

Pengaruh Penyambungan PLTMH Terhadap Tegangan Jatuh pada Penyulang BBLA

Anto Carmanto¹, Ojak Abdul Rozak^{1*}, Yusup Muhammad Syakir¹

¹Fakultas Teknik, Teknik Elektro, Universitas Pamulang, Jl. Raya Puspipetek No. 46, Kel. Buaran, Kec. Serpong, Kota Tangerang Selatan. Banten 15310, Indonesia

Email: dosen01312@unpam.ac.id, dosen01314@unpam.ac.id

(* : coresponding author)

Abstrak—Pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) merupakan pembangkit alternatif yang ramah lingkungan. di PT. PLN ULP Pamempeuk ada salah satu penyulang yang di sinkronisasikan dengan PLTMH untuk menambah daya pada penyulang. Dalam beberapa saluran tersebut terdapat jatuh tegangan yang melebihi batas standar dari sesuai SPLN nomor 73 tahun 1987 yaitu 5%. Pada skripsi ini dilakukan perhitungan besarnya jatuh tegangan sebelum dan sesudah di interkoneksi dengan PLTMH. Dari hasil perhitungan sebelum di interkoneksi dengan PLTMH terdapat empat gardu yang mengalami jatuh tegangan yaitu Gardu WNGC-1018 sebesar 6,585%, BOJ -441 sebesar 5,825%, SUK – 024 sebesar 6,815 %, TLL-882 sebesar 6,110 %. Untuk mengurangi tegangan jatuh selain disinkronkan dengan PLTMH PLN juga melakukan penambahan dua gardu yaitu gardu CPKP – 999 dengan kapasitas trafo 100 kVA untuk mengurangi jatuh tegangan pada gardu WNGC – 1018 menjadi 2,514 %, kemudian gardu KCU-808 dengan kapasitas trafo 100kVA untuk mengurangi tegangan jatuh pada gardu SUK-024 menjadi 4,284%. Kemudian hasil dari perhitungan sesudah di interkoneksi dengan PLTMH ada dua gardu yang masih mengalami tegangan jatuh yaitu sebesar 1.272,076 volt dengan persentase 6,360% di gardu BOJ - 441 dan 1.243,193 Volt dengan persentase 6,215% di gardu TLL- 882. Lalu solusi perbaikan yang dilakukan adalah dengan melakukan penempatan ulang lokasi gardu. Gardu yang mengalami perubahan lokasi adalah gardu BOJ – 441 dari 22,900 kms menjadi 11,484 dan gardu TLL-882 dari 23,650 kms menjadi 9,802 kms. Perubahan lokasi ini mengurangi jatuh tegangan pada dua gardu tersebut yang dimana sebelumnya gardu BOJ-441 memiliki tegangan jatuh menjadi 319,856 volt dengan turunnya persentase dari 6,360% menjadi 1,599 % dan pada gardu TLL-882 tegangan jatuh menjadi 213,533 volt dengan turunnya persentase dari 6,215% menjadi 1,067%..

Kata Kunci: Penyulang BBLA, PLTMH, Tegangan Jatuh

Abstract—Micro hydro power plants (PLTMH) are environmentally friendly alternative plants at PT. PLN ULP Pamempeuk has one of the feeders that is synchronized with PLTMH to increase power to the feeder. In some of these channels, there is a voltage drop that exceeds the standard limit of SPLN number 73 in 1987, it was 5%. In this thesis, a calculation was made of the magnitude of the voltage drop before and after it was interconnected with the PLTMH. From the calculation results before being interconnected with the PLTMH, there were four substations that experienced voltage drops, namely Substation WNGC-1018 by 6.585%, BOJ-441 by 5.825%, SUK-024 by 6.815%, and TLL-882 by 6.110%. To reduce the voltage drop, in addition to being synchronized with PLTMH, PLN also added two substations, namely the CPKP-999 substation with a transformer capacity of 100 kVA to reduce the voltage drop at the WNGC-1018 substation to 2.514%, then the KCU-808 substation with a transformer capacity of 100kVA to reduce the voltage drop at the SUK-024 substation to 4.284%. Then, the results of the calculation after being interconnected with the PLTMH, there are two substations that are still experiencing voltage drops, namely 1,272,076 volts with a percentage of 6.360% at substation BOJ - 441 and 1,243,193 Volts with a percentage of 6.215% at substation TLL-882. Then, the repair solution that is carried out is to relocate the substation location. The substations that have changed locations are BOJ substation – 441 from 22,900 kms to 11,484 and TLL-882 substation from 23,650 kms to 9,802 kms. This location change reduces the voltage drop in the two substations, where previously the BOJ-441 substation had a voltage drop to 319.856 volts with a percentage decrease from 6.360% to 1.599% and in the TLL-882 substation, the voltage fell to 213.533 volts with a percentage decrease from 6.215% to 1.067%.

Keywords: BBLA Feeder, PLTMH, Voltage Drop

1. PENDAHULUAN

Proses pembangkitan tenaga listrik skala besar umumnya dilakukan oleh industri pembangkit tenaga listrik dengan menggunakan berbagai sumber energi seperti air, minyak, dan energi matahari. Pembangkit listrik biasanya terletak jauh dari pemukiman, pabrik dan area komersial. Dengan jauhnya jarak antara pembangkit dan pusat beban menimbulkan kerugian yang sangat besar bagi perusahaan (Yuniarti, 2019).

Kerugian ini dikarenakan panjangnya saluran sehingga dalam Mendistribusikan listrik melalui transmisi dan distribusi hingga sampai ke beban mengalami tegangan jatuh. Selisih antara tegangan yang di kirim dan tegangan yang di terima dikarenakan adanya impedansi pada saluran. Tegangan jatuh yang dihasilkan jika semakin besar akan mempengaruhi mutu penyaluran energi listrik. Prediksi kebutuhan Tenaga listrik terutama di Indon esia dari waktu ke waktunya semakin meningkat. Oleh sebab itu PT. PLN (Persero) selaku penyedia tunggal dalam pelayanan listrik di Indonesia selalu dituntut untuk Semakin menambah kualitas dan kuantitas dalam pelayanan kepada konsumen (Sari & Putri Kastio, 2020).

