

## Analisis Dampak Integrasi Pembangkit Listrik Tenaga Biogas (PLTBG) Agromuko Terhadap Rugi-Rugi Daya Dan Profil Tegangan Pada Penyulang Perkins PT. PLN (Persero) ULP MUKOMUKO

Viery Oktariza<sup>1\*</sup>, Zuriman Anthony<sup>2</sup>, Erhaneli<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Padang, Jl. Gajah Mada Kandang Nanggalo,  
Kp. Olo, Nanggalo, Kota Padang, Sumatera Barat 25173

\*e-mail: 2023310060.viery@itp.ac.id

### ABSTRAK

Pertumbuhan penduduk yang terus meningkat membawa banyak pengaruh dalam kehidupan, khususnya dalam bidang energi listrik. Pembangkit listrik dengan kapasitas besar umumnya terletak jauh dari pusat beban, sehingga diperlukan saluran transmisi dan distribusi yang cukup panjang untuk mensuplai beban. Hal ini menimbulkan penurunan tegangan dan *rugi-rugi daya* yang cukup besar. Menurut SPLN No.72 Tahun 1987 besarnya *rugi daya* yang diperbolehkan untuk menentukan keandalan pada system distribusi yaitu 10% untuk *rugi daya* dan 5% untuk *drop tegangan*. Pada penyulang perkins PT.PLN (Persero) ULP Mukomuko, ada masalah *rugi-rugi daya* 2,03 % dan *drop tegangan* 6,91% dari tegangan kerjanya, untuk mengatasi masalah ini salah satu caranya adalah dengan integrasi pembangkit listrik tenaga biogas (PLTBG) Agromuko agar dapat meningkatkan kualitas tegangan dan mengurangi *rugi-rugi daya* pada penyulang perkins. Dengan simulasi penambahan beban bertahap pada integrasi PLTBG Agromuko menggunakan ETAP 19.0.1, didapatkan hasil dampak integrasi PLTBG Agromuko pada beban 800kVA, dan 1000kVA mampu mengurangi *rugi-rugi daya* yang awalnya 2,03% menjadi 1,3% dan memperbaiki nilai *drop tegangan* yang awalnya 6,91% menjadi 4% dari tegangan kerjanya. Nilai tersebut telah memenuhi SPLN No.72 Tahun 1987.

**Kata kunci** : Drop Tegangan, Rugi Daya, Distributed Generation, ETAP

### ABSTRACT

The increasing population growth brings many influences in life, especially in the field of electrical energy. Power plants with large capacities are generally located far from the load center. so long transmission and distribution lines are needed to supply the load. According to SPLN No.72 of 1987 the amount of power loss allowed to determine the reliability of the distribution system is 10% for power loss and 5% for voltage drop. In PT PLN (Persero) ULP Mukomuko perkins feeder, there is a problem of power loss of 2.03% and a voltage drop of 6.91% of the working voltage, to overcome this problem one way is to integrate the Agromuko biogas power plant in order to improve voltage quality and reduce power losses on the perkins feeder. By simulating the gradual addition of loads to the integration of the Agromuko Biogas Power Plant using ETAP 19.0.1, it was found that the impact of the integration of the Agromuko Biogas Power Plant on 800kVA, and 1000kVA loads was able to reduce power losses from 2.03% to 1.3% and improve the voltage drop value from 6.91% to 4% of the working voltage. This value has met SPLN No.72 of 1987.

**Keywords** : Voltage Drop, Power Loss, Distributed Generation, ETAP

### PENDAHULUAN

PT. PLN (Persero) ULP Mukomuko merupakan perusahaan penyedia jasa ketenagalistrikan yang berada di kabupaten mukomuko dengan total jumlah pelanggan sebanyak 70.063 pelanggan. Sistem tenaga listrik PT. PLN (Persero) ULP Mukomuko sedang dalam proses pengembangan karena pesatnya peningkatan kebutuhan energi terkhusus pada penyulang perkins, beberapa tahun terakhir ini telah terjadi perkembangan yang cukup pesat dalam hal permintaan energi listrik karna meningkatnya aktifitas perindustrian khususnya industri *Crude Palm Oil (CPO)* di kabupaten Mukomuko yang merupakan daerah perkebunan kelapa sawit terluas di Provinsi Bengkulu. Semakin bertambahnya permintaan energi listrik pada penyulang perkins maka semakin besar juga beban yang ditanggung pada GI mukomuko (Perkins, 2021). GI Mukomuko merupakan gardu induk yang menyuplai daya ke penyulang perkins dengan menggunakan system jaringan radial 20KV . Apabila beban yang dilayani GI Mukomuko semakin banyak dan jaraknya jauh dari gardu induk maka hal ini dapat menyebabkan rugi-rugi daya dan penyebab penurunan profil tegangan. Tujuan utama adalah memberikan pelayanan dan penyediaan tenaga listrik dengan tingkat kualitas tegangan yang bagus dan handal didalam mendistribusikan tenaga listrik ke masyarakat dengan mematuhi batasan *drop tegangan* - 5% untuk jaringan radial. Upaya perbaikan telah dilakukan untuk mengatasi masalah ini, dengan harapan hasilnya akan lebih baik dari pada sebelumnya (Winardi et al., 2016).

Pembangkit listrik dengan kapasitas besar umumnya terletak jauh dari pusat beban (Vita et al., 2015), sehingga diperlukan saluran transmisi dan distribusi yang cukup panjang untuk mensuplai beban hal ini menimbulkan penurunan tegangan dan rugi-rugi daya yang cukup besar (Hasibuan et al., 2021). Di sisi lain keterbatasan sumber daya bahan bakar fosil yang banyak bermasalah dengan lingkungan dan tingginya biaya transmisi dan distribusi pada pembangkit besar ikut mendorong pengembangan pembangkit listrik skala kecil yang dekat dengan beban dan terintegrasi ke system grid melalui jaringan distribusi yang dikenal dengan *distributed generation (DG)* (Ackermann et al., 2001; Borges & Falcao, 2006; Fitrianto & Nazir, 2016; Rujula et al., 2005).

