



Studi Analisa Daya untuk Kelayakan Pekerjaan *Uprating* Gardu Induk 150 kV Embalut Kalimantan Timur

Nanang Fatchur Rozi^{1,2,*}, Pawenary¹, Sumardi¹

¹Program Studi Program Profesi Insinyur, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

²PT PLN (Persero)

*Corresponding author: nanangfr.pln@gmail.com

(Received: November 28, 2024; Accepted: December 20, 2024)

Abstract

Power Analysis Study for the Feasibility of Uprating Work of 150 kV Embalut Substation, East Kalimantan. The 150 kV Embalut Substation (GI) is the most vital substation in the Mahakam System because all large power plants in East Kalimantan enter through the Embalut GI. With the plan to add power plants entering through the Embalut GI busbar, such as the Peaker 2 PLTG (100 MW) in 2017 and the Kaltim 4 PLTU (2 × 100 MW) to the Mahakam System according to the 2016-2025 RUPTL, it is necessary to study the development of the Embalut GI capacity. From the results of the power flow analysis, it was found that in 2018 the Embalut GI 150 kV busbar experienced excess capacity when the Balikpapan PLTU was not operating. In addition, in 2024 it was also seen that the busbar load of the 150 kV Embalut GI reached 637.7 MVA or ± 2457 A. To overcome this, capacity uprating is needed at the Embalut GI, including increasing the capacity of the GI busbar conductor to ≥ 4000 A. The busbar conductor type design takes into account the mechanical specifications of the previous conductor and the layout of the existing substation, so that the 2 × TAL 850 mm² conductor to replace the previous bare conductor busbar, and AL TUBE D-14cm, t-12mm to replace the existing hollow busbar. In addition to busbar conductor uprating, it is necessary to uprating the main equipment of the substation such as circuit breakers, disconnectors and current transformers especially in the coupler bay (to a rating of 4000 A) while in the Embalut-Tengkawang transmission bay and Embalut-CFK transmission bay to be twice the current capacity to meet the maximum load during abnormal conditions and N-1 conditions. The estimated cost for the 150 kV Embalut GI Busbar uprating work includes the 150 kV busbar uprating, the 150 kV Embalut-Tengkawang and Embalut CFK PLTU conductor bay uprating, the 150 kV coupler bay uprating including civil works reaching 16.7 billion rupiah.

Keywords: substation uprating, feasibility study, load flow

Abstrak

Gardu Induk (GI) 150 kV Embalut menjadi gardu induk paling vital di Sistem Mahakam karena semua pembangkit besar di Kalimantan Timur masuk melalui GI Embalut. Dengan adanya rencana penambahan pembangkit yang masuk melalui busbar GI Embalut, seperti PLTG Peaker 2 (100 MW) pada tahun 2017 dan PLTU Kaltim 4 (2 × 100 MW) ke Sistem Mahakam sesuai RUPTL 2016-2025, maka perlu dikaji pengembangan kapasitas GI Embalut. Dari hasil analisis aliran daya diperoleh hasil bahwa pada tahun 2018 busbar GI 150 kV Embalut mengalami kelebihan kapasitas saat PLTU Balikpapan tidak operasi. Selain itu pada tahun 2024 juga terlihat bahwa pembebanan busbar GI 150 kV Embalut mencapai 637,7 MVA atau ± 2457 A. Untuk mengatasi hal tersebut diperlukan *uprating* kapasitas di GI Embalut di antaranya meningkatkan kapasitas konduktor busbar GI menjadi ≥ 4000 A. Desain tipe konduktor busbar dengan mempertimbangkan spesifikasi mekanikal konduktor sebelumnya dan *layout* gardu induk eksisting, sehingga konduktor 2 × TAL 850 mm² untuk menggantikan busbar *bare conductor* sebelumnya, serta AL

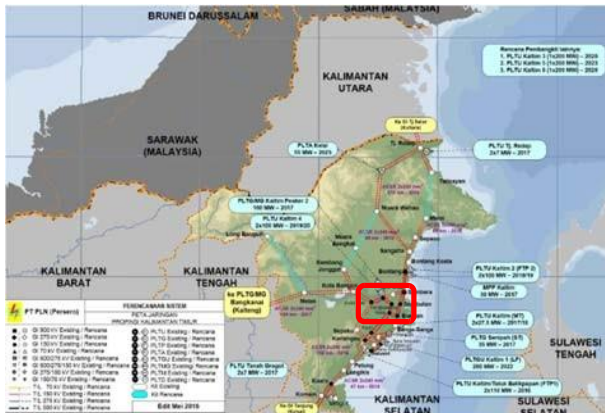
TUBE D-14cm, t-12mm untuk menggantikan busbar *hollow* eksisting. Selain *uprating* konduktor busbar, diperlukan *uprating* peralatan utama gardu induk seperti *circuit breaker*, *disconnectors* dan *current transformer* terutama pada bay kopler (menjadi rating 4000 A) sedangkan pada bay transmisi Embalut-Tengkawang dan transmisi Embalut-CFK menjadi dua kali kapasitas sekarang untuk memenuhi pembebanan maksimum saat kondisi tidak normal dan kondisi N-1. Estimasi biaya untuk pekerjaan *uprating* busbar 150 kV GI Embalut ini meliputi *uprating* busbar 150 kV, *uprating* bay penghantar 150 kV Embalut-Tengkawang dan Embalut PLTU CFK, *uprating* bay kopler 150 kV termasuk pekerjaan sipil mencapai 16,7 miliar rupiah.

Kata kunci: *uprating Gardu Induk, study kelayakan, aliran daya*

How to Cite This Article:Rozi, N. F., Pawenary, P. & Sumardi, S. (2024). Studi Analisa Daya untuk Kelayakan Pekerjaan Uprating Gardu Induk 150 kV Embalut Kalimantan Timur. *JPII*, 2(5), 308-318. DOI: <https://doi.org/10.14710/jpii.2024.24597>

PENDAHULUAN

Pertumbuhan ekonomi Provinsi Kalimantan Timur dalam 5 tahun terakhir rata-rata sekitar 6,3% per tahun dan permintaan energi listrik meningkat rata-rata sebesar 8,3% per tahun. Untuk memenuhi permintaan daya listrik ini, PLN Wilayah Kalimantan Timur dan Kalimantan Utara berupaya untuk menambah pembangunan pembangkit pada sistem kelistrikan Kalimantan Timur seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta rencana kelistrikan Kalimantan Timur

Gardu Induk (GI) 150 kV Embalut menjadi gardu induk paling vital di Sistem Mahakam karena semua pembangkit besar di Sistem Mahakam masuk melalui GI Embalut yaitu PLTGU Tanjung Batu, PLTG Menamas, PLTU CFK dan PLTMG Kaltimax. Dengan adanya rencana penambahan pembangkit yang masuk melalui busbar GI Embalut, seperti PLTG Peaker 2 (100 MW) pada tahun 2017 dan PLTU Kaltim 4 (2 × 100 MW) ke Sistem Mahakam sesuai RUPTL (Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik), maka perlu dikaji pengembangan kapasitas GI Embalut.

Maksud studi ini adalah sebagai kajian umum atau penajakan awal untuk pengumpulan data dan informasi tentang perlunya *uprating* GI Embalut sebagai salah satu pemikul beban di sistem kelistrikan Mahakam. Studi ini dilakukan pada tahun 2016 dan dituliskan dalam karya

ilmiah pada tahun 2024. Jangka waktu kajian ini adalah untuk periode tahun 2016 hingga tahun 2030.

