

Analisis Skema Pertahanan Subsistem 70 kV Sebagai Antisipasi Pemadam Meluas Pada kawasan Industri Driyorejo

Hemi Setarningrum¹, Suprawikno², Bagus Tri Kuncoro^{3*}

^{1,2,3*}Jurusan Teknik Elektro, Sekolah Tinggi Teknologi Ronggolawe

E-mail: ¹hemisetarningrum@gmail.com, ²Suprawikno@yahoo.co.id, ³btrikuncoro@gmail.com

Abstrak – PT PLN (Persero) sebagai penyedia energi listrik di Indonesia dituntut untuk mampu memberikan pelayanan terbaik bagi semua konsumen tegangan rendah sampai dengan tegangan tinggi. Pengoperasian sistem tenaga listrik bertujuan untuk menyediakan listrik sesuai dengan kebutuhan konsumen. Kebutuhan konsumen baik reguler maupun industri selalu mengalami pertumbuhan yang harus diikuti dengan penambahan daya pembangkit atau kapasitas sistem penyaluran. Penambahan infrastruktur baik pembangkit maupun kapasitas dari saluran transmisi yang tidak seimbang dengan pertumbuhan beban bisa menjadi batasan/bottleneck dalam sistem penyaluran tenaga listrik. Dalam sistem penyaluran tenaga listrik pasokan daya Subsistem berasal dari tegangan ekstra tinggi/ tegangan tinggi 500 kV, 150 kV dan 70 kV yang disalurkan melalui Interbus Transformer (IBT) dan saluran – saluran transmisi (SUTT/SKTT/SKLT). Pada tahun 2021 PT PLN (Persero) menggulirkan Program Captive Power Acquisition atau akuisisi beban listrik di wilayah Jawa Timur khususnya di daerah Driyorejo. Driyorejo merupakan kawasan industri yang terletak di salah satu subsistem 70 kV Jawa Timur dengan jumlah beban eksisting sebesar +/- 40 megawatt (MW). Dengan adanya rencana tambahan beban dari program akuisisi dan pertumbuhan beban tahun 2023 serta potensi konsumen baru sehingga total beban IBT 150/70 kV Driyorejo menjadi 68 MW atau 78 % dari Inominalnya. Sehingga untuk tetap terjaganya keandalan serta kualitas pasokan listrik maka perlu dilakukan mitigasi yang cepat serta solusi paling tepat. Dengan dilakukannya Analisis simulasi menggunakan Software DIgSILENT dapat membuktikan kebenaran hukum arus kirchoff I serta dengan diimplementasikannya skema pertahanan /Defense Scheme dengan metode Over Load Shedding (OLS) pada IBT 150/70 kV Driyorejo PT PLN (Persero) akan mendapatkan Gain saving sebesar Rp. 95 juta / jam.

Kata Kunci — Defense Scheme, Over Load Shedding, DIgSILENT

Abstract – PT PLN (Persero), as the electricity provider in Indonesia, is required to provide the best services for all customers, ranging from low to high voltage. The operation of the power system aims to supply electricity according to consumer needs. The demand from both regular and industrial consumers is constantly growing, necessitating the addition of power generation capacity and transmission system capacity. Imbalances in the addition of infrastructure, both in power generation and transmission capacity, can become a bottleneck in the electricity distribution system. In the electricity distribution system, power supply comes from extra high voltage/high voltage sources, such as 500 kV, 150 kV, and 70 kV, transmitted through Interbus Transformers (IBT) and transmission lines (SUTT/SKTT/SKLT). In 2021, PT PLN (Persero) initiated the Incentive Captive Acquisition Program, involving the acquisition of electricity load in the Jawa Timur region, specifically in the Driyorejo area. Driyorejo is an industrial zone located in one of the 70 kV subsystems in East Java, with an existing load of approximately 40 megawatts (MW). With the planned additional load from the acquisition program and the projected load growth in 2023, along with the potential new consumers, the total load on the IBT 150/70 kV Driyorejo will reach 68 MW or 78% of its nominal capacity. To ensure the reliability and quality of the electricity supply, quick mitigation and the most appropriate solutions are needed. The simulation analysis using DIgSILENT software can validate the correctness of Kirchhoff's current law. By implementing a defense scheme with the Over Load Shedding (OLS) method on the IBT 150/70 kV Driyorejo, PT PLN (Persero) is expected to achieve a gain saving of Rp. 95 million per hour.

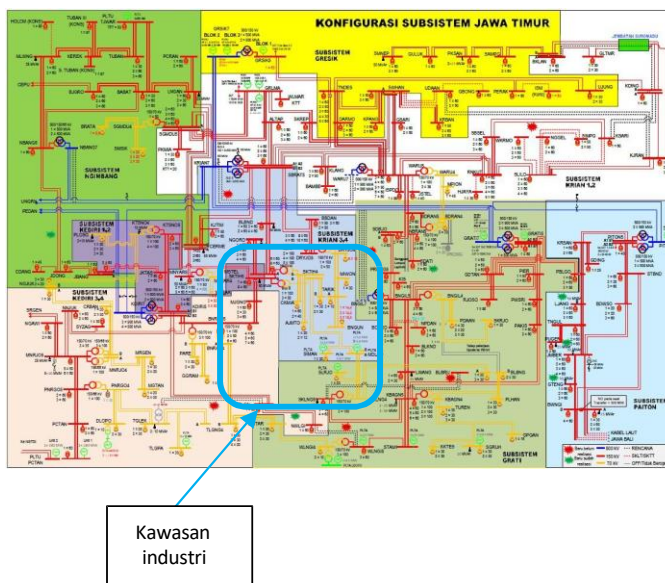
Keywords — Defense Scheme, Over Load Shedding, DIgSILENT

