

PENGEMBANGAN JARINGAN TRANSMISI 150 KV BALI BERDASARKAN RENCANA UMUM KETENAGALISTRIKAN DAERAH (RUKD) PROVINSI BALI TAHUN 2022 – 2030

I G.N. Evan Aditya Pramana¹, W.G. Ariastina², I.W. Sukerayasa³

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

^{2,3}Dosen Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

Jln. Raya Kampus Unud Bukit Jimbaran, Kuta Selatan, Kab. Badung, Prov. Bali, 80361

adityaevanp@gmail.com¹

ABSTRAK

Kebutuhan akan energi listrik meningkat setiap tahunnya. Hal tersebut selaras dengan adanya pertumbuhan ekonomi yang terjadi. Bali merupakan daerah yang kebutuhan akan energi listrik yang meningkat secara signifikan tiap tahunnya. Peningkatan akan kebutuhan energi listrik akan menyebabkan terjadinya peningkatan beban puncak yang terjadi di Pulau Bali. Untuk mengimbangi peningkatan beban puncak tersebut, maka perlu dilakukan pengembangan sistem transmisi 150 kV guna menunjang sistem kelistrikan di Bali. Berdasarkan hasil penelitian, didapatkan bahwa saluran GI Kapal – GI Pemecutan Klod mengalami pembebanan sebesar 80,1% kapasitas maksimum salurannya pada tahun 2029. Hal tersebut tentu sudah melampaui batas ideal pembebanan, yaitu 80% kapasitas maksimumnya. Dengan dilakukannya *uprating* penghantar dari TACSR 240 mm² menjadi ACCC Lisbon 310 mm² dan penambahan sirkuit baru, didapatkan bahwa saluran tersebut mampu menyuplai beban hingga tahun 2046 sebelum mencapai 100% kapasitas maksimumnya.

Kata kunci : Pengembangan, Transmisi 150 kV, Beban Puncak

ABSTRACT

The need for electrical energy increases every year. That is linear with the economic growth that happens in the area. Bali is an area where the demand for electrical energy has increased significantly throughout the year. The increase in electrical energy demands will cause the power peak load to increase as well. It's necessary to develop a 150 kV transmission system to anticipate peak load from reaching the breakdown point of the transmission system. Based on this study, the transmission line from Kapal Substation to Pemecutan Klod Substation experienced 80.1% of the maximum load capacity of the line in 2029. It means that the load flow has exceeded the ideal loading of the transmission line, which is 80% of its maximum capacity. Uprating the conductor from TACSR 240 mm² to ACCC Lisbon 310 mm² and adding a new circuit line, will help the transmission line sustainable until 2046 before reaching 100% of its maximum capacity.

Key Words: Development, 150 kV Transmission, Peak Load

1. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan salah satu hal yang paling penting dalam kehidupan

masyarakat di Bali pada era yang modern ini. Energi listrik digunakan untuk menunjang kehidupan masyarakat yang

dimana hampir seluruh kegiatan yang dilakukan memerlukan energi listrik. Kebutuhan akan energi listrik mengalami peningkatan secara signifikan tiap tahunnya, seiring dengan meningkatnya kesejahteraan masyarakat, perkembangan di bidang teknologi, perkembangan di bidang industri, serta perkembangan di bidang sosial dan budaya. Berdasarkan data yang terdapat pada RUPTL dapat diketahui bahwa rata – rata pertumbuhan kebutuhan energi listrik di Bali sekitar 6% - 7% per tahunnya [1]. Perkembangan kebutuhan energi listrik tersebut tidak dapat dihindari dan harus diimbangi dengan peningkatan sumber pembangkit dan juga peningkatan sistem kelistrikan yang di sub sistem Bali. Perencanaan pengembangan sistem pembangkit pada sub sistem Bali terdapat pada Rencana Umum Ketenagalistrikan Daerah (RUKD) Provinsi Bali. Selain dilakukannya pengembangan sistem pembangkit, tentu perlu dilakukan pengembangan sistem transmisinya juga. Perencanaan pengembangan sistem transmisi dapat dilakukan dengan melakukan simulasi aliran daya pada tahun 2022 – 2030 untuk melihat kondisi salurannya.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Mutakhir

Salah satu cara untuk melakukan analisis aliran daya pada sistem transmisi adalah dengan menggunakan *software* bantuan, yaitu ETAP (*Electrical Transient Analyzer Program*) dan *PowerWorld*.