METODE PENELITIAN

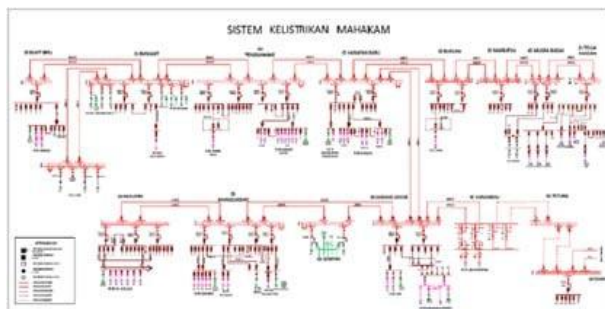
Metodologi yang dilakukan dalam studi ini seperti terlihat pada Gambar 2, meliputi pengumpulan data, analisis kebutuhan tenaga listrik dan pertumbuhan beban, analisis sistem ketenagalistrikan mencakup analisis aliran daya dan analisis hubung singkat dengan menggunakan program PSSE (*Power System Simulation for Engineers*), serta analisis kelayakan teknis yang menghasilkan keputusan apakah *uprating* Gardu Induk 150 kV Embalut layak dilakukan dan kapan diperlukan. Hasil analisis akan disertai dengan rekomendasi desain *uprating* Gardu Induk 150 kV Embalut.



Gambar 2. Metodologi studi kelayakan

HASIL DAN PEMBAHASAN
Sistem Kelistrikan Eksisting

Sistem kelistrikan Kalimantan Timur sebagian besar dipasok dari Sistem Mahakam, sedangkan sistem-sistem *isolated* 20 kV yang tersebar di Kalimantan Timur dipasok dari PLTD setempat. Sistem Mahakam merupakan sistem kelistrikan di Kalimantan Timur yang terinterkoneksi melalui jaringan transmisi 150 kV, membentang dari Kariangau di Balikpapan sampai Samarinda hingga ke Bontang. Adapun *single line diagram* Sistem Mahakam dapat dilihat pada Gambar 3.

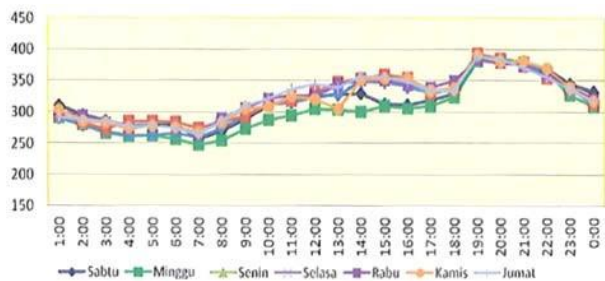


Gambar 3. Single line diagram 150kV Sistem Mahakam

Pusat beban Sistem Mahakam berada di kota Samarinda sebesar 49% dan kota Balikpapan sebesar 41%.

Beban Puncak

Beban puncak Sistem Mahakam pada bulan Januari 2016 sebesar 398 MW, sebagaimana terlihat pada Gambar 4 berikut.



Gambar 4. Kurva beban puncak Sistem Mahakam Januari 2016 (Sumber: Laporan Evaluasi Operasi AP2B Kaltim Januari 2016)

Kelistrikan GI 150 kV Embalut

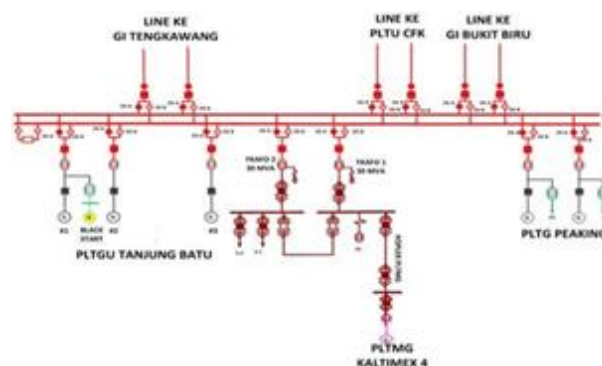
Kondisi eksisting, GI Embalut disuplai dari beberapa pembangkit dengan total kapasitas ultimate adalah 301 MW, di antaranya adalah sebagai berikut.

Tabel 2. Data pembangkit eksisting di GI Embalut

No	Pembangkit	Unit	Daya Terpasang	Daya Mampu
1	PLTGU Tanjung Batu (PLN)	3 × 20 MW	60 MW	54 MW
2	PLTG Peaking (PLN)	2 × 70 MW	140 MW	136 MW
3	PLTU CFK (IPP)	2 × 22,5 MW	95 MW	95 MW
4	PLTMG Kaltimax (Sewa)	1 × 50 MW 1 × 6 MW	6 MW	6 MW
Total			301 MW	291 MW

(Sumber: Laporan Evaluasi Operasi AP2B Kaltim Januari 2016)

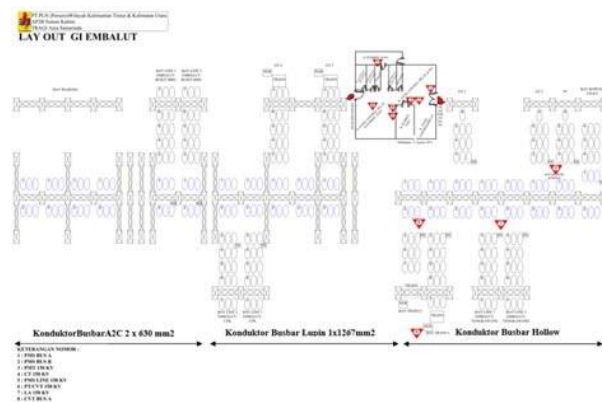
Single line diagram GI 150 kV Embalut dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Single line diagram Gardu Induk 150 kV Embalut

Sesuai dengan single line diagram GI 150 kV Embalut pada Gambar 5 tersebut, diperoleh informasi sebagai berikut:

1. Transmisi Embalut-Bukit Biru 150 kV menggunakan konduktor ACSR 240 mm² dengan thermal capacity 66,7 MVA.
2. Transmisi Embalut-Tengkawang 150 kV menggunakan konduktor ACSR 120 mm² dengan thermal capacity 36,4 MVA.
3. Transformator pada GI 150 kV Embalut berjumlah 2 buah dengan masing-masing berkapasitas 30 MVA.

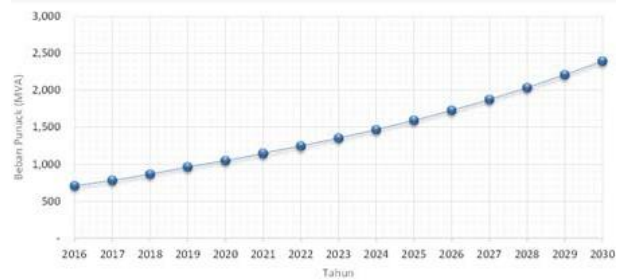


Gambar 6. Gambar konfigurasi layout GI Embalut

Di bawah ini dijelaskan konfigurasi busbar GI Embalut sesuai dengan layout GI 150 kV Embalut pada Gambar 6.