1. PENDAHULUAN

Energi listrik adalah salah satu bentuk transmisi energi yang paling terjangkau, sederhana dan aman. Dengan sistem tenaga listrik, energi listrik dapat terus-menerus ditransfer meski jaraknya berjauhan [1]. Dalam sistem tenaga listrik yang baik harus memenuhi tiga syarat, yaitu: Keandalan, Kualitas dan Ekonomis. Sistem harus

mampu memberi pasokan listrik secara terus menerus dengan standar besaran untuk tegangan dan frekuensi sesuai dengan aturan jaringan ketenagalistrikan yang berlaku. Perusahaan Listrik Negara (PLN) ditetapkan sebagai Perusahaan Umum Listrik Negara dan sebagai Pemegang Kuasa Usaha Ketenagalistrikan (PKUK) dengan tugas menyediakan tenaga listrik bagi kepentingan umum (Profil Perusahaan PLN) [2]. Sejak tahun 2021 PT PLN (Persero) menggulirkan program *Incentive Captive Acquisition* atau akuisisi beban listrik diseluruh wilayah kerja PLN, bagi pelanggan yang memiliki *captive power* dalam memenuhi kebutuhan listriknya, dapat beralih untuk mendapatkan pasokan listrik secara penuh dari PLN. Melalui layanan *captive power acquisition*, pelanggan yang bersedia mengalihkan penggunaan listrik mandiri dari pembangkitnya ke listrik PLN akan mendapatkan insentif tarif listrik sekaligus keandalan pasokan listrik secara penuh dari PLN. Pada tahun 2022 PLN telah melakukan perjanjian kerja sama dengan beberapa pelanggan industri salah satunya di wilayah Jawa Timur khususnya di Kawasan Industri Sekarputih dan Driyorejo.

Kawasan Industri Driyorejo masuk dalam wilayah kerja PT PLN (Persero) Distribusi Jawa Timur (UID Jawa Timur), dengan pemilik asset transmisi dan gardu induk oleh PT PLN (Persero) UIT JBM (Unit Induk Transmisi Jawa Bali Madura) serta sebagai pengelola dan pengatur bebannya PT PLN (Persero) UP2B Jawa Timur. Sistem kelistrikan di Jawa Timur masuk dalam interkoneksi sistem Jawa Madura dan Bali. Pola operasi subsistem Jawa Timur terbagi menjadi 7 (tujuh) subsistem pasokan IBT 500/150 kV-500 MVA yaitu subsistem Krian IBT 1 & 2 - Gresik, Krian IBT 3 & 4, Ngimbang IBT 1 & 2, Kediri IBT 1 & 2, Kediri IBT 3 & 4, Grati IBT 1, 2 & 3, serta Paiton IBT 1, 2 & 3.



Gambar 1. Konfigurasi Subsistem Jawa Timur
(sumber : *Single Line Diagram* PLN UP2B Jawa Timur)

Dari Gambar 1 terlihat bahwa kawasan Industri Sekarputih dan Driyorejo 70 kV masuk dalam subsistem Krian 3 & 4, yang dipasok dari IBT 500/150 kV #3, #4 Krian serta IBT 150/70 kV Sekarputih & Driyorejo dan tanpa pembangkit disisi 150 kV ataupun 70 kV. Selain program *captive power acquisition*, PLN harus senantiasa menyiapkan pasokan daya dengan pertumbuhan beban normal serta potensi rencana daftar tunggu pelanggan baru baik dari konsumen rumah tangga, Penerangan Jalan Umum (PJU), konsumen komersial, serta pabrik dan industri. Maka diperlukan analisis skema pertahanan sebagai antisipasi pemadaman meluas khususnya pada kawasan industri subsistem 70 kV Driyorejo.

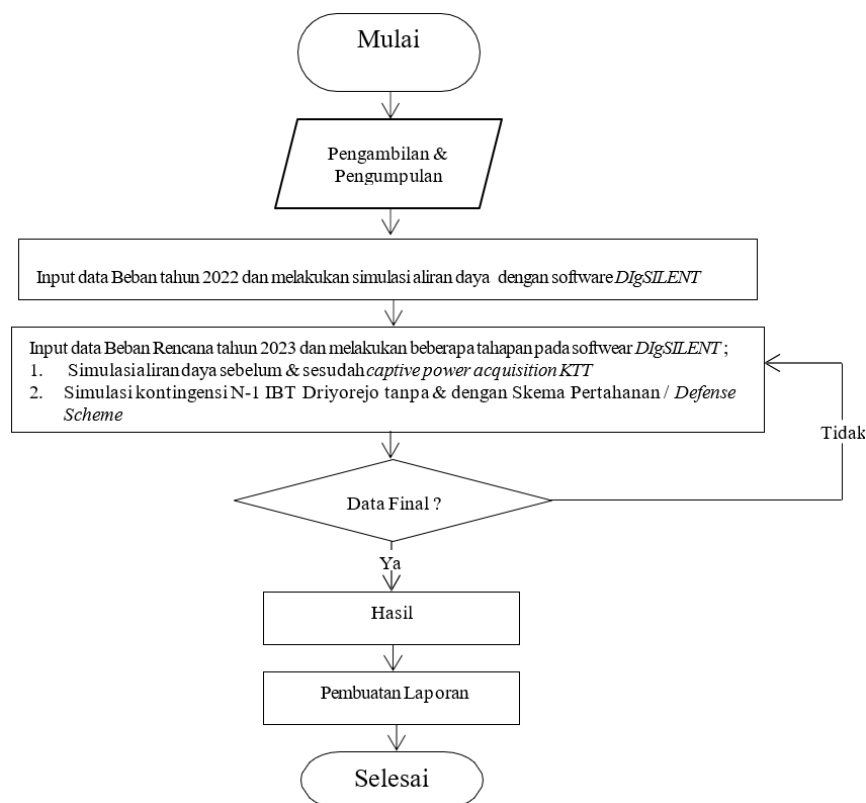
Penelitian sebelumnya [3] dilakukan untuk merancang skema pertahanan untuk mencegah terjadinya kembali pemadaman listrik skala besar yang disebabkan oleh padamnya 2 (dua) instalasi sekaligus (N-2). Peneliti menggunakan 2 (dua) analisa yaitu analisa aliran daya yaitu untuk mengetahui nilai tegangan tiap bus serta nilai daya yang mengalir pada saluran transmisi serta nilai daya yang dibangkitkan oleh generator / pembangkit yang diserap oleh beban. Penelitian ini menggunakan Analisa transien untuk mengetahui respon frekuensi dalam kondisi putusnya saluran *double circuit* (N-2) pada SUTT 500 kV Mandirancan-Ungaran dan Tasikmalaya-Kesugihan. Pada penelitian [4], dilakukan untuk membuktikan bahwa tahapan pelepasan beban pada gardu induk 150 kV Sukolilo telah sesuai syarat standar IEEE Std C37 106-2003. Peneliti menggunakan metode kuantitatif dengan cara pendekatan sistematis terhadap fenomena dengan mengumpulkan data numerik dan melakukan teknik analisis dengan menggunakan *software* ETAP. Simulasi, yang diperlukan untuk