Pada umumnya pembangkit listrik tersebar memanfaatkan teknologi dari sumber- sumber energi terbarukan salah satunya seperti Pembangkit Listrik Tenaga Bio Gas (PLTBG) AgroMuko (Thornton & Monroy, 2011). Sebelum adanya integrasi PLTBG Agromuko, pada penyulang perkins PT.PLN (Persero) ULP Mukomuko, terdapat masalah rugi-rugi daya dan *drop* tegangan dengan penurunan tegangan sebesar 6.91 % atau sebesar 1,45 Kv .Untuk mengatasi masalah ini salah satu caranya adalah dengan integrasi pembangkit listrik tenaga biogas (PLTBG) Agromuko pada penyulang perkins dapat memperbaiki *drop* tegangan dengan kenaikan 2.91 % atau sebesar 0.61 Kv dari tegangan sebelumnya. Selain perbaikan tegangan, integrasi pembangkit listrik tenaga Biogas (PLTBG) Agromuko pada penyulang perkins juga dapat manfaat teknis lainnya seperti : pengurangan kehilangan daya, peningkatan keandalan dan pengurangan dampak lingkungan (Chiradeja & Ramakumar, 2004; Hung & Mithulanathan, 2011). Integrasi PLTBG AgroMuko dalam jaringan distribusi haruslah pada posisi yang optimal agar dapat meningkatkan stabilitas tegangan jaringan distribusi sekaligus meningkatkan profil tegangan (Ferede et al., 2020; Hien et al., 2013; Mehta et al., 2018). Pemasangan kapasitas dan lokasi PLTB Agromuko yang tidak optimal pada jaringan distribusi akan menyebabkan rugi daya yang lebih besar dibandingkan pemasangan pada lokasi dan kapasitas optimalnya (Hlaing & Swe, 2015). Oleh sebab itu maka perlu dikaji suatu metode untuk menentukan lokasi dan kapasitas optimal dari PLTBG Agromuko di penyulang perkins (Yunus, 2014; Yunus & Ismail, 2018).

Dalam rangka mengamati kondisi kelistrikan penyulang perkins PT. PLN (Persero) ULP Mukomuko sebelum dan setelah integrasi PLTBG Agromuko, penulis melakukan simulasi menggunakan aplikasi *ETAP 19.0.1* dikarenakan aplikasi *ETAP* memiliki berbagai fitur yang beragam, termasuk yang digunakan untuk menganalisis berbagai aspek dalam pembangkitan, transmisi, dan distribusi tenaga listrik[19]. Dengan demikian, perbedaan dalam tegangan dan kerugian energi listrik antara sebelum dan setelah integrasi PLTBG Agromuko dapat dievaluasi. Tesis ini berjudul “*Analisis Dampak Integrasi Pembangkit Listrik Tenaga Biogas (PLTBG) Agromuko Terhadap Rugi-Rugi Daya Dan Profil Tegangan Pada Penyulang Perkins PT.PLN (Persero) ULP Mukomuko*” yang diharapkan mampu meningkatkan kualitas tegangan dan mengurangi rugi-rugi daya pada penyulang perkins.

## METODE PENELITIAN

Metode penelitian dalam artikel jurnal ini dilakukan melalui beberapa tahap untuk memperoleh data yang akurat dan relevan terhadap permasalahan yang dikaji, yaitu sistem kelistrikan pada penyulang Perkins di PT. PLN (Persero) ULP Mukomuko.

Pertama, dilakukan peninjauan lokasi untuk memahami kondisi aktual dari sistem kelistrikan di daerah penelitian. Peninjauan ini bertujuan untuk memastikan bahwa data yang akan digunakan dalam penelitian sesuai dengan kondisi lapangan, termasuk aspek-aspek penting seperti kondisi penyulang, trafo, dan beban listrik. Metode interview juga digunakan sebagai bagian dari proses pengumpulan data. Penulis melakukan wawancara dengan Team Leader Teknik di ULP Mukomuko untuk mendapatkan informasi mendalam terkait konfigurasi penyulang Perkins. Informasi ini sangat penting untuk memahami bagaimana sistem bekerja dan tantangan teknis yang mungkin dihadapi di lapangan.

Selanjutnya, studi pustaka dilakukan untuk mendukung penelitian ini dengan landasan teori yang kuat. Penulis mengumpulkan sumber-sumber dari buku, jurnal, dan literatur lainnya yang berkaitan dengan masalah kelistrikan, konfigurasi penyulang, dan manajemen beban listrik. Dengan metode ini, penulis dapat memastikan bahwa analisis yang dilakukan memiliki dasar teoritis yang kuat. Dalam simulasi menggunakan perangkat lunak ETAP 19.0.1, data-data yang digunakan harus mencerminkan kondisi sebenarnya di lapangan. Beberapa aspek penting yang diperhatikan meliputi panjang dan ukuran penampang kabel, serta beban listrik pada tiap section atau trafo, yang diperoleh dari pengukuran saat beban puncak. Hal ini memastikan bahwa hasil simulasi sesuai dengan kondisi operasional aktual. Diagram alir penelitian kemudian digunakan untuk menggambarkan alur proses penelitian ini, mulai dari pengumpulan data hingga analisis menggunakan simulasi.

Untuk memperdalam pemahaman tentang teknik simulasi kelistrikan, Anda bisa membaca literatur terkait penggunaan ETAP dalam sistem distribusi tenaga listrik serta buku-buku referensi yang membahas konfigurasi

penyulang dalam sistem kelistrikan industri. Jurnal-jurnal tentang optimasi sistem kelistrikan dan manajemen beban listrik juga akan sangat bermanfaat sebagai bacaan tambahan.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Sistem Kelistrikan PT.PLN (Persero) ULP Mukomuko**

Sistem kelistrikan PT.PLN (Persero) ULP Mukomuko mendapatkan supply utama dari Gardu Induk Mukomuko dan sebagian daerah masih di supply dari 2 PLTD yaitu PLTD Ipuh Baru dan PLTD Kota Bani .