Pembangkit listrik air yang berkapasitas kecil atau biasa kita kenal dengan Mikrohidro (PLTMH) adalah teknologi yang memanfaatkan tenaga (aliran air) yang berada dekat dengan pusat beban untuk di jadikan energi listrik, PLTMH termasuk ke dalam Renewable energi atau energi terbarukan sehingga sangat cocok untuk di kembangkan terutama di daerah pedesaan. Di kecamatan Bungbulang ada satu pembangkit listrik tenaga mikrohidro yaitu PLTMH Cirompang dengan kapasitas 2x4 MW yang langsung di hubungkan ke jaringan distribusi. Jaringan distribusi yang paling dekat dengan PLTM Cirompang adalah penyulang BBLA.

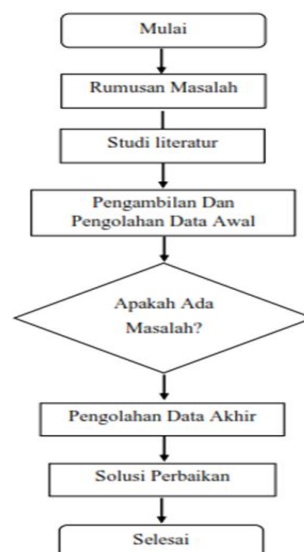
Penyulang BBLA adalah penyulang yang di aliri tenaga listrik oleh GI Sumadra. GI Sumadra berada di area kerja PT. PLN (Persero) ULP Pamampeuk. Penyulang BBLA mencakup pelanggan yang berada di wilayah Bungbulang, Mekarmukti, Caringin. Panjang 259.942 kms dan memenuhi kebutuhan listrik yang tercatat sebanyak 36.605 konsumen.

Penelitian tentang topik ini menganalisis bagaimana pengaruh penyambungan PLTMH terhadap tegangan jatuh pada penyulang. Dalam Penelitian ini menggunakan metode Survei langsung di lapangan. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis teknis perhitungan drop tegangan pada saluran distribusi tenaga listrik di penyulang BBLA sebelum dan sesudah sinkronisasi dengan PLTMH, Apakah dengan penyambungan PLTMH mempengaruhi terhadap penurunan tegangan dan apakah sudah sesuai standar dan bagaimana cara meminimalkannya sehingga dampaknya dapat diketahui dan segera mengambil tindakan.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Tahapan Penelitian

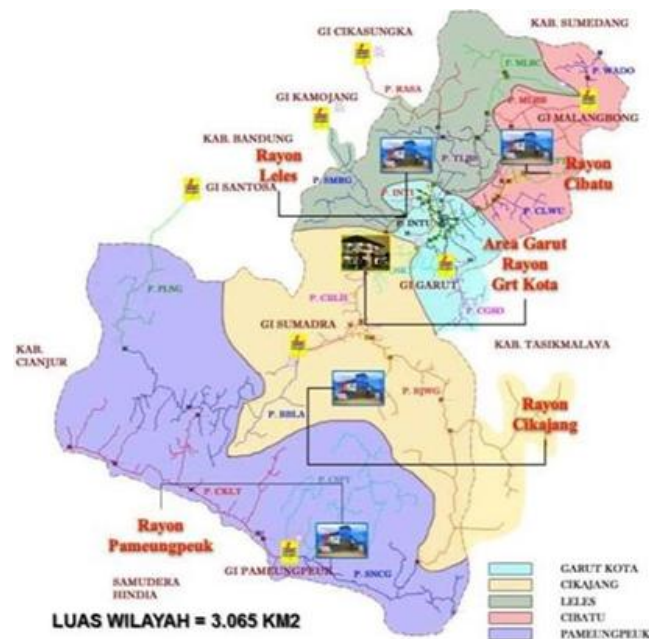
Tahapan penelitian yang menggambarkan urutan logis untuk mendapatkan hasil penelitian sesuai dengan harapan dan gambaran sistem. Gambar 1 menunjukkan tahapn penelitian secara lengkap, meliputi: perumusan masalah dan studi literaur sebagai dasar penelitian, pengambilan dan pengolahan data awal sebagai identifikasi masalah yang dihadapi, pengolahan data akhir dan solusi perbaikan.



Gambar 1. Tahapan Penelitian

2.2 Lokasi dan Objek Penelitian

Pada penelitian ini objek yang di gunakan adalah penyulang BBLA. Penyulang ini adalah bagian dari jaringan distribusi yang di suplai oleh GI Sumadra. Feeder BBLA juga ditenagai oleh pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH) dengan output 2x4 MW. GI Sumadra memiliki dua buah trafo daya dengan daya keluaran sebesar 30 mVA. Trafo dipasang di GI Sumadra dengan sistem 150 dan 20 kV. Langkah pertama pada penelitian ini adalah mengumpulkan data berupa SLD Jaringan, jenis kabel, luas penampang penyulang, panjang penyulang, kapasitas trafo distribusi dan beban trafo. PLN Rayon Pameungpeuk berlokasi di Kampung Mancagahar, Kecamatan Pameungpeuk, Kabupaten Garut, Provinsi Jawa Barat 44175. Berikut adalah denah lokasi dari PLN Rayon Pameungpeuk ditunjukan Gambar 2.



