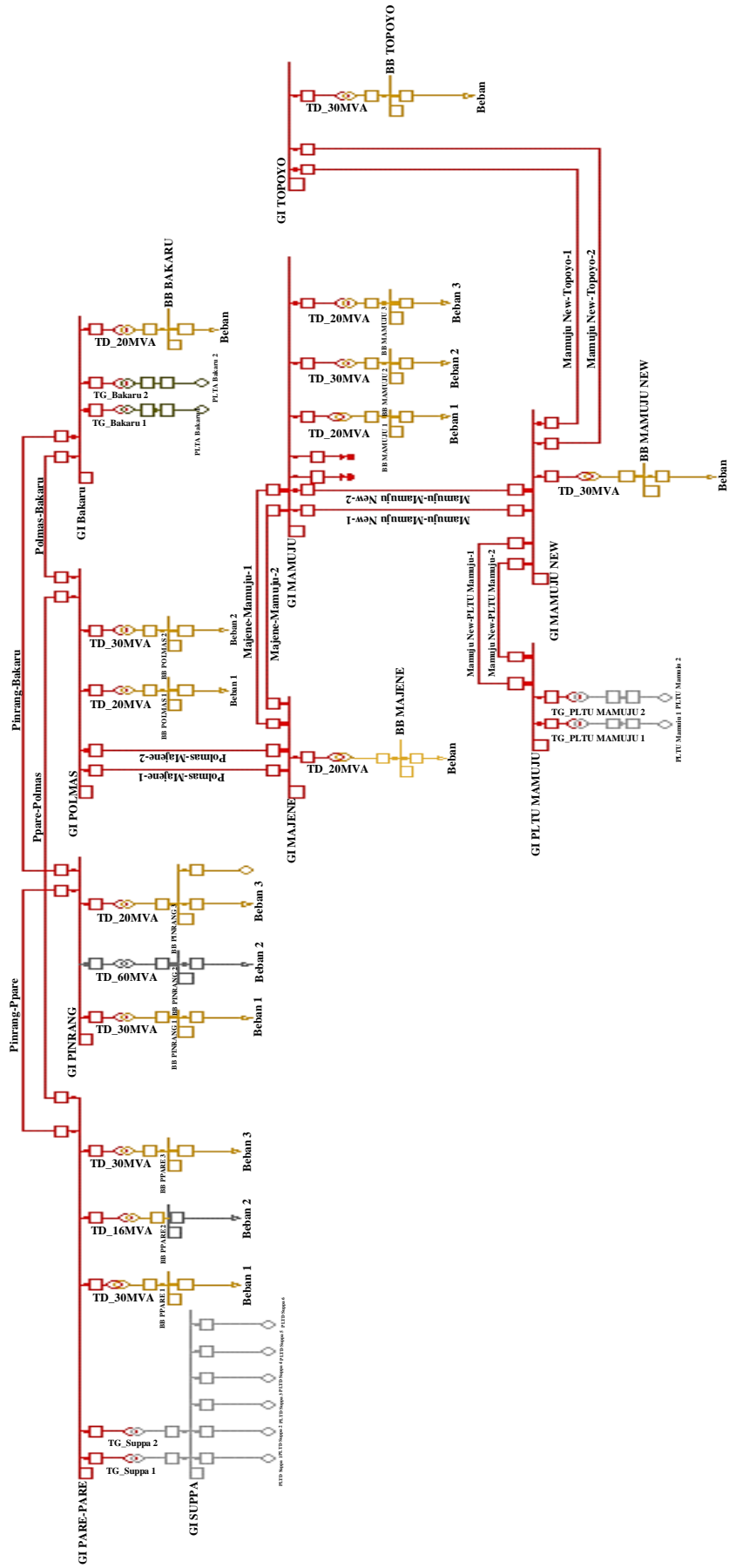
island kendari. Pada tahapan ketika sistem telah membentuk *island* maka *black start* selanjutnya bekerja untuk memulihkan sistem *island*-nya sendiri.

4.3.2. Proses PLTA Bakaru Mensuplai Gardu Induk pada *Island* Bakaru

4.2.2.1 Pemodelan Sistem Interkoneksi *Island* Bakaru

Pemodelan sistem dilakukan dengan mengacu pada data pembangkit sistem kelistrikan *island* Bakaru pada tahun 2021. Pemodelan dapat dilihat pada gambar 4.1 dimana gambar ini merupakan sistem *island* Bakaru dalam pemodelan DIGSILENT 15.1. Adapun fokus pemulihan oleh pembangkit *black start* adalah melakukan *supply* daya menuju pembangkit lain yang berada pada sistem *island* bakaru.





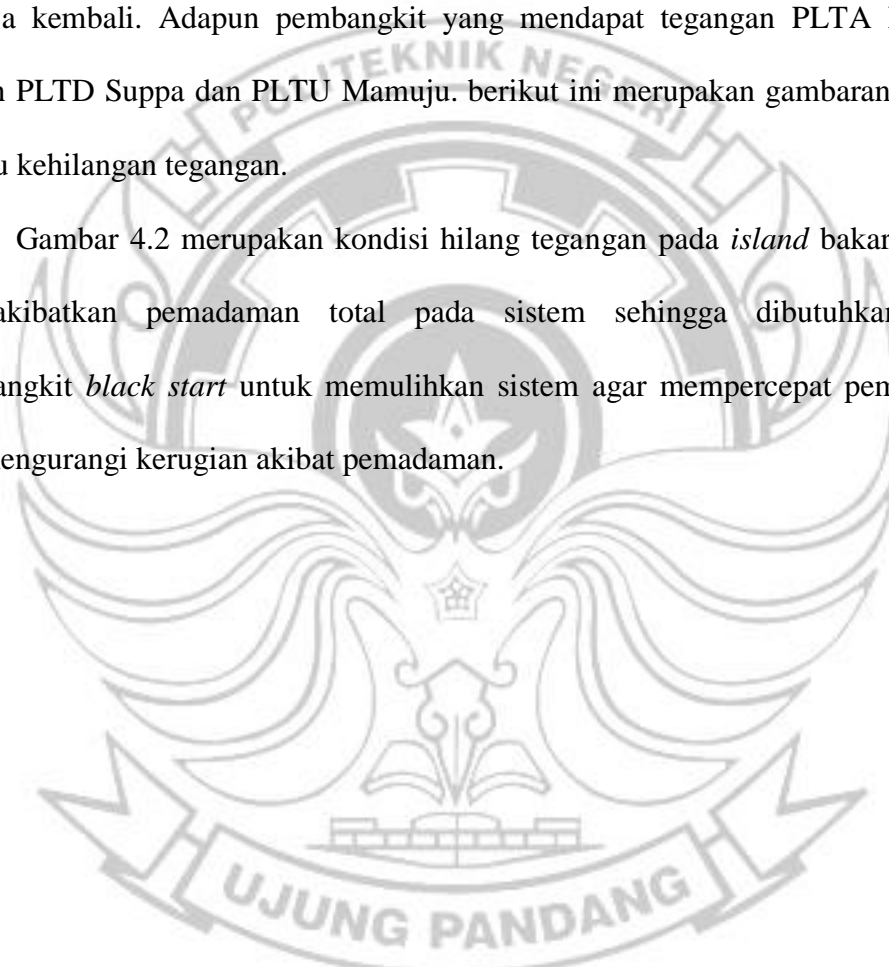
Gambar 4.1 Pemodelan Sistem Island Bakaru Dalam DigSILENT 15.1

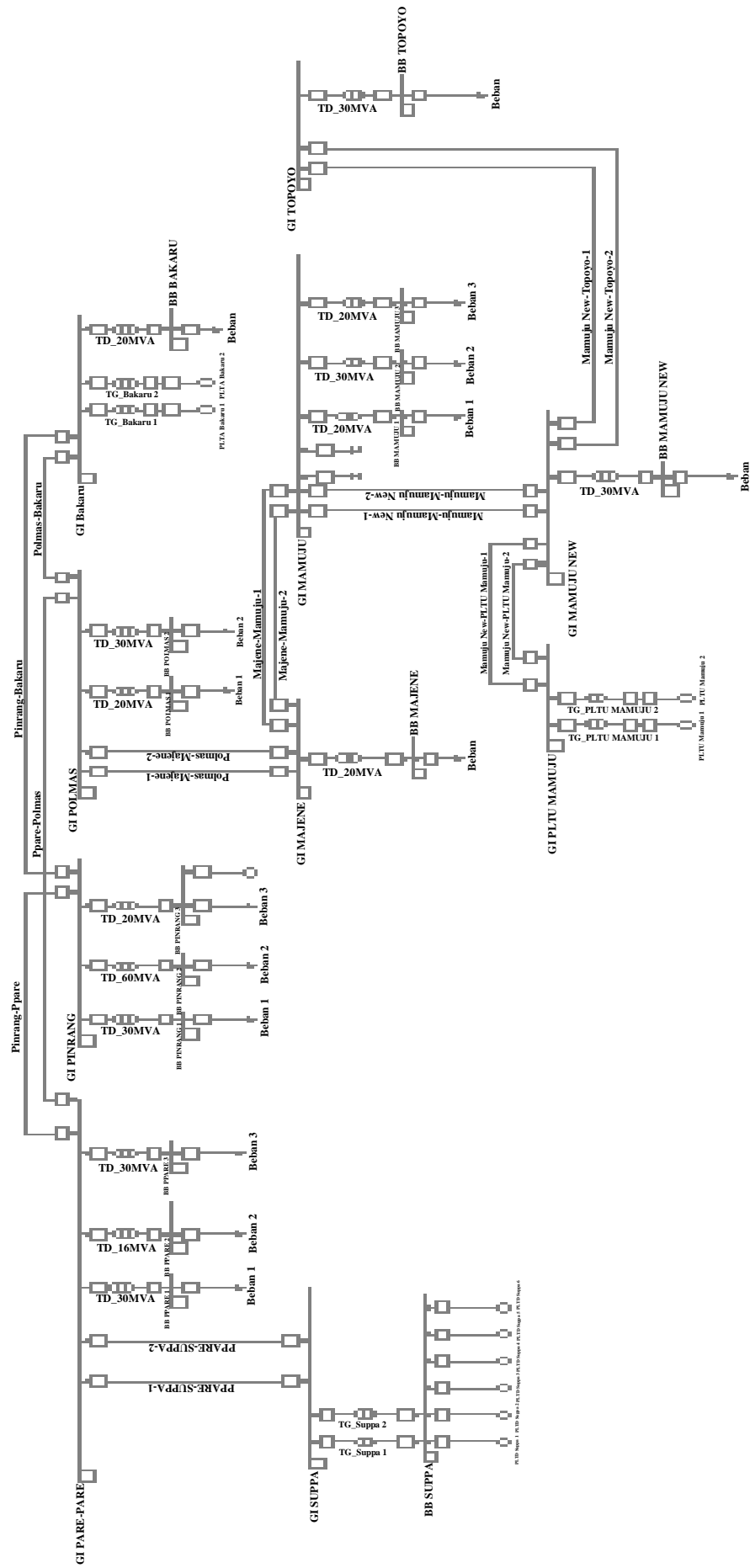
4.2.2.2 Simulasi PLTA Bakaru sebagai *Black Start*

4.2.2.2.1 Kondisi Hilang Tegangan *Island* Bakaru

Dalam mendukung proses pemulihan sistem PLTA Bakaru unit 1 dan 2 berperan sebagai *black start* dengan fokus pemulihan dengan melakukan pengiriman tegangan ke beberapa pembangkit yang berada di *island* bakaru untuk bekerja kembali. Adapun pembangkit yang mendapat tegangan PLTA Bakaru adalah PLTD Suppa dan PLTU Mamuju. berikut ini merupakan gambaran *island* bakaru kehilangan tegangan.

Gambar 4.2 merupakan kondisi hilang tegangan pada *island* bakaru yang mengakibatkan pemadaman total pada sistem sehingga dibutuhkan unit pembangkit *black start* untuk memulihkan sistem agar mempercepat pemulihan dan mengurangi kerugian akibat pemadaman.