- a. Busbar dengan konduktor A2C 2 × 630 mm² ekuivalen 1600 A untuk:
 - Bay Peaking (PLTG)
 - Bay Line 1 & 2 (Embalut-Bukit Biru)
- b. Busbar dengan konduktor Lupin 1 × 1267 mm² ekuivalen 1871 A untuk:
 - Bay Line 1 & 2 (Embalut-PLTU CFK)

- Bay GT 3 & GT 4
(Saat ini, bay ini dalam keadaan kosong)
- c. Busbar dengan konduktor *Hollow* busbar ekivalen dengan 2000 A untuk:
 - Bay Trafo 2 (30 MVA) & Trafo 1 (30 MVA)
 - Bay Pembangkit PLTGU Tanjung Batu:
 - Bay GT 1
 - Bay GT 2
 - Bay ST
 - Bay Line 1 & 2 (Embalut-Tengkawang)
 - Bay Kopler



Gambar 8. Proyeksi beban puncak di Kalimantan Timur (Sumber: Laporan Evaluasi Operasi AP2B Kaltim Januari 2016)

Analisis Kebutuhan Tenaga Listrik dan Pertumbuhan Beban

Pertumbuhan rata-rata penduduk di wilayah Kalimantan Timur dan Kalimantan Utara dari tahun 2011 sampai 2015 tumbuh berada di kisaran 2,64%. Pertumbuhan tertinggi terjadi pada tahun 2011 sebesar 2,7% dari 3,5 juta jiwa (2010) menjadi 3,6 juta jiwa (2011). Pada tahun 2030 diprediksikan penduduk wilayah Kalimantan Timur sebanyak 5.479 ribu jiwa.

Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) Kalimantan Timur dan Kalimantan Utara tumbuh rata-rata sebesar 8,32% setiap tahunnya dari tahun 2011 sampai tahun 2015. Sedangkan proyeksi pertumbuhan PDRB dari tahun 2016 sampai tahun 2030 diproyeksikan akan tumbuh rata-rata 7,68% setiap tahunnya.

Perkiraan Kebutuhan Listrik Sistem Mahakam

Berdasarkan data pada laporan *Energy and Load Demand Forecast* PT PLN (Persero) Wilayah KALTIMRA, jumlah pelanggan pada tahun 2014 sebanyak 797.207 pelanggan yang terbagi menjadi 4 (empat) kategori yaitu *residential*, *commercial*, *public* dan *industrial*. Pelanggan terbesar di wilayah Kalimantan Timur dan Kalimantan Utara adalah *residential* yang pada tahun 2014 sebesar 729.059 pelanggan. Hingga tahun 2030 diproyeksikan pelanggan akan tumbuh dengan rata-rata sebesar 4% per tahun.

Beban puncak tahun 2014 sebesar 534,4 MW dan diproyeksikan tahun 2015 beban puncak naik menjadi 646,7 MW. Adapun proyeksi beban puncak di Kalimantan Timur dan Utara dapat dilihat pada Gambar 8 berikut.

Perkiraan Kebutuhan Listrik Gardu Induk

Perkiraan kebutuhan pembangkit di Kalimantan Timur disesuaikan dengan neraca daya sesuai RUPTL 2016-2025. Hal ini dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Proyeksi neraca daya Sistem Kaltim

PROYEK	2016	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Interkoneksi Kalimantan - Kaltim (2016)											
Kebutuhan											
Produksi	MW	2560	2615	3113	3454	3649	4201	4580	4975	5405	5874
Faktor Beban	%	62,3	64,6	64,0	65,1	65,3	65,5	65,8	65,9	66,1	66,3
Beban Puncak	MW	455	498	548	606	673	732	795	851	933	1011
PASOKAN											
Kapasitas Terpasang	MW	713	713	564	621	642	642	642	642	642	642
Daya Mampu	MW	693	793	701	690	759	759	759	759	759	759
PLN	Size	383	483	411	411	459	459	459	459	459	459
PLTA											
PLTD	MW	100	200	200	200	248	248	248	248	248	248
- Total Balikpapan	MW	100	200	200	200	200	200	200	200	200	200
PLTGU	MW	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
PLTG	MW	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140
PLTMG	MW	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
PLTD	MW	72	72	0	0	0	0	0	0	0	0
SWASTA	MW	318	318	290	279	300	300	300	300	300	260
IPP	MW	187	182	182	182	203	203	203	203	203	203
Electric Power	MW	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57
Swiss	MW	71	71	51	40	40	40	40	40	40	40
Sewa PLTD HSD	MW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sewa PLTD IFO	MW	60	60	40	40	40	40	40	40	40	40
Sewa PLTGU/Gas	MW	13	13	13	0	0	0	0	0	0	0
Rendel & Murbahad	MW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tambahan Kapasitas											
PLN ON GOING & COMMITTED											
PLTGU/IPP Kaltim	PLTGU/IPP			30							
IPP ON GOING & COMMITTED											
SARHAI (ST)	PLTGU			35							
RENCANA TAMBAHAN KAPASITAS											
Tidans	PLTA						204				
Kalm	PLTA							55			
Kalm Peaker 2	PLTGU/GC			100							
Kalm Peaker 3	PLTGU/GC							100			
Kalm #172	PLTU				100	100					
Kalm MT1	PLTU				65						
Kalm 3	PLTU								200	200	
Kalm 4	PLTU					100	100				
Total Tambahan Kapasitas	MW	-	30	135	155	200	100	-	155	200	200
TOTAL KAPASITAS SISTEM	MW	823	963	949	1.141	1.362	1.462	1.462	1.617	1.817	2.017
TOTAL DAYA MAMPU NETTO	MW	693	823	866	1.010	1.279	1.379	1.379	1.534	1.734	1.934
RE SERVE MARGIN	%	81	93	73	88	102	100	84	88	86	91
RE SERVE MARGIN NETTO	%	52	65	58	67	90	88	73	78	85	91

(Sumber: Laporan Evaluasi Operasi AP2B Kaltim Januari 2016)

Dari neraca daya di atas, rencana penambahan pembangkit pada GI Embalut adalah sebesar 300 MW, yaitu PLTG Peaker 2 - 100 MW pada tahun 2017 dan PLTU Kaltim 4 - 2 x 100 MW pada tahun 2019/2020. Sesuai dengan data pada RUPTL 2016-2025, bahwa pada GI Embalut rencana akan dibangun transmisi 2 *circuit* dengan ukuran konduktor 2 x Zebra menuju GI New Samarinda yang rencananya akan mulai pengadaan pada awal tahun 2017. Sedangkan GI New Samarinda sedang dalam proses konstruksi dan direncanakan dapat beroperasi pada tahun 2018.

Proyeksi Beban Puncak GI

Berdasarkan data pertumbuhan ekonomi dan pertumbuhan penjualan listrik di Kalimantan Timur serta dipadukan dengan data RUPTL PLN, maka dapat dibuat proyeksi beban di sekitar Gardu Induk Embalut hingga 2030, seperti pada GI Bukit Biru, GI Tengkawang dan GI New Samarinda. Tahun 2014, beban puncak GI 150 kV Embalut sebesar 22,4 MW, sedangkan tahun 2015 beban puncak sebesar 26 MW, proyeksi beban puncak GI 150 kV Embalut pada tahun 2030 sebesar 66,3 MW. Tahun 2014, beban puncak GI 150 kV Bukit Biru sebesar 26,6 MW, sedangkan tahun 2015 beban puncak sebesar 32 MW, proyeksi beban puncak GI 150 kV Bukit Biru pada tahun 2030 sebesar 145,4 MW. Tahun 2014 beban puncak GI Tengkawang sebesar 83,6 MW, sedangkan tahun 2015 beban puncak sebesar 99,2 MW, proyeksi beban puncak GI 150 kV Tengkawang pada tahun 2030 sebesar 119,2 MW. Proyeksi beban puncak GI New Samarinda tahun 2018 sebesar 38,3 MW, sedangkan proyeksi beban puncak pada tahun 2030 sebesar 107,4 MW.