mensimulasikan implementasi OLS dalam sistem dan mempelajari konsekuensi gangguan [5] [6] [7]. Penelitian [8] membahas skema baru *Over Load Shedding* (OLS) di GITET Paiton untuk mencegah pemadaman listrik akibat beban berlebih. Penelitian menggunakan simulasi ETAP 12.6, menunjukkan bahwa skema baru dapat mengurangi beban yang dilepas dari 339,78 MW (38,2%) menjadi 223,76 MW (25,2%). Fokus utama adalah pada pengelolaan beban prioritas dan non-prioritas, sehingga beban yang dilepas lebih kecil. Hasil penelitian ini menunjukkan pentingnya pengembangan skema OLS yang lebih efisien untuk menjaga kontinuitas sistem tenaga listrik. Penelitian [9] membahas analisis *Under Voltage Load Shedding* (UVLS) menggunakan algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO) pada jaringan distribusi 20 kV PT. PLN UPJ Gedangan. Penelitian ini menekankan pentingnya menjaga stabilitas tegangan untuk mencegah *voltage collapse* dan meningkatkan keandalan sistem distribusi listrik. Dalam penelitian [10] membahas implementasi *Over Load Shedding* (OLS) pada *Interbus Transformer* (IBT) di GI Tello untuk menjaga keandalan suplai listrik. Penelitian menunjukkan bahwa OLS dapat mencegah overload pada IBT #3 dan IBT #5, yang masing-masing memiliki kapasitas 31.5 MVA. Dengan menerapkan OLS, beban yang perlu dilepas saat salah satu IBT mengalami gangguan adalah 16.86 MW. Hasil simulasi menunjukkan bahwa setelah penerapan OLS, pembebanan IBT #5 tetap dalam batas operasional, sehingga mencegah pemadaman luas di subsistem Makassar.

Berdasarkan latar belakang dan literatur yang telah dilakukan, maka penelitian ini bertujuan untuk menganalisis skema pertahanan subsistem 70 kV sebagai antisipasi pemadaman meluas pada kawasan industri Driyorejo berbasis *software* digsilent. Data yang digunakan dari PT. PLN (Persero) UP2B Jawa Timur, *Capacity Balance* dan data KTT dari PT PLN (Persero) UID Jawa Timur. Secara umum, yang diharapkan dari penelitian ini dapat mengetahui lokasi skema pertahanan, target beban dan tahapan pada skema pertahanan, serta dampak implementasi skema pertahanan.

2. METODE PENELITIAN

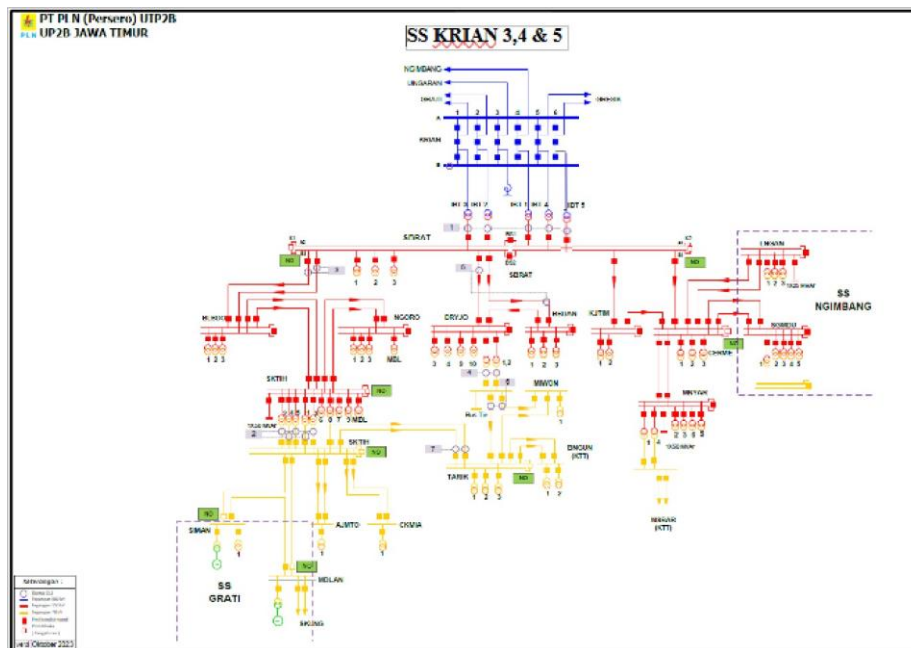
Tahapan penelitian dapat dilihat pada diagram alir yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