Gambar 4.2 Kondisi Island Bakaru Kehilangan Tegangan

4.2.2.2.2 Kondisi Status PMT Gardu Induk

Tahapan awal sebelum dilakukannya *black start* yaitu dengan melakukan validasi sesuai dengan kondisi gardu induk dengan memperhatikan SOP gardu induk pada setiap tahapan pelaksanaan *black start*, berikut ini merupakan status PMT pada setiap gardu induk pada *island* bakaru

a. Gardu Induk Pare-Pare

Status PMT pada GI Pare-Pare menunjukkan dimana PMT 150 kV *line* Polmas dilepas, PMT 150 kV *line* PLTD Suppa 1 dilepas, dan seluruh PMT 20 kV penyulang dilepas.

b. Gardu Induk Pinrang

Status PMT pada GI Pinrang menunjukkan dimana PMT Generator Sawitto dilepas dan seluruh PMT 20 kV penyulang dilepas.

c. Gardu Induk Bakaru

Status PMT pada GI Bakaru menunjukkan dimana PMT 150 kV *line* Polmas dilepas dan seluruh PMT 20 kV penyulang dilepas.

d. Gardu Induk Polmas

Status PMT pada GI Polmas menunjukkan dimana PMT 150 kV *line* Majene 1 dan 2 dilepas dan seluruh PMT 20 kV penyulang dilepas.

e. Gardu Induk Majene

Status PMT pada GI Majene menunjukkan dimana PMT 150 kV *line* Polmas 2 dilepas, PMT 150 kV *line* Mamuju 1 dan 2 dilepas, dan seluruh PMT 20 kV penyulang dilepas.

f. Gardu Induk Mamuju

Status PMT pada GI Mamuju menunjukkan dimana PMT 150 kV *line* Mamuju New 1 dan 2 dilepas, PMT 150 kV *line* Majene 2 dilepas, PMT 150 kV reaktor *normally close* dilepas, dan seluruh PMT 20 kV penyulang dilepas.

g. Gardu Induk Mamuju New

Status PMT pada GI Mamuju menunjukkan dimana PMT 150 kV *line* Mamuju 2 dilepas, PMT 150 kV *line* PLTU Mamuju 1 dan 2 dilepas, PMT 150 kV *line* Topoyo 1 dan 2 dilepas, dan seluruh PMT 20 kV penyulang dilepas.

h. Gardu Induk PLTU Mamuju

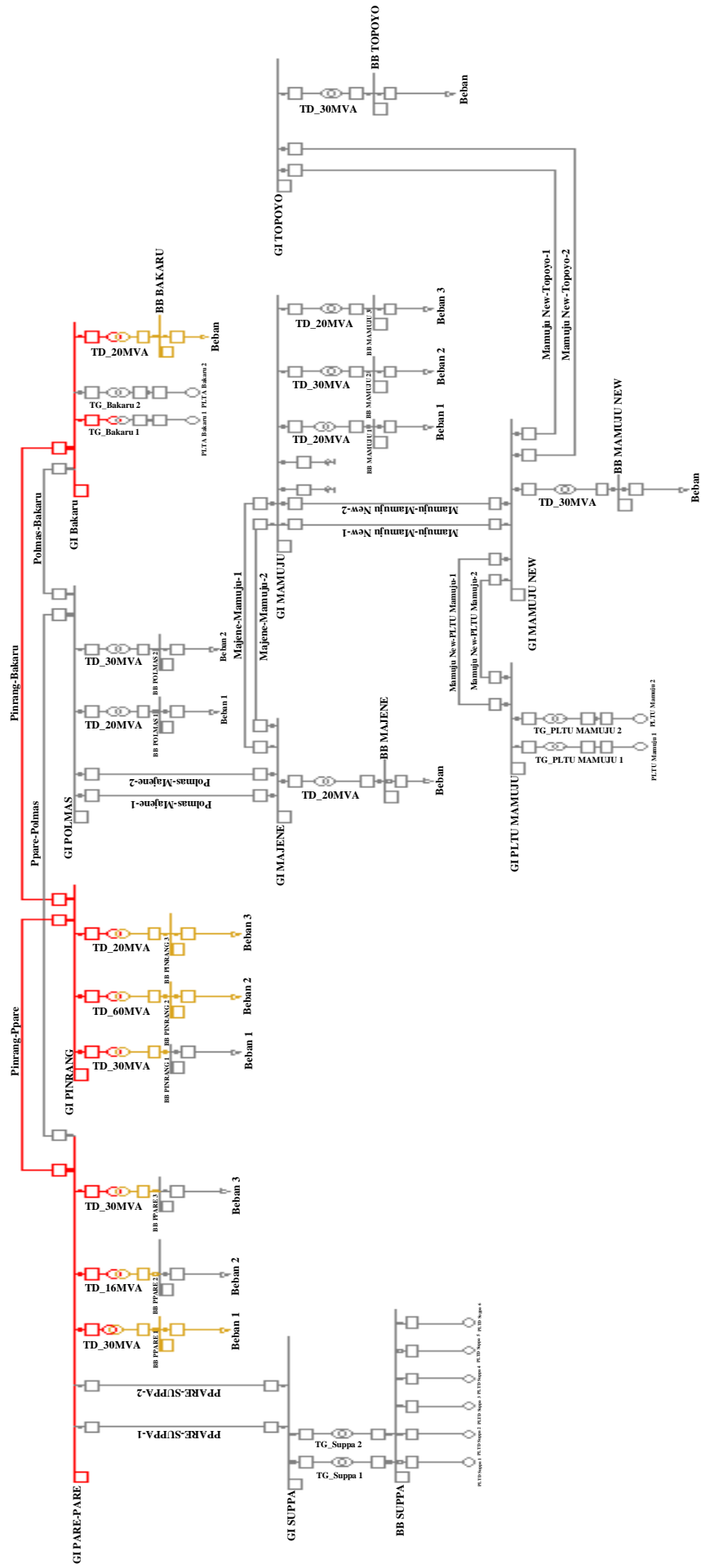
Status PMT pada GI Mamuju menunjukkan dimana PMT 150 kV *line* Mamuju New 2 dilepas.

i. Gardu Induk Topoyo

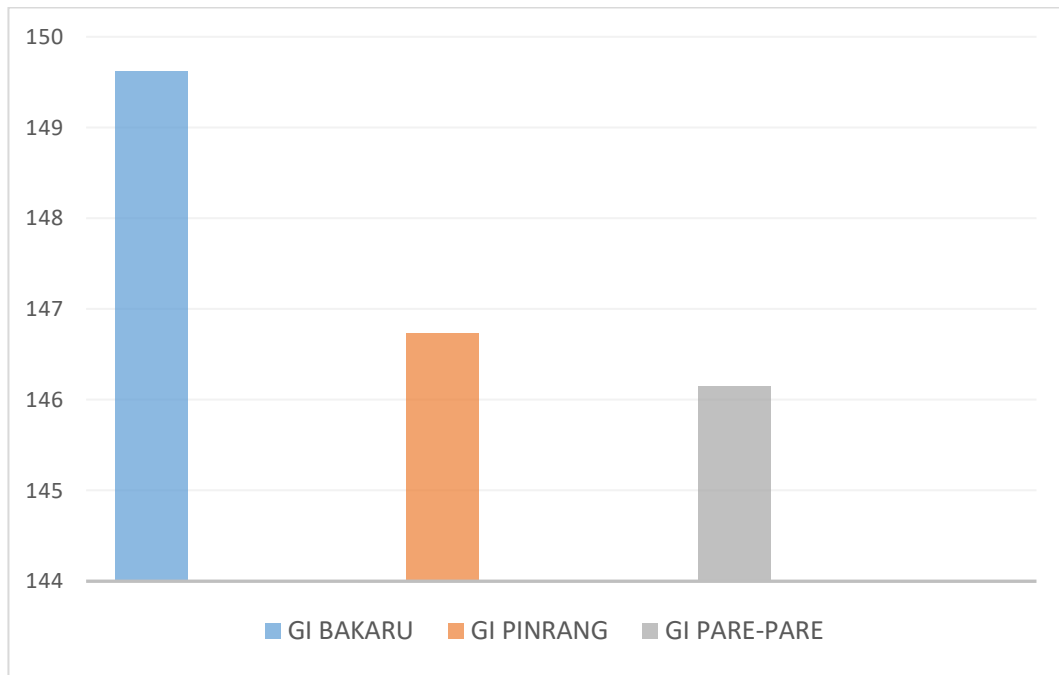
Status PMT pada GI Mamuju menunjukkan dimana PMT 150 kV *line* Mamuju New 1 dan 2 dilepas dan seluruh PMT 20 kV penyulang dilepas.

4.2.2.2.3 Kondisi PLTA Bakaru Unit 1

Gambar 4.3 Kondisi dimana PLTA Bakaru Unit 1 melakukan *black start* dengan mengirim tegangan pada line transmisi 150 kV ke GI Bakaru-GI Pinrang-GI Parepare, dimana ketika tegangan pada GI pare-pare telah diatas 150 kV maka dilakukan pembebanan pada GI Bakaru sebesar 1 MW, GI Pinrang sebesar 13 MW dan GI Parepare sebesar 13 MW. Untuk pembebanan dilakukan secara bertahap sampai PLTA Bakaru unit 1 mencapai beban minim yaitu 27 MW.



Gambar 4.3 Kondisi PLTA Bakaru Beroperasi 1 Unit



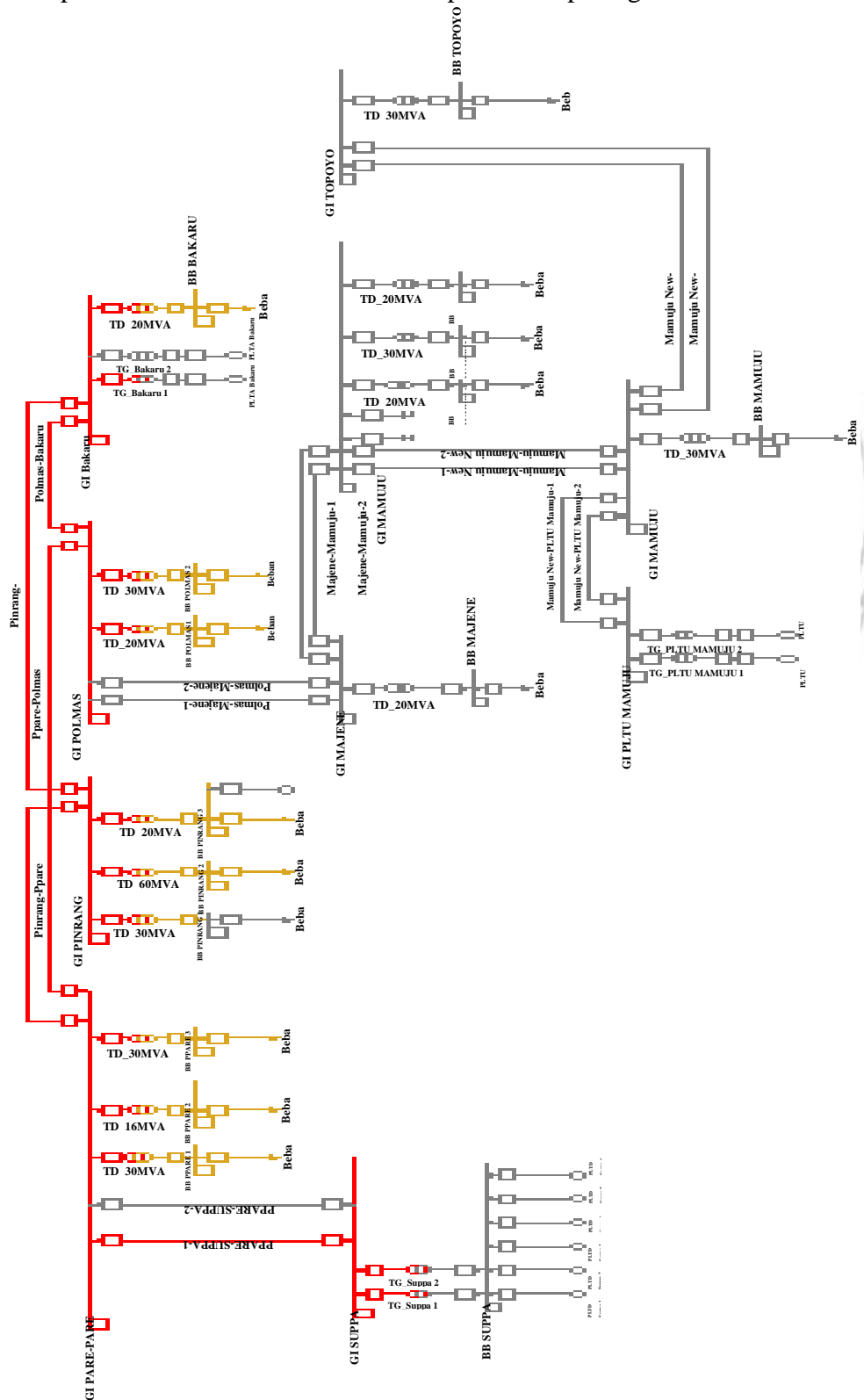
Gambar 4.4 Grafik Tegangan Pada Masing-Masing Gardu Induk Kondisi PLTA Bakaru Beroperasi 1 Unit

Gambar 4.4 memperlihatkan tegangan pada gardu induk Bakaru, gardu induk Pinrang dan gardu induk Pare – Pare pada *island* Bakaru dengan kondisi PLTA Bakaru beroperasi 1 unit, pada saat kondisi operasi tersebut dapat di lihat nilai tegangan pada tiga gardu induk yang telah mendapat supplay tegangan dari kondisi gardu induk padam total, adapun tegangan pada gardu induk dalam batas tegangan normal sesuai aturan pada grid code.