Tabel 7. Proyeksi beban puncak Gardu Induk 150 kV Embalut

Calendar Year	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Beban Puncak (MW) Trafo 2<30 MVA	22,4	26,0	27,2	28,4	31,0	34,1	36,2	37,4	39,8
Pembebanan (%)	41	48	50	53	57	63	67	69	49
Keterangan Tambahan Calendar Year	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	
Beban Puncak (MW) Trafo 2<30 MVA	42,3	45,3	48,1	51,5	54,6	58,1	62,5	66,3	
Pembebanan (%)	52	56	59	64	67	72	77	82	

(Sumber: Laporan Evaluasi Operasi AP2B Kaltim Januari 2016)

Analisis Sistem Tenaga Listrik dan Kelayakan Operasi

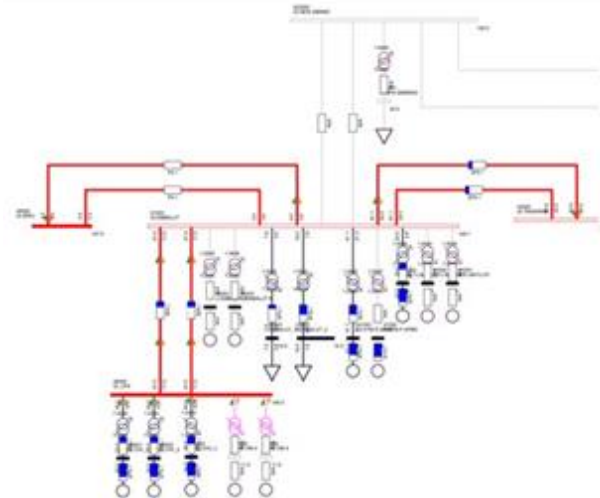
Studi sistem tenaga listrik dilakukan berdasarkan pada Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) 2016-2025 dan data *capacity balance* wilayah Kalimantan Timur dan Kalimantan Utara. Pada studi ini ditampilkan analisis aliran daya dan tegangan serta analisis arus hubung singkat pada GI 150 kV Embalut.

Analisis Aliran Daya

Analisis aliran daya dilakukan di antaranya untuk mengetahui pembebanan maksimal yang terjadi di busbar GI 150 kV Embalut dan juga pembebanan transmisi GI Embalut dengan GI terkait (Tengkawang, Bukit Biru dan New Samarinda) ketika dilakukan penambahan pembangkit sesuai dengan RUPTL. Simulasi dilakukan dengan menggunakan aplikasi PSS/E 33.1 untuk kondisi beban sistem pada tahun 2016-2024 sesuai dengan data yang diperoleh dari PLN Wilayah Kaltimra. Studi aliran daya dilakukan dengan dua kondisi yaitu kondisi normal dan kondisi tidak normal (salah satu unit terbesar PLTU Balikpapan diasumsikan tidak beroperasi).

Studi Analisis Aliran Daya Kondisi Normal

Analisis aliran daya pada kondisi normal dapat ditunjukkan pada Gambar 9 berikut.



Gambar 9. Analisis aliran daya kondisi normal

Dari studi yang dilakukan, didapatkan hasil simulasi sesuai Tabel 9. Pada simulasi ini, PLTG Peaking APBN Unit #1 digunakan sebagai pembangkit *swing* (hal ini juga berlaku untuk semua skenario yang disimulasikan). Untuk kapasitas busbar, digunakan *rating* konduktor terkecil dari konduktor busbar GI 150 kV Embalut yaitu 1600 A atau 415,2 MVA. Total daya yang masuk ke busbar GI Embalut pada tahun 2018 adalah sebesar 377,1 MVA atau 90,82% dari kapasitas maksimum busbar. Sementara tahun 2020, mencapai angka 484,4 MVA yaitu 116,67% dari kapasitas maksimum busbar. Artinya, sebelum tahun 2020 perlu dilakukan *uprating* kapasitas busbar atau manuver beban untuk menghindari batas kapasitas termal dari busbar GI Embalut. Dari tabel tersebut juga dapat dilihat bahwa sejak tahun 2020 pembebanan transmisi Embalut-CFK tidak memenuhi kondisi N-1 sehingga perlu dilakukan *uprating/rekonduktoring*.

Pada simulasi yang dilakukan, tegangan pada GI 150 kV Embalut berada pada nilai yang memenuhi standar SPLN yang mensyaratkan *drop* tegangan berada pada range +5% dan -10% dari tegangan nominal, seperti terlihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Analisis tegangan kondisi normal

Keterangan	Satuan	Kondisi Normal				
		Tahun				
		2016	2018	2020	2022	2024
GI Embalut 150 kV	kV	148,1	150	150,2	149,6	149,2

Tabel 9. Hasil analisis aliran daya kondisi normal

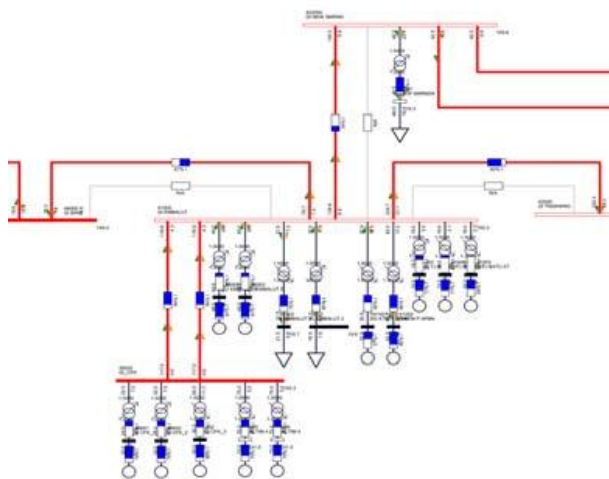
Keterangan	Satuan	Kondisi Normal				
		Tahun				
		2016	2018	2020	2022	2024
Pembebanan Transmisi 150 kV GI Embalut-GI Bukit Biru (1 sirkuit)	MVA/%	5,8/4	33,2/24	39,3/28	44,3/32	52,1/38

Pembebanan Transmisi 150 kV GI Embalut-GI New Samarinda (1 sirkit)	MVA/%	-	44,2/11	63,4/16	76/19	83/21
Pembebanan Transmisi 150 kV GI Embalut-GI Tengkawang (1 sirkit)	MVA/%	66/24	97,6/36	119,2/43	122,6/45	127,2/46
Pembebanan Transmisi 150 kV GI Embalut-CFK (1 sirkit)	MVA/%	50/36	48,2/35	116,9/84	117,4/85	118/85
Pembebanan Trafo 1 GI 150 kV Embalut	MVA/%	8,9/30	14,2/47	22,7/76,1	23,9/80,1	22,5/86,1
Pembebanan Trafo 2 GI 150 kV Embalut	MVA/%	18,2/61	18,2/61	18,2/61	19,3/64,1	22,6/75,1
Pembebanan Busbar GI 150 kV Embalut bersumber dari: Pembangkit yaitu:	MVA					
- PLTG Peaking APBN		51,7	133,6	105,4	147,9	178,1
- PLTG Tanjung Batu		20,6	56,3	54,4	54,4	54,4
- Transmisi CFK-Embalut (dikurangi losses)		100	96,4	233,8	234,8	235,8
1. PLTU CFK		100	97,3	96,6	97,5	98,2
2. PLTU Kaltim 4				140,4	140	140,2
- PLTG Peaking			90,8	90,8	90,8	90,8
Kapasitas Busbar GI 150 kV Embalut	MVA	415,2	415,2	415,2	415,2	415,2

