URANUS : Jurnal Ilmiah Teknik Elektro, Sains dan Informatika
Volume 3 Nomor. 2 June 2025
e-ISSN : 3031-996X, p-ISSN 3031-9951 Page 01-31
DOI: https://doi.org/10.61132/uranus.v3i2.766
Available online at: https://journal.arteii.or.id/index.php/Uranus

Analisis Pemasangan Kapasitor Bank sebagai Solusi untuk Mengurangi Drop Tegangan pada Penyulang Lowayu

Ari Purnomo Aji [1*], Denny Irawan [2], Rini Puji Astutik [3]

[1,2,3] Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Gresik, Indonesia

Jl. Sumatera No.101, Gn. Malang, Randuagung, Kecamatan Kebomas, Kabupaten Gresik, Jawa Timur 61121
Email: aripurnomoaji999@gmail.com

Abstract. *PT. PLN as an electricity provider that serves all regions in Indonesia certainly always wants to provide the best service to its consumers, including PT. PLN Persero UP3 Gresik. Along with the increase in consumers, the company continues to develop distribution lines, however, because the addition of more and more lines makes the distribution cables longer and the load becomes greater, resulting in voltage drops and power factors decreasing in several feeders, including in the feeder network. LOWAYU, causing poor power quality.This research aims to find and obtain the magnitude of the power flow which includes active power, reactive power, apparent power and the magnitude of the power losses (losses) contained in the LOWAYU feeder network, the magnitude of the voltage and voltage drop on each bus on the network. LOWAYU feeder using the backward-forward method. And determine the value of reactive power required for the capacitor on each bus that experiences a voltage drop. Then a comparison will be made between the results of manual calculations using the backward-forward method and the results of simulation data using ETAP Power Station 19.0.1 software.From this research, it can be seen that the safe limit for the voltage drop value is still below 5% or above 5%, so it is necessary to add capacitor banks to improve the power factor and reduce the voltage drop value on distribution network buses that experience voltage drops.*

Keywords: *Voltage drop, backward-forward method, ETAP, capacitor bank*

Abstrak. PT. PLN as an electricity provider that serves all regions in Indonesia certainly always wants to provide the best service to its consumers, including PT. PLN Persero UP3 Gresik. Along with the increase in consumers, the company continues to develop distribution lines, however, because the addition of more and more lines makes the distribution cables longer and the load becomes greater, resulting in voltage *drops* and power factors decreasing in several feeders, including in the feeder network. LOWAYU, causing poor power quality.This research aims to find and obtain the magnitude of the power flow which includes active power, reactive power, apparent power and the magnitude of the power losses (*losses*) contained in the LOWAYU feeder network, the magnitude of the voltage and voltage *drop* on each bus on the network. LOWAYU feeder using the *backward-forward* method. And determine the value of reactive power required for the capacitor on each bus that experiences a voltage *drop*. Then a comparison will be made between the results of manual calculations using the *backward-forward* method and the results of simulation data using *ETAP Power Station 19.0.1 software*.From this research, it can be seen that the safe limit for the voltage *drop* value is still below 5% or above 5%, so it is necessary to add capacitor banks to improve the power factor and reduce the voltage *drop* value on distribution network buses that experience voltage *drops*.

Keywords: Voltage *drop*, *backward-forward* method, ETAP, capacitor bank

Received: Juni 12, 2025; Revised: Juli 8, 2025; Accepted: April 21, 2025;
Online Available: May 6, 2025;

1. LATAR BELAKANG

PT. Perusahaan Listrik Negara (PLN) ialah perusahaan milik negara Indonesia dalam bidang ketenagalistrikan, diresmikan sejak tahun 1961 dan berganti menjadi Perusahaan Perseroan (Persero) pada tahun 1994. Pada PT. PLN Persero UP3 Gresik, seiring dengan bertambahnya konsumen, perusahaan terus melakukan pengembangan line distribusi, namun karena penambahan line yang semakin banyak membuat kabel distribusi bertambah panjang dan beban yang terus membesar sehingga muncul *drop tegangan* dan faktor daya menjadi menurun pada beberapa penyulang, diantaranya pada jaringan penyulang LOWAYU, menyebabkan kualitas daya menjadi buruk. Untuk itu perlu dilakukan analisa aliran daya supaya dapat diketahui kondisi pembebanan listrik pada penyulang terjadi *drop tegangan*. (BUMN, 2023)

Metode *Backward – Forward* akan digunakan sebahai metode untuk menghitung analisa aliran daya pada penyulang LOWAYU, karena metode ini dapat menyelesaikan anlisa alirn daya tanpa benyak perhitungan dan efisien pada setiap iterasi. (Susanto, Sarjiya, & Hadi, 2017)

Pengertian dari studi aliran daya ialah perhitungan atau penentuan dari tegangan, daya aktif, daya reaktif dan arus pada titik-titik jaringan listrik saat dalam kondisi operasi normal, mulai dari yang berpoerasi ataupun yang diperkirakan untuk kedepannya. Studi ini dilakukan untuk dapat mengetahui tegangan pada setiap bus yang ada di dalam sistem, baik untuk sudut fasa tegangan maupun magnitute, daya aktif dan daya reaktif yang melalui setiap saluran yang ada di dalam sistem, kondisi dari semua peralatan, sudah memenuhi atau belum daribatas-batas yang telah ditetapkan untuk menyalurkan daya listrik yang diinginkan. (Supriyadi, 2016)