**Tabel 1.** Supply Energi pada ULP Mukomuko

SUMBER	PENYULANG
GI MUKOMUKO	CATERPILLAR
GI MUKOMUKO	PERKINS
GI MUKOMUKO	WARTSILA
GI MUKOMUKO	YANMAR
PLTD IPUH BARU	RETAK MUDIK
PLTD IPUH BARU	EXPRESS IPUH
PLTD KOTA BANI	KOTA BANI
PLTD KOTA BANI	AIR MURING
PLTD KOTA BANI	KARYA BAKTI

**Beban Penyulang Perkins**

Beban kelistrikan selalu berubah-ubah sesuai dengan kebutuhan konsumen, oleh karena itu PT. PLN (Persero) melakukan suatu pengukuran beban secara berkala pada penyulang perkins guna untuk menghindari *overload*. Panjang jaringan di penyulang perkins bisa dikatakan terlalu panjang yaitu 110,22 KMS.

**Tabel 2** Data Penyulang Perkins

SUMBER	PENYULANG	SECTION			
		PANJANG JAR (KMS)	BEBAN TOTAL (A)	PANJANG JAR (KMS)	BEBAN (A)
GI MUKOMUKO	PERKINS	110.2	148	44.13	16
				20.36	30
				5.67	12
				15.06	22
				13	43
				12	25

**Analisa Perhitungan**

Perhitungan drop tegangan dan rugi daya secara manual memerlukan data spesifik mengenai penyulang Perkins, termasuk spesifikasi trafo distribusi, beban masing-masing transformator, jenis penghantar beserta luas penampangnya, dan jarak antar gardu. Dengan data tersebut, perhitungan dapat dilakukan dan hasilnya akan dibandingkan dengan hasil simulasi menggunakan perangkat lunak ETAP. Arus nominal ( $I_n$ ) pada sisi primer transformator dihitung menggunakan rumus  $I_{nominal} = \frac{\text{kapasitas trafo} \times 1000}{400 \times \sqrt{3}}$ . Sebagai contoh, untuk transformator dengan kapasitas 100 kVA, perhitungan arus nominal menghasilkan  $I_{nominal} = \frac{100 \times 1000}{400 \times \sqrt{3}} = 144,33$  A. Kemudian dilanjutkan dengan perhitungan nilai impedansi yang diperlukan untuk menghitung *drop* tegangan. Pada penyulang perkins menggunakan penghantar dengan luas penampang 70 mm<sup>2</sup> dan luas penampang 150 mm<sup>2</sup> dengan Cos $\phi$  adalah 0,85. Maka resistansi dan induktansi dapat dilihat pada tabel 4.3 sebagai berikut :

**Tabel 3** Nilai Induktansi dan Resistansi

PENGHANTAR	Z (Impedansi)	
	R (Ohm/Km)	XL (Ohm/Km)
A3C 35 mm <sup>2</sup>	0,9217	0,3790
A3C 70 mm <sup>2</sup>	0,4608	0,3572
A3C 150 mm <sup>2</sup>	0,2162	0,3305
A3C 240 mm <sup>2</sup>	0,1344	0,3158

Perhitungan nilai impedansi menggunakan rumus sebagai berikut :

$$Z = R + jX$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

Sehingga nilai impedansi untuk kawat AAAC 70 mm<sup>2</sup> adalah :

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

$$Z = \sqrt{(0,4608)^2 + (0,3572)^2}$$

$$Z = 0,583 \Omega$$

Sedangkan nilai impedansi untuk kawat AAAC 150 mm<sup>2</sup> adalah :

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

$$Z = \sqrt{(0,2162)^2 + (0,3305)^2}$$

$$Z = 0,394 \Omega$$

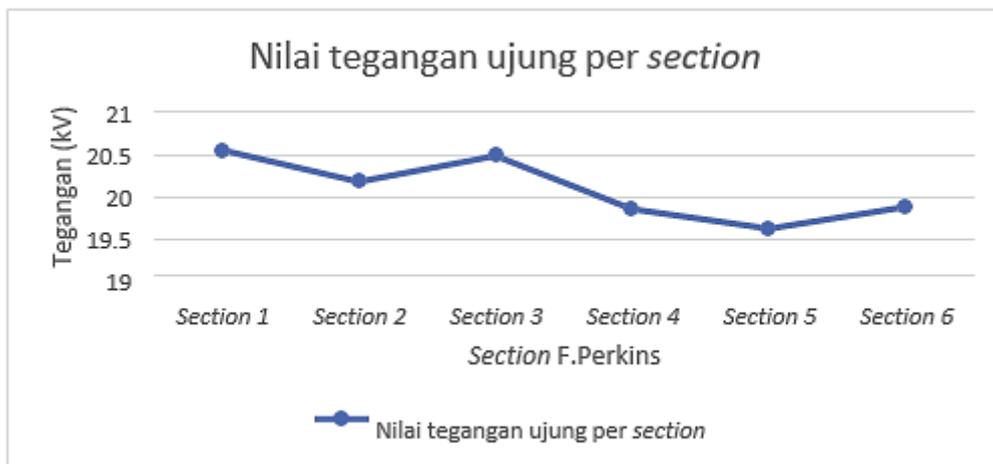
Hasil perhitungan rugi daya dan drop tegangan dapat disimpulkan pada tabel 4, 5 dan gambar 1.