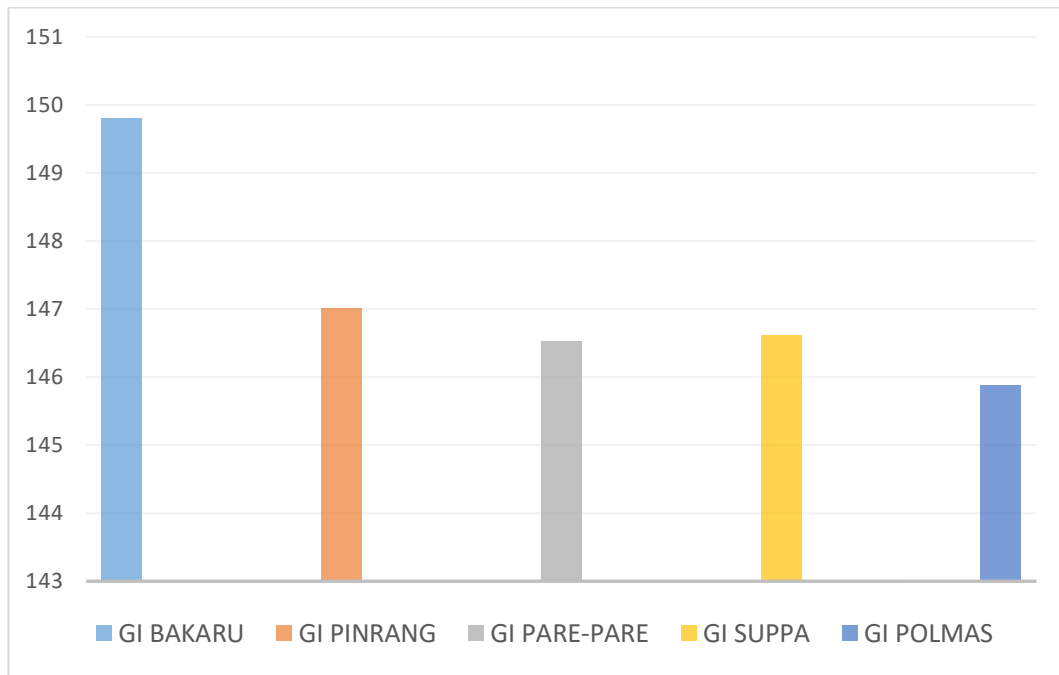
4.2.2.2.4 Kondisi 3 Unit PLTD Suppa

Gambar 4.5 merupakan kondisi pada saat memasukkan PMT 150 kv arah suppa 1 sehingga tegangan sampai ke GI Suppa kemudian dilakukan paralel 3 unit PLTD Suppa selanjutnya memasukkan beban di GI pare-pare sebesar 5 MW dan beban di GI Pinrang sebesar 17 MW. Selanjutnya memasukkan PMT 150 kV GI Parepare arah GI Polmas dengan melakukan penormalan beban penyulang pada

GI Polmas Sebesar 18,6 MW sehingga tegangan pada setiap GI Bakaru, GI Polmas, GI Pinrang, GI Parepare, dan GI Suppa dapat dilihat pada gambar 4.7. Adapun untuk beban PLTA Bakaru dapat dilihat pada gambar 4.6.



Gambar 4.5 Kondisi 3 Unit PLTD Suppa Paralel



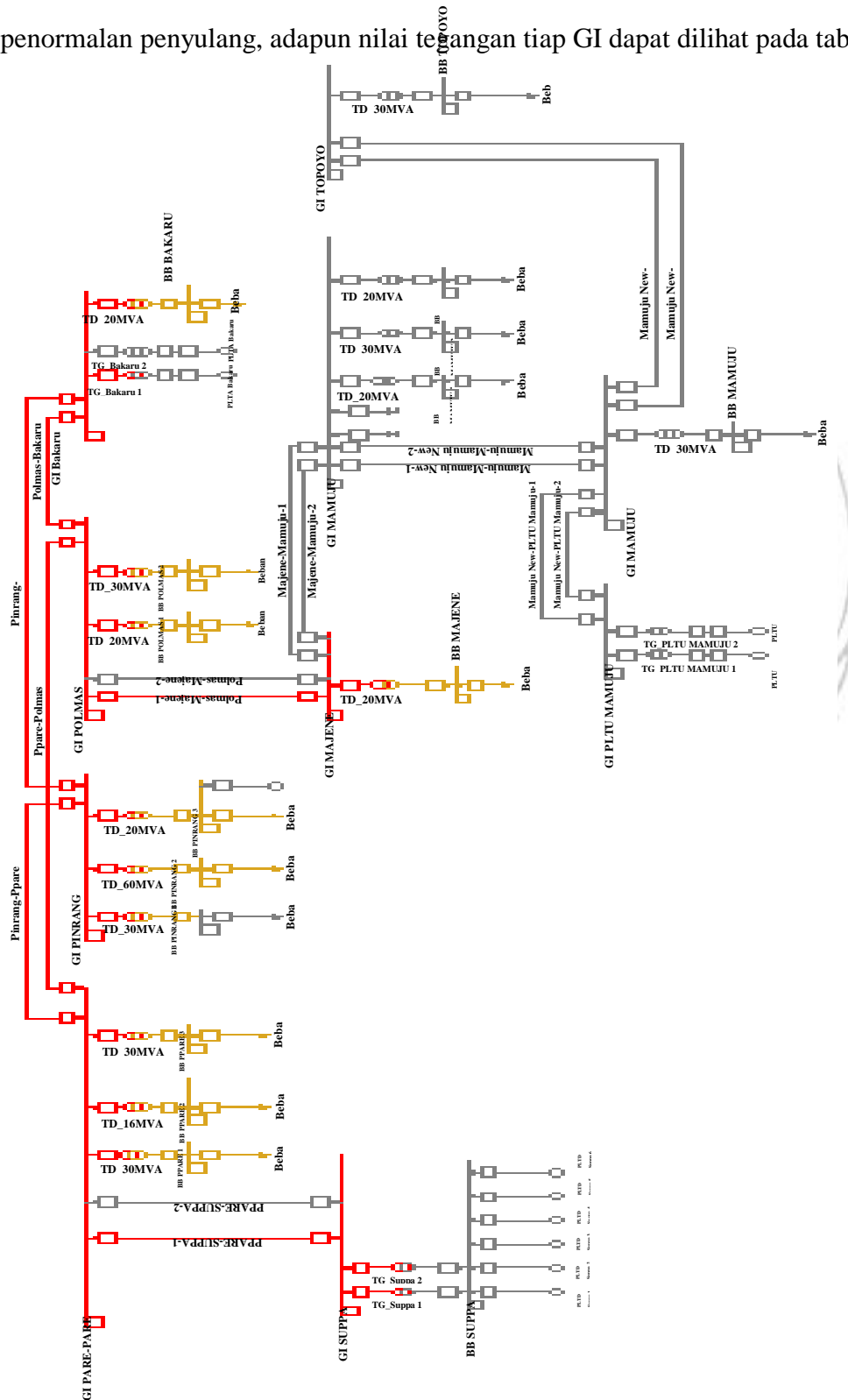
Gambar 4.6 Grafik Tegangan Pada Masing-Masing Gardu Induk Kondisi 3 Unit PLTD Suppa Paralel

Gambar 4.6 memperlihatkan tegangan pada gardu induk Bakaru, gardu induk Pinrang, gardu induk Pare – Pare, gardu induk Suppa dan gardu induk Polmas pada *island* Bakaru dengan kondisi 3 unit PLTD Suppa Paralel, pada saat kondisi operasi tersebut dapat di lihat nilai tegangan pada lima gardu induk yang telah mendapat supplay tegangan dari kondisi gardu induk padam total, adapun tegangan pada gardu induk dalam batas tegangan normal sesuai aturan pada grid code.

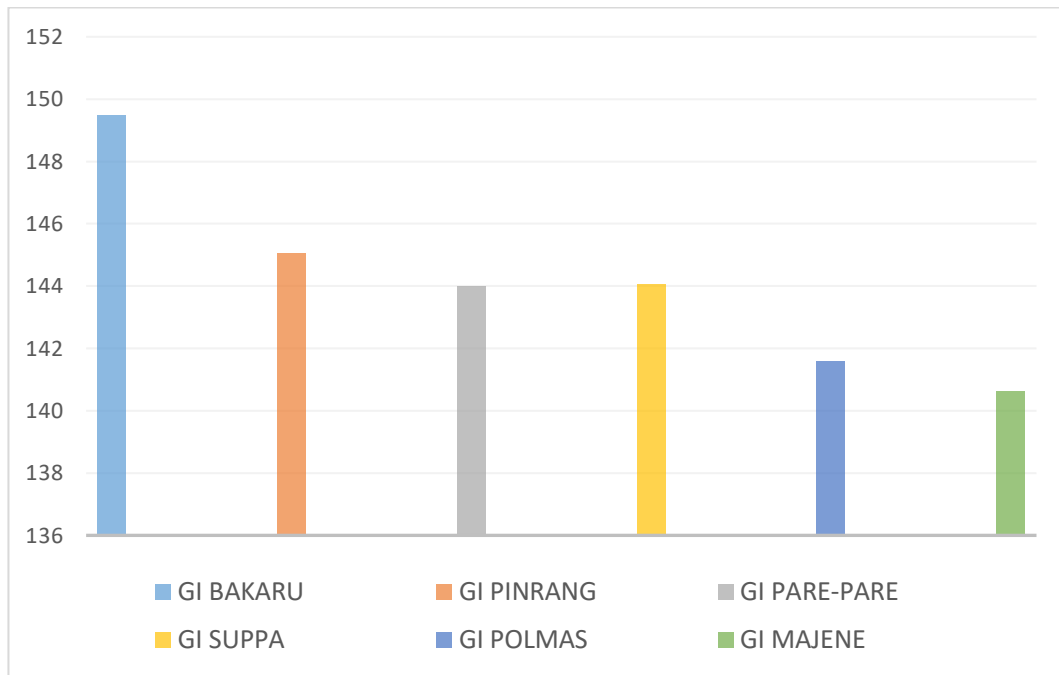
4.2.2.2.5 Kondisi Energize GI Majene dan Penormalan Penyulang

Gambar 4.7. kondisi mengirim tegangan melalui PMT 150 kV GI Polmas kearah GI Majene dengan nilai tegangan setiap GI yaitu pada GI Majene 147,7 kV, GI Polmas 147,7 kV, GI Bakaru 150 kV, GI Pinrang 147,8 kV, GI Parepare 147,5 kV, dan GI Suppa 147,6 kV adapun total beban PLTA Bakaru Unit 1 yaitu