Pada penelitian yang berjudul “Simulasi Aliran Daya Sistem 150 KV Region Jakarta – Banten dengan Perbandingan Sistem *Grid* dan IBT” didapatkan bahwa daya yang dihasilkan ke jaringan lebih banyak pada simulasi menggunakan *Grid*, dengan besaran 4785,8 MVA dibandingkan dengan simulasi menggunakan IBT, yaitu sebesar 3905,8 MVA. Sedangkan, hasil perhitungan data pada sistem IBT lebih baik dibandingkan dengan sistem *Grid* dengan rata – rata persentase tegangan sebesar

96,16% pada sistem IBT dan 94,89% pada sistem *Grid* [2].

Penelitian yang berjudul “Analisis Aliran Daya pada Sistem Tenaga Listrik 150 KV Gorontalo menggunakan Metode Newton – Rhapson” menggunakan 3 skenario pembebanan, yaitu skenario 1 sistem dibebani 46%, skenario 2 sistem dibebani 60%, dan skenario 3 sistem dibebani 90%. Ketiga skenario tersebut disimulasi dengan 2 kondisi, yaitu sistem Gorontalo *Isolated* dan sistem Gorontalo terinterkoneksi dengan sistem Minahasa. Berdasarkan hasil simulasi, didapatkan jumlah bus yang bekerja dengan kondisi tegangan normal untuk ketiga skenario saat sistem *isolated* adalah rata – rata sebanyak 37,5 % dari total bus, sedangkan ketika sistem terinterkoneksi dengan Minahasa jumlah bus yang bekerja dengan kondisi tegangan normal meningkat, yaitu dengan rata – rata sebanyak 66,67% dari total bus. Untuk kondisi beban skenario 2 dan skenario 3, pembangkit sudah tidak mampu menyuplai permintaan beban yang terjadi [3].

M.K. Huda melakukan penelitian menggunakan bantuan *power system analyzer* pada tahun 2020. Penelitian yang dilakukan yaitu “Analisis Aliran Daya Sistem Kelistrikan 150 KV Bali Saat Rekonduktoring SUTT Gilimanuk – Negara – Antosari”. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi kesiapan sistem kelistrikan Bali ketika dilakukan pemadaman saat rekonduktoring. Simulasi dilakukan dengan 4 skenario, yaitu sebelum rekonduktoring, saat rekonduktoring sirkit 1, saat rekonduktoring sirkit 2, dan setelah rekonduktoring. Hasil simulasi mengidentifikasi adanya anomali ketika dilakukan simulasi saat rekonduktoring sirkit 1, jika SUTT 150 kV Gilimanuk – Celukan Bawang trip, menyebabkan arus pada SUTT 150 kV Gilimanuk – Pamaron dan SUTT Gilimanuk – Negara – Antosari 2 melewati batas toleransi Inom (80% dari Inom) [4].

2.2 Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik atau yang biasa disingkat dengan STL merupakan suatu kumpulan komponen listrik yang memiliki

fungsinya masing – masing seperti generator, transformator, saluran, dan beban.

Proses aliran daya dimulai dari pusat pembangkitan kemudian disalurkan ke pusat beban melalui saluran transmisi, pusat beban kemudian menyalurkan ke rumah – rumah melalui sistem distribusi

2.3 Sistem Pembangkit

Pembangkit merupakan suatu kumpulan komponen yang berfungsi untuk membangkitkan energi listrik. Pembangkit terdiri dari 2 jenis, yaitu pembangkit konvensional dan non konvensional. Pembangkit konvensional merupakan pembangkit yang menggunakan bahan bakar fosil, sedangkan pembangkit non konvensional menggunakan energi terbarukan

2.4 Sistem Transmisi

Pada STL, sistem transmisi merupakan sistem penyaluran tenaga listrik dari pusat pembangkitan menuju pusat beban. Jarak antara pusat pembangkitan dengan pusat beban pada umumnya sangat jauh, sehingga tegangan sistem perlu dinaikkan terlebih dahulu sebelum disalurkan. Sistem transmisi memiliki tegangan kerja yang cukup tinggi, yaitu di antara 70 kV – 500 kV. Tegangan tinggi tersebut berfungsi untuk mengurangi rugi – rugi daya saat proses penyaluran.