Studi Analisis Aliran Daya Kondisi N-1

Analisis aliran daya pada kondisi N-1 dapat ditunjukkan pada Gambar 10. Studi ini dilakukan dengan konfigurasi dimana transmisi Embalut-Bukit Biru, Embalut-New Samarinda, Embalut-Tengkawang hanya beroperasi satu sirkit saja. Transmisi Embalut-CFK tetap dioperasikan dua sirkit agar suplai dari pembangkit CFK dan Kaltim 4 dapat beroperasi maksimum. Dari studi yang dilakukan didapatkan hasil sesuai Tabel 10.

Total daya yang masuk ke busbar GI Embalut pada tahun 2018 adalah sebesar 377,9 MVA yaitu sebesar 91,01%. Sementara tahun 2020, mencapai angka 483,7 MVA atau 116,49% dari kapasitas maksimum busbar. Dengan pembebanan tersebut dapat dilihat bahwa sebelum tahun 2020 perlu dilakukan *uprating* busbar pada GI 150 kV Embalut. Dari tabel tersebut juga dapat dilihat, bahwa sejak tahun 2020 pembebanan transmisi Embalut-CFK tidak memenuhi kondisi N-1 sehingga perlu dilakukan *uprating*/rekonduktoring.



Gambar 9. Analisis aliran daya kondisi N-1

Tabel 10. Hasil analisis aliran daya kondisi N-1

Keterangan	Satuan	Kondisi N-1				
		Tahun				
		2016	2018	2020	2022	2024
Pembebanan Transmisi 150 kV GI Embalut-GI Biru (1 sirkit)	MVA/%	12,8/9	66,2/48	78,7/57	88,8/64	88,8/64
Pembebanan Transmisi 150 kV GI Embalut-GI New Samarinda (1 sirkit)	MVA/%	-	98,3/25	135/34	158,4/40	173,8/44
Pembebanan Transmisi 150 kV GI Embalut-GI Tengkawang (1 sirkit)	MVA/%	130,4/48	185/67	227,7/83	236,3/86	246,7/90
Pembebanan Transmisi 150kV GI Embalut-CFK (1 sirkit)	MVA/%	49,7/36	48,2	117/84	117,4/85	117,7/85
Pembebanan Trafo 1 GI 150 kV Embalut	MVA/%	8,9/30,1	14,2/47	22,7/76,1	23,9/80,1	22,5/86,1
Pembebanan Trafo 2 GI 150 kV Embalut	MVA/%	18,2/61,1	18,2/61	18,2/61	19,3/64,1	22,6/75,1
Rasio Pembebanan Busbar GI 150 kV Embalut bersumber dari: Pembangkit yaitu:	MVA					
- PLTG Peaking APBN		170,9	377,9	483,7	526,3	557,1
- PLTG Tanjung Batu		51,1	134,4	104,5	146,3	176,5
- Transmisi CFK-Embalut		20,4	56,3	54,4	54,4	54,4
1. PLTU CFK		99,4	96,4	234	234,8	235,4
2. PLTU Kaltim 4		100,6	97,1	96,6	97,5	98
- PLTG Peaking Kapasitas Busbar GI 150 kV Embalut	MVA	415,2	415,2	415,2	415,2	415,2

Pada simulasi yang dilakukan, tegangan pada GI 150 kV Embalut berada pada nilai yang memenuhi standar SPLN yang mensyaratkan *drop* tegangan berada pada *range* +5% dan -10% dari tegangan nominal, seperti terlihat pada Tabel 11.

Tabel 11. Analisis tegangan kondisi N-1

Keterangan	Satuan	Kondisi N-1				
		Tahun				
		2016	2018	2020	2022	2024
GI Embalut 150 kV	kV	148,3	150	150,2	149,7	149,4

Studi Analisis Aliran Daya Kondisi Tidak Normal (PLTU Teluk Balikpapan Tidak Operasi)

Simulasi ini dilakukan dengan kondisi dimana salah satu unit PLTU Teluk Balikpapan (unit terbesar yaitu 110 MW) tidak operasi. Hal ini dilakukan untuk mengetahui berapa maksimum daya yang akan tersalurkan melalui GI 150 kV Embalut karena pembangkit di sisi Embalut akan beroperasi maksimum untuk mensuplai daya yang seharusnya dapat disuplai oleh PLTU Teluk Balikpapan. Dari simulasi diperoleh hasil sesuai Tabel 12 berikut.

Tabel 12. Hasil analisis aliran daya kondisi tidak normal

Kondisi Tidak Normal (PLTU Teluk Balikpapan Tidak Operasi)						
Keterangan	Satuan	Tahun				
		2016	2018	2020	2022	2024
Pembebanan Transmisi 150 kV GI Embalut-GI Biru (1 sirkit)	MVA/%	5,8/4	33,2/24	39,2/28	44,3/32	44,3/32
Pembebanan Transmisi 150 kV GI Embalut-GI New Samarinda (1 sirkit)	MVA/%	-	52,5/13	65/17	78,4/20	85,8/22
Pembebanan Transmisi 150 kV GI Embalut-GI Tengkwang (1 sirkit)	MVA/%	108,2	136,5/50	156,2/57	159,6/58	164,4/60
Pembebanan Transmisi 150 kV GI Embalut-CFK (1 sirkit)	MVA/%	50,4/37	48,7/35	117,3/85	118,3/86	118,8/86
Pembebanan Trafo 1 GI 150 kV Embalut	MVA/%	8,9/30,1	14,2/47	22,7/76,1	23,9/80,1	25,8/86,1
Pembebanan Trafo 2 GI 150 kV Embalut	MVA/%	18,2/61,1	18,2/61	18,2/61	19,3/64,1	22,6/75,1
Pembebanan Busbar GI 150 kV Embalut bersumber dari: Pembebanan Pembangkit yaitu:	MVA	254	473,8	559,5	604,8	637,3
- PLTG Peaking APBN		132,3	229,4	179,7	222,8	253,5
- PLTG Tanjung Batu		20,9	56,3	54,4	54,4	54,6
- Transmisi CFK-Embalut (dikurangi losses)		100,8	97,4	234,6	236,6	237,6
1. PLTU CFK		102,3	98,5	97,5	98,7	99,2
2. PLTU Kaltim 4				140	140,4	140,8
- PLTG Peaking Kapasitas Busbar GI 150 kV Embalut			90,8	90,8	91	91,6
	MVA	415,2	415,2	415,2	415,2	415,2

Total daya yang masuk ke busbar GI Embalut pada tahun 2018 adalah sebesar 473,9 MVA yaitu sebesar 113,97%. Dengan pembebanan tersebut dapat disimpulkan bahwa pada tahun 2018, perlu dilakukan *uprating* busbar GI Embalut dan tahun 2020 perlu dilakukan *uprating/rekonduktoring* transmisi Embalut-CFK untuk memenuhi pembebanan maksimum yang dapat terjadi.