43,6 MW. Kemudian dilakukan penormalan penyulang pada GI Majene sebesar 16,5 MW dimana tegangan akan mengalami penurunan setelah dilakukan penormalan penyulang, adapun nilai tegangan tiap GI dapat dilihat pada tabel 4.8



Gambar 4.7 Kondisi Energize GI Majene dan Penormalan Penyulang



Gambar 4.8 Grafik Tegangan Pada Masing-Masing Gardu Induk Kondisi Energize GI Majene dan Penormalan Penyulang

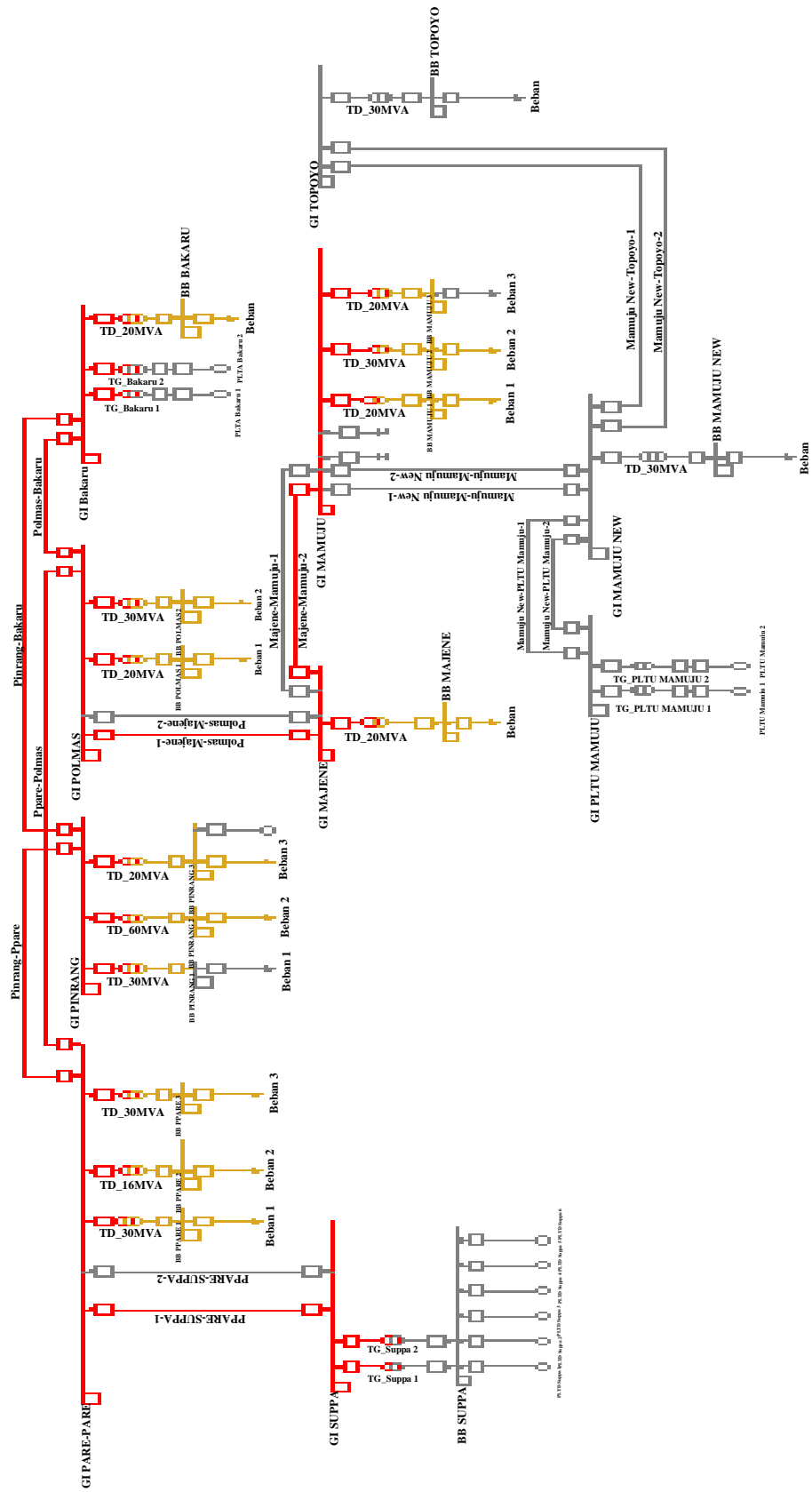
Gambar 4.8 memperlihatkan tegangan pada gardu induk Bakaru, gardu induk Pinrang, gardu induk Pare – Pare, gardu induk Suppa, gardu induk Polmas dan gardu induk Majene pada *island* Bakaru dengan kondisi *energize* pada gardu induk Majene dan penormalan penyulang, pada saat kondisi operasi tersebut dapat di lihat nilai tegangan pada enam gardu induk yang telah mendapat supply tegangan dari kondisi gardu induk padam total, adapun tegangan pada gardu induk dalam batas tegangan normal sesuai aturan pada grid code.

4.2.2.2.6 Kondisi Energize GI Mamuju dan PLTD Suppa Paralel

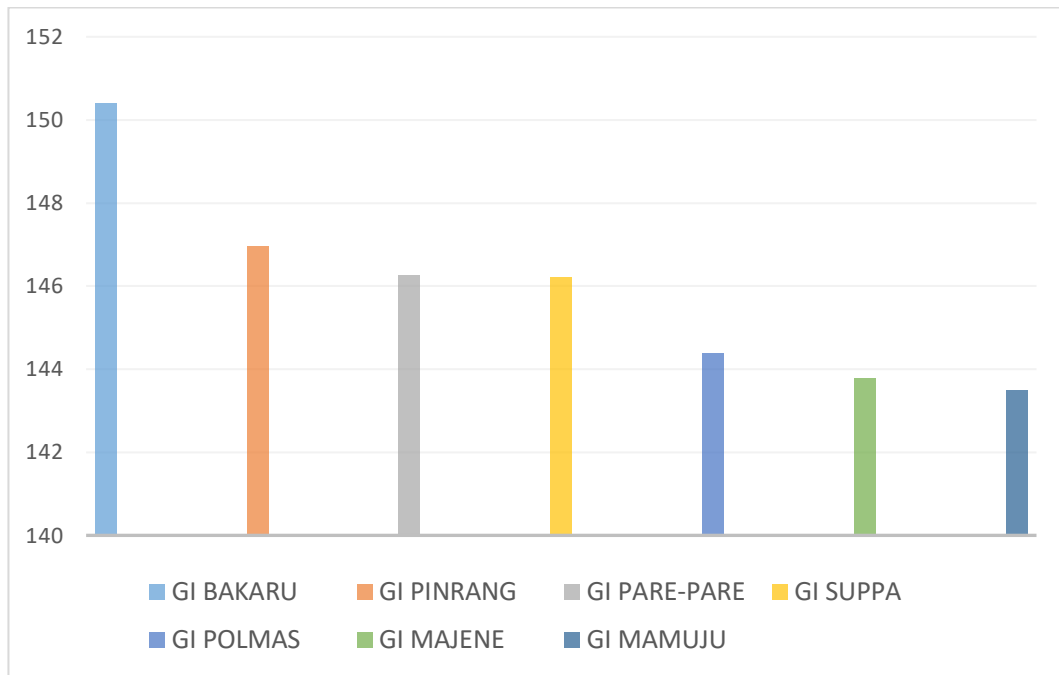
Pada gambar 4.9 kondisi energize GI Mamuju dan dilakukan penormalan pembangkit dengan memasukkan PLTA Bakaru Unit 2 ke sistem dikarenakan beban pada PLTA Bakaru Unit 1 telah mencapai beban maksimum. Kemudian melakukan parallel PLTD Suppa 3 unit sehingga total beban suppa parallel 6 unit

dan dilakukan pengiriman tegangan pada GI Mamuju melalui PMT 150 kV GI Majene arah GI Mamuju sehingga tegangan pada GI Mamuju 149,5 kV, GI Majene 148,3 kV, GI Polmas 148,2 kV, GI Bakaru 150,7 kV, GI Pinrang 148,6 kV, GI Pare-pare 148,4 kV dan GI Suppa 148,6 kV. Selanjutnya dilakukan penormalan penyulang pada trafo 1 dan 2 pada GI Mamuju dikarenakan PLTA Bakaru Unit 2 masih berada pada batas 18,7 MW sehingga tegangan pada tiap GI setelah dilakukan penormalan penyulang dapat dilihat pada gambar 4.10





Gambar 4.9 Kondisi Energize GI Mamuju dan PLTD Suppa Paralel Gambar



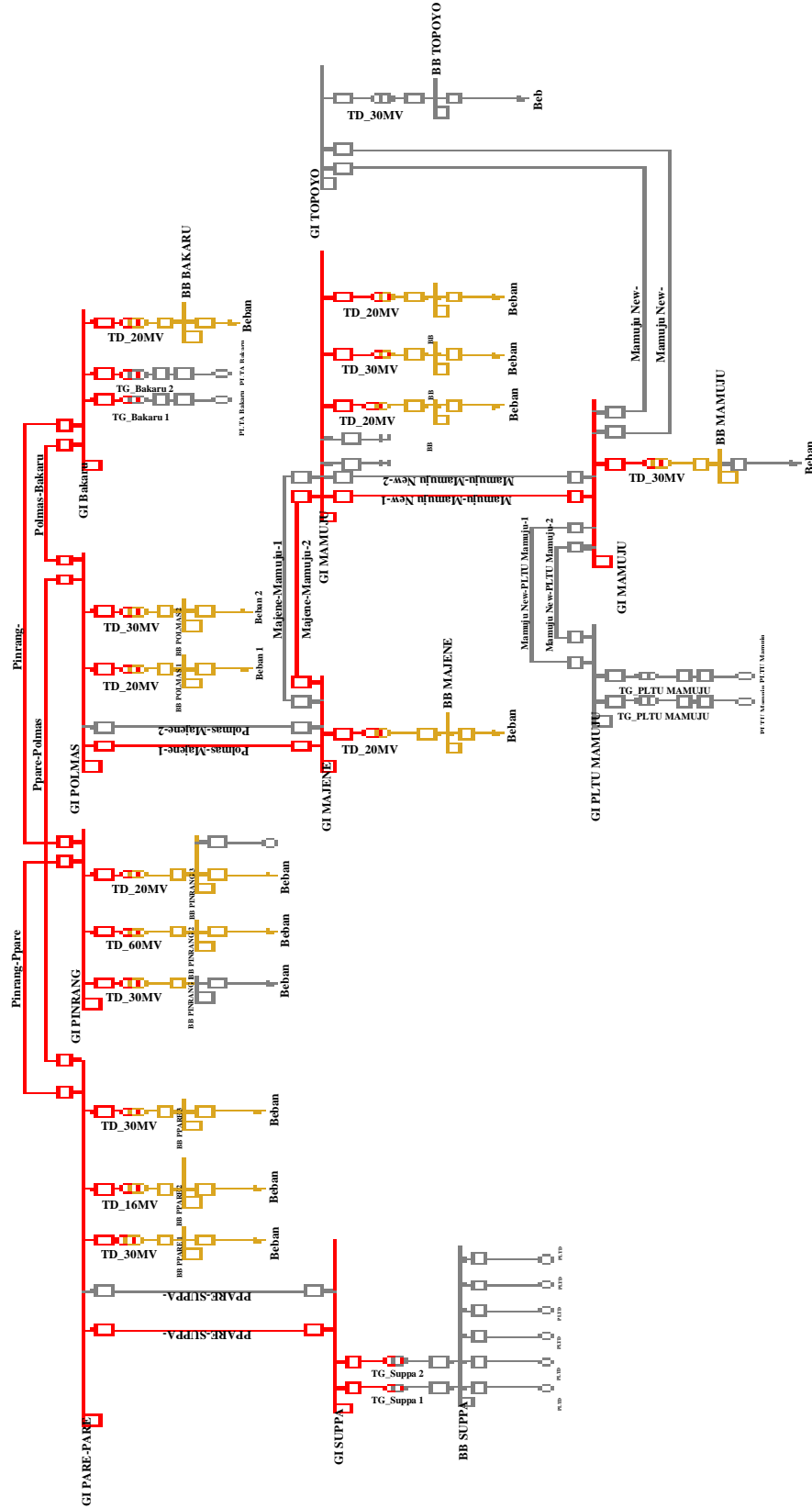
Gambar 4.10 Grafik Tegangan Pada Masing-Masing Gardu Induk Kondisi Energize GI Mamuju dan PLTD Suppa Paralel

Gambar 4.10 memperlihatkan tegangan pada gardu induk Bakaru, gardu induk Pinrang, gardu induk Pare – Pare, gardu induk Suppa, gardu induk Polmas, gardu induk Majene dan gardu induk Mamuju pada *island* Bakaru dengan kondisi *energize* pada gardu induk Mamuju dan PLTD Suppa paralel, pada saat kondisi operasi tersebut dapat di lihat nilai tegangan pada tujuh gardu induk yang telah mendapat supply tegangan dari kondisi gardu induk padam total, adapun tegangan pada gardu induk dalam batas tegangan normal sesuai aturan pada grid code.