Gambar 2. Wilayah PLN ULP Pameungpeuk

2.3 Perancangan Penelitian

Adapun metode penulisan pada skripsi ini merupakan urutan sistematis tahapan penyelesaian pekerjaan dari awal pekerjaan sampai akhir. Proses penelitian memerlukan metode penelitian agar terlaksana dengan apa yang direncanakan dan mencapai hasil yang maksimal. Pada penelitian ini penyusun melakukan metode survei untuk mendapatkan nilai-nilai nyata pada saluran distribusi. Dalam melakukan penelitian ini menggunakan metode mulai dari merumuskan masalah, menentukan objek penelitian (penyulang), mempelajari literatur, mengumpulkan data, kemudian melakukan pengolahan data. Dari hasil perhitungan dapat memenuhi standar SPLN. Hasil analisa memberikan rujukan, dan diakhiri dengan kesimpulan dan saran.

2.4 Pengambilan Data

Pengambilan data ini adalah data penyulang sebelum dan sesudah di interkoneksi pada PLTMH. Data ini berasal dari PT PLN (Persero) ULP Pamempeuk. Pengambilan data ini bertujuan untuk memperoleh informasi mengenai tofik yang sesuai dengan bahasan pada penelitian ini sehingga untuk mendapatkan data penunjang di butuhkan Survei di lapangan. Data yang diperlukan adalah sebagai berikut: 1) Panjang penyulang, 2) Luas dan jenis penyulang, 3) Beban puncak penyulang, 4) Tegangan pada Gardu Induk, dan 5) Kapasitas Trafo.

2.5 Pengolahan Data

Pada tahap pengolahan data di karenakan data penyulang berupa angka maka dalam penelitian ini penulis menggunakan metode kuantitatif dan rumus-rumus sebagai berikut:

1. Mencari nilai besar arus phasa (P_{Phasa}), Untuk mencari nilai besar arus phasa dapat menggunakan persamaan (1), dengan S sebagai beban puncak trafo, V_{LL} = tegangan JTM dan 3 merupakan jumlah kawat.

$$P_{Phasa} = \frac{S}{3 \times V_{LL}} \quad (1)$$

2. Mencari nilai resistansi dan rektansi total, untuk mencari nilai resistansi total dan reaktansi total dapat menggunakan persamaan (2) untuk R merupakan resistansi saluran (Ω) dan persamaan (3) untuk X sebagai reaktansi saluran (Ω) sementara kms merupakan panjang saluran.

$$R_{Total} = R \times kms \quad (2)$$

$$X_{Total} = X \times kms \quad (3)$$

3. Menghitung drop voltage pada saluran, untuk mencari nilai jatuh tegangan pada sistem tiga fasa pada jaringan distribusi primer, dapat digunakan persamaan (4)

$$\Delta V = \sqrt{3} \times I \times L (R \cos \theta + \sin \theta) \quad (4)$$

4. Menghitung daya yang hilang pada distribusi primer

- a. Daya aktif, persamaan (5) merupakan nilai rugi-rugi daya aktif pada saluran.

$$\Delta P = 3 \times I^2 \times R \quad (5)$$

- b. Daya rekatif, Persamaan dari nilai rugi daya reaktif pada saluran.

$$\Delta Q = 3 \times I^2 \times X \quad (6)$$

5. Mencari persentase jatuh tegangan pada saluran, Besarnya nilai persentase jatuh tegangan pada saluran distribusi primer dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (7) dengan

$$\% \Delta V = \frac{\Delta V}{V_{LL}} \times 100\% \quad (7)$$

3. ANALISA DAN PEMBAHASAN

Data yang diperoleh dari PT.PLN UPL Pamempeuk, kemudian di lakukan pengolahan data. data yang diperoleh yaitu data panjang saluran dan hasil ukur transformator distribusi pada penyulang BBLA. Untuk melakukan perbandingan sebelum dan sesudah sinkronisasi dengan PLTM maka dari itu diperlukan data penyulang BBLA seperti panjang saluran, ukuran kawat, bahan dan jenis kabel. Data – data ini nantinya akan menentukan besar kecilnya tegangan jatuh pada penyulang.

Pada SPLN No.72 tahun 1987 PLN menetapkan bahwa tegangan jatuh yang di perbolehkan adalah sebesar 5% dari tegangan kerjanya. Tegangan kirim penyulang BBLA sebesar 20 kV maka tegangan yang diterima minimal 19 kV agar tidak terjadi tegangan jatuh yang besar. Oleh karena itu untuk mengetahui nilai tegangan jatuh yang terjadi pada saluran distribusi kita memerlukan data yang berisi mengenai saluran distribusi primer dan trafo yang di pasang serta berapa jumlah daya yang tersalurkan.

Tabel 1. Data Penyulang BBLA sebelum Di Interkoneksi dengan PLTMH

No.	ID Gardu	Lokasi	L (kms)	Ukuran Kawat (mm ²)	Tegangan JTM (kV)	Jenis Kabel	Bahan Kabel
1	NGRK-433	Nagrak	1.020	3 x 150	20	AAACS	Alumunium
2	BBL-431	Bungbulang	7.310	3 x 70	20	AAAC	Alumunium
3	HNJG-432	Hanjuang	5.020	3 x 150	20	AAACS	Alumunium
4	CLH-444	Citalahab	7.300	3 x 150	20	AAACS	Alumunium
5	CBTP-1013	Cibitung	4.130	3 x 70	20	AAAC	Alumunium

6	CRKP-1011	Cijeruk	0.610	3 x 70	20	AAAC	Alumunium
7	WNGC-1018	Wangun	28.990	3 x 150	20	AAACS	Alumunium
8	PTU-845	Pintu	10.600	3 x 70	20	AAAC	Alumunium
9	BTH-892	Batu Iuh	10.500	3 x 70	20	AAAC	Alumunium
10	BOJ-441	Bojong	22.900	3 x 150	20	AAACS	Alumunium
11	GAN-053	Ganea	15.810	3 x 70	20	AAAC	Alumunium
12	SUK-024	Sukajadi	26.852	3 x 150	20	AAACS	Alumunium
13	RGO-871	Rancagenggong	13.230	3 x 70	20	AAAC	Alumunium
14	CLA-449	Ciloa	4.420	3 x 70	20	AAAC	Alumunium
15	PLP-004	Pasir Lambir	12.360	3 x 70	20	AAAC	Alumunium
16	TLL-882	Tegallega	23.650	3 x 70	20	AAAC	Alumunium
17	WMD-874	Warungmindi	16.710	3 x 150	20	AAACS	Alumunium
18	WJY-805	Wangun Jaya	19.000	3 x 150	20	AAACS	Alumunium

Tabel 1 adalah data teknis penyulang BBLA sebelum di sinkronisasikan dengan PLTMH. Data panjang saluran, ukuran kawat dan jenis kabel nantinya digunakan untuk mencari nilai resistansi dan reaktansi yang digunakan untuk menghitung nilai jatuh tegangan.