Tabel 13. Analisis tegangan kondisi tidak normal

Kondisi Tidak Normal						
Keterangan	Satuan	Tahun				
		2016	2018	2020	2022	2024
GI Embalut 150 kV	kV	148,3	150	150,2	149,7	149,4

Pada simulasi yang dilakukan, tegangan pada GI 150 kV Embalut berada pada nilai yang memenuhi standar SPLN yang mensyaratkan *drop* tegangan berada pada *range* +5% dan -10% dari tegangan nominal seperti terlihat pada Tabel 13.

Studi Analisis Aliran Daya Kondisi Tidak Normal (PLTU Teluk Balikpapan Tidak Operasi) dan Kondisi N-1

Simulasi ini dilakukan dengan kondisi yang sama di mana PLTU Teluk Balikpapan (unit terbesar yaitu 110 MW) tidak operasi. Hal ini dilakukan untuk mengetahui berapa maksimum daya *ultimate* yang tersalurkan melalui GI 150 kV Embalut karena pembangkit di sisi Embalut akan beroperasi maksimum untuk mensuplai daya yang seharusnya dapat disuplai oleh PLTU Teluk Balikpapan dan juga dengan skenario bahwa transmisi Embalut-Bukit Biru, Embalut-New Samarinda, Embalut-Tengkwang hanya beroperasi satu sirkit saja. Namun, transmisi Embalut-CFK tetap dioperasikan dua sirkit agar suplai dari pembangkit CFK dan Kaltim 4 dapat beroperasi maksimum. Dari simulasi diperoleh hasil seperti pada Tabel 14.

Total daya yang masuk ke busbar GI Embalut pada tahun 2018 adalah sebesar 476 MVA yaitu sebesar 114,64%. Dengan pembebanan tersebut dapat disimpulkan bahwa pada tahun 2018, perlu dilakukan *uprating* busbar GI Embalut untuk memenuhi pembebanan maksimum yang dapat terjadi.

Tabel 14. Hasil analisis aliran daya kondisi tidak normal dan N-1

Kondisi Tidak Normal (PLTU Teluk Balikpapan tidak operasi) & Kondisi N-1						
Keterangan	Satuan	Tahun				
		2016	2018	2020	2022	2024
Pembebanan Transmisi 150 kV GI Embalut-GI Biru	MVA/%	12,8/9	66,2/48	78,7/57	88,9/64	88,9/64
Pembebanan Transmisi 150 kV GI Embalut-GI New Samarinda	MVA/%	-	120,7/31	144,8/37	169,7/44	183,9/47
Pembebanan Transmisi 150 kV GI Embalut-GI Tengkwang	MVA/%	216,7/80	258,4/94	295,6/108	305,2/112	315,9/116
Pembebanan Transmisi 150 kV GI Embalut-CFK	MVA/%	50,3/37	48,7/35	117,3/85	118,4/85	119,1/86
Pembebanan Trafo 1 GI 150 kV Embalut	MVA/%	8,9/30,1	14,2/47	22,7/76,1	23,9/80,1	22,5/86,1
Pembebanan Trafo 2 GI 150 kV Embalut	MVA/%	18,2/61,1	18,2/61	18,2/61	19,3/64,1	22,6/75,1
Pembebanan Busbar GI 150 kV Embalut bersumber dari: Pembebanan Pembangkit yaitu:	MVA	254,7	476	558,7	604,4	637,7
- PLTG Peaking APBN		133,3	231,3	178,9	222	252,7
- PLTG Tanjung Batu		20,8	56,3	54,4	54,4	54,8
- Transmisi CFK-Embalut (dikurangi losses)		100,6	97,6	234,6	236,8	238,2
1. PLTU CFK		102	98,5	97,3	98,7	99,4
2. PLTU Kaltim 4				140	140,6	141
- PLTG Peaking Kapasitas Busbar GI 150 kV Embalut			90,8	90,8	91,2	92
	MVA	415,2	415,2	415,2	415,2	415,2

Pada simulasi yang dilakukan, sesuai Tabel 15, tegangan pada GI 150 kV Embalut berada pada nilai yang memenuhi standar SPLN yang mensyaratkan drop tegangan berada pada range +5% dan -10% dari tegangan nominal.

Tabel 15. Analisis tegangan kondisi tidak normal dan N-1

Keterangan	Satuan	Kondisi Tidak Normal				
		Tahun				
		2016	2018	2020	2022	2024
GI Embalut 150 kV	kV	147,8	149,2	149,7	149,0	148,7

Analisis Hubung Singkat

Analisis hubung singkat dilakukan untuk mengetahui apakah *rating* peralatan-peralatan pada GI 150 kV Embalut masih memenuhi spesifikasi peralatan eksisting. Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa arus hubung singkat pada GI 150 kV Embalut belum melewati batas *rating* peralatan eksisting yang ada di Gardu Induk 150 kV, seperti terlihat pada Tabel 16 berikut ini.

Tabel 16. Analisis hubung singkat

Keterangan	Satuan	Hubung Singkat				
		Tahun				
		2016	2018	2020	2022	2024
GI Embalut 150 kV	kA	12,71	12,71	12,71	12,71	12,71

Pengembangan GI 150 kV Embalut

Dari hasil analisis aliran daya dan hubung singkat yang telah dilakukan, dapat diperoleh hasil bahwa pada tahun 2018 busbar GI 150 kV Embalut mengalami kelebihan kapasitas saat kondisi PLTU Balikpapan tidak operasi. Selain itu pada tahun 2024 juga dapat dilihat bahwa pembebanan busbar GI 150 kV Embalut mencapai 637,7 MVA atau ±2457 A. Untuk mengatasi hal tersebut perlu dilakukan *uprating* kapasitas peralatan 150 kV.

Uprating kapasitas peralatan 150 kV di GI Embalut dilakukan dengan mengganti peralatan-peralatan yang sudah tidak memenuhi kapasitas dengan peralatan yang memiliki kapasitas lebih besar, di antaranya dengan meningkatkan kapasitas busbar GI yang lebih besar dari 2.457 A sebelum tahun 2018. Selain busbar GI, peralatan bay transmisi Embalut-Tengkawang dan transmisi Embalut-CFK juga perlu dilakukan *uprating* menjadi dua kali kapasitas sekarang untuk memenuhi pembebanan maksimum saat kondisi tidak normal dan kondisi N-1.

Konsep Dasar Desain GI

Berdasarkan uraian pada Analisis Sistem Tenaga Listrik dan Kelayakan Operasi, perlu dilakukan *uprating* GI 150 kV Embalut terutama pada busbar 150 kV eksisting (*bare conductor* dan *tubular conductor*). Desain *uprating busbar conductor* bertujuan untuk meningkatkan kapasitas elektrikal (seperti kapasitas

hantar arus) pada konduktor dengan sesedikit mungkin terjadinya perubahan konstruksi *gantry* di Gardu Induk Embalut.

Kriteria Desain

Desain peralatan utama gardu induk dalam pekerjaan *uprating* GI 150 kV Embalut harus memenuhi standar berikut ini.