**Tabel 4** Hasil Perhitungan Rumus Lossis dan Drop Tegangan Penyulang Perkins sebelum Integrasi PLTBG Agromuko

Section	Arus (A)	Panjang Kawat(Kms)	Rugi Daya (Kw)	ΔVd (Kv)	%ΔV(%)
1	16	44,13	13,3	0,434	2,06
2	30	20,36	21,6	0,375	1,78
3	12	5,67	1,4	0,067	0,31
4	22	15,06	12,74	0,33	1,57
5	43	13	42	0,558	2,65
6	25	12	13,1	0,299	1,42

**Tabel 5** Data Perhitungan Rumus Tegangan Ujung Penyulang Perkins sebelum Integrasi PLTBG Agromuko

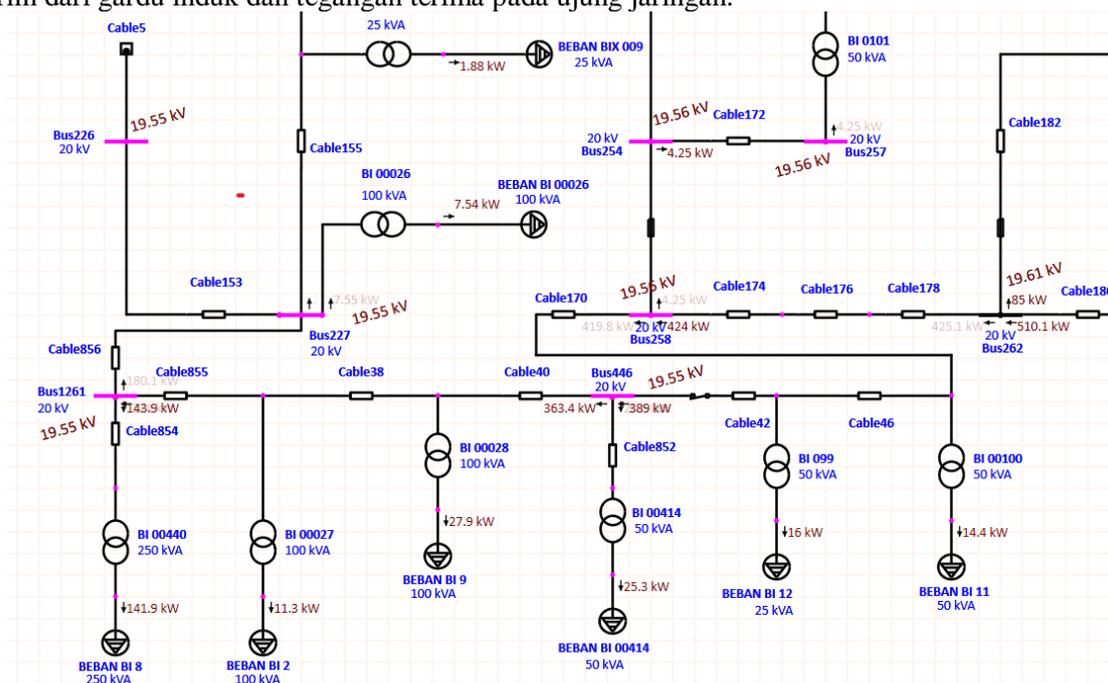
Section	Tegangan Sumber (Kv)	Tegangan Ujung (Kv)
1	21	20,566
2	20,566	20,19
3	20,566	20,49
4	20,19	19,86
5	20,19	19,63
6	20,19	19,89



**Gambar 1.** Grafik Nilai Tegangan Penyulang Perkins Sebelum Integrasi PLTBG Agromuko Berdasarkan Perhitungan

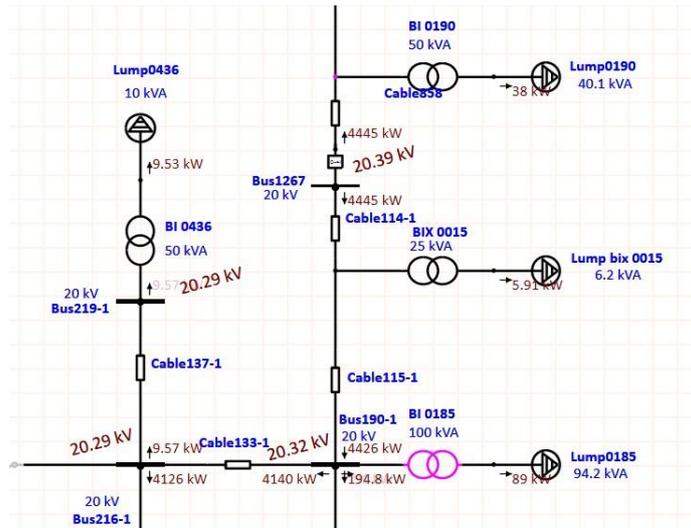
Analisis grafik pada Gambar 1 mengungkapkan fluktuasi tegangan pada ujung persection penyulang Perkins, terutama di section tiga dan enam, yang disebabkan oleh variasi beban dan panjang penghantar. Di section satu, tegangan ujung tercatat 20,56 kV dengan drop 0,434 kV dari sumber 21 kV. Section dua menunjukkan penurunan lebih lanjut menjadi 20,19 kV akibat drop 0,375 kV. Sebaliknya, section tiga mengalami peningkatan menjadi 20,49 kV dengan drop 0,067 kV. Section empat dan lima mencatatkan tegangan ujung masing-masing 19,86 kV dan 19,63 kV, di mana section lima mengalami rugi daya terbesar akibat panjang penghantar. Section enam, dengan beban lebih kecil, mengalami kenaikan tegangan menjadi 19,89 kV.

Pengukuran drop tegangan dilakukan menggunakan simulasi ETAP 19.0.1 dengan memperhatikan selisih antara tegangan kirim dari gardu induk dan tegangan terima pada ujung jaringan.



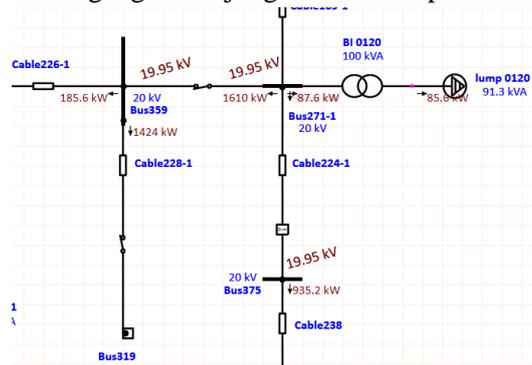
**Gambar 2** Hasil ETAP 19.0.1 Ujung jaringan sebelum integrasi PLTBG Agromuko

Pada penyulang perkins *section* satu meliputi GI Mukomuko hingga ke RecloserNamira.