Tabel 2. Data Hasil Ukur Trafo pada Penyulang BBLA sebelum di Interkoneksi dengan PLTMH

No.	ID Gardu	kVA Trafo	kVA Trafo Saat Beban Puncak	cos θ
1	NGRK-433	50	9.515	0.85
2	BBL-431	250	229.351	0.85
3	HNJG-432	100	37.670	0.85
4	CLH-444	100	30.721	0.85
5	CBTP-1013	50	5.318	0.85
6	CRKP-1011	50	28.752	0.85
7	WNGC-1018	160	151.281	0.85
8	PTU-845	50	28.121	0.85
9	BTH-892	50	19.944	0.85
10	BOJ-441	250	210.160	0.85
11	GAN-053	50	20.435	0.85
12	SUK-024	200	182.513	0.85
13	RGO-871	50	7.975	0.85
14	CLA-449	100	40.623	0.85
15	PLP-004	100	59.759	0.85
16	TLL-882	160	131.769	0.85
17	WMD-874	160	122.921	0.85
18	WJY-805	160	130.918	0.85

Tabel 2 adalah data hasil pengukuran trafo pada penyulang BBLA. Data beban puncak pada trafo digunakan untuk mencari besar arus phasa. Berdasarkan hasil perhitungan untuk data trafo distribusi pada Tabel 1 nomor 7 dengan ID Gardu WNGC-1018 adalah:

1. Besar arus phasa, untuk menghitung besar arus phasa dapat menggunakan persamaan (1) adalah beban puncak yang terdapat pada Tabel 2 dengan nomor urut 7 dan V_{LL} merupakan besar tegangan JTM yang terdapat pada Tabel 1 dengan nomor urut 7, maka didapat arus phasa sebesar 2.52A.

2. Besar tegangan jatuh dengan menghitung besarnya resistansi total menggunakan persamaan (2) dengan R adalah nilai konstanta jaringan sesuai dengan jenis dan ukuran kabel pada tabel nomor urut 7, maka didapatkan resistansi total sebesar 6.27 Ohm. Sementara menghitung besarnya reaktansi total menggunakan persamaan (3), sehingga didapat reaktansi total sebesar 9.581 Ohm. Dengan demikian dapat diketahui tegangan jatuh menggunakan persamaan (4) dan didapatkan sebesar 1,317.100 volt.
3. Besar rugi daya, dengan menghitung besarnya rugi daya aktif menggunakan persamaan (5) dan besarnya resistansi total 6.27 Ohm didapatkan rugi daya aktif sebesar 119.488kW. Sementara menghitung besarnya rugi daya reaktif menggunakan persamaan (5) dan besarnya reaktansi total sebesar 9.581 Ohm didapatkan rugi daya reaktif sebesar 182.674kVAR.
4. Untuk mengetahui persentase tegangan jatuh yang terjadi kita bisa menggunakan persamaan (7) yaitu tegangan jatuh dibagi 20 kV x 100%., maka didapatkan persentase tegangan jatuh sebesar 6.585%.

Dari perhitungan di atas, di dapatkan hasil persentase tegangan jatuh dengan persentase 6.585% yang melebihi jatuh tegangan yang di perbolehkan oleh PLN yaitu sebesar 5%, selanjutnya didapatkan hasil perhitungan seluruh data yang ada pada Tabel 3.

Tabel 3. Data Hasil Analisa Tegangan Jatuh dari Penyulang BBLA Sampai Trafo Distribusi Sebelum di Interkoneksikan dengan PLTMH pada saat beban puncak

No.	ID Gardu	L (kms)	I (A)	R_T (Ω)	X_T (Ω)	$\sin \theta$	ΔP (W)	ΔQ (VAR)	ΔV (V)	% ΔV (%)
1	NGRK-433	1.020	0.158	0.220	0.431	0.53	0.009	0.014	0.102	0.050
2	BBL-431	7.310	3.822	3.68	2.521	0.53	38.617	28.905	203.192	1.010
3	HNJG-432	5.020	0.627	1.085	1.659	0.53	1.279	1.959	9.821	0.009
4	CLH-444	7.300	0.512	1.578	2.412	0.53	1.240	1.896	16.958	0.084
5	CBTP-1013	4.130	0.088	1.424	1.903	0.53	0.044	0.033	1.493	0.007
6	CRKP-1011	0.610	0.479	0.281	0.210	0.53	0.193	0.144	0.177	0.088
7	WNGC-1018	28.990	2.521	6.262	9.581	0.53	119.488	182.674	1,317.100	6.585
8	PTU-845	10.600	0.468	4.884	3.655	0.53	3.209	2.401	52.314	0.261
9	BTH-892	10.500	0.332	4.838	3.621	0.53	1.599	1.197	36.417	0.018
10	BOJ-441	22.900	3.502	4.950	7.898	0.53	182.120	290.583	1,165.875	5.829
11	GAN-053	15.810	0.340	7.285	5.810	0.53	2.256	2.014	86.322	0.431
12	SUK-024	26.852	3.041	5.805	8.874	0.53	161.048	246.191	1,363.062	6.815
13	RGO-871	13.230	0.132	6.096	4.563	0.53	0.318	0.238	22.988	0.114
14	CLA-449	4.420	0.677	2.036	1.524	0.53	2.799	2.095	13.155	0.065
15	PLP-004	12.360	0.995	5.695	4.283	0.53	16.914	12.770	151.466	0.757
16	TLL-882	23.650	2.196	10.897	8.156	0.53	157.649	117.649	1,222.046	6.110
17	WMD-874	16.710	2.048	3.612	5.522	0.53	45.449	69.482	345.972	1.729
18	WJY-805	19.000	2.168	4.107	6.279	0.53	57.911	88.538	486.499	2.432