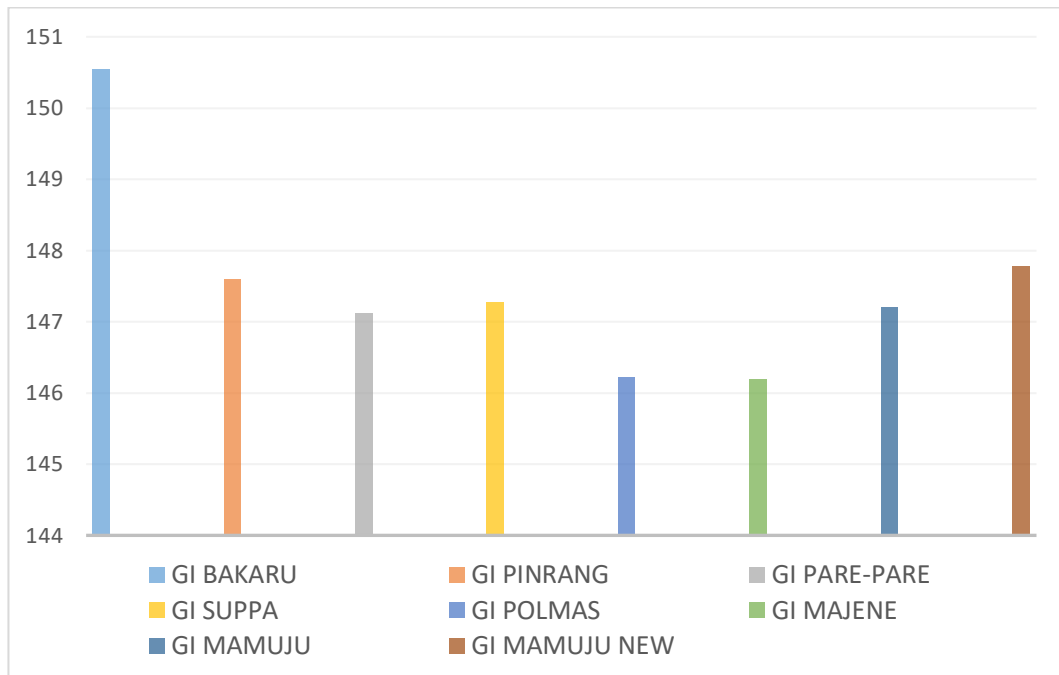
4.2.2.2.7 Kondisi Energize GI Mamuju New

Gambar 4.11 memperlihatkan kondisi pengiriman tegangan melalui PMT 150 kV Mamuju arah GI Mamuju New dengan tegangan pada GI Mamuju New sebesar 152,3 kV kemudian dilakukan penormalan penyulang pada trafo 3 GI

Mamuju sebesar 4,63 MW maka tegangan pada setiap GI dapat dilihat pada gambar 4.12.



Gambar 4.11 Kondisi Energize GI Mamuju New



Gambar 4.12 Grafik Tegangan Pada Masing-Masing Gardu Induk Kondisi

Energize GI Mamuju New

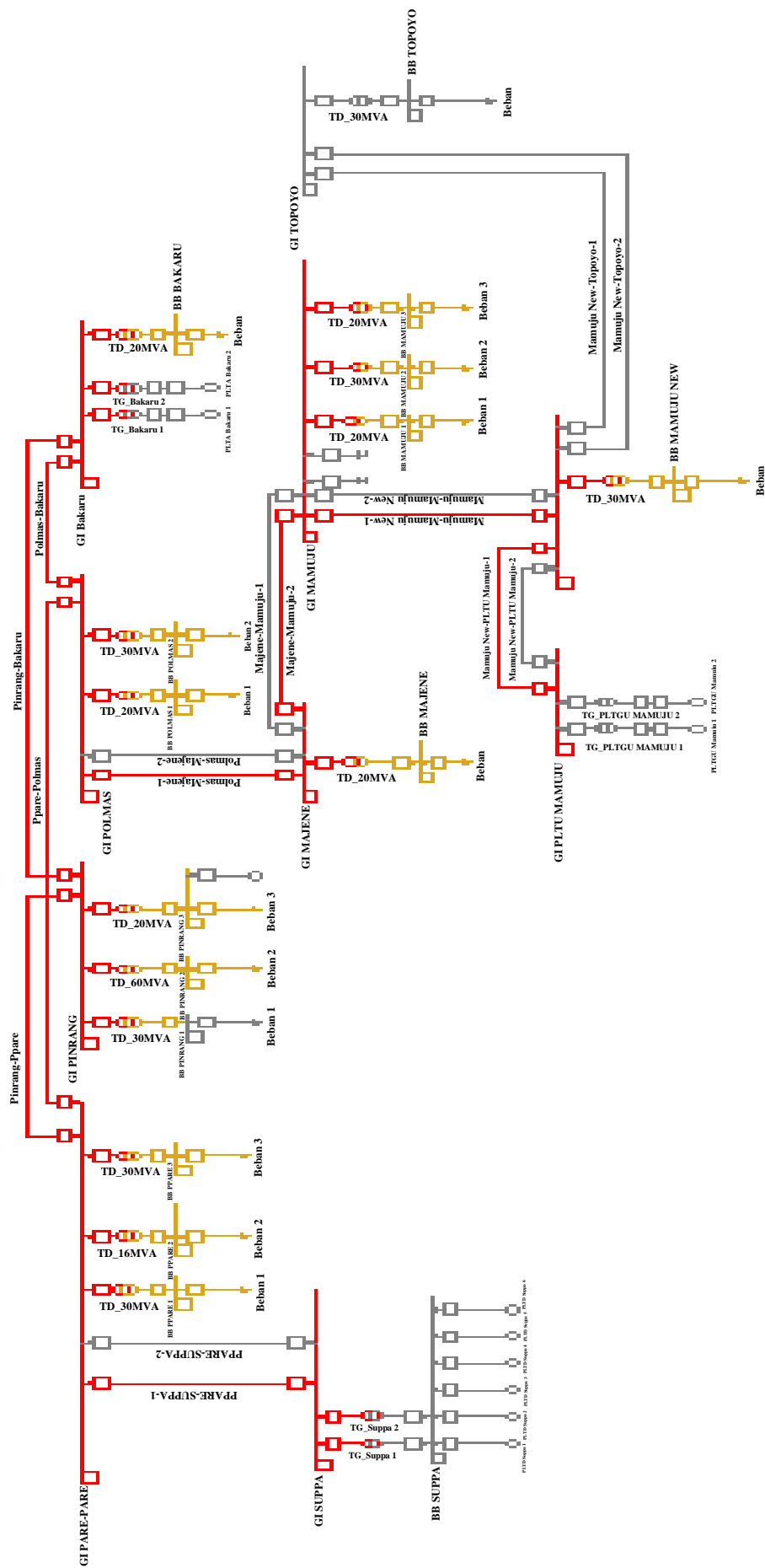
Gambar 4.12 memperlihatkan tegangan pada gardu induk Bakaru, gardu induk Pinrang, gardu induk Pare – Pare, gardu induk Suppa, gardu induk Polmas, gardu induk Majene, gardu induk Mamuju dan gardu induk Mamuju New pada *island* Bakaru dengan kondisi *energize* pada gardu induk Mamuju New, pada saat kondisi operasi tersebut dapat di lihat nilai tegangan pada delapam gardu induk yang telah mendapat supplay tegangan dari kondisi gardu induk padam total, adapun tegangan pada gardu induk dalam batas tegangan normal sesuai aturan pada grid code.

4.2.2.2.8 Kondisi Energize PLTU Mamuju dan Penormalan penyulang

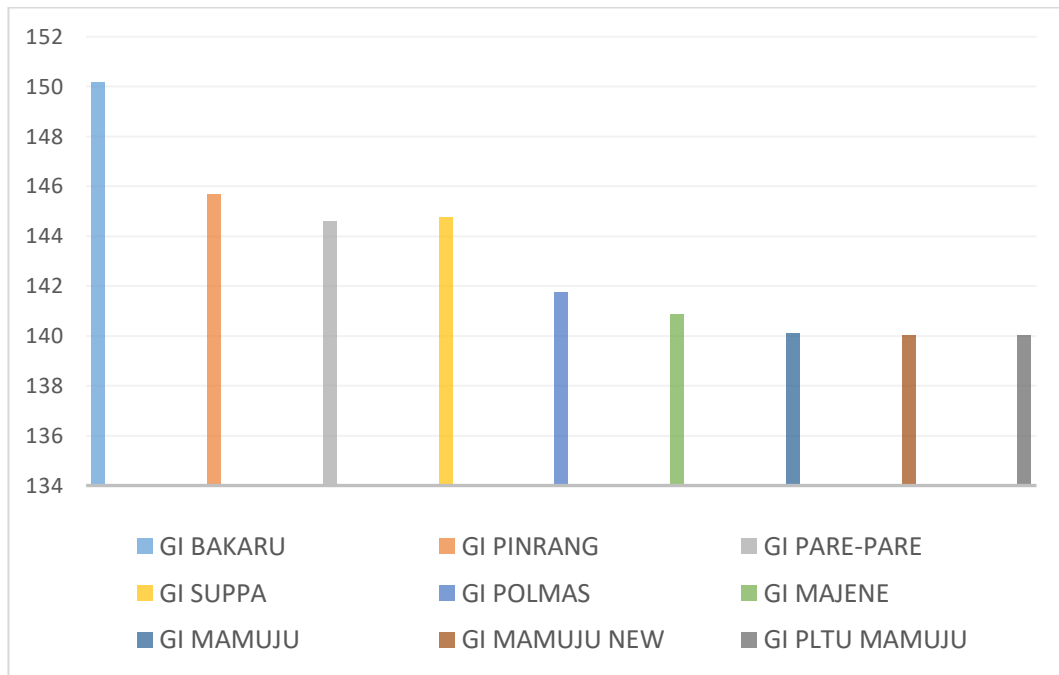
Gambar 4.13 kondisi pengiriman tegangan melalui PMT 150 kV line transmisi Mamuju New arah PLTU Mamuju, pada kondisi ini pengiriman tegangan hanya sampai ke bubar 150 kV, PLTU Mamuju dikarenakan karakter dari PLTU

Mamuju membutuhkan waktu untuk star pembangkit sehingga PLTU belum dimasukkan ke sistem. Setelah itu dilakukan penormalan penyulang pada GI Mamuju New sebesar 5,5 MW sehingga tegangan pada tiap gardu induk dapat dilihat pada gambar 4.14.