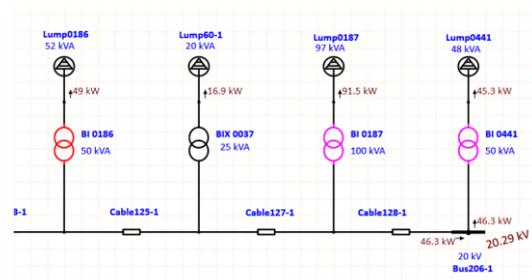
Gambar 3 Simulasi ETAP pada *section* satu penyulang perkins

Pada penyulang yang disuplai oleh GI Mukomuko hingga ke REC Namira, terdapat total 16 trafo distribusi terpasang dengan total beban sebesar 16 A dan panjang jaringan mencapai 44,13 km. Nilai tegangan di ujung *section* satu pada BUS 114-1 tercatat sebesar 20,39 kV. Sementara itu, pada penyulang Perkins *section* dua, yang dimulai dari outgoing REC Namira hingga ke LBS SD Penarik, terdapat 27 trafo distribusi dengan total beban sebesar 30 A dan panjang jaringan 20,36 km, di mana nilai tegangan di ujung *section* dua pada BUS 359 tercatat sebesar 19,95 kV.



Gambar 4 Simulasi ETAP pada *section* dua penyulang perkins

Pada penyulang perkins *section* tiga berawal dari outgoing LBS KJS Mekar Mulya dengan total trafo distribusi yang terpasang 7 trafo dengan total beban sebesar 12 A dan panjang jaringan 5,67 Kms, nilai tegangan ujung *section* tiga 20,29 KV yang terdapat pada BUS 206-1.

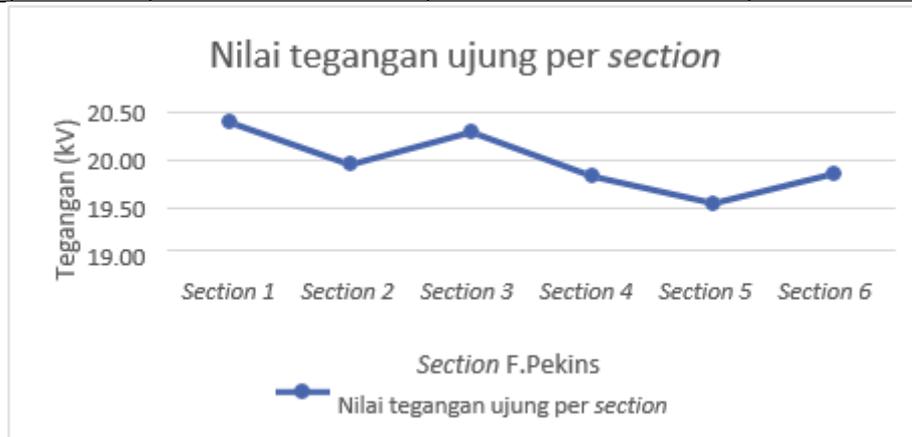


Gambar 5 Simulasi ETAP pada *section* tiga penyulang perkins



**Tabel 6** Hasil tegangan ujung per section penyulang perkins sebelum integrasi PLTBG Agromuko berdasarkan percobaan ETAP 19.0.1

Section	Arus (A)	Panjang Kawat(Kms)	Tegangan Kirim (Kv)	Tegangan Ujung (Kv)
1	16	44,13	21	20,39
2	30	20,36	21	19,95
3	12	5,67	21	20,29
4	22	15,06	21	19,83
5	43	13	21	19,55
6	25	12	21	19,86



**Gambar 9** Grafik Nilai Tegangan Penyulang Perkins Sebelum Integrasi PLTBG Agromuko berdasarkan simulasi ETAP

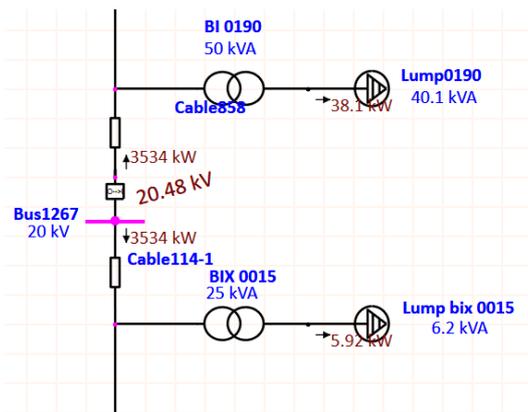
Analisis tegangan ujung penyulang Perkins sebelum integrasi PLTBG Agromuko menunjukkan bahwa pada section satu (Recloser Namira), nilai tegangan menurun dari 20,56 kV (perhitungan) menjadi 20,39 kV (simulasi ETAP) dan 20,51 kV (pengukuran), dengan drop sebesar 0,61 kV. Section dua (LBS SD Penarik) menunjukkan penurunan dari 20,19 kV menjadi 19,95 kV dan 19,94 kV. Section tiga (LBS KJS Mekar Mulya) mengalami peningkatan menjadi 20,49 kV, 20,29 kV, dan 20,32 kV, sedangkan section empat menurun menjadi 19,86 kV, 19,83 kV, dan 19,98 kV. Section lima juga menunjukkan penurunan, sedangkan section enam mengalami kenaikan menjadi 19,89 kV, 19,86 kV, dan 19,82 kV. Hasil ini menunjukkan kesesuaian yang baik antara perhitungan, simulasi, dan pengukuran di lapangan.