2.5 Gardu Induk

Gardu induk merupakan suatu instalasi listrik yang terdiri dari peralatan – peralatan listrik. Gardu induk berfungsi untuk mentransformasikan tenaga listrik agar dapat disalurkan ke beban. Secara spesifik, fungsi gardu induk adalah sebagai berikut.

1. Melakukan *step down* dan *step up* tegangan sesuai dengan kebutuhan sistem guna mencapai hasil paling optimal.
2. Gardu Induk juga berfungsi sebagai tempat dilakukannya *monitoring* sistem dan juga *setting* pengamanan seperti *relay* proteksi.

2.6 Analisis Aliran Daya

Analisis aliran daya atau *load flow analysis* seringa digunakan dalam melakukan penelitian tulang punggung atau dasar dalam melakukan perencanaan sistem tenaga [5]. Analisis aliran daya dapat meliputi penentuan nilai tegangan, daya aktif, daya reaktif, serta sudut fasa pada setiap bus dalam sistem tenaga. Bus dalam sistem tenaga listrik dapat diklasifikasikan menjadi 3 jenis, yaitu:

1. Bus Referensi (*Swing* atau *Slack Bus*)

Bus referensi atau *slack bus* merupakan bus yang memiliki fungsi menyuplai daya aktif dan daya reaktif pada sesuai dengan kebutuhan sistem. Parameter yang diketahui adalah berupa tegangan dan sudut fasa. Pada sistem tenaga listrik, *slack bus* atau bus referensi merupakan bus yang memiliki daya mampu terbesar pada sistem tersebut.

2. Bus Generator (*Voltage Controlled Bus* atau P-V Bus)

Bus generator merupakan bus yang dimana tegangan dapat dikontrol dengan cara mengatur daya reaktif yang disuplai dari bus tersebut sehingga tegangan akan stabil pada tegangan nominalnya. Parameter yang diketahui pada bus generator adalah tegangan dan daya aktif.

3. Bus Beban (*Load Bus* atau P-Q Bus)

Bus beban terdapat pada sisi beban dan terhubung dengan beban. Pada bus beban, parameter yang ditentukan adalah daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) [6].

3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian tentang Pengembangan Jaringan Transmisi 150 KV Bali Berdasarkan RUKD Provinsi Bali Tahun 2022 – 2030 dilakukan Bulan Februari – Juni 2022 di Lab. Manajemen Energi Program Studi Teknik Elektro (PSTE) Universitas Udayana menggunakan *software* bantuan *power system analyzer*.

Proses analisis data dilakukan dengan tahapan pengumpulan data, pengolahan data beban puncak, analisis aliran daya, menjalankan simulasi, analisis hasil, analisis saluran, dan mengambil kesimpulan.

1. Pengumpulan Data

Langkah pertama dalam melakukan penelitian ini merupakan pengumpulan data – data teknis yang diperlukan untuk melakukan simulasi seperti, *Single Line Diagram* sistem kelistrikan 150 kV Bali, data teknis saluran, data pembangkit, serta data beban puncak eksisting 2021 dan peramalan beban puncak 2022 – 2030.

2. Mengolah data beban puncak

Mengolah data beban puncak yang dilakukan dengan menghitung persentase peningkatan beban puncak total tiap tahunnya berdasarkan data di RUPTL. Kemudian, dengan mengasumsikan bahwa peningkatan beban puncak tiap GI memiliki rasio yang proporsional, maka perkiraan beban puncak pada masing – masing GI dapat dihitung.

3. Analisis aliran Daya

Melakukan analisis aliran daya menggunakan *power system analyzer*.

4. Menjalankan simulasi *load flow analysis*

Menjalankan simulasi *load flow analysis* menggunakan aplikasi bantuan *power system analyzer*.

5. Menampilkan dan menganalisis hasil

Menampilkan dan menganalisis hasil dari aliran daya yang terjadi pada sistem

kelistrikan 150 kV Bali dari simulasi yang dilakukan.

6. Analisis saluran

Menganalisis apakah daya yang mengalir pada saluran transmisi melebihi toleransi I_{nom} (80%) pada saluran tersebut.