- PUIL : Peraturan Umum Instalasi Listrik Indonesia
- IEC 61936-1 : *Power Installations exceeding 1 kV Part 1: Common Rules*
- IEC 62271-1 : *High Voltage Switchgear and Controlgear. Part 1: Common Specifications*
- IEC 62271-100 : *High Voltage Switchgear and Controlgear. Part 100: High Voltage Alternating Current Circuit Breaker*
- IEC 62271-102 : *High-voltage switchgear and controlgear - Part 102: Alternating current disconnectors and earthing switches*
- IEC 61869-1 : *Instrument transformers - Part 1: General requirements*
- IEC 61869-2 : *Instrument transformers - Part 2: Additional requirements for current transformers*
- IEC 61869-5 : *Instrument transformers - Part 5: Additional requirements for capacitor voltage transformers*
- IEC 60529 : *Degrees of protection by enclosures (IP Code)*
- Grid Code : Peraturan Menteri ESDM Nomor 18 Tahun 2016 tentang Aturan Jaringan Sistem Tenaga Listrik Kalimantan

Persyaratan umum sistem kelistrikan untuk peralatan GI 150 kV adalah sebagai berikut.

- Tegangan nominal : 150 kV
- Tegangan maksimum : 170 kV
- Jarak rambat (*Creepage Distance*) : 25 mm/kV
- Frekuensi system : 50 Hz
- Short circuit level*, 1 sec : 40 kA
- Lightning Impulse Withstand Level* : 750 kV
- One minute Power frequency withstand voltage* : 325 kV
- Konfigurasi sistem : 3 fasa (3 kawat)
- Sistem Pentanahan titik netral : *Solid*

Berdasarkan data meteorologi yang didapatkan, maka kondisi lingkungan berikut ini akan digunakan dalam desain *uprating* GI 150 kV Embalut.

Kondisi daerah iklim	:	ekuator, sinar matahari terik dan curah hujan tinggi
Temperatur udara ambien	:	
- kondisi ekstrim	:	10°C - 40°C
- temperatur rata-rata tahunan	:	27°C
- temperatur rata-rata dalam satu hari	:	35°C
Curah hujan rata-rata tahunan	:	2300 mm, 100 hari
Kelembapan rata-rata relatif	:	70%-100%
Kecepatan angin maksimum	:	25 m/detik
Level isokeraunik	:	100 hari guruh/tahun
Ketinggian	:	di atas permukaan laut sampai dengan 1000 meter
Level polusi	:	Tinggi/Heavy

Desain Uprating GI 150 kV Embalut

Konduktor busbar eksisting di GI 150 kV Embalut terdiri dari dua macam tipe yaitu *bare conductor* (Al) dan *tubular conductor* (*hollow*). Jika dilakukan penyeragaman tipe busbar, dengan penggantian busbar *hollow* ke busbar tipe *bare conductor*, maka berakibat pada hal berikut:

- Diperlukan tambahan perluasan lahan sebesar 20 meter (8 × 2,5 meter) untuk 8 bay eksisting, sedangkan lebar diameter bay eksisting pada busbar tipe *hollow* adalah 11,5 meter.
- Diperlukan waktu pemadaman yang cukup lama saat dilakukan pekerjaan *dismantling* tubular busbar eksisting disertai konstruksi *gantry* busbar *bare conductor*.

Dengan pertimbangan kemudahan pekerjaan *uprating* dan sesedikit mungkin adanya perubahan konstruksi *gantry* eksisting, maka untuk *uprating* busbar *hollow* akan tetap menggunakan tipe *tubular conductor* namun cukup dengan memperbesar luas penampang konduktor.

Uprating Busbar 150 kV

Sesuai uraian sebelumnya, busbar eksisting GI 150 kV Embalut perlu di-*uprating* kapasitas hantar arusnya menjadi lebih besar 2457 A. Dengan pertimbangan masukan dari PT PLN (Persero) Wilayah Kalimantan Timur dan Utara untuk mengantisipasi pertumbuhan beban dan *capacity balance* GI Embalut 150 kV hingga 30 tahun ke depan, maka busbar 150 kV terpasang akan di-*uprating* kapasitas hantar arusnya dari

±2000 A menjadi lebih besar dari 3000 A atau dengan kapasitas hantar arus 4000 A. Desain tipe konduktor busbar yang mencapai kapasitas hantar arus (*Current Carrying Capacity*) ≥4000 A adalah sebagai berikut.

- Untuk busbar *bare conductor* diganti menggunakan 2 × TAL 850 mm².
- Sedangkan untuk busbar *hollow* diganti menggunakan AL TUBE D-14cm, t-12mm.

Desain tersebut sudah mempertimbangkan spesifikasi mekanikal konduktor yang digunakan tidak jauh berbeda dengan konduktor busbar eksisting.

Sesuai *layout* GI 150 kV Embalut pada Gambar 6, uraian pekerjaan *uprating* busbar 150 kV dapat dilihat pada Tabel 17 berikut.

Tabel 17. Pekerjaan *uprating* busbar di GI Embalut 150 kV

No.	Uraian Pekerjaan	Spesifikasi	Uprating		Ket*
			Kondisi Terpasang	Kondisi Uprated	
1.	Uprating Tubular Busbar 150 kV eksisting	Current Capacity (Tipe dimensi)	2000 A (AL TUBE D-9cm, t-7mm)	4000 A (AL TUBE D-14cm, t-12mm)	8 bay
2.	Uprating Busbar Conductor 150 kV eksisting	Current Capacity (Tipe dimensi)	1871 × 1260 mm ²	4000 A (TAL 2 × 850 mm ²)	8 bay
3.	Uprating Busbar Conductor 150 kV eksisting	Current Capacity (Tipe dimensi)	1600 × 630 mm ²	4000 A (TAL 2 × 850 mm ²)	14 bay

*Keterangan: jumlah bay sesuai *layout* GI Embalut pada Gambar 6

Uprating Peralatan Utama GI 150 kV

Selain *uprating* konduktor busbar 150 kV, diperlukan juga *uprating* peralatan utama Gardu Induk seperti *circuit breaker*, *disconnectors* dan *current transformer* terutama pada bay kopler 150 kV yang harus menyesuaikan dengan kapasitas konduktor busbar GI 150 kV yang di-*uprating*, dengan rating arus 4000 A. Selain itu, sesuai hasil analisis aliran daya, pada bay penghantar 150 kV Embalut-Tengkawang dan bay penghantar 150 kV Embalut-PLTU CFK diperlukan penggantian peralatan utama Gardu Induk yang semula memiliki *rating* arus 1250 A menjadi 2000 A. Uraian pekerjaan *uprating* peralatan utama Gardu Induk 150 kV Embalut dapat dilihat pada Tabel 18 berikut.

Tabel 18. Pekerjaan *uprating* peralatan utama GI 150 kV Embalut

No.	Uraian Pekerjaan	Uprating	
		Spesifikasi	Kondisi Terpasang / Kondisi Uprated
1.	Uprating peralatan Bay Kopler 150 kV :		

-	PMT	Current Rating	1250 A	4000 A
-	PMS	Current Rating	1250 A	4000 A
-	CT	Rasio	600-1250/1 A	2000-4000/1 A
2.	Uprating peralatan Bay Penghantar 150 kV Embalut-PLTU CFK :			
-	PMT	Current Rating	1250 A	2000 A
-	PMS	Current Rating	1250 A	2000 A
-	CT	Rasio	600-1250/1 A	1000-2000/1 A
3.	Uprating peralatan Bay Penghantar 150 kV Embalut-Tengkawang:			
-	PMT	Current Rating	1250 A	2000 A
-	PMS	Current Rating	1250 A	2000 A
-	CT	Rasio	600-1250/1 A	1000-2000/1 A
-	CVT*	Rasio	150 kV/110/√3 V	150 kV/100/√3 V

Desain Peralatan Utama Gardu Induk

Adapun spesifikasi peralatan utama Gardu Induk 150 kV Embalut yang akan dilakukan *uprating* adalah sebagai berikut:

a. *Circuit Breaker*/Pemutus Tenaga (PMT)

PMT yang digunakan untuk *uprating* bay penghantar 150 kV Embalut-Tengkawang dan bay kopler 150 kV menggunakan media SF6, *spring-spring type, outdoor, single-pole* dan satu interuptor tiap pole. Adapun *rating* PMT yang digunakan pada masing-masing bay diberikan pada Tabel 19 berikut.