Dari hasil perhitungan pada Tabel 3 sebelum diinterkoneksikan dengan PLTMH terjadi jatuh tegangan di beberapa gardu yang bisa dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Perbandingan Persentase Tegangan Jatuh Sebelum Sinkronisasi dengan PLTMH

No.	ID Gardu	L (kms)	ΔV (V)	% ΔV (%)	SPLN % ΔV (%)
1	WNGC-1018	28.990	1,317.100	6.585	5
2	BOJ-441	22.900	1,165.875	5.829	5
3	SUK-024	26.852	1,363.062	6.815	5
4	TLL-882	23.650	1,222.046	6.110	5

Tabel 4 menunjukkan bahwa sebelum interkoneksi dengan PLTMH ada empat gardu yang mengalami tegangan jatuh. Panjangnya saluran distribusi antar trafo dan tidak meratanya pembebanan trafo menjadi penyebab utama terjadinya tegangan jatuh. Untuk mengurangi terjadinya tegangan jatuh selain melakukan sinkronisasi dengan PLTMH PLN juga melakukan penambahan gardu. Penambahan gardu ini dilakukan untuk mengurangi tegangan yang terjadi pada gardu yang melebihi nilai standar pembebanan trafo yang diperbolehkan yaitu sebesar 80 % . Gardu yang di tambah adalah gardu CPKP-999 untuk mengurangi jatuh tegangan pada gardu WNGC-1018, gardu KCU-804 untuk mengurangi jatuh tegangan pada gardu SUK-204. Adanya penambahan gardu ini untuk memprediksi kebutuhan listrik diwaktu yang akan datang yang kita bisa ketahui kebutuhan listrik setiap tahunnya semakin meningkat.

Tabel 5. Data Penyulang BBLA Sesudah di Interkoneksi dengan PLTMH

No.	ID Gardu	Lokasi	L (kms)	Ukuran Kawat (mm ²)	Tegangan JTM (kV)	Jenis Kabel	Bahan Kabel
1	NGRK-433	Nagrak	1.020	3 x 150	20	AAACS	Alumunium
2	BBL-431	Bungbulang	7.310	3 x 70	20	AAAC	Alumunium
3	HNJG-432	Hanjuang	5.020	3 x 150	20	AAACS	Alumunium
4	CLH-444	Citalahab	7.300	3 x 150	20	AAACS	Alumunium
5	CBTP-1013	Cibitung	4.130	3 x 70	20	AAAC	Alumunium
6	CRKP-1011	Cijeruk	0.610	3 x 70	20	AAAC	Alumunium
7	WNGC-1018	Wangun	28.990	3 x 150	20	AAACS	Alumunium
8	CPKP-999	Cempaka	28.950	3 x 150	20	AAACS	Alumunium
9	PTU-845	Pintu	10.600	3 x 70	20	AAAC	Alumunium
10	BTH-892	Batu Iuh	10.500	3 x 70	20	AAAC	Alumunium
11	BOJ-441	Bojong	22.900	3 x 150	20	AAACS	Alumunium
12	GAN-053	Ganea	15.810	3 x 70	20	AAAC	Alumunium
13	KCU-804	Mekarbakti	19.352	3 x 150	20	AAACS	Alumunium
14	SUK-024	Sukajadi	26.852	3 x 150	20	AAACS	Alumunium
15	RGO-871	Rancagenggong	13.230	3 x 70	20	AAAC	Alumunium
16	CLA-449	Ciloa	4.420	3 x 70	20	AAAC	Alumunium
17	PLP-004	Pasir Lambir	12.360	3 x 70	20	AAAC	Alumunium
18	TLL-882	Tegallega	23.650	3 x 70	20	AAAC	Alumunium
19	WMD-874	Warungmindi	16.710	3 x 150	20	AAACS	Alumunium
20	WJY-805	Wangun Jaya	19.000	3 x 150	20	AAACS	Alumunium

Tabel 5 adalah data teknis penyulang BBLA sesudah disinkronisasikan dengan PLTMH. Data panjang saluran, ukuran kawat dan jenis kabel nantinya digunakan untuk mencari nilai resistansi dan reaktansi yang digunakan untuk menghitung nilai jatuh tegangan.

Tabel 6. Data Hasil Ukur Trafo pada Penyulang BBLA sesudah di Interkoneksi dengan PLTMH

No.	ID Gardu	kVA Trafo	kVA Trafo Saat Beban Puncak	cos θ
1	NGRK-433	50	11.275	0.85
2	BBL-431	250	237.652	0.85
3	HNJG-432	100	47.620	0.85
4	CLH-444	100	32.620	0.85
5	CBTP-1013	50	7.431	0.85

6	CRKP-1011	50	38.700	0.85
7	WNGC-1018	160	140.810	0.85
8	CPKP-999	100	85.511	0.85
9	PTU-845	50	32.521	0.85
10	BTH-892	50	23.144	0.85
11	BOJ-441	250	229.260	0.85
12	GAN-053	50	22.843	0.85
13	KCU-804	100	39.536	0.85
14	SUK-024	200	152.973	0.85
15	RGO-871	50	8.202	0.85
16	CLA-449	100	43.362	0.85
17	PLP-004	100	69.475	0.85
18	TLL-882	160	134.069	0.85
19	WMD-874	160	126.292	0.85
20	WJY-805	160	130.120	0.85