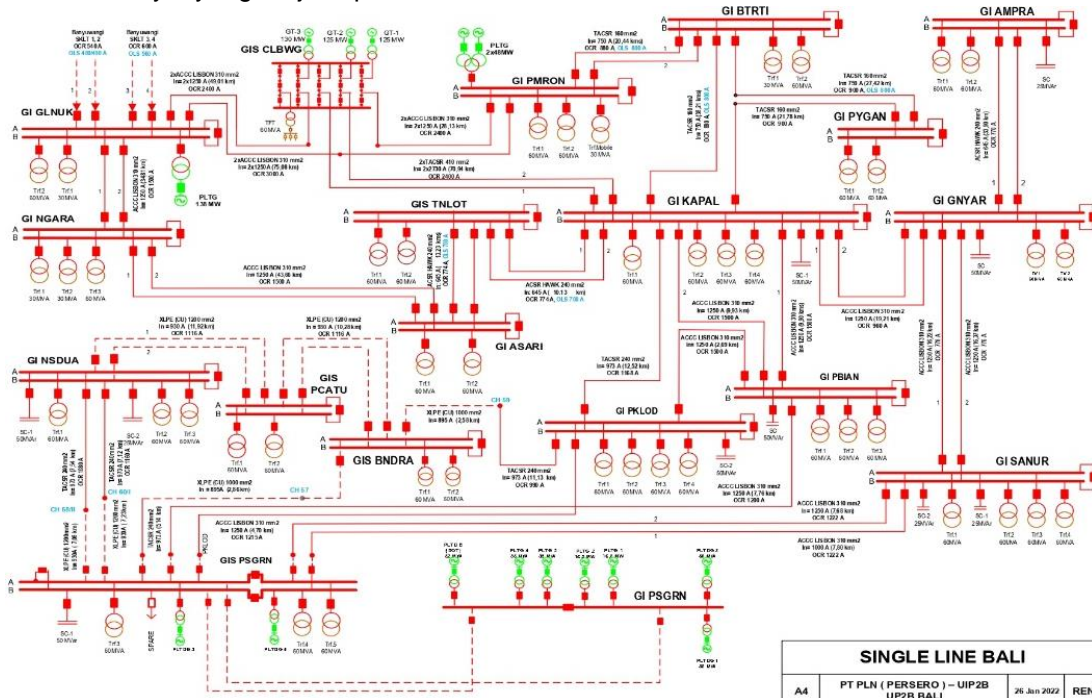
7. Mengambil Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan analisis dapat ditarik kesimpulan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Sistem Kelistrikan 150 KV Bali Eksisting

Subsistem Bali merupakan bagian dari interkoneksi Jawa – Bali – Madura (JAMALI). Pada subsistem Bali terdapat 18 GI/GIS untuk menyuplai beban. Unit pembangkitan di subsistem Bali tersebar di beberapa pusat beban, yaitu Pesanggaran, Gilimanuk, Celukan Bawang, dan Pemaron, serta ditambah pasokan daya dari Jawa, sehingga total daya mampu sebesar 1276,25 MW [6]. *Single Line Diagram* sistem kelistrikan 150 kV Bali dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. *Single Line Diagram* Sistem Kelistrikan 150 KV Bali [7]

4.2 Data Simulasi

Penelitian ini menggunakan beberapa data untuk menjalankan simulasi dan melakukan analisis, yaitu data spesifikasi penghantar yang digunakan pada subsistem 150 kV Bali dan data beban puncak tahun 2021, serta data peramalan beban puncak tahun 2022 – 2030. Data spesifikasi saluran disajikan pada tabel 1.

Tabel 1. Data jenis dan kapasitas maksimum (MVA) saluran sistem 150 kV Bali [7]