**Analisa Rugi-Rugi Daya dan Drop Tegangan Penyulang Perkins Sesudah Integrasi PLTBG Agromuko beban 1000 Kva dengan Simulasi ETAP**

**Tabel 7** Perbandingan Hasil Perhitungan Rumus Lossis ,Drop Tegangan, dan Tegangan Ujung Sebelum dan Sesudah penyulang perkins sesudah integrasi PLTBG Agromuko dengan beban 1000 Kva

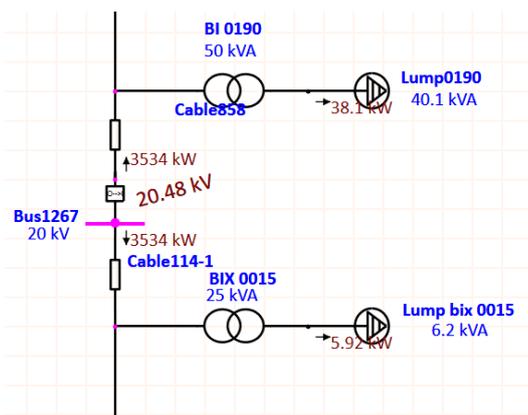
SECTION	RUGI-RUGIDAYA (Kw)		ΔVd (Kv)		TEGANGAN UJUNG	
	SEBELUM (Kw)	SESUDAH (Kw)	SEBELUM (Kv)	SESUDAH (Kv)	SEBELUM (Kv)	SESUDAH (Kv)
Section 1	13,3	13,3	0,434	0,434	20,566	20,566
Section 2	21,6	21,6	0,375	0,375	20,19	20,19
Section 3	1,4	1,4	0,067	0,067	20,49	20,49
Section 4	12,74	12,74	0,33	0,33	19,86	19,86
Section 5	42	4,52	0,558	0,183	19,63	20
Section 6	13,1	13,1	0,299	0,299	19,89	19,89

Untuk menentukan besarnya drop tegangan menggunakan ETAP 19.0.1 pada penyulang perkins *section* satu meliputi GI Mukomuko hingga ke RecloserNamira.



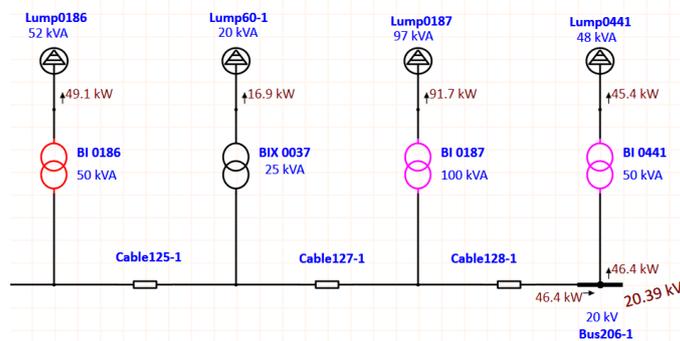
**Gambar 10** Simulasi ETAP pada *section* satu penyulang perkins

Pada penyulang yang disuplai oleh GI Mukomuko hingga ke REC Namira, terdapat total 16 trafo distribusi yang terpasang dengan total beban sebesar 16 A dan panjang jaringan mencapai 44,13 km, menghasilkan nilai tegangan ujung *section* satu sebesar 20,48 kV yang terukur pada BUS 114-1. Sementara itu, pada penyulang Perkins *section* dua yang dimulai dari outgoing REC Namira hingga ke LBS SD Penarik, terpasang 27 trafo distribusi dengan total beban sebesar 30 A dan panjang jaringan 20,36 km, serta nilai tegangan ujung *section* dua sebesar 20,12 kV yang terukur pada BUS 359.



**Gambar 11** Simulasi ETAP pada *section* dua penyulang perkins

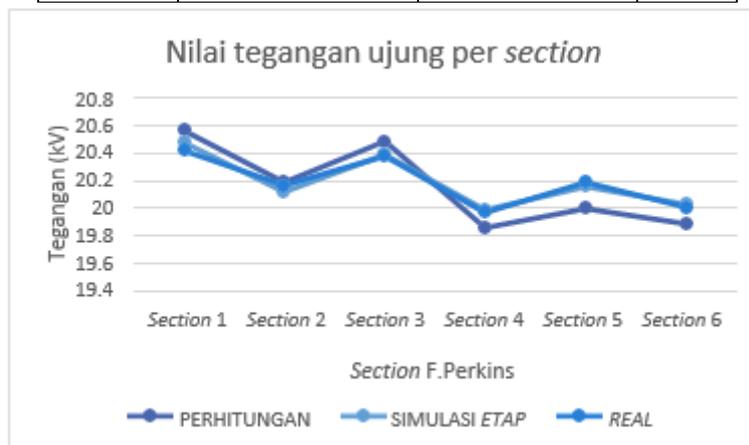
Pada penyulang perkins *section* tiga berawal dari *outgoing* LBS KJS Mekar Mulya dengan total trafo distribusi yang terpasang 7 trafo dengan total beban sebesar 12 A dan panjang jaringan 5,67 Kms, nilai tegangan ujung *section* tiga 20,39 KV yang terdapat pada BUS 206-1.



**Gambar 12** Simulasi ETAP pada *section* tiga penyulang perkins



SECTION	TEGANGAN UJUNG (Kv)		
	PERHITUNGAN (Kv)	SIMULASI ETAP (Kv)	REAL (Kv)
Section 1	20,566	20,48	20,42
Section 2	20,19	20,12	20,17
Section 3	20,49	20,39	20,38
Section 4	19,86	19,99	19,97
Section 5	20	20,16	20,19
Section 6	19,89	20,03	20,01



**Gambar 16** Perbandingan nilai tegangan ujung sesudah integrasi PLTBG Agromuko dengan beban 1000 Kva sesuai perhitungan rumus ,simulasi ETAP 19.0.1, dan pengukuran *real* dilapangan