2.1 Single Line Diagram Subsistem Krian 3, 4 & 5

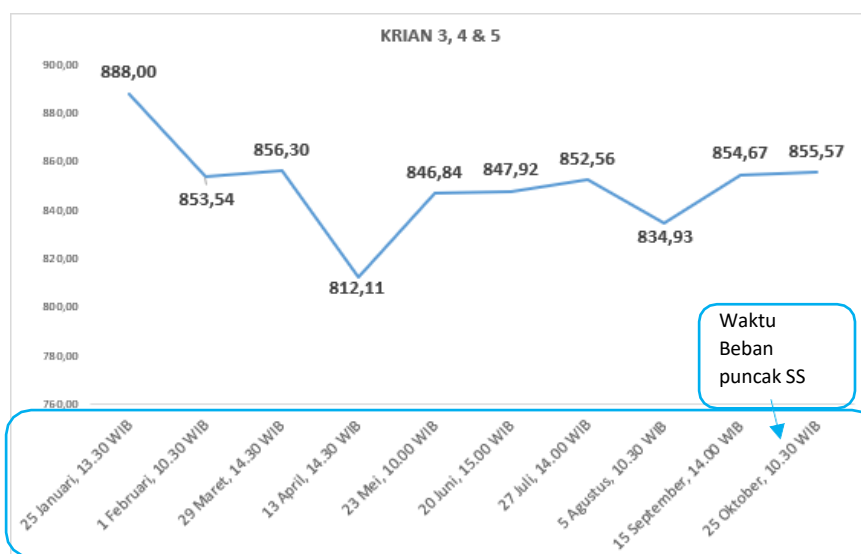
Subsistem Krian 3, 4 & 5, merupakan salah satu subsistem di wilayah Jawa Timur, yang dipasok dari 3 (dua) IBT 500/ 150 kV - 500 MVA Krian #3, #4 & #5. Subsistem Krian 3, 4 & 5 menyuplai 10 Gardu Induk (GI) yaitu 5 (lima) Gardu induk 150 kV dan 5 (lima) Gardu induk 70 kV. Dengan mayoritas beban yang dipasok merupakan beban konsumen industri. Salah 1 (satu) Kawasan industri di wilayah Subsistem Krian 3, 4 & 5 adalah subsistem 70 kV Driyorejo yang dipasok dari 2 IBT 150/70 kV yang masing - masing mempunyai kapasitas sebesar 50 MVA. *Single line Diagram* Subsistem Krian 3, 4 & 5 ditampilkan pada Gambar 3 dibawah ini.



Gambar 3. Konfigurasi Subsistem Krian 3, 4 & 5

2.2 Pemilihan Base Case Beban Puncak

Kawasan industri yang berada di Subsistem Krian 3, 4 & 5 profil beban puncak di subsistem terjadi pada waktu siang hari, seperti yang di tampilkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik Beban Puncak Subsistem Krian 3, 4 & 5

2.3 Input Data Beban Pada Aplikasi DigSilent

Name	Grid	Terminal	Terminal	Act Pow	React Pow	App Pow	Pow Fact	Out of Service
		SubCub	Busbar	MW	Mvar	MVA		
44JMTG4_TDKTT2	Area4	44JMTG4_TDKTT2	44	15	0,9	15,06712	0,98991	☐
44LTAP5_T01	Area4	ALTA PRIMA	51	17,4	6,3	18,9584	0,94050	☐
44LTAP5_T02	Area4	ALTA PRIMA	51	25,3	6,8	26,1979	0,96572	☐
44LTAP5_T03	Area4	ALTA PRIMA	51	10,3	2,4	10,57592	0,97391	☐
48ABAT5_T01	Area4	BABAT5	51	14,8	6,1	16,00791	0,92454	☐
48ABAT5_T02	Area4	BABAT5	51	10,8	5,6	14,9693	0,92788	☐
48ABAT5_T03	Area4	BABAT5	51	26,1	9,1	27,64091	0,94425	☐
48AMBES_T01	Area4	BAMBES	51	22,4	9,5	24,33125	0,92062	☐
48AMBES_T02	Area4	BAMBES	51	22,4	9,5	24,33125	0,92062	☐
48BDANS_T01	Area4	BABADANS	51	42,3	14,6	44,74874	0,94521	☐
48BDANS_T02	Area4	BABADANS	51	24,5	12,7	27,12061	0,92940	☐
48BDANS_T03	Area4	BABADANS	51	5,3	4,8	10,46566	0,88862	☐
48CKROS_T01	Area4	NBUMICOKR	51	38,4	15	41,22572	0,93143	☐
48CKROS_T02	Area4	NBUMICOKR	51	33	9	34,20526	0,96476	☐
48CKROS_T03	Area4	NBUMICOKR	51	30,5	9,7	32,09331	0,95294	☐
48DRANA_T01	Area4	BIUDURANA	51	13,3	3,2	14,05792	0,94101	☐
48DRANA_T02	Area4	BIUDURANA	51	46,6	15,3	49,04742	0,95010	☐
48DRANA_T03	Area4	NEWBIUDUR	51	32	10,7	33,74152	0,94838	☐
48DRANA_T04	Area4	NEWBIUDUR	51	40,5	15,2	43,25841	0,93623	☐
48DRANA_T05	Area4	NEWBIUDUR	51	46,6	16	48,35566	0,9438	☐
48UGROS_T01	Area4	BOJONEGOR	51	22,1	7,3	23,27445	0,94953	☐
48UGROS_T02	Area4	BOJONEGOR	51	28,1	10,7	30,06826	0,93454	☐
48UGROS_T03	Area4	BOJONEGOR	51	38,5	16	41,69233	0,92343	☐
48UJUS_T01	Area4			15,7	5,4	16,59163	0,94423	☐

Gambar 5. Data Beban pada Aplikasi *DIGSILENT*

Input data dilakukan secara bergantian pada ketiga base case yang sudah ditentukan, dengan cara sebagai berikut:

1. Aktifkan base case yang akan dimasukkan data bebannya
2. Klik *general load*
3. Setelah muncul tampilan layar *general load* Gambar 5, langkah berikutnya adalah klik *sheet flexible Data* dan kemudian klik name untuk mengurutkan nama berdasarkan abjad dan klik *grid* untuk mengumpulkan Area 4 (penyebutan wilayah Jawa Timur pada aplikasi *DIGSILENT*)

2.4 Data Setting Over Current IBT Driyorejo

PLN UIT JBM setiap akhir bulan mendeklarasikan kesiapan trafo disemua instalasi di wilayah Jawa Timur. IBT Driyorejo #1 dan #2 masing - masing daya terpasangnya 50 MVA (Sbase) dengan rasio tegangan 150/70 kV (70 kV = Vbase sisi sekunder). Dari data tersebut maka arus nominal (I_n), daya IBT (PIBT) dan daya maksimal (P_{max}) pada IBT Driyorejo dapat dihitung dengan Persamaan (1), (2) dan (3), sebagai berikut:

$$I_n = I_{base} = \frac{S_{base}}{\sqrt{3} \times V_{base}} \dots \dots \dots (1)$$

$$I_n = I_{base} = \frac{50 \text{ MVA}}{\sqrt{3} \times 70 \text{ kV}}$$

$$I_n = I_{base} = \frac{50.000.000 \text{ (VA)}}{1,732 \times 70.000 \text{ (V)}} = 412 \text{ Ampere}$$

$$P_{IBT} = V_{base} \times I_{base} \times \cos \phi \times \sqrt{3} \dots \dots \dots (2)$$

$$P_{IBT} = 70000 \text{ (V)} \times 412 \text{ (A)} \times 1,732 \times 0,9 = 44,986 \text{ mW}$$

$$P_{max} = P_{IBT} \times \cos \phi \times 80\% \dots \dots \dots (3)$$

$$= 44,96 \text{ mW} \times 0,9 \times 80\% = 32,37 \text{ mW}$$

Setelah didapatkan nilai I_n IBT Driyorejo selanjutnya bisa dihitung *setting* arus pada *Over Current Relay* (OCR) dengan persamaan (4). menjadi sebagai berikut:

$$\begin{aligned} I_{set} &= 1.2 \times I_n \dots \dots \dots (4) \\ &= 1.2 \times 412 \text{ Ampere} \\ &= 494.4 \text{ Ampere (dibulatkan menjadi } I_{set \text{ ocr}} = 500 \text{ A)} \end{aligned}$$

Langkah berikutnya yaitu menghitung waktu kerja pada *Over Current Relay* (OCR). Waktu kerja OCR diset +/- 1 (satu) detik (toc) pada arus hubung singkat 2 fasa maksimum di lokal bus.

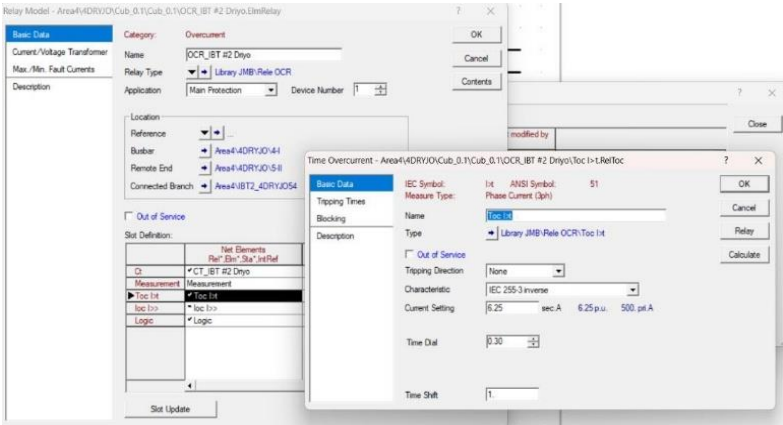
Tabel 1. Deklarasi Kesiapan Busbar

UPT	Gardu Induk	Busbar	Data Penghantar			Arus Hubung Singkat (kA)		
			Rasio Teg (kV)	Jenis Konduktor	Luas Penampang (mm ²)	Nama GI- Nama BUS	Short Circuit Level 3 Ph (kA)	Short Circuit Level 1 Ph (kA)
UPT MALANG	GIS 150KV DRIYOREJO	BUSBAR B 150KV	150	GIS	1,25	GIS 150KV DRIYOREJO-BUS 5-I	4,45	3,01
UPT MALANG	GIS 150KV DRIYOREJO	BUSBAR A 150KV	150	GIS	1,25	GIS 150KV DRIYOREJO-BUS 5-II	4,45	3,01

$$TMS_{OC}150 = \frac{\left(\frac{hs20150}{I_{setoc}150}\right)^{0.02}-1}{0.14} \times t_{oc}150.....(5)$$

$$TMS_{OC}150 = \frac{\left(\frac{4.45kA}{500}\right)^{0.02}-1}{0.14} \times t_{oc}150 = 0.32 SI$$

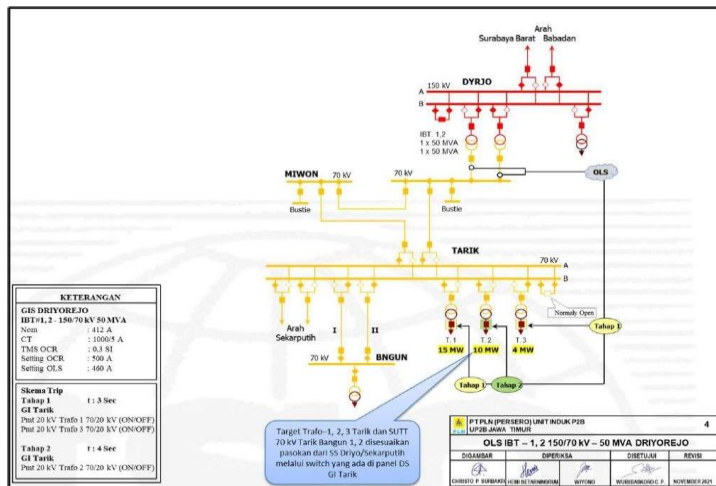
Selanjutnya memasukkan data *setting* OCR hasil perhitungan pada aplikasi DiGSILENT. Tampilan *setting* OCR pada aplikasi DiGSILENT disajikan pada Gambar 6 berikut,