PENGHANTAR			Kapasitas Minimum	
Dari	Ke	Sirkuit	Jenis Penghantar	(MVA)
BANYUWANGI	GILIMANUK	I	SCOF	116,91
BANYUWANGI	GILIMANUK	II	SCOF	116,91
BANYUWANGI	GILIMANUK	III	XLPE	129,90
BANYUWANGI	GILIMANUK	IV	XLPE	129,90
NEGARA	GILIMANUK	I	ACCC LISBON	324,75
NEGARA	GILIMANUK	II	ACCC LISBON	324,75
GILIMANUK	CELUKAN BAWANG	I	2 x ACCC LISBON	649,50
PEMARON	CELUKAN BAWANG	I	2 x ACCC LISBON	649,50
GILIMANUK	PEMARON	I	2 x ACCC LISBON	649,50
ANTOSARI	NEGARA	I	ACCC LISBON	324,75
ANTOSARI	NEGARA	II	ACCC LISBON	324,75
KAPAL	TANAH LOT	I	ACSR HAWK	167,57
KAPAL	TANAH LOT	II	ACSR HAWK	167,57
TANAH LOT	ANTOSARI	I	ACSR HAWK	167,57
TANAH LOT	ANTOSARI	II	ACSR HAWK	167,57
PAYANGAN	GIANYAR	I	TACSR	194,85
BATURITI	GIANYAR	II	TACSR	194,85
KAPAL	PADANG SAMBIAN	I	ACCC LISBON	324,75
KAPAL	PADANG SAMBIAN	II	ACCC LISBON	324,75
KAPAL	PEMECUTAN KELOD	I	TACSR	252,79
PADANG SAMBIAN	PEMECUTAN KELOD	I	ACCC LISBON	324,75
SANUR	GIANYAR	I	ACCC LISBON	324,75
SANUR	GIANYAR	II	ACCC LISBON	324,75
GIANYAR	AMLAPURA	I	ACSR HAWK	167,57
GIANYAR	AMLAPURA	II	ACSR HAWK	167,57
PESANGGARAN	SANUR	I	XLPE (CU)	242,29
PESANGGARAN	SANUR	II	XLPE (CU)	242,29
PESANGGARAN	NUSADUA	I	XLPE (CU)	221,34
PESANGGARAN	NUSADUA	II	XLPE (CU)	221,34
PESANGGARAN	BANDARA NGURAHRAI	I	XLPE (CU)	213,01
PEMECUTAN KELOD	BANDARA NGURAHRAI	I	XLPE (CU)	213,01
BATURITI	PEMARON	I	TACSR	194,85
BATURITI	PEMARON	II	TACSR	194,85
PADANG SAMBIAN	PESANGGARAN	I	XLPE (CU)	242,29
PEMECUTAN KELOD	PESANGGARAN	I	XLPE (CU)	242,29
BATURITI	PAYANGAN	I	TACSR	194,85
KAPAL	CELUKAN BAWANG	I	2 x TACSR	709,25
KAPAL	CELUKAN BAWANG	II	2 x TACSR	709,25
BANDARA NGURAHRAI	PECATU	I	XLPE (CU)	221,34
BANDARA NGURAHRAI	PECATU	II	XLPE (CU)	221,34
PECATU	NUSADUA	I	XLPE (CU)	221,34
PECATU	NUSADUA	II	XLPE (CU)	221,34
KAPAL	BATURITI	I	TACSR	194,85
KAPAL	PAYANGAN	I	TACSR	194,85
KAPAL	GIANYAR	I	ACCC LISBON	324,75
KAPAL	GIANYAR	II	ACCC LISBON	324,75

Data beban puncak tahun 2021, serta data peramalan beban puncak tahun 2022 – 2030 disajikan pada tabel 2.

Tabel 2. Peramalan beban puncak total Sistem Bali 2022 – 2030 [8]

Tahun	Beban Puncak (MW)	Keterangan	Peningkatan (%)
2020	980	Beban Real	
2021	771	Beban Real	-21,33
2022	927	Peramalan RUPTL	20,23
2023	981	Peramalan RUPTL	5,83
2024	1.039	Peramalan RUPTL	5,91
2025	1.105	Peramalan RUPTL	6,35
2026	1.173	Peramalan RUPTL	6,15
2027	1.249	Peramalan RUPTL	6,48
2028	1.334	Peramalan RUPTL	6,81
2029	1.432	Peramalan RUPTL	7,35
2030	1.515	Peramalan RUPTL	5,80

4.3 Kondisi Saluran Berdasarkan Hasil Simulasi

Berdasarkan simulasi yang dilakukan, didapatkan kondisi bahwa saluran GI Kapal – GI Pemecutan Klod melebihi 80% kapasitas maksimumnya pada tahun 2029. Hasil simulasi yang lebih terperinci dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Kondisi saluran tahun 2029