Tabel 6 adalah data hasil pengukuran trafo pada penyulang BBLA. Data beban puncak pada trafo digunakan untuk mencari besar arus fase. Berdasarkan hasil perhitungan untuk data trafo distribusi pada Tabel 5 nomor 11 dengan ID Gardu BOJ-441 adalah:

1. Besar arus fase, untuk menghitung besar arus fase dapat menggunakan persamaan (1) adalah beban puncak yang terdapat pada Tabel 6 dengan nomor urut 11 dan V_{LL} merupakan besar tegangan JTM yang terdapat pada Tabel 5 dengan nomor urut 11, maka didapat arus fase sebesar 3.821A.
2. Besar tegangan jatuh dengan menghitung besarnya resistansi total menggunakan persamaan (2) dengan R adalah nilai konstanta jaringan sesuai dengan jenis dan ukuran kabel pada tabel nomor urut 11, maka didapatkan resistansi total sebesar 4.950 Ohm. Sementara menghitung besarnya reaktansi total menggunakan persamaan (3), sehingga didapat reaktansi total sebesar 7.898 Ohm. Dengan demikian dapat diketahui tegangan jatuh menggunakan persamaan (4) dan didapatkan sebesar 1.272.076 volt.
3. Besar rugi daya, dengan menghitung besarnya rugi daya aktif menggunakan persamaan (5) dan besarnya resistansi total 4.950 Ohm didapatkan rugi daya aktif sebesar 216.076kW. Sementara menghitung besarnya rugi daya reaktif menggunakan persamaan (5) dan besarnya reaktansi total sebesar 7.898 Ohm didapatkan rugi daya reaktif sebesar 345.933kVAR.
4. Untuk mengetahui persentase tegangan jatuh yang terjadi kita bisa menggunakan persamaan (7) yaitu tegangan jatuh dibagi 20 kV x 100%., maka didapatkan persentase tegangan jatuh sebesar 6.585%.

Dari perhitungan di atas, di dapatkan hasil persentase tegangan jatuh dengan persentase 6.360% yang melebihi jatuh tegangan yang di perbolehkan oleh PLN yaitu sebesar 5%, selanjutnya didapatkan hasil perhitungan seluruh data yang ada pada Tabel 7.

Tabel 7. Data Hasil Analisa Tegangan Jatuh dari Penyulang BBLA Sampai Trafo Distribusi sesudah di Interkoneksi dengan PLTMH pada saat Beban Puncak

No.	ID Gardu	L (kms)	I (A)	R_T (Ω)	X_T (Ω)	$\sin \theta$	ΔP (W)	ΔQ (VAR)	ΔV (V)	% ΔV (%)
1	NGRK-433	1.020	0.187	0.220	0.337	0.53	0.023	0.035	0.120	0.060
2	BBL-431	7.310	3.960	3.368	2.521	0.53	158.440	118.599	210.528	1.050
3	HNJG-432	5.020	0.793	1.085	1.659	0.53	2.046	3.129	12.421	0.620
4	CLH-444	7.300	0.543	1.578	2.412	0.53	1.395	2.133	17.985	0.890
5	CBTP-1013	4.130	0.123	1.903	1.424	0.53	0.086	0.064	2.087	0.010
6	CRKP-1011	0.610	0.645	0.281	0.210	0.53	0.350	0.265	0.328	0.016

7	WNGC-1018	28.990	2.346	4.014	6.137	0.53	66.275	101.240	502.880	2.514
8	CPKP-999	28.950	1.425	6.187	9.452	0.53	37.690	57.580	721.851	3.624
9	PTU-845	10.600	0.542	4.884	3.655	0.53	4.304	3.211	60.587	0.300
10	BTH-892	10.500	0.385	4.838	3.621	0.53	2.151	1.610	42.230	0.211
11	BOJ-441	22.900	3.821	4.950	7.898	0.53	216.076	345.933	1,272.076	6.360
12	GANA-053	15.810	0.380	7.285	5.452	0.53	3.155	2.361	94.503	0.472
13	KCU-804	19.352	1.158	4.183	6.395	0.53	16.827	25.726	269.563	1.347
14	SUK-024	26.852	2.549	8.524	6.114	0.53	166.150	118.330	856.455	4.282
15	RGO-871	13.230	0.136	6.060	4.563	0.53	0.338	0.253	23.684	0.118
16	CLA-449	4.420	0.722	2.036	1.524	0.53	3.184	2.383	14.030	0.070
17	PLP-004	12.360	1.157	5.695	4.262	0.53	22.870	17.115	175.851	0.879
18	TLL-882	23.650	2.234	10.897	8.156	0.53	76.553	122.770	1,243.193	6.215
19	WMD-874	16.710	2.104	3.612	5.522	0.53	41.434	73.294	365.279	1.825
20	WJY-805	19.000	2.331	4.107	6.279	0.53	66.946	102.351	523.077	2.615

Dari hasil perhitungan pada Tabel 7 setelah diinterkoneksi dengan PLTMH terjadi jatuh tegangan di beberapa gardu yang bisa dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Perbandingan Persentase Tegangan Jatuh sesudah Sinkronisasi dengan PLTMH

No.	ID Gardu	L (kms)	ΔV (V)	% ΔV (%)	SPLN % ΔV (%)
1	BOJ-441	22.900	1,272.076	6.360	5
2	TLL-882	23.650	1,243.193	6.215	5

Tabel 8 menunjukkan meskipun sesudah di interkoneksi dengan PLTMH masih ada dua gardu yang mengalami tegangan jatuh yang dipengaruhi oleh telalu panjangnya saluran, untuk itu di perlukan solusi perbaikan tegangan jatuh.