Tindakan yang normal dilakukan untuk mengatasi adanya *drop tegangan* pada jaringan ialah dengan penambahan kapasitas pada trafo distribusi, sinkronisasi sistem distribusi mengunakan *distributed generated (DG).* Cara lain yang bisa dilakukan adalah dengan pemasangan kapasitor secara paralel, menentukan letak pemasangan yamg tepat dan kapasitas dari kapasitor berdasarkan faktor daya jaringan. (Zakwansyah, Sara, Lubis, & Amri, 2018)

Dalam penelitian ini juga mengaplikasikan software komputer yaitu ETAP (*Electrical Transient Analisis Program*) Power Station, yang di gunakan sebagai sarana untuk menguji dan mensimulasikan analisa aliran daya. ETAP ialah software yang dapat

digunakan untuk menghitung aliran daya pada sistem tenaga listrik dan dapat menganalisa sistem tenaga listrik yang sangat luas dan kompleks. ETAP yang digunakan peneliti yaitu *ETAP Power Station 19.0.1.*

Tujuan dari penelitian ini ialah mencari dan memperoleh besar nilai aliran daya antara lain daya aktif, daya reaktif, daya semu dan besar nilai rugi daya (*losses*), besar nilai tegangan dan jatuh tegangan pada setiapa bus yang ada pada jaringan penyulang LOWAYU. Dan menentukan nilai daya reaktif yang diperlukan untuk kapasitor disetiap bus yang mengalami *drop tegangan*.

2. KAJIAN TEORITIS

2.1 Sistem Distribusi

Sistem distribusi adalah bagian dari sistem tenga listrik yang bertugas mengirim energi listrik dari pembangkit listrik sampai ke konsumen. Termasuk didalamnya mulai dari jaringan tegangan menengah 20 kV dan jaringan tegangan rendah 380/220 V hingga ke pelanggan. Jaringan Tegangan Menengah (JTM) atau jaringan distribusi primer dan Jaringan Tegangan Rendah atau jaringan distribusi sekunder. Pendistribusian umumnya di lakukan melalui saluran udara dan bawah tanah. (Syufrijal & Monantun, 2014)

Berdasarkan pengawatannya, sistem distribusi tegangan menengah (JTM) dibagi menjadi dua, yaitu:

1. 20 KV 3 phase 3 kawat dengan pentanahan netral tinggi dan 20 KV dengan pentanahan netral rendah.
2. 20 KV 3 phase 4 kawat denga netral pentanhan langsung.

Pada elemen-elemen jaringan distribusi pada lokasi-lokasi tertentu akan dipasang trafo-trafo, yang difungsikan untuk menurunkan tegangan distribusi 20 kV menjadi 380/220 Volt. Dari trafo distribusi selanjutnya disalurkan menuju ke pelanggan dengan kabel-kabel tegangan rendah yang menjalar di sepanjang pusat pemukiman dari pelanggan komersial maupun industri pada lokasi tersebut. (Syufrijal & Monantun, 2014)

2.2 Jaringan Distribusi Primer

Jaringan distribusi primer dimulai dari sisi sekunder trafo daya pada gardu induk sampai ke sisi primer trafo distribusi yang terpasang pada tiang-tiang saluran. Pada distribusi primer terdapat 5 pola konfigurasi jaringan yaitu sistem radial, sistem loop, sistem spindel, sistem spot network dan sistem interkoneksi. (Syufrijal & Monantun, 2014)

2.3 Jaringan Distribusi Sekunder

Distribusi sekunder adalah system distribusi pada tegangan rendah (380/220 Volt) Jaringan distribusi sekunder dimula dari sisi sekunder trafo distribusi dan berakhir hingga ke alat ukur (meteran) pelanggan. Pendistribusian dilakukan menggunakan kawat berisolalsi. Karena sistem ini merupakan bagian yang berhubungan langsung dengan konsumen, maka kualitas listrik sudah selayaknya diperhatikan. (Syufrijal & Monantun, 2014)

2.4 Analisa Aliran Daya

Analisa aliran daya ialah analisa yang di dalamnya berisi perhitungan tegangan, daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) dari sistem pembangkit melalui saluran distribusi sampai pada beban. Besarnya daya yang mengalir tergantung pada besarnya beban yang terdapat pada bus. Manfaat yang didapat yaitu untuk mengetahui nilai daya dalam sistem tenaga listrik apakah masih memenuhi batas-batas yang telah ditentukan, mengetahui besar Losses, dan untuk memperoleh kondisi mula pada perencanaan sistem baru. (Nigara & Primadiyono, 2015)