Dari	Ke	Sirkuit	Kapasitas (MVA)	Daya Mengalir (MVA)	Persentase (%)
Banyuwangi	GI Gilimanuk	1	116,9	66,4	57,1
Banyuwangi	GI Gilimanuk	2	116,9	66,4	57,1
Banyuwangi	GI Gilimanuk	3	129,9	71,6	55,5
Banyuwangi	GI Gilimanuk	4	129,9	71,6	55,5
GI Gilimanuk	GI Negara	1	325	51,1	15,7
GI Gilimanuk	GI Negara	2	325	51,1	15,7
GI Gilimanuk	GIS Celukan Bawang	1	649,5	118,2	18,6
GI Gilimanuk	GI Pamaron	1	649,5	72,3	11,2
GI Negara	GI Antosari	1	325	34,5	10,7
GI Negara	GI Antosari	2	325	34,5	10,7
GIS Tanah Lot	GI Antosari	1	167,5	28	16,7
GIS Tanah Lot	GI Antosari	2	167,5	28	16,7
GIS Tanah Lot	GI KAPAL	1	167,5	25,7	15,5
GIS Tanah Lot	GI KAPAL	2	167,5	25,7	15,5
GIS Celukan Bawang	GI KAPAL	1	709,3	162,7	22,9
GIS Celukan Bawang	GI KAPAL	2	709,3	162,7	22,9
GI KAPAL	GI Baturiti	1	220,8	24	10,9
GI Payangan	GI KAPAL	1	220,8	34,8	16
GI KAPAL	GI Gianyar	1	325	99,2	30,5
GI KAPAL	GI Gianyar	2	325	99,2	30,5
GI KAPAL	GI Padang Sambian	1	325	160,9	49,5
GI KAPAL	GI Padang Sambian	2	325	160,9	49,5
GI KAPAL	GI Pemecutan Klod	1	252,8	202,4	80,1
GIS Celukan Bawang	GI Pamaron	1	325	96,6	29,7
GI Pamaron	GI Baturiti	1	194,9	39	20
GI Pamaron	GI Baturiti	2	194,9	39	20
GI Baturiti	GI Payangan	1	194,9	39,8	20,4
GI Amlapura	GI Gianyar	1	167,6	26,5	16
GI Amlapura	GI Gianyar	2	167,6	26,5	16
GI Gianyar	GI SANUR	1	325	8,1	2,5
GI Gianyar	GI SANUR	2	325	8,1	2,5
GI Padang Sambian	GI Pemecutan Klod	1	325	53,7	16,5
GI Padang Sambian	GIS Pesanggaran	1	324,7	151	46,5
GI Pemecutan Klod	GIS BANDARA	1	232	69,4	29,9
GIS Pesanggaran	GI Pemecutan Klod	1	325	27,3	8,4
GIS BANDARA	GIS Pecatu	1	241,6	15,4	6,4
GIS BANDARA	GIS Pecatu	2	241,6	15,4	6,4
GIS BANDARA	GIS Pesanggaran	1	232,5	22,9	9,9
GIS Pecatu	GI Nusa Dua	1	241,6	8	3,3
GIS Pecatu	GI Nusa Dua	2	241,6	8	3,3
GI Nusa Dua	GIS Pesanggaran	1	241,6	49,9	20,7
GI Nusa Dua	GIS Pesanggaran	2	241,6	49,9	20,7
GIS Pesanggaran	GI SANUR	1	325	76,3	23,5
GIS Pesanggaran	GI SANUR	2	260	66	25,4

Berdasarkan tabel 3. di atas, dapat diketahui bahwa saluran GI Kapal – GI Pemecutan Klod memiliki aliran daya sebesar 202,4 MVA dengan persentase pembebanan adalah sebesar 80,1 %. Hal tersebut, tentu sudah melebihi batas ideal pembebanan saluran sehingga perlu dilakukan pengembangan untuk menanggulunginya. Sedangkan, untuk pembebanan saluran pada GI lain masih dalam keadaan ideal.

4.4 Pengembangan Jaringan Transmisi

Berdasarkan hasil simulasi, diketahui bahwa pada tahun tidak ada terjadi kelebihan beban pada saluran sistem transmisi 150 kV Bali selama tahun 2022 - 2030. Namun, pada tahun 2029 daya yang mengalir sudah melebihi 80% lebih tepatnya sebesar 80,1 % dari kapasitas maksimumnya. Hal tersebut tentu sudah melewati batas ideal pembebanan saluran transmisi. Saluran GI Kapal – GI Pemecutan Klod menggunakan penghantar TACSR dengan kuat hantar arus sebesar 973 A atau 252,8 MVA. Daya yang mengalir pada saluran tersebut pada tahun 2029 adalah sebesar 202,4 MVA.