Gambar 6. Setting OCR IBT Driyorejo pada Aplikasi DiGSILENT

2.5 Desain Skema Pertahanan *Defence Scheme* OLS IBT #1 & #2 Driyorejo

Sejak tahun 2020 IBT #1 & #2 Driyorejo sudah terpasang skema pertahanan sistem dengan metode OLS. *Setting* arus OLS yang diterapkan sebesar 460 A. Dengan jumlah tahapan sebanyak 2 (dua) tahap dengan total target sebanyak 2 (dua) Trafo Distribusi pada tahap 1 (satu) dan 1 (satu) Trafo Distribusi pada tahap 2 (dua). Jumlah beban target OLS tahap 1 sd tahap 2 adalah 29 MW. Dengan *Setting* waktu kerja 3 sec pada tahap 1 dan 4 sec pada tahap 2. Skema OLS lama / eksisting tersaji pada Gambar 7.



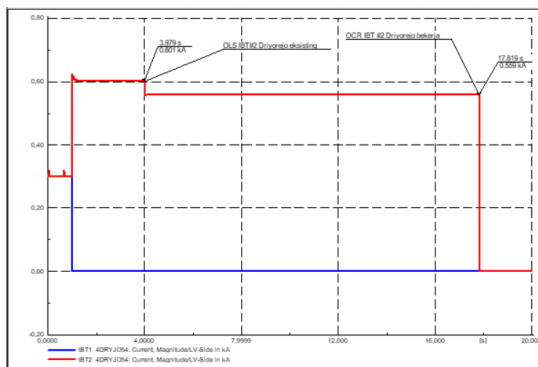
Gambar 7. Skema OLS IBT 1,2 150/70 kV – 50 MVA GI Driyorejo Eksisting
(sumber : Buku DS tahun 2021)

Dengan adanya pertumbuhan beban normal pada wilayah Jawa Timur serta adanya program *Incentive Captive Acquisition*, maka akan berdampak pada meningkatnya pembebanan instalasi khususnya di kawasan industri Driyorejo +/- 38 MVA. Sehingga dalam penelitian ini akan dilakukan analisis dan review sekaligus penyesuaian target dan juga tahapan pada skema OLS eksisting berbasis aplikasi DiGSILENT.

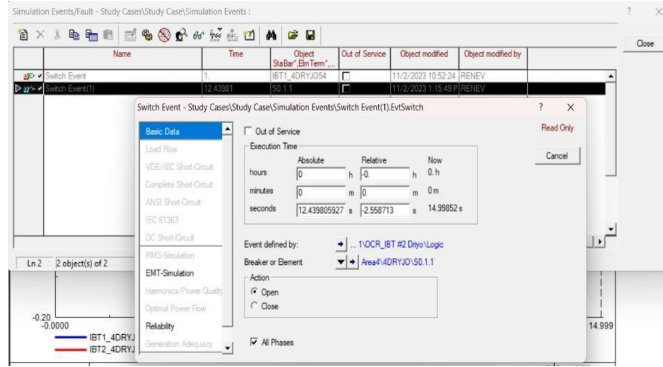
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Kontingensi N-1 setelah *Captive Power Acquisition* pada Tahun 2023 dengan menggunakan skema Eksisting

Pada pembebanan tahun 2023 dan setelah masuknya program *Captive Power Acquisition* kemudian dilakukan studi kontingensi N-1 pada IBT #1 Driyorejo maka pembebanan IBT #2 Driyorejo yang semula berbeban 300 A langsung meningkat mencapai 600 A atau setara dengan 150% dari Inominalnya. Hasil studi kontingensi N-1 setelah masuknya program *Captive Power Acquisition* dan sebelum diimplementasi skema pertahanan sistem dengan metode *Over Load Shedding* (OLS).

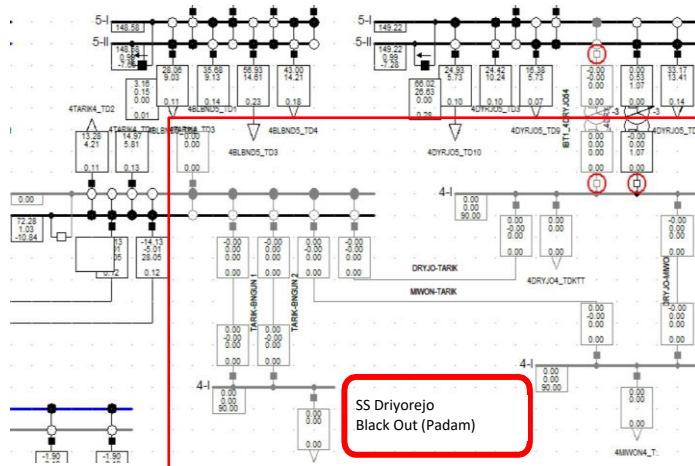


Gambar 8. Grafik Hasil Studi Kontingensi N-1 IBT Driyorejo Tahun 2023 dengan Skema OLS Eksisting