4. IMPLEMENTASI

Tegangan jatuh dapat diperbaiki dengan beberapa cara memberikan solusi perbaikan tegangan jatuh yang di antaranya adalah dengan melakukan penempatan ulang lokasi gardu, tegangan jatuh tersebut bisa di perbaiki dengan cara melakukan penempatan ulang trafo. Untuk Gardu BOJ-441, menurut SPLN nomor 72 tahun 1987, persentase tegangan jatuh yang diizinkan adalah 5%, jadi tegangan jatuh yang diperbolehkan pada tegangan ujung seharusnya sama atau kurang dari 1 kV maka jatuh tegangan dapat di kurangi dengan menghitung selisih menjadi 272.076 volt dan perubahan jarak trafo sejauh 22.900 kms menjadi 11.416 kms. Sementara untuk Gardu TTL-882, menurut SPLN nomor 72 tahun 1987, persentase tegangan jatuh yang diizinkan adalah 5%, jadi tegangan jatuh yang diperbolehkan pada tegangan ujung seharusnya sama atau kurang dari 1 kV maka jatuh tegangan dapat di kurangi dengan menghitung selisih menjadi 243.193 volt dan perubahan jarak trafo sejauh 23.650 kms menjadi 13.848 kms.

Tabel 9. Hasil Analisis Tegangan Jatuh pada Trafo dari Penyulang BBLA sampai Trafo Distribusi setelah Pernempatan Ulang Lokasi Trafo

No.	ID Gardu	L (kms)	I (A)	R_T (Ω)	X_T (Ω)	$\sin \theta$	ΔP (W)	ΔQ (VAR)	ΔV (V)	% ΔV (%)
1	BOJ-441	11.416	3.821	2.468	3.772	0.53	108.090	165.214	373.315	1.866
2	TLL-882	13.848	2.234	6.381	4.778	0.53	95.530	71.477	425.702	2.128

Pada perkiraan perubahan jarak ini, besar persentase pembebanan trafo pada BOJ-441 sebesar 91.704% dan TLL-882 sebesar 83.793%. Dari hasil perhitungan persentase pembebanan trafo kita bisa melihat dimana nilai tersebut melebihi nilai standar pembebanan trafo yang diperbolehkan yaitu sebesar 80%, maka dalam perkiraan perubahan jarak trafo ini perlu pemasangan trafo sisipan.

Perkiraan pemasangan trafo sisipan pada Bojong Gardu BOJ-441, berdasarkan perhitungan tersebut besar persentase pembebanan trafo melebihi praturan manajemen trafo yaitu sebesar 80% dari tungan kerjanya dengan hasil 83,793%, maka dari itu untuk menghitung kelebihan bebanya sebesar 11.705%, atau 29.262kVA dari kapasitas total trafo 250kVA. Selanjutnya untuk menopang kekurangan daya pada jaringan distribusi diperlukan perhitungan kapasitas trafo yang dibutuhkan yaitu 34.425kVA. Untuk menentukan lokasi yang ideal untuk penempatan trafo sisipan sejauh 0.535 km. Diketahui dari perhitungan di atas bahwa trafo sisipan yang dibutuhkan minimal 34,425 kVA, maka dari itu pemilihan kapasitas trafo yang direncanakan sebesar 100kVA. Sehingga daya yang ditanggung trafo sisipan sebesar 34,425% dari total kapasitas 100kVA. Jarak yang paling ideal untuk menempatkan trafo sisipan tersebut adalah 0,535 km dari gardu distribusi BOJ-441 dengan panjang saluran 11,484 kms.

Perkiraan pemasangan trafo sisipan pada Bojong Gardu TLL-882, berdasarkan perhitungan tersebut besar persentase pembebanan trafo melebihi praturan manajemen trafo yaitu sebesar 80% dari tungan kerjanya dengan hasil 83,793%, maka dari itu untuk menghitung kelebihan bebanya sebesar 3.793%, atau 6.068kVA dari kapasitas total trafo 250kVA. Selanjutnya untuk menopang kekurangan daya pada jaringan distribusi diperlukan perhitungan kapasitas trafo yang dibutuhkan yaitu 7.130 kVA. Untuk menentukan lokasi yang ideal untuk penempatan trafo sisipan sejauh 0.429 km. Diketahui dari perhitungan di atas bahwa trafo sisipan yang dibutuhkan minimal 7.130kVA, maka dari itu pemilihan kapasitas trafo yang direncanakan sebesar 50kVA. Sehingga daya yang ditanggung trafo sisipan sebesar 7.130% dari total kapasitas 50 kVA. Jarak yang paling ideal untuk menempatkan trafo sisipan tersebut adalah 0,429 km dari gardu distribusi BOJ-441 dengan panjang saluran 9.802 kms.