Jika peningkatan daya yang mengalir tahun 2022 – 2030 pada saluran GI Kapal – GI Pemecutan Klod dipersentasekan peningkatannya, maka didapatkan data seperti pada tabel 4.

Tabel 4. Aliran daya dan persentase peningkatannya pada GI Kapal – Gi Pemecutan Klod

Tahun	Daya Mengalir (MVA)	Peningkatan (%)
2022	124,4	
2023	133,7	7,48
2024	141,4	5,76
2025	151,8	7,36
2026	163	7,38
2027	175,2	7,48
2028	188,3	7,48
2029	202,4	7,49
2030	217,6	7,51

Berdasarkan tabel 4, terlihat bahwa peningkatan daya yang mengalir pada saluran GI Kapal – GI Pemecutan Klod

cenderung linier dengan rata – rata peningkatan sebesar 7,24%.

Jenis konduktor *overhead* yang paling umum digunakan pada saluran transmisi adalah ACSR dan ACCC. Konduktor jenis ACCC memiliki kelebihan dimana pada diameter yang sama, ACCC memiliki berat yang lebih ringan, kekuatan tarik lebih kuat, temperatur kerja jauh lebih tinggi, modulus elastisitas dan koefisien pengembangan liniernya lebih rendah. Namun, konduktor ACCC memiliki harga yang lebih mahal dibandingkan dengan ACSR. Meskipun begitu, *uprating* dari ACSR menjadi ACCC jauh lebih murah dibandingkan dengan melakukan pembangunan konstruksi jaringan baru dengan menggunakan konduktor ACSR [8]. Sehingga, *uprating* dari ACSR menjadi ACCC sangatlah ideal untuk dilakukan. Sehingga, pengembangan yang dapat dilakukan untuk mengantisipasi terjadinya kelebihan daya pada saluran GI Kapal – GI Pemecutan adalah dengan melakukan *uprating* penghantar dari TACSR 240 mm² menjadi ACCC Lisbon 310 mm² dengan kapasitas sebesar 324,75 MVA dan dengan menambah sirkit baru dengan penghantar yang sama. Sehingga, saluran GI Kapal – GI Pemecutan memiliki total kapasitas sebesar 649,5 MVA. Pemilihan ACCC Lisbon 310 mm². Namun, untuk penambahan sirkit baru perlu dilakukan analisis kemampuan tower dalam menopang beban konduktor.

Dengan menggunakan rata – rata peningkatan daya yang mengalir tiap tahunnya pada saluran GI Kapal – GI Pemecutan Klod sebesar 7,24%, maka daya yang mengalir pada saluran tersebut hingga tahun 2050 dapat dihitung dan didapatkan data seperti pada tabel 5.

Tabel 5. Perkiraan aliran daya GI Kapal - GI Pemecutan Klod hingga tahun 2050

Tahun	Daya Mengalir (MVA)	Peningkatan (%)
2022	124,4	
2023	133,7	7,48
2024	141,4	5,76
2025	151,8	7,36
2026	163	7,38
2027	175,2	7,48
2028	188,3	7,48
2029	202,4	7,49
2030	217,6	7,51
2031	233,4	7,24
2032	250,3	7,24
2033	268,4	7,24
2034	287,8	7,24
2035	308,6	7,24
2036	331,0	7,24
2037	355,0	7,24
2038	380,7	7,24
2039	408,2	7,24
2040	437,8	7,24
2041	469,5	7,24
2042	503,5	7,24
2043	539,9	7,24
2044	579,0	7,24
2045	621,0	7,24
2046	665,9	7,24
2047	714,2	7,24
2048	765,9	7,24
2049	821,3	7,24
2050	880,8	7,24

Berdasarkan tabel 5, dengan menggunakan ACCC Lisbon 310 mm² double sirkit dengan total kapasitas sebesar 649,5 MVA pada saluran GI Kapal – GI Pemecutan Klod, dapat diketahui bahwa saluran akan mengalami 80% pembebanan pada tahun 2043 dengan aliran daya sebesar 539,9 MVA dan akan melebihi 100% kapasitas maksimumnya pada tahun 2046 dengan aliran daya sebesar 665,9 MVA.