Gambar 9. *Over Current Relay* IBT #2 Driyorejo Bekerja

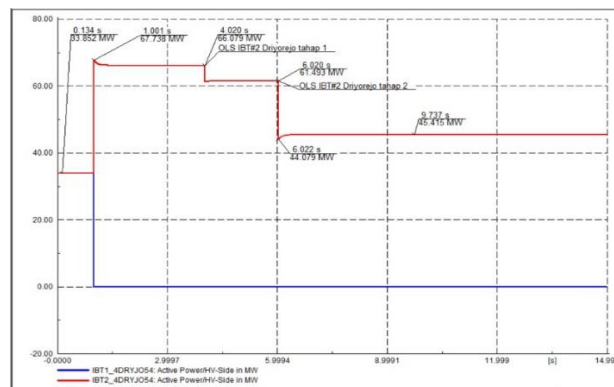
Pada Gambar 9 menjelaskan OCR IBT #2 Driyorejo bekerja dan mengakibatkan trip-nya IBT #2 sehingga semua beban Subsistem 70 kV Driyorejo mengalami padam total / *black out*. Pada Gambar 10 memperlihatkan semua beban konsumen industri / KTT di sistem 70 kV Driyorejo yang dipasok dari IBT #1 & IBT #2 Driyorejo padam. Dengan total beban padam sebesar 600 A atau 78 MW.



Gambar 10. Pemadaman Beban pada Subsistem 70 kV Driyorejo

3.2 Kontingensi N-1 setelah *Captive Power Acquisition* pada Tahun 2023 dengan menggunakan skema Eksisting

Pada saat terjadi trip IBT #1 Driyorejo maka pembebanan IBT #2 Driyorejo mencapai 600 A (78 MW) atau setara dengan 150% Inominal IBT. Sehingga IBT #2 Driyorejo mengalami *over load* dan berhasil mengerjakan skema OLS tahap 1 pada waktu 3 detik dan tahap 3 pada waktu 5 detik setelah Tripnya IBT #1 pada detik ke-1. Dengan total beban padam pada saat OLS bekerja sebesar 222 A atau setara dengan 22 MW.



Gambar 11. Grafik Beban Padam pada saat OLS Bekerja

Dengan diimplementasikannya skema pertahanan menggunakan metode *Over Load Shedding* (OLS) maka pemadaman beban yang terjadi hanya di sebagian beban subsistem 70 kV Driyorejo. Atau dengan kata lain skema pertahanan / *Defense Shceme* OLS pada IBT Driyorejo berhasil mengantisipasi pemadaman meluas pada subsistem 70 kV Driyorejo.

3.3 Perhitungan *Gain Saving*

Dalam penyusunan penelitian ini, dengan telah diimplementasikannya skema pertahanan system menggunakan metode *Over Load Shedding* (OLS) pada IBT 150/70 kV Driyorejo, maka dapat dihitung *Gain Saving* / keuntungan yang didapatkan dari implementasi desain skema pertahanan. *Gain Saving* / keuntungan merupakan selisih kerugian ekonomis sebelum diimplementasikan dengan kerugian ekonomis saat sudah terimplementasikan skema pertahanan dengan metode OLS. Dengan menggunakan asumsi sebagai berikut :

1. IBT Driyorejo berbeban @ 300 A $\approx$ 34 MW.
2. Saat terjadi N-1 IBT#1 Driyorejo maka beban IBT #2 mencapai +/- 623 A (78 mW) sehingga OCR bekerja.
3. Saat terjadi N-1 IBT#1 Driyorejo dan sudah terpasang OLS maka beban padam mencapai 222 A (22 mW).
4. Penormalan gangguan selama 1 jam.
5. Tarif dasar listrik pelanggan TR / TM (Rp./kWh) = 1.700 (sumber ; website pln.co.id).

Maka kerugian Ekonomis dapat dihitung sebagai berikut :

$$ENS = Z \text{ Gangguan (kW)} \times \text{Durasi (jam)}$$

$$\text{Kerugian Ekonomis} = ENS \times TDL$$

Kerugian ekonomis (sebelum OLS dimplementasikan)

$$= ENS \times TDL$$

$$= (\sum \text{Beban IBT\#2 sebelum trip (kW)} \times \text{durasi (jam)}) \times TDL$$

$$= ((78 \times 1.000) \text{ kW} \times 1 \text{ jam} \times 1.700$$

$$= \text{Rp } 132.600.000$$

Kerugian ekonomis (setelah OLS dimplementasikan)

$$= ENS \times TDL$$

$$= (\sum \text{Beban IBT\#2 sebelum trip (kW)} \times \text{durasi (jam)}) \times TDL$$

$$= ((22 \times 1.000) \text{ kW} \times 1 \text{ jam} \times 1.700$$

$$= \text{Rp } 37.400.000$$

Gain Saving / keuntungan yang merupakan selisih kerugian ekonomis sebelum diimplementasikan OLS dengan kerugian ekonomis saat sudah terimplementasikan OLS bisa dihitung sebagai berikut:

Gain Saving = Kerugian ekonomis sebelum OLS dimplementasikan - Kerugian ekonomis (setelah OLS dimplementasikan)

$$= \text{Rp. } 132,6 \text{ jt} - \text{Rp. } 37,4 \text{ jt}$$

$$= \text{Rp. } 95,2 \text{ jt / jam.}$$

Dari perhitungan diatas terlihat bahwa dengan diimplementasikannya skema pertahanan sistem / *Defense Shceme* baru berbasis aplikasi DiGSILENT dapat menghasilkan *Gain Saving* sebesar Rp. 95.200.200 per jam.

4. KESIMPULAN

Penempatan skema pertahanan dengan metode OLS dari hasil Studi aliran daya dan kontingensi berbasis *software* DiGSILENT, paling tepat dipasang pada IBT #1 dan #2 150/70 kV – 50 MVA GI Driyorejo. Hasil perhitungan koordinasi *setting* dengan proteksi *Over Current Relay* (OCR) pada IBT #1 dan #2 150/70 kV – 50 MVA GI Driyorejo, maka setting arus pada skema pertahanan dengan metode OLS pada 460 A (1,1 x Inom IBT) dengan setting waktu pada tahap 1 selama 3 sec dan grading waktu tiap tahapan 1 sec sampai dengan tahap 4. Total penambahan target beban skema OLS disesuaikan dengan penambahan potensi KTT yaitu min 38 MVA. Implementasi skema OLS di Subsistem 150/70 kV Driyorejo dapat menghasilkan *Gain Saving* sebesar Rp. 95.000.000 / jam.