Gambar 4.13 Kondisi Energize PLTU Mamuju dan Penormalan penyalang GI Mamuju New



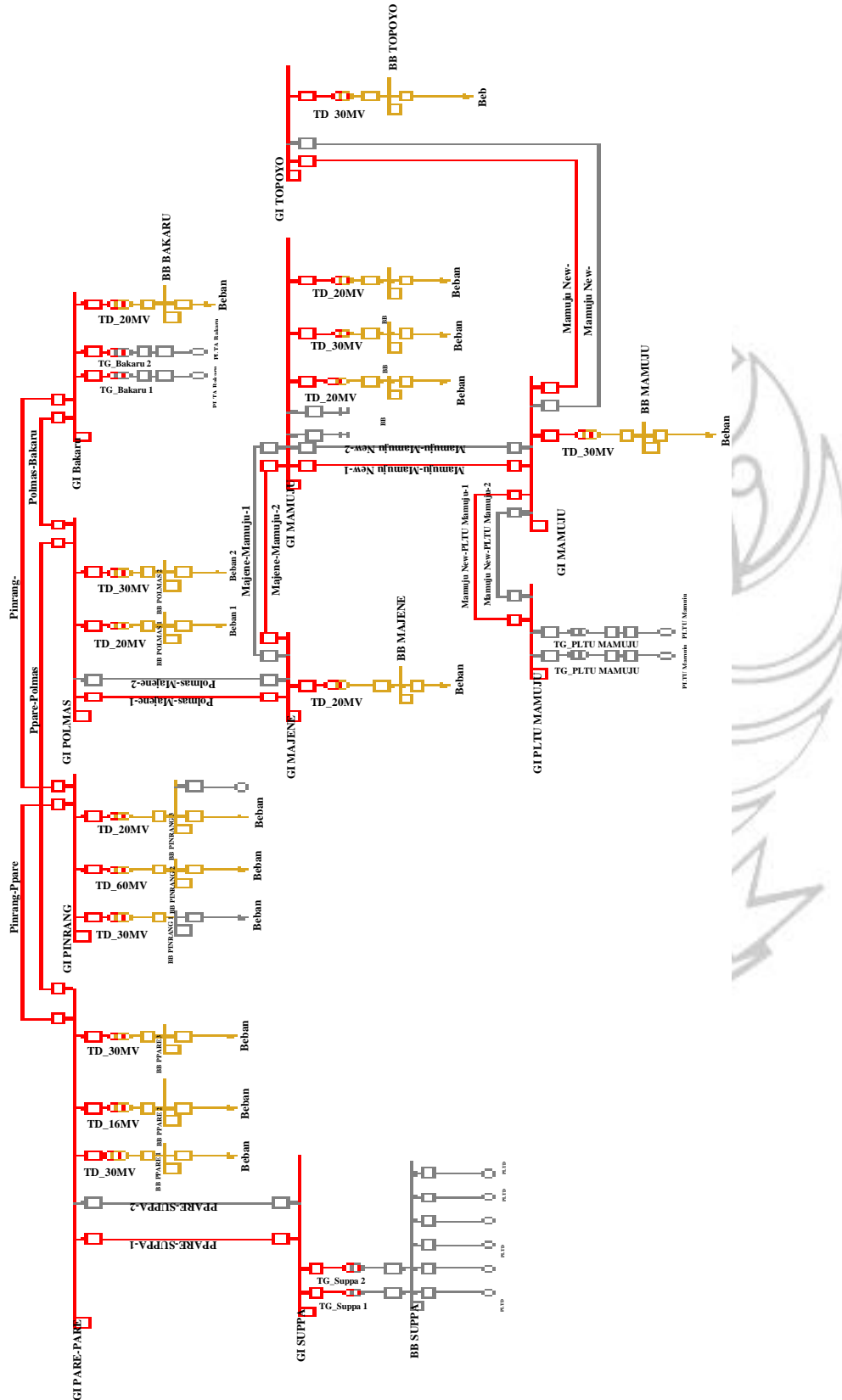
Gambar 4.14 Grafik Tegangan Pada Masing-Masing Gardu Induk Kondisi Energize PLTU Mamuju dan Penormalan Penyulang GI Mamuju New

Gambar 4.14 memperlihatkan tegangan pada gardu induk Bakaru, gardu induk Pinrang, gardu induk Pare – Pare, gardu induk Suppa, gardu induk Polmas, gardu induk Majene, gardu induk Mamuju, gardu induk Mamuju New dan gardu induk PLTU Mamuju pada *island* Bakaru dengan kondisi *energize* PLTU Mamuju dan penormalan penyulang gardu induk Mamuju New, pada saat kondisi operasi tersebut dapat di lihat nilai tegangan pada sembilan gardu induk yang telah mendapat supplay tegangan dari kondisi gardu induk padam total, adapun tegangan pada gardu induk dalam batas tegangan normal sesuai aturan pada grid code.

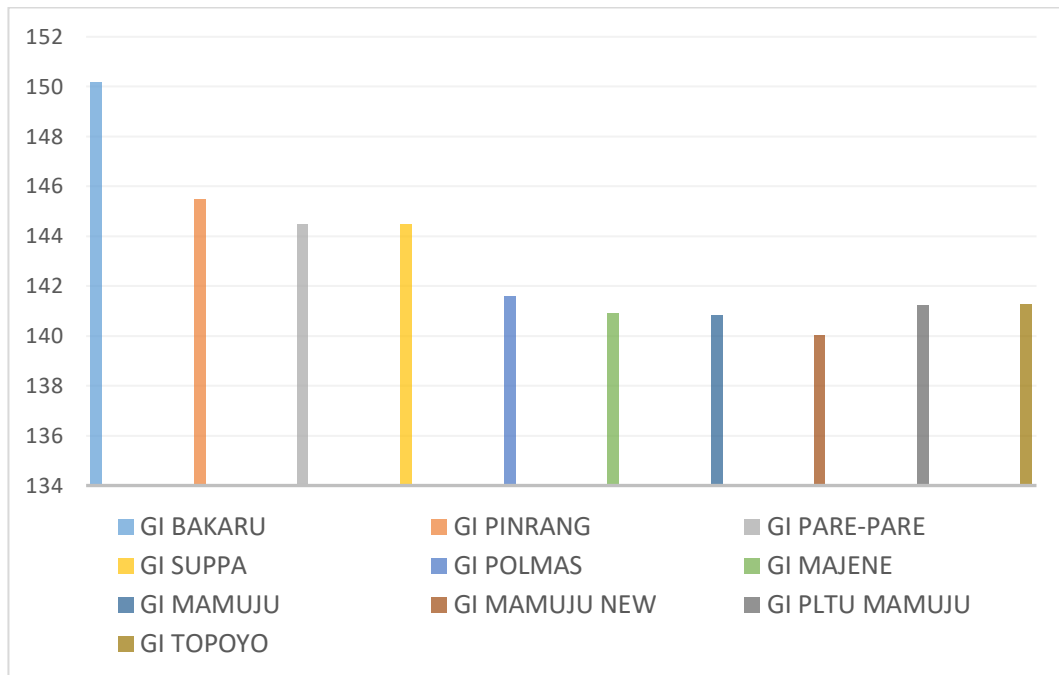
4.2.2.2.9 Kondisi Energize GI Topoyo dan Penyulang

Gambar 4.15 merupakan kondisi dimana dilakukan pengiriman tegangan melalui PMT 150 kV Mamuju New arah Topoyo pada saat kondisi energize GI

Topoyo tegangan sudah sampai pada busbar sehingga tegangan pada masing-masing gardu induk dapat dilihat pada gambar 4.16.



Gambar 4.15 Kondisi Energize GI Topoyo dan Penyulang



Gambar 4.16 Grafik Tegangan Pada Masing-Masing Gardu Induk Kondisi Energize GI Topoyo dan Penyulang

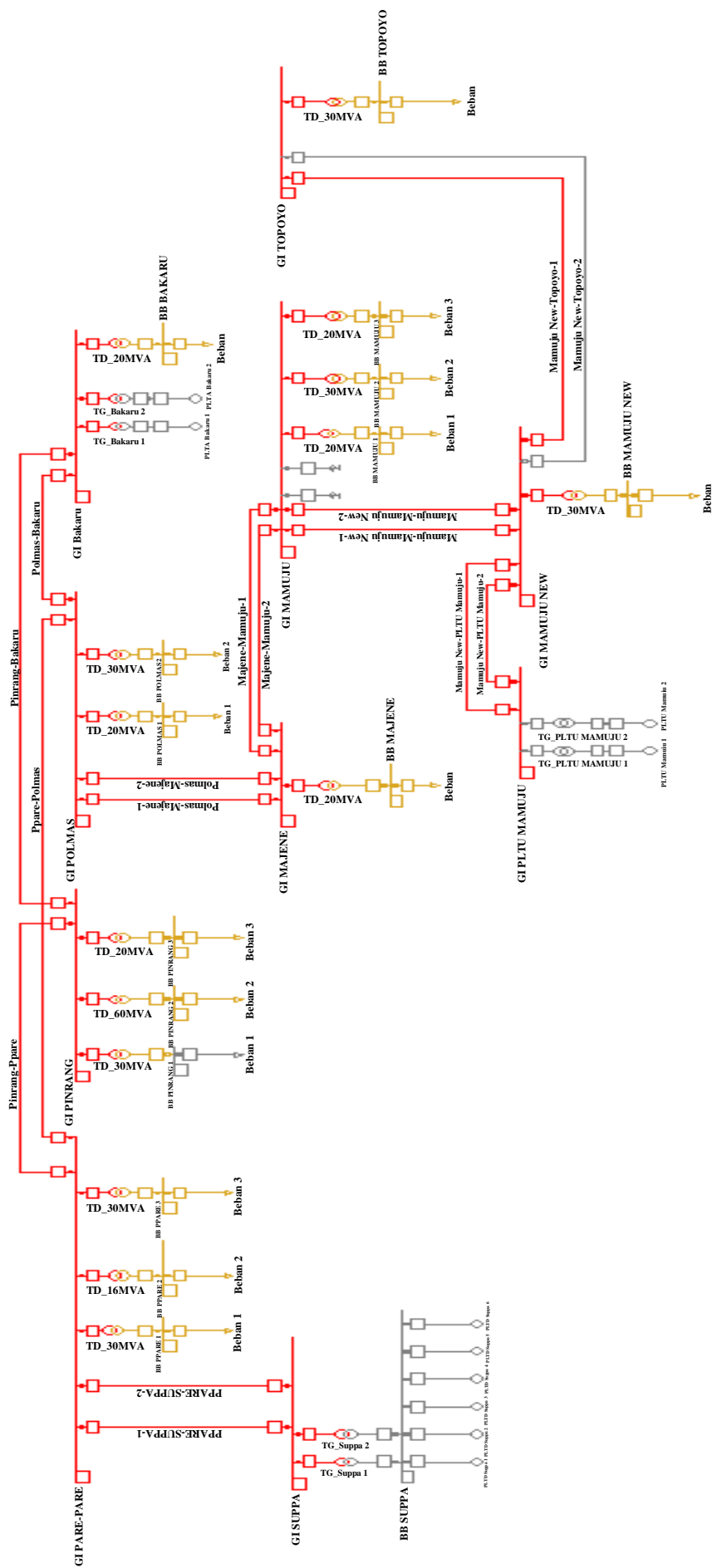
Gambar 4.16 memperlihatkan tegangan pada gardu induk Bakaru, gardu induk Pinrang, gardu induk Pare – Pare, gardu induk Suppa, gardu induk Polmas, gardu induk Majene, gardu induk Mamuju, gardu induk Mamuju New, gardu induk PLTU Mamuju dan gardu induk Topoyo pada *island* Bakaru dengan kondisi *energize* gardu induk Topoyo dan penormalan penyulang, pada saat kondisi operasi tersebut dapat di lihat nilai tegangan pada sepuluh gardu induk yang telah mendapat supplay tegangan dari kondisi gardu induk padam total, adapun tegangan pada gardu induk dalam batas tegangan normal sesuai aturan pada grid code.