5. KESIMPULAN

Pada penyulang BBLA sebelum di interkoneksi dengan PLTMH terjadi tegangan jatuh pada trafo distribusi yang melebihi ketentuan PLN yaitu sebesar 5% dari tegangan kerjanya. Gardu yang mengalami tegangan jatuh adalah WNGC-1018 sebesar 6,585 %, BOJ-441 sebesar 5,825%, SUK-024 sebesar 6,810%, TLL-882 sebesar 6,110%. Untuk itu dilakukan penambahan dua trafo dengan kapasitas 100kVA dan 260 kVA. Terbukti setelah dilakukannya penambahan trafo pada gardu WNGC-1018 turun menjadi 2,514% dan pada gardu SUK-024 turun menjadi 4,282%. Terlalu panjangnya jarak antar trafo dan tidak meratanya pembebanan trafo pada penyulang BBLA meskipun sudah di interkoneksi pada PLTMH juga masih mengalami tegangan jatuh yang melebihi 5%. Gardu yang masih mengalami tegangan jatuh adalah gardu BOJ-441 sebesar 6,360% dan TLL-882 sebesar 6,215%. Dimana pada trafo distribusi mengalami tegangan jatuh yang melebihi 5% maka untuk itu di dilakukan perbaikan. pada penelitian ini dilakukan penempatan ulang lokasi gardu, gardu yang mengalami perubahan lokasi dengan ID Gardu BOJ-441 dari 22,900 kms menjadi 11,484 dan gardu TLL-882 dari 23,650 kms menjadi 9,802 kms. Perubahan lokasi ini mengurangi jatuh tegangan pada dua gardu tersebut yang dimana sebelumnya gardu BOJ-441 memiliki tegangan jatuh sebesar 1.272,076 volt menjadi 319,856 volt dengan turunnya persentase dari 6,360% menjadi 1,599% dan pada gardu TLL-882 tegangan jatuh sebelumnya sebesar 1.243,193 volt menjadi 213,533 volt dengan turunnya persentase dari 6,215% menjadi 1,067%. Selain itu upaya untuk melakukan perbaikan tegangan jatuh adalah dengan menambah trafo sisipan. Pemasangan trafo sisipan yang pertama dengan kapasitas trafo yang di butuhkan minimal 34,42 kVA maka pemilihan kapasitas trafo yang di rencanakan sebesar 100kVA. Jarak jaringan yang paling ideal untuk menempatkan trafo sisipan tersebut adalah 0,535 kms dari gardu distribusi BOJ-441 dengan panjang saluran 11,416 kms. Pemasangan trafo sisipan yang kedua dengan kapasitas trafo yang di butuhkan minimal 7,130kVA maka pemilihan kapasitas trafo yang di rencanakan sebesar 50kVA. Jarak jaringan yang paling ideal untuk menempatkan trafo sisipan tersebut adalah 0,429 kms dari gardu distribusi TLL-881 dengan panjang saluran 13,848 kms.

REFERENCES

- Adiasa, I. K., Satriya Utama, N. P., & Setiawan, I. N. (2019). Optimasi Interkoneksi Distributed Generation (Dg) Penyulang Payogan Menggunakan Metode Genetic Algorithms (Ga) Untuk Memperbaiki Drop Tegangan. *Jurnal SPEKTRUM*, 6(1), 10. <https://doi.org/10.24843/spektrum.2019.v06.i01.p02>.
- Asy'ari, H. (2011). Perbaikan Jatuh Tegangan dan Rekonfigurasi Beban pada Panel Utama Prambanan. In Seminar (Vol. 2011, Issue Semantik). Universitas Muhammadiyah.
- DICKY, M. (2020). Analisis Penempatan Dan Kapasitas Distributed Generation (Dg) Terhadap Profil Tegangan Dan Rugi Daya Pada Penyulang Lipat Kain <http://repository.uin-suska.ac.id/34903/>
- Erhaneli, & Riski, A. (2013). Pengaruh Penambahan Jaringan Terhadap Drop Tegangan Pada Sutn 20 Kv Feeder Kersik Tuo Rayon Kersik Tuo Kabupaten Kerinci. *Jurnal Momentum*, 15(ISSN : 1693-752X), 19–22.
- Jurnal, R. T. (2018). Perbaikan Tegangan Pada Jaringan Tegangan Menengah 20 Kv Penyulang Tomat Gardu Induk Mariana Sumatera Selatan. *Jurnal Energi & Kelistrikan*, 9(1), 34–40. <https://doi.org/10.33322/energi.v9i1.57>.
- Kasyanto. (2010). Pengaruh Regulator Tegangan Terhadap Perbaikan Tegangan pada Jaringan Tegangan Menengah 20kV Penyulang Purwodadi 10 (pp. 1–2).
- Kume, J. T. I., Ir. Fielman Lisi, M. T., Sartje Silimang, S. T., & M.T. (2016). Analisa Gangguan Hubung Singkat Saluran Kabel Bawah Tanah Tegangan 20 Kv Penyulang Sl 3 Gi Teling Manado. In *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer* (Vol. 5, Issue 4, pp. 46–52). <https://doi.org/10.35793/jtek.5.4.2016.13396>
- Purnomo Putro, A., & Winardi, B. (2015). Analisis Tegangan Jatuh Sistem Distribusi Listrik Kabupaten Pelalawan Dengan Menggunakan Etap 7.5.0. *Transient: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 4(1), 122–127. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/transient/article/view/8800>
- Samsul Huda, S. (n.d.). Pengaruh Penggaraman Terhadap Isolator Oleh Polutan Air Laut Pada Jaringan Tegangan Menengah 20 Kv Dengan Menggunakan Metode Equivalent Salt Deposit Density.
- Sari, M., & Putri Kastio. (2020). Analisis Jatuh Tegangan Pada Penyulang F6 Selayo Di Pt. Pln (Persero) Area Solok.
- Sarimun, W. (2014). *Buku Saku Pelayanan Teknik Edisi Ketiga*. Bekasi.
- SPLN64. (1985). Petunjuk pemilihan dan penggunaan pelebur pada sistem distribusi tegangan menengah. Nilai Impedansi Kawat Penghantar AAAC, PT Perusahaan Listrik Milik Negara, Jakarta, 1, 64.
- Suhadi, & Wrahatnolo, T. (2008). Teknik Distribusi Tenaga Listrik, Jilid 1 untuk SMK. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Issue 9). Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tws.2012.02.007>
- Suprianto. (2018). Analisa Tegangan Jatuh pada Jaringan Distribusi 20 kV PT.PLN Area Rantau Prapat Rayon Aek Kota Batu. *Journal of Electrical Technology*, 3(2), 64–72.
- Yuniarti, N. (2019). *Modul Pembelajaran Pembangkit Tenaga Listrik*. In Jurusan Pendidikan Teknik Elektro FT. Universitas Negeri Yogyakarta (pp. 26–39).