5. SARAN

Saran serta rekomendasi dari penelitian ini agar menjadi lebih baik kedepannya sebagai berikut:

1. Penggantian IBT #1 dan #2 Driyorejo 150/70 kV dari 50 mVA menjadi 100 MVA.
2. Pekerjaan terencana / *plan outage* (PO) pada IBT 150/70 kV Driyorejo dilakukan pada saat beban KTT *off* / minimum.
3. Studi dan kajian ini diharapkan dapat dilanjutkan dan dikembangkan disemua wilayah tidak hanya di Wilayah Jawa Timur saja.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Syahputra, *Diktat Proteksi Sistem Tenaga Listrik*. Yogyakarta, 2022. [Daring]. Tersedia pada: https://elektro.umy.ac.id/wp-content/uploads/2023/04/Ramadoni-Syahputra__Prwoteksi-Sistem-Tenaga-Listrik-DIKTAT.pdf
- [2] D. Aggrianto, "Peran Pt. Pln (Perusahaan Listrik Negara) Dalam Pelayanan Listrik Dikampung Biatan Bapinang Kecamatan Biatan Lempake Kabupaten Berau," *eJournal Ilmu Pemerintah.*, vol. 2, no. 2, hal. 1–14, 2014.
- [3] K. R. Firdaus, H. Suyono, T. Nurwati, dan R. Nur Hasanah, "Skema Pertahanan dalam Kondisi Kontingensi N-2 Saluran Pemalang-Ungaran dan Depok-Tasikmalaya," *Jambura J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 6, no. 1, hal. 464–470, 2021, doi: 10.30736/je-unisla.v6i1.593.
- [4] F. Akbar dan T. Wrahatnolo, "Dampak Gangguan Beban Lebih Terhadap Overload Shedding Gardu Induk 150kV Sukolilo, Surabaya," *Jambura J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 5, no. 2, hal. 157–163, 2023, doi: 10.37905/jjee.v5i2.20137.
- [5] E. H. Harun, Y. Mohamad, dan R. d. Indriyani, "Analisis Aliran Daya Pada Sistem Tenaga Listrik Sulawesi Utara dan Gorontalo Menggunakan Metode Fast Decoupled," vol. 1, no. 1, 2019, doi: <https://doi.org/10.37905/jjee.v1i1.2723>.
- [6] C. I. Cahyadi, K. Atmia, dan A. Fitriani, "Analisis Pengaruh Rugi-Rugi Daya Pada Jaringan Transmisi 150 kV Menggunakan Software Etap 12.6," *Jambura J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 4, no. 2, hal. 126–130, 2022, doi: 10.37905/jjee.v4i2.13306.
- [7] E. H. Harun, M. T. Adam, dan J. Ilham, "Perbaikan Kualitas Tegangan Distribusi 20 kV di Gardu Hubung Lemito Melalui Studi Aliran Daya," *Jambura J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 4, no. 2, hal. 143–147, 2022, doi: 10.37905/jjee.v4i2.13825.
- [8] M. Y. Ihza Al Hakam, M. Fahmi Hakim, dan S. Djulihenanto, "Kajian Skema Baru Over Load Shedding Di Gitet Paiton," *J. Tek. Ilmu Dan Apl.*, vol. 2, no. 2, hal. 36–41, 2022, doi: 10.33795/jtia.v2i2.61.
- [9] D. Zul dan T. Wrahatnolo, "Analisa Under Voltage Load Shedding Pada Saat Terjadi Gangguan Beban Lebih Pada Jaringan Distribusi 20 Kv PT. PLN UPJ Gedangan Menggunakan PSO Algorithm," *J. Tek. Elektro*, vol. 9, no. 2, hal. 6, 2020, doi: <https://doi.org/10.26740/jte.v9n2.p%25p>.
- [10] S. Thaha, A. Adiyanti, U. Usman, dan A. R. Sultan, "Implementasi Over Load Shedding (OLS) Pada Interbus Transformator (IBT) #3 31.5 Mva Dan IBT #5 31.5 MVA Di GI Tello 150/66 kV Untuk Menjaga Keandalan Suplai Ke GI Borongloe, GI Daya Dan GI Mandai," *J. Teknol. Elekterika*, vol. 19, no. 1, hal. 64, 2022, doi: 10.31963/elekterika.v6i1.3660.
- [11] R. Abubakar, *Pengantar metodologi penelitian*, Cetakan Pe. Yogyakarta: SUKA-Press UIN Sunan Kalijaga Jl., 2021.
- [12] Hardani *et al.*, *Metode Penelitian Kualitatif dan Kuantitatif*, Cetakan I. Yogyakarta: CV. Pustaka Ilmu, 2020.
- [13] G. Kaur, "Research Methodology and Statistical Analysis," *Int. J. Sci. Res.*, vol. 13, no. 7, hal. 586–589, 2024, doi: 10.21275/sr24710133153.
- [14] A. P. Widyassari *et al.*, "Review of automatic text summarization techniques & methods," *J. King Saud Univ. - Comput. Inf. Sci.*, vol. 34, no. 4, hal. 1029–1046, 2022, doi: 10.1016/j.jksuci.2020.05.006.
- [15] A. P. Widyassari, E. Noersasongko, A. Syukur, dan Affandy, "The 7-Phases Preprocessing Based On Extractive Text Summarization," in *2022 Seventh International Conference on Informatics and Computing (ICIC)*, Denpasar, Bali: IEEE, 2022, hal. 1–8. doi: 10.1109/ICIC56845.2022.10006998.keywords.