4.2.2.2.10 Kondisi Penormalan Line Transmisi Tanpa GI Topoyo

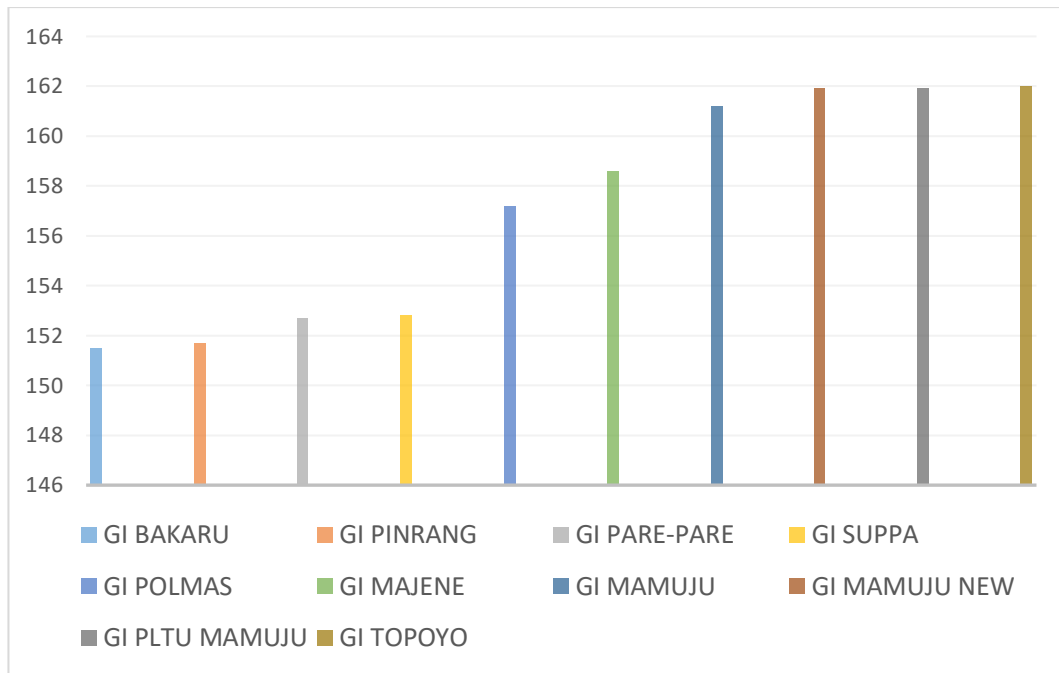
Gambar 4.17 kondisi dimana dilakukan penormalan semua line transmisi yang belum beroperasi pada *island* Bakaru dimana line transmisi yang

dinormalkan yaitu pada line 2 suppa arah pare, line 2 polmas arah majene, line 2 polmas arah mamuju, line 2 mamuju arah mamuju new, line 2 mamuju new arah PLTU mamuju, dan pada line 2 mamuju new atah topoyo tidak dilakukan penormalan line transmisi dakeranakan tegangan pada topoyo yaitu 162 kv hampir mendekati batas tegangan normal sesuai aturan grid code. Setelah penormalan ini dilakukan dapat dilihat tegangan pada kondisi masing-masing gardu induk pada *island* bakaru yaitu pada. Adapun daya pada pembangkit PLTA Bakaru Unit 1 sebesar 27 MW, PLTA Bakaru Unit 2 sebesar 47,1 MW.





Gambar 4.17 Kondisi Penormalan Penyulang Line Transmisi Tanpa



Gambar 4.18 Grafik Tegangan Pada Masing-Masing Gardu Induk Kondisi Penormalan Line Transmisi Tanpa GI Topoyo

Gambar 4.18 memperlihatkan tegangan pada gardu induk Bakaru, gardu induk Pinrang, gardu induk Pare – Pare, gardu induk Suppa, gardu induk Polmas, gardu induk Majene, gardu induk Mamuju, gardu induk Mamuju New, gardu induk PLTU Mamuju dan gardu induk Topoyo pada *island* Bakaru dengan kondisi akhir tegangan gardu induk pada *island* Bakaru setelah dilakukan penormalan line transmisi, pada saat kondisi operasi tersebut dapat di lihat nilai tegangan pada sepuluh gardu induk yang telah mendapat supplay tegangan dari kondisi gardu induk padam total, adapun tegangan pada gardu induk dalam batas tegangan normal sesuai aturan pada grid code.

4.2.2.3 Analisis

Simulasi penerapan black start pada PLTA bakaru dengan dilakukannya proses pengiriman tegangan kesetiap gardu induk dimana kapasitas PLTA Bakaru yaitu 126 MegaWatt untuk memulihkan sistem pada island bakaru dengan kapasitas beban sistem 121,7 MW ketika terjadi kehilangan supplay tegangan.

1. Tahapan 1 melakukan pengiriman tegangan ke GI Bakaru – GI Pinrang – GI Pare-Pare hingga PLTA Bakaru Unit 1 mencapai beban minmum 27 MW. Adapun hasil tegangan masing-masing GI setelah line charging yaitu pada GI Bakaru sebesar 149,624 kV, GI Pinrang sebesar 146,728 kV dan GI Pare-Pare sebesar 146,151 kV.
2. Tahapan 2 malakukan pengiriman tegangan ke GI Suppa untuk dilakukan parallel 3 unit PLTD Suppa sebesar 15 MW agar membantu PLTA Bakaru untuk membangun sistem island bakaru secara bertahap. Adapun hasil tegangan masing-masing GI setelah line charging yaitu pada GI Bakaru sebesar 151,544 kV, GI Pinrang sebesar 146,534 kV dan GI Pare-Pare sebesar 146,151 kV. GI Suppa sebesar 152,784 kV dan GI Polmas sebesar 157,224 kV.
3. Tahapan 3 melakukan pengiriman tegangan ke GI Polmas – GI Majene dimana beban PLTA Bakaru Unit 1 sebesar 61,5 MW dan hampir mendekati beban maksimum PLTA Unit 1. Adapun hasil tegangan masing-masing GI setelah line charging yaitu pada GI Bakaru sebesar 149,483 kV, GI Pinrang sebesar 145,073 kV dan GI Pare-Pare sebesar 143,988 kV. GI Suppa sebesar 144,072 kV, GI Polmas sebesar 141,583 kV dan GI Majene sebesar 140,612 kV.

4. Tahapan 4 melakukan pengiriman tegangan ke GI Mamuju dengan memasukkan PLTA Bakaru Unit 2 ke sistem dikarenakan beban PLTA Bakaru telah mencapai batas maksimum dan parallel 3 unit PLTD Suppa sehingga total total unit yang masuk ke sistem pada PLTD Suppa yaitu 6 unit, adapun beban PLTA Bakaru unit 1 yaitu 27 MW, unit 2 yaitu 28,1 MW dan PLTD Suppa 6 unit yaitu 30 MW. Adapun hasil tegangan masing-masing GI setelah line charging yaitu pada GI Bakaru sebesar 150,400 kV, GI Pinrang sebesar 146,969 kV dan GI Pare-Pare sebesar 146,226 kV. GI Suppa sebesar 146,417 kV, GI Polmas sebesar 144,397 kV, GI Majene sebesar 143,793 kV dan GI Mamuju sebesar 14,473 kV.
5. Tahapan 5 melakukan pengiriman tegangan pada GI Mamuju – GI Mamuju New – GI PLTU Mamuju pada proses ini tegangan hanya sampai pada busbar 150 kV GI Mamuju dikarenakan untuk proses masuk ke sistem untuk PLTU Mamuju memerlukan waktu untuk start, adapun beban PLTA Bakaru unit yaitu 27 MW dan unit 2 yaitu 39,9 MW. Adapun hasil tegangan masing-masing GI setelah line charging yaitu pada GI Bakaru sebesar 150,210 kV, GI Pinrang sebesar 145,709 kV dan GI Pare-Pare sebesar 144,618 kV. GI Suppa sebesar 144,771 kV, GI Polmas sebesar 141,764 kV, GI Majene sebesar 140,865 kV, GI Mamuju sebesar 140,128 kV, GI Mamuju New sebesar 140,046 kV dan GI PLTU Mamuju sebesar 140,047 kV.
6. Tahapan 6 melakukan pengiriman tegangan pada GI Topoyo melalui line transmisi 1 dan dilakukan penormalan pada semua line transmisi yang

belum beroperasi untuk dimasukkan ke sistem kecuali pada line 2 mamuju new atah topoyo tidak dilakukan penormalan line transmisi dikarenakan tegangan pada GI Topoyo yaitu 162 kv hampir mendekati batas tegangan normal sesuai aturan Jaringan Sulawesi (*grid code*). Adapun hasil tegangan masing-masing GI setelah penormalan line transmisi yaitu pada GI Bakaru sebesar 151,5 kV, GI Pinrang sebesar 151,7 kV, GI Pare-Pare sebesar 152,7 kV, GI Suppa sebesar 152,8 kV, GI Polmas sebesar 157,2 kV, GI Majene sebesar 158,6 kV, GI Mamuju sebesar 161,2 kV, GI Mamuju New sebesar 161,9 kV, GI PLTU Mamuju sebesar 161,9 kV dan GI Topoyo sebesar 162 kV

Dilihat dari kondisi kapasitas PLTA Bakaru dan beban yang berada pada *island* Bakaru ketikan terjadi *black out* pada sistem PLTA Bakaru masih layak digunakan sebagai *black start* karena dari hasil simulasi PLTA Bakaru dapat melakukan suplai sampai sistem kembali normal tanpa adanya pembangkit yang trip dan juga *black start* masih dapat digunakan untuk memulihkan sistem *island* bakaru pada kondisi beban yang bertambah sehingga dapat diantisipasi terjadinya trip pada PLTA Bakaru pada saat pengoperasian *black start* berlangsung.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Awal mula black start dengan pemadaman listrik yang membelah sistem sambungan dan menyebabkan seluruh generator trip. Skema *island* kemudian terbentuk pada frekuensi 48,1 Hz, di mana tiga *island* terbentuk: *island* Poso, *island* Kendari dan *island* Selatan (Sidrap Arah Makale dan *island* Selatan) Sidrap arah Enrekang lepas. Selanjutnya terbagi menjadi enam *island* yaitu *island* Bakaru, Baru, Sengkang, Makassar, Poso dan Kendari pada tingkat frekuensi 47.9 Hz. Pada tahap di mana sistem telah membentuk *island*, Black Start berikutnya akan ikut bekerja dan memulihkan sistem *island*-nya sendiri.
2. Setelah dilakukan perancangan dan pengujian didapatkan bahwa *black start* dioperasikan sesaat setelah terjadi gangguan atau *black out*. Listrik yang sebelumnya disuplai oleh PLN kemudian beralih menggunakan suplai EDG, yang bertujuan untuk mengurangi dampak dari *black out*. Kapasitas PLTA Bakaru yang digunakan adalah sebesar 126 MW. Pada pengujian SLD menggunakan DIGSILENT FowerFactory 15.1.6 diperoleh output arus, tegangan, dan sinyal frekuensi yang normal. Dengan dihasilkannya frekuensi yang normal maka sistem black start dapat melakukan sinkronisasi dengan cepat.

5.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan yang telah diuraikan dari hasil penelitian, maka penulis bermaksud memberikan saran untuk selanjutnya diberikan pengembangan sebagai berikut :

1. Skripsi ini dapat dijadikan rujukan atau referensi untuk penelitian berlanjut mengenai kesiapan sistem *black start* khususnya pada PLTA Bakaru dalam melakukan *recovery* pada sistem ketika terjadi gangguan.