Hasil analisis pada gambar 16 menunjukkan perbandingan nilai tegangan ujung per section pada F. Perkins setelah integrasi PLTBG Agromuko dengan beban 1000 kVA. Penurunan nilai tegangan terlihat pada section satu, dengan nilai tegangan ujung yang dihasilkan dari perhitungan sebesar 20,56 kV, simulasi ETAP 20,48 kV, dan pengukuran lapangan 20,42 kV di Recloser Namira. Pada section dua, dari Recloser Namira hingga LBS SD Penarik, nilai tegangan ujung tercatat masing-masing 20,19 kV, 20,12 kV, dan 20,17 kV. Section tiga menunjukkan kenaikan tegangan, dengan nilai 20,49 kV (perhitungan), 20,39 kV (simulasi ETAP), dan 20,38 kV (pengukuran) di LBS KJS Mekar Mulya, akibat posisinya yang dekat dengan ujung section satu. Sebaliknya, section empat mengalami penurunan nilai tegangan, dengan hasil 19,86 kV, 19,99 kV, dan 19,97 kV pada LBS Kaja Penarik, disebabkan oleh kedekatannya dengan section dua. Di section lima, nilai tegangan ujung adalah 20 kV (perhitungan), 20,16 kV (simulasi ETAP), dan 20,19 kV (pengukuran), sebagai section paling ujung dari penyulang Perkins. Section enam menunjukkan kenaikan tegangan dibandingkan section lima, karena beban yang lebih kecil dan panjang penghantar yang lebih pendek (1 km), dengan nilai 19,89 kV (perhitungan), 20,03 kV (simulasi ETAP), dan 20,01 kV (pengukuran) pada ujung JTM.

Berdasarkan tabel 7, Jika diasumsikan pemakaian pada simulasi ETAP ini, pada saat beban full, dalam 24 jam, maka nilai rugi daya dalam 1 hari sebelum integrasi PLTBG Agromuko adalah:

$$\begin{aligned} \text{Total Rugi Daya Rata-rata (1 Hari)} &= \text{Total Rugi Daya Rata – Rata (kW) x 24 jam} \\ &= 104,14 \times 24 \text{ jam} \\ &= 2.499,36 \text{ kWh} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total Rugi Daya Rata-rata (30 Hari)} &= \text{Total Rugi Daya Rata – Rata (1 hari)x 30 hari} \\ &= 2.499,36 \text{ kWh x 30 hari} \\ &= 74.980,8 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Sedangkan nilai rugi daya dalam 1 hari setelah integrasi PLTBG Agromuko adalah:

$$\text{Total Rugi Daya Rata-rata (1 Hari)} = \text{Total Rugi Daya Rata – Rata (kW) x 24 jam}$$

$$\begin{aligned}
 &= 66,66 \times 24 \text{ jam} \\
 &= 1.599,84 \text{ kWh} \\
 \text{Total Rugi Daya Rata-rata (30 Hari)} &= \text{Total Rugi Daya Rata – Rata (1 Hari)} \times 30 \text{ hari} \\
 &= 1.599,84 \text{ kWh} \times 30 \text{ hari} \\
 &= 47,995,2 \text{ kWh}
 \end{aligned}$$

Terdapat penurunan nilai rugi daya, sebelum integrasi PLTBG Agromuko nilai rugi daya sebesar 74.980,8 kWh turun menjadi 47,995,2 kWh, sehingga didapatkan saving kWh sebesar 26.985,6 kWh dalam waktu 1 bulan.

Konversi nilai susut energi akibat rugi daya dalam bentuk rupiah dalam waktu satu bulan adalah sebagai berikut:

1. Sebelum Integrasi PLTBG Agromuko  
 Total Rugi Energi Rata-rata x Tarif Dasar Listrik = 74.980,8 kWh x Rp. 1.444,00  
 = Rp 108.272.275
2. Setelah Integrasi PLTBG Agromuko  
 Total Rugi Energi Rata-rata x Tarif Dasar Listrik = 47,995,2 kWh x Rp. 1.444,00  
 = Rp 69.305.068

Jika diasumsikan 30 hari maka total rupiah susut menjadi Rp 69.305.068 dari Rp 108.272.275 kondisi sebelum integrasi PLTBG Agromuko dalam waktu 1 bulan.

Sehingga didapatkan nilai saving penjualan sebesar:  
 = Rp 108.272.275 - Rp 69.305.068  
 = Rp 38.967.207 dalam 1 bulan.

Jadi, didapatkan nilai saving penjualan setelah integrasi PLTBG Agromuko adalah Rp 38.967.207 dalam 1 bulan atau Rp 467.606.484 dalam 1 tahun .

**Analisis Perbandingan Biaya Produksi Listrik per Kilo Watt Hour antara PLTU dan PLTBG Agromuko**

Berdasarkan data statistik PLN Tahun 2022 dapat dilihat biaya pembangkitan rata-rata (Rp/kWh) pada tabel 11 sebagai berikut :

**Tabel 9.** Biaya Pembangkitan rata-rata (Rp/kWh)

Tahun	PLTA	PLTU	PLTD	PLTG	PLTP	PLTGU	PLTS	Rata-rata
2018	352,39	831,46	2.228,71	5.781,99	2.350,98	1.298,72	-	1.160,89
2019	599,71	653,12	3.308,26	2.570,03	1.191,25	1.357,75	-	2.999,73
2020	438,57	636,55	4.746,32	1.611,79	1.107,89	1.322,23	11.817,73	3.097,30
2021	398,28	667,88	5.905,80	1.247,92	107,15	126,09	1.284,44	1.391,08
2022	373,22	737,52	5.978,77	1.837,37	118,74	143,97	1.034,52	1.460,59

Berdasarkan tabel 9, jika kita asumsikan beban PLTU sama dengan kemampuan dari PLTBG Agromuko pada saat beban full (1000kW) , dengan biaya produksi listrik PLTU Rp 737,52/ kWh pada tahun 2022 , maka biaya produksi listrik per kWh nya untuk PLTU dalam 24 jam adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{Total Biaya Produksi (1 Hari)} &= 24000 \text{ kWh} \times \text{Rp. } 737,52 \\
 &= \text{Rp } 17.700.480 \\
 \text{Total Biaya Produksi (30 Hari)} &= \text{Rp } 17.700.480 \times 30 \text{ hari} \\
 &= \text{Rp } 531.014.400
 \end{aligned}$$