Berdasarkan analisis pengembangan tersebut, dengan melakukan *uprating* penghantar dan penambahan sirkit baru, didapatkan bahwa saluran GI Kapal – GI Pemecutan Klod dapat bertahan hingga tahun 2043 sebelum mencapai pembebanan 80% dari kapasitas maksimumnya. Peningkatan tersebut

memberikan *spare* waktu selama 17 tahun dari tahun 2029. *Spare* waktu tersebut dapat dimanfaatkan untuk dilakukan pengembangan sistem jaringan baru untuk menyalurkan beban ke daerah selatan.

Pengembangan yang dapat dilakukan untuk mengantisipasi kelebihan daya pada tahun 2029 tidak hanya *uprating* konduktor, dapat juga dilakukan pengembangan sistem transmisi seperti penambahan GI atau penambahan jaringan transmisi baru. Namun, untuk melakukan pengembangan jaringan baru perlu dilakukan kajian yang lebih mendalam lagi dan membutuhkan waktu yang cukup lama. Sehingga, melakukan *uprating* konduktor adalah opsi yang ideal dengan asumsi konfigurasi jaringan sistem transmisi tidak terjadi perubahan.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi dan analisis yang dilakukan, didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil simulasi aliran daya pada saluran GI Kapal – GI Pemecutan Klod melebihi 80% kapasitas maksimumnya pada tahun 2029. Pada tahun 2029 aliran daya yang mengalir pada saluran tersebut adalah sebesar 202,4 MVA atau 80,1% dari kapasitas maksimumnya. Sedangkan, untuk saluran lain masih dalam keadaan ideal.
2. Pengembangan jaringan transmisi yang dapat dilakukan untuk menanggulangi kelebihan daya yang mengalir pada saluran transmisi GI Kapal – GI Pemecutan Klod adalah dengan melakukan *uprating* saluran dengan menggunakan penghantar ACCC Lisbon 310 mm² yang memiliki kapasitas maksimum sebesar 324,75 MVA dan menambah sirkit baru dengan penghantar yang sama, sehingga total kapasitas akan menjadi 649,5 MVA. Rata – rata peningkatan daya yang mengalir pada saluran GI Kapal – GI Pemecutan Klod adalah sebesar 7,24 %, sehingga jaringan yang baru

tersebut akan mampu menopang aliran daya hingga tahun 2043 sebelum daya yang mengalir melebihi 80% kapasitas maksimum saluran tersebut. Pembebanan akan mencapai 100 % kapasitas maksimum pada tahun 2046.

3. Pengembangan yang dapat dilakukan untuk mengantisipasi kelebihan daya pada tahun 2029 tidak hanya *uprating* konduktor, dapat juga dilakukan pengembangan sistem transmisi seperti penambahan GI atau penambahan jaringan transmisi baru. Namun, pengembangan jaringan baru di atas perlu dilakukan kajian yang lebih mendalam lagi dan membutuhkan waktu yang cukup lama. Sehingga, melakukan *uprating* konduktor adalah opsi yang ideal dengan asumsi konfigurasi jaringan sistem transmisi tidak terjadi perubahan.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] RUPTL. 2021. Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) Tahun 2021 – 2030. Jakarta: PT. PLN (Persero).
- [2] Achmad, S. 2009. Simulasi Aliran Daya Sistem 150 kV Region Jakarta – Banten dengan Perbandingan Sistem Grid dan IBT”. Jakarta: Universitas Indonesia.
- [3] Ervan, H. dkk. 2012. “Analisis Aliran Daya pada Sistem Tenaga Listrik 150 KV Gorontalo menggunakan Metode Newton – Raphson”. Gorontalo: Universitas Negeri Gorontalo.
- [4] Huda, M.K. 2020. Analisis Aliran Daya Sistem Kelistrikan 150 KV Bali saat Rekonduktoring SUTT Gilimanuk – Negara – Antosari. Jurnal SPEKTRUM Vol. 7, No.3, September. Jimbaran.
- [5] Saadat, H. 1999. Power System Analysis. USA: McGraw-Hill Companies, Inc.
- [6] RUKD. 2022. Rencana Umum Ketenagalistrikan Daerah (RUKD) 2022 – 2039. Denpasar: Pemerintah Provinsi Bali.
- [7] PT. PLN (Persero) UP2D Bali. 2022.
- [8] Atanasovski, M., dkk. 2019. Comparison of ACSR, ACCC, and AAAC Conductors for Overhead Transmission Lines. Jurnal ICEST, Juni. Ohrid, North Macedonia.