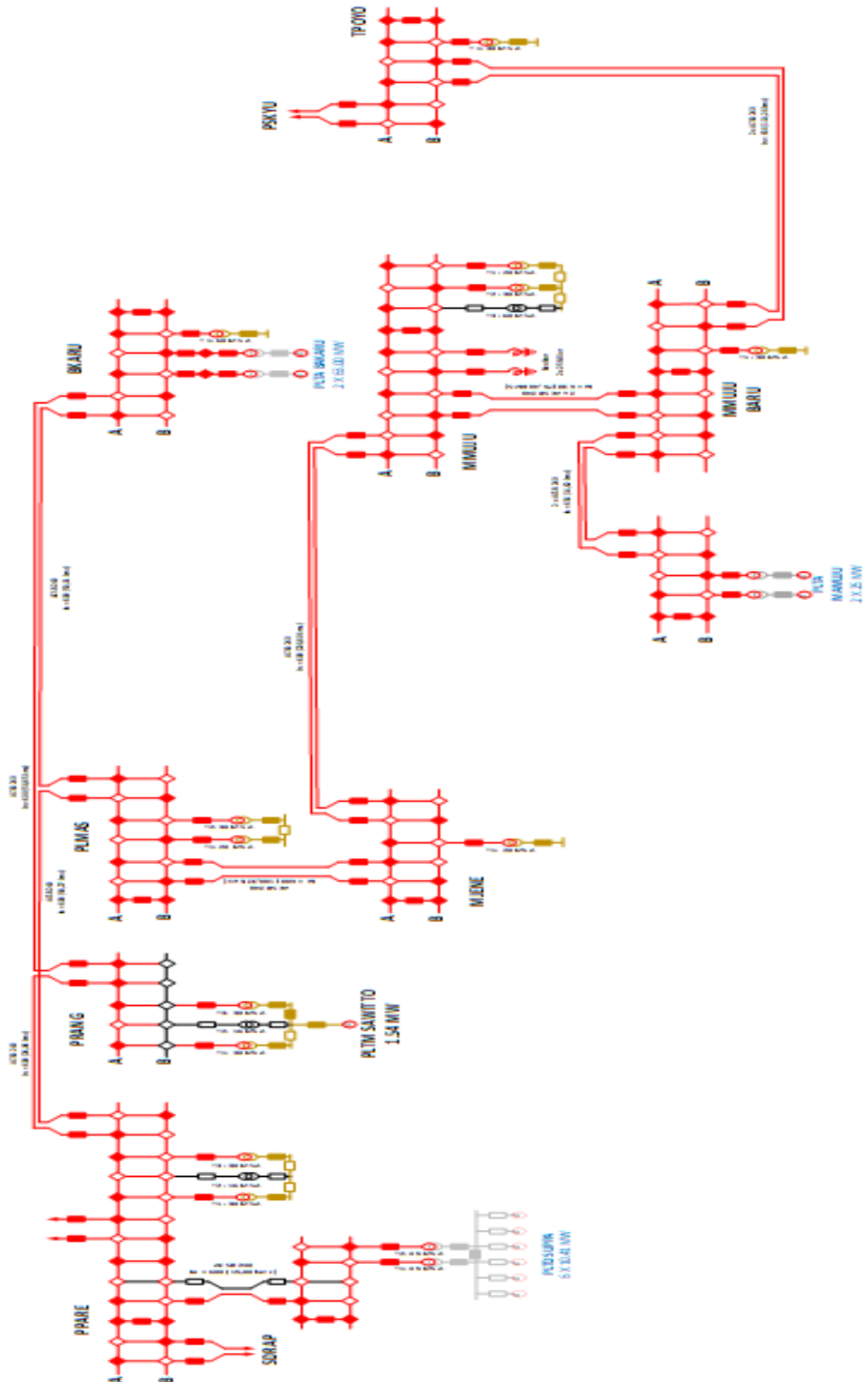


DAFTAR PUSTAKA

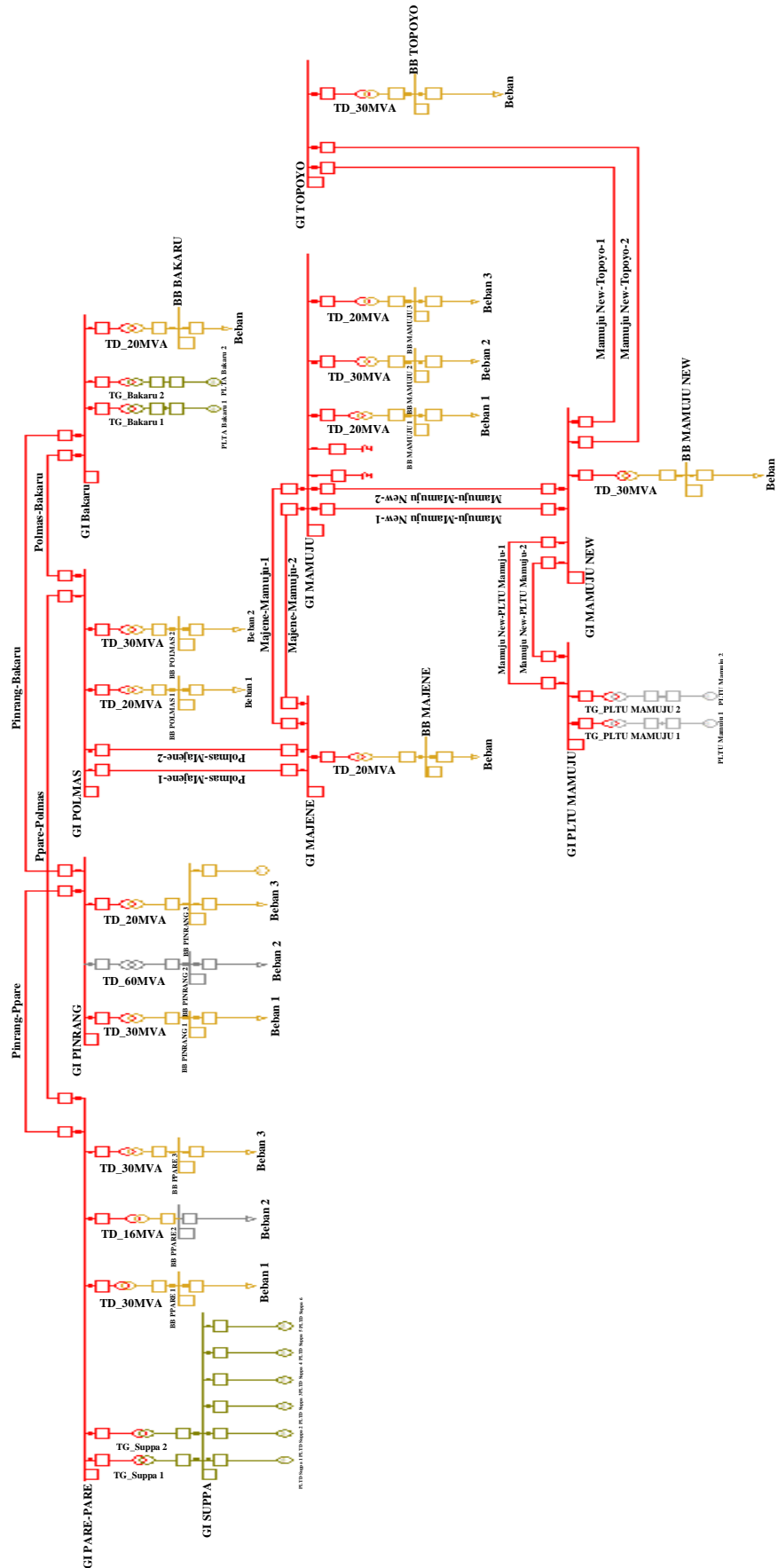
- Abdullah, R., Meliala, D., & Zulfahri, Z. (2018). Studi Pltg Unit 2 Pusat Listrik Balai Pungut Sebagai Black Start Saat Kehilangan Tegangan Pada Sistem 150 Kv. *SainETIn*, 2(1), 11–17. <https://doi.org/10.31849/sainetin.v2i1.1666>
- Cekmas, C. (2010). *Sistem Tenaga Listrik*. Andi.
- Hidayat, M. N. (2021). *Kesiapan Unit Pembangkit Black Start Pasca Gangguan Pada Sistem Sulbagsel*. 4(1), 6.
- Kementrian ESDM. (2020). Aturan Jaringan Sistem Tenaga Listrik (Grid Code). *Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia*, 3, 27–28. [https://jdih.esdm.go.id/storage/document/PM ESDM No 20 Tahun 2020.pdf](https://jdih.esdm.go.id/storage/document/PM%20ESDM%20No%2020%20Tahun%202020.pdf)
- Marsudi, D. (2016). *OPERASI SISTEM TENAGA LISTRIK* (3rd ed.). Graha ilmu.
- Marwan. (2019). *Simulasi Sistem Tenaga Listrik Menggunakan DigSILENT* (Andi (ed.)).
- Masarrang, R., Patras, L. S., Tumaliang, H., & Transmisi, A. P. S. (2019). Efek Korona pada Saluran Transmisi Gardu Induk Tello Sulawesi Selatan. *Jurnal Teknik Elektro Dan Komputer*, 8(2), 67–74. <https://doi.org/10.35793/jtek.8.2.2019.23980>
- Musa, L. O., Klistafani, Y., & Sumarwanto, R. (2020). Sistem Monitoring Debit Inflow untuk Operasi Harian Pembangkit PLTA Bakaru. *Jurnal Teknik Mesin Sinergi*, 18(1), 70. <https://doi.org/10.31963/sinergi.v18i1.2239>
- Power, U. B., Black, P., Di, S., & Xyz, P. T. (2021). *PERANCANGAN PENAMBAHAN DIESEL ENGINE GENERATOR*. 1(November), 867–875.
- Saputra, J. (n.d.). *ANALISA PENYETELAN RELE ARUS LEBIH UNTUK PENGAMAN TRANSFORMATOR PEMAKAIAN SENDIRI 9 MVA, 11 KV/6 KV UNIT 4 PT. PLN (PERSERO) SEKTOR PEMBANGKITAN BUKIT ASAM*. 6–26.
- Sigi syah wibowo. (2018). *Analisa Sistem Tenaga*. Polinema Press.
- Sulasno. (1993). *Aalisis Sistem Tenaga*. Satya Wacana.
- Widyastuti, C., Suyanto, H., & Febrianini, D. R. (2015). Analisa Interkoneksi Sistem Menggunakan DigSilent. *Jurnal Ilmiah Sutet*, 5(1), 24–31.

LAMPIRAN

Lampiran 1 SLD *Island* Bakaru



Lampiran 2 Simulasi *Black Start* di DigSILENT



Lampiran 3 SOP Prosedur Operasi Sistem Sulbagsel















**LEMBAR CATATAN KONSULTASI/ASISTENSI SKRIPSI
D4 TEKNIK LISTRIK JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG**

Nama/No. Induk Mahasiswa : SRI MULYANI K / 421 18 025

Judul Skripsi : IMPLEMENTASI BLACK START PLTA BAKARU TERHADAP ISLAND BAKARU DI SISTEM SULBAESEL

Pembimbing : 1 Andi. Wawan. Indrawan, S.Si., M. Eng.





2 Di. Eng. Sarwo. Prianto, Si., M. Eng.

No.	Tgl	Uraian/Anjuran Pembimbing I	Tgl	Uraian/Anjuran Pembimbing II	Tanda Tangan	
					PB I	PB II
1.	1/6/22	FOKUS ANALISIS KE BLACK START	2/6/22	Revisi Bab 1		
2.	14/7/22	- Diagram kerja black start - grafik	12/7/22	Revisi Bab 2		
3.	17/7/22	- Redaksi kata pada tujuan - grafik - lanjutkan ke kesimpulan	25/7/22	Keterangan gambar		
4.	2/8/22	- grafik diperbesar - gambar simulasi	1/8/22	Revisi Bab 3		
5.	10/8/22	- gambar simulasi diperbesar - Ringkasan	10/8/22	Revisi Bab 4 - simulasi		
6.	20/8/22	→ Ujian	20/8/22	ACC		
7.						
8.						
9.						
10.						
11.						
12.						

**LAMPIRAN BERTA ACARA
PRELAKSANAAN UJIAN SIDANG SKRIPSI**

Nama Mahasiswa : SRI MULYANI. K
No. Stambuk : 42118025

Catatan/Daftar Revisi Penguji :

No.	Nama	Uraian	Tanda Tangan
1	Asher An	- perbaiki list grafik di hal 47, 49. - Menuliskan referensi standar ke daftar pustaka	
2	Muhammad Putri L	- Tulislah perhatikan spasi untuk kutipan bag luri & kuman - Variabel apa yg berpengaruh untuk penelitian	
3	Muhammad Thahir	- Gambar Grafik di jelaskan maksud dari grafik dan tambahkan warna yg sesuai t'ket. - Kesimpulan di perbaiki	
4	Hamsan	- betanya gbr	

Makassar, 9 September 2022
Sekretaris Penguji,



Muhammad Thahir, S.ST., M.T.
19661107 199303 1 003

Catatan:

Jika ada perubahan Judul Tugas Akhir Konfirmasi secepatnya ke Bagian Akademik