Tabel 19. Rating PMT per tipe bay GI

Bay	Current Rating	Type of operation
- Penghantar	2000 A	single pole of three phase system
- Kopler	4000 A	3 pole of three phase system

b. *Disconnectors*/Pemisah Tenaga (PMS)

PMS yang digunakan untuk *uprating* bay penghantar 150 kV Embalut-Tengkawang dan bay kopler 150 kV adalah *single-phase, dua kolom, rotary, single-throw, horizontal centre-break*, dioperasikan dengan motor dan manual. Adapun *rating* PMS yang digunakan

pada masing-masing bay diberikan pada Tabel 20 berikut:

Tabel 20. Rating PMS per tipe bay GI

Bay	Current Rating	Type of operation
- Penghantar	2000 A	motor drive and manual
- Kopler	4000 A	motor drive and manual

c. *Current Transformer*/Transformator Arus (CT)

CT yang dipasang untuk *uprating* pada bay penghantar 150 kV Embalut-Tengkawang dan bay kopler 150 kV, digunakan untuk fungsi proteksi, pengukuran/*metering*, instrumentasi dan *fault recorder*. Jumlah *core* yang digunakan, kelas akurasi dan *burden* harus sesuai dengan persyaratan sistem proteksi. Spesifikasi CT yang digunakan pada masing-masing bay sesuai pada Tabel 21 dan Tabel 22 berikut.

Tabel 21. Spesifikasi CT bay penghantar

Core	Bay Penghantar	
	Class	Ratio
Core 1 (for Main Protection)	PX	1000-2000/1
Core 2 (for Back up Protection)	5P20 +0,5	1000-2000/1
Core 3 (for Main Busbar Protection)	PX	1000-2000/1
Core 4 (checkzone buspro high impedance/centralized low impedance)	PX	1000-2000/1
Core 5 (for Bidding Meter)	NA	-

Tabel 22. Spesifikasi CT bay penghantar

Core	Bay Kopler	
	Class	Ratio
Core 1 (for OCR)	5P20	2000-4000/1
Core 2 (for Busbar Protection)	PX	2000-4000/1

d. Transformator Tegangan

Transformator tegangan yang digunakan adalah *Capacitor Voltage Transformer* (CVT). CVT dipasang pada bay penghantar 150 kV Embalut-Tengkawang dan akan digunakan untuk fungsi proteksi, pengukuran/*metering*, instrumentasi, *fault recorder* dan sinkronisasi. Skema pemilihan tegangan diaplikasi untuk monitoring tegangan pada semua bay melalui *voltage*

transformator pada bay transmisi. Karakteristik CVT yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 23 berikut.

Tabel 23. Karakteristik CVT

<i>Voltage ratio</i> :	150√3 kV/(100/√3) V
<i>Burden</i> :	15 VA
<i>Accuracy class</i> :	
- <i>For protection</i>	3P
- <i>For metering instrument</i>	0.5

KESIMPULAN

Pada tahun 2018 kapasitas GI 150 kV Embalut sudah tidak mencukupi untuk memenuhi kondisi N-1 sehingga sesuai kajian teknis pekerjaan *uprating* busbar GI Embalut layak untuk dilakukan. Untuk memenuhi kondisi N-1 serta mengantisipasi pertumbuhan beban dan *capacity balance* GI 150 kV Embalut, diperlukan *uprating* kapasitas busbar eksisting dari semula kapasitas ±1600 A menjadi 4000 A. Sesuai hasil analisis aliran daya, pada GI 150 kV Embalut untuk bay penghantar Embalut-Tengkawang dan bay penghantar Embalut-PLTU CFK diperlukan *uprating* peralatan utama gardu induk (PMT, PMS, CT) ke *rating* 2000 A untuk memenuhi kondisi N-1. *Uprating* konduktor busbar 150 kV menjadi 2 × TAL 850 di Gardu Induk Embalut memerlukan perkuatan struktur *steel support* pada *beam gantry*, sedangkan untuk pondasi struktur *post gantry* tidak perlu perkuatan karena masih memenuhi persyaratan stabilitas daya dukung.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada segenap manajemen PLN UIW Kalimantan Timur dan Kalimantan Utara dan manajemen PLN Pusat Enjiniring Ketenagalistrikan serta tim proyek 42059 Kajian *Uprating* GI Embalut atas bantuan dan kerja sama yang baik hingga terlaksananya kajian studi kelayakan *uprating* GI 150kV Embalut.

DAFTAR PUSTAKA

Badan Standardisasi Nasional (BSN). (2011). *Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2011 (PUIL 2011)*, SNI 0225:2011. Jakarta.

International Electrotechnical Commission–IEC. (2006). IEC 62271-1: *High Voltage Switchgear and Controlgear - Part 1: Common Specifications*. IEC.

International Electrotechnical Commission–IEC. (2006). IEC 62271-100: *High Voltage Switchgear and Controlgear - Part 100: High Voltage Alternating Current Circuit Breaker*. IEC.

International Electrotechnical Commission–IEC. (2006). IEC 62271-102: *High-voltage switchgear and controlgear - Part 102: Alternating current disconnectors and earthing switches*. IEC.

International Electrotechnical Commission–IEC. (2007). IEC 61869-1: *Instrument transformers - Part 1: General requirements*. IEC.

International Electrotechnical Commission–IEC. (2010). IEC 61936-1: *Power Installations exceeding 1 kV Part 1: Common Rules*. IEC.

International Electrotechnical Commission–IEC. (2011). IEC 61869-2: *Instrument transformers - Part 5: Additional requirements for capacitor voltage transformers 14*. IEC.

International Electrotechnical Commission–IEC. (2012). IEC 61869-2: *Instrument transformers - Part 2: Additional requirements for current transformers 13*. IEC.

International Electrotechnical Commission–IEC. (2013). IEC 60529: *Degrees of protection by enclosures (IP Code)*. IEC.

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2016). *Peraturan Menteri Nomor 18 Tahun 2016 tentang Aturan Jaringan Sistem Tenaga Listrik Kalimantan (Grid Code)*. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral

PT PLN (Persero) UIW Kalimantan Timur dan Kalimantan Utara. (2014). *Laporan Energy and Load Demand Forecast*. PT PLN (Persero) Wilayah Kaltimra.

PT PLN (Persero). (2009). *SPLN T5.001-1_2008 tentang Pedoman Pembangunan Desain GI 150 kV Tanpa Operator Bagian 1*. PT PLN (Persero).

PT PLN (Persero). (2013). *SK DIR 216.K/DIR/2013 Standarisasi Spesifikasi Teknis Material Utama Transmisi (MTU) dan Penjelasannya*. PT PLN (Persero)

PT PLN (Persero). (2015). *RUPTL PT PLN (Persero) 2016-2025*. PT PLN (Persero).