Total Biaya Produksi (1 Tahun) = Rp 531.014.400x 12 Bulan  
= Rp 6.372.173.000

Sedangkan biaya produksi listrik untuk PLTB Agromuko, berdasarkan *Memorandum of Understanding (MoU)* kerjasama antara PT.PLN (Persero) dengan PLTBG Agromuko pada September 2018 ,disepakati harga Rp 672.7/kWh. Jika diasumsikan biaya produksi pada saat PLTBG Agromuko dalam kondisi beban full (1000kW) dalam 24 jam, maka biaya produksi yang harus dibayarkan PT.PLN(Persero) ke pihak PLTBG Agromuko adalah sebagai berikut :

Total Biaya Produksi (1 Hari) = 24000 kWh x Rp. 672.7  
= Rp 16.144.800

Total Biaya Produksi (30 Hari) = Rp 16.144.800 x 30 hari  
= Rp 484.344.000

Total Biaya Produksi (1 Tahun) = Rp 484.344.000 x 12 Bulan  
= Rp 5.812.128.000

Berdasarkan hasil perhitungan biaya produksi listrik diatas , dapat dilihat selisih biaya produksi listrik PLTU dan PLTBG Agromuko dalam 1 tahun sebagai berikut :

= Rp 6.372.173.000- Rp 5.812.128.000

= Rp 560.045.000 dalam 1 Tahun.

Berdasarkan hasil perhitungan diatas, dapat dilihat bahwa penggunaan PLTBG Agromuko lebih menguntungkan Rp 560.045.000 dalam 1 tahun dibandingkan penggunaan PLTU sebagai supply utamanya.

## KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi Pembangkit Listrik Tenaga Biogas (PLTBG) Agromuko pada beban 800 kVA dan 1000 kVA berhasil memperbaiki rugi-rugi daya dari 104,14 kW (2,03%) menjadi 66,66 kW (1,3%) dan menurunkan drop tegangan dari 6,91% menjadi 4%, sesuai dengan standar SPLN No. 72 Tahun 1987. Pemanfaatan energi baru terbarukan (EBT) melalui PLTBG Agromuko tidak hanya meningkatkan efisiensi sistem energi listrik secara keseluruhan, tetapi juga berkontribusi pada pemberdayaan masyarakat Kabupaten Mukomuko dengan memanfaatkan potensi alam daerah sekitar. Hal ini menciptakan optimalisasi ekonomi dalam pemanfaatan sumber daya energi sambil menjaga kelestarian lingkungan.

## Saran

Diharapkan, hasil penelitian ini dapat menjadi referensi untuk studi selanjutnya mengenai analisis pengaruh integrasi PLTBG Agromuko terhadap proteksi jaringan distribusi serta mendorong penggunaan aplikasi ETAP 19.0.1 dalam analisis kasus sistem kelistrikan lainnya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ackermann, T., Andersson, G., & Söder, L. (2001). Distributed generation: a definition. *Electric Power Systems Research*, 57(3), 195–204.
- Borges, C. L. T., & Falcao, D. M. (2006). Optimal distributed generation allocation for reliability, losses, and voltage improvement. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 28(6), 413–420.
- Chiradeja, P., & Ramakumar, R. (2004). An approach to quantify the technical benefits of distributed generation. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 19(4), 764–773.
- Ferede, A. T., Olalekan, S. A., Abel, H. E., & Ayalew, A. Y. (2020). Power loss mitigation and voltage profile improvement with distributed generation using grid-based multi-objective harmony search algorithm. *Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 13(2), 5–10.
- Fitrianto, E., & Nazir, R. (2016). Efek Pengintegrasian Pembangkit Listrik Tersebar Pada Jaringan Distribusi Radial Terhadap Perosotan Tegangan. *Jurnal Nasional Teknik Elektro*, 5(1), 1–6.
- Hasibuan, A., Isa, M., Yusoff, M. I., Rahim, S. R. A., & Nnatha, I. (2021). Effect of installation of distributed generation at different points in the distribution system on voltage drops and power losses. *AIP Conference Proceedings*, 2339(1).
- Hien, N. C., Mithulanathan, N., & Bansal, R. C. (2013). Location and sizing of distributed generation units for loadability enhancement in primary feeder. *IEEE Systems Journal*, 7(4), 797–806.
- Hlaing, C. S., & Swe, P. L. (2015). Effects of Distributed Generation on System Power Losses and Voltage Profiles

- (Belin Distribution System). *Journal of Electrical and Electronic Engineering*, 3(3), 36–41.
- Hung, D. Q., & Mithulananthan, N. (2011). Multiple distributed generator placement in primary distribution networks for loss reduction. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 60(4), 1700–1708.
- Mehta, P., Bhatt, P., & Pandya, V. (2018). Optimal selection of distributed generating units and its placement for voltage stability enhancement and energy loss minimization. *Ain Shams Engineering Journal*, 9(2), 187–201.
- Perkins, G. (2021). Perspectives and economics of combining biomass liquefaction with solar PV for energy storage and electricity production. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 16(1), 118–134.
- Rújula, A. A. B., Amada, J. M., Bernal-Agustín, J. L., Loyo, J. M. Y., & JA, D. N. (2005). Definitions for Distributed Generation: a revision. *RE&PQJ*, 3(1).
- Thornton, A., & Monroy, C. R. (2011). Distributed power generation in the United States. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(9), 4809–4817.
- Vita, V., Alimardan, T., & Ekonomou, L. (2015). The impact of distributed generation in the distribution networks' voltage profile and energy losses. *2015 IEEE European Modelling Symposium (EMS)*, 260–265.
- Winardi, B., Winarno, H., & Aditama, K. R. (2016). Perbaikan Losses dan Drop Tegangan PWI 9 dengan Pelimpahan Beban Ke Penyulang Baru PWI 11 di PT PLN (Persero) Area Semarang. *Transmisi: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 18(2), 64–69.
- Yunus, S. (2014). Analisa Pengaruh Integrasi Pembangkit Tersebar dalam Sistem Komposit. *Jurnal Nasional Teknik Elektro*, 3(1), 95–105.
- Yunus, S., & Ismail, I. (2018). Studi Penempatan dan Kapasitas Pembangkit Tersebar terhadap Profil Tegangan dan Rugi Saluran pada Saluran Marapalam. *Jurnal Nasional Teknik Elektro*, 8–17.