2.5 Penyusutan Energi Pada Jaringan Distribusi

Ketika pendistribusian energi listrik dari sumber menuju konsumen dengan jarak yang jauh dapat menimbulkan rugi-rugi daya yang cukup besar, ini diperoleh dari rugi-rugi pada saluran dan trafo yang digunakan. Rugi-rugi pada jaringan distribusi bisa berupa rugi-rugi daya listrik dan rugi-rugi tegangan atau baisa disebut *drop voltage* / jatuh tegangan. Rugi-rugi ini berpotensi mempengaruhi kualitas daya dan tegangan yang di distribusikan ke pelanggan. Nilai tegangan yang melebihi batas toleransi beresiko membuat peralatan listrik konsumen tidak bekerja secara optimal. Sedangkan untuk pengelola energi listrik, rugi-rugi daya yang besar akan menimbulkan kerugian finansial. Penyebabnya karena saluran distribusi mempunyai hambatan, reaktansi dan kapasitansi. (Syufrijal & Monantun, 2014)

2.6 Effisiensi

Perbandingan antara besarnya daya listrik keluaran dengan daya listrik yang masuk pada saluran distribusi disebut effisiensi. Rumus untuk menghitung effisiensi yaitu :

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad \text{.....(2.1)}$$

$$P_{in} = P_{rugi-rugi} + P_{out} \quad \text{.....(2.2)}$$

Keterangan :

P_{in} = Daya yang masuk

P_{out} = Daya yang keluar

$P_{rugi-rugi}$ = Rugi-rugi daya pada saluran

2.7 Metode Backward-Forward

Analisa aliran daya yang bertujuan untuk mengetahui nilai tegangan pada setiap bus, aliran daya dan daya pada sistem transmisi maupun distribusi biasanya dilakukan dengan menggunakan metode *gauss siedel, newton raphson, dan fast decoupled.* Namun ketiga metode diatas mempunyai kekurangan apabila diterpakan pada sistem distribusi radial yang mempunyai perbandingan R/X tinggi, oleh karena itu metode *backward-forward* dipilih dimana analisa aliran daya pada sistem distribusi bisa diselesaikan tanpa banyak perhitungan dan efisien pada setiap iterasi. (Zakwansyah, Sara, Lubis, & Amri, 2018)

Metode *backward-forward* dalam analisa aliran daya jaringan distribusi radial akan digambarkan seperti sebuah pohon dengan bus pertama sebagai akar (slack bus) dan bus lainnya sebagai cabang (bus beban). (Novialifiah, Soeprijanto, & Wibowo, 2014)

Untuk menghitung arus pada metode *bacward-forward* menggunakan prinsip hukum Kirchoff. Langkah kerja metode backward-forward yang pertama adalah menghitung besar arus yang mengalir pada saluran dari bus awal hingga akhir (bacward), langkah kedua yaitu menghitung nilai drop tegangan pada setiap saluran dengan mengalikan nilai arus yang tealh dihitung sebelumnyan dengan nilai impedansi salurannya (forward). (Novialifiah, Soeprijanto, & Wibowo, 2014)

Persamaan-persamaan dalam metode *backward-forward* :

1. Menghitung arus yang mengalir pada saluran dari bus awal hingga akhir dengan persamaan :

   $I_{Idi} = \left[\frac{P_i + jQ_i}{V_i}\right]$ ..... (2.3)

   Keterangan :

   I_{Idi} = Arus beban pada titik *i*

   P_i = Kebutuhan daya aktif pada titik *i*

   Q_i = Kebutuhan daya reaktif pada titik *i*

   V_i = Tegangan pada titik *i*

2. Menghitung tegangan pada masing-masing bus dengan persamaan :

   $V_i = V_{Ui} - Z_i . I_{Li}$ ..... (2.4)

   Keterangan :

   V_i = Tegangan pada titik *i*

   V_{Ui} = Tegangan pada atas dari titik *i*

   Z_i = Impedansi salulan *i*

   I_{Li} = Arus yang mengalir pada saluran *i*

2.8 Kapasitor Bank

Pemasangan kapasitor berdasarkan nilai faktor daya beban, daya reaktifyang didapat dari kapasitor berdasarkan nilai daya reaktif awal terhdap nilai daya reaktif baru. (Zakwansyah, Sara, Lubis, & Amri, 2018) Daya reaktif yang diperlukan kapasitor dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$Q_C = P(tan\Phi 1 - tan\Phi 2)$ ..... (2.5)

Keterangan :

Q_C = Kapasitansi kapasitor daya (kVAr)

P = Daya aktif (kW)

$cos\Phi 1$ = Faktor daya awal

$cos\Phi 2$ = Faktor daya yang akan diperbaiki

Atau bisa juga dengan persamaan berikut :

$Q_C = Q1 - Q2$ ..... (2.6)

Keterangan :

Q_C = Daya reaktif kapasitor bank yang dibutuhkan (kVAr)

$Q1$ = Daya reaktif sebelum diperbaiki (kVAr)

$Q2$ = Daya reaktif yang ingin dicapai (kVAr)

Besar kapasitor yang dibutuhkan dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$C = \frac{1}{2 \times \pi f X_C}$ ..... (2.7)

Atau

$C = \frac{Q_C}{2\pi f V^2}$ ..... (2.8)

2.9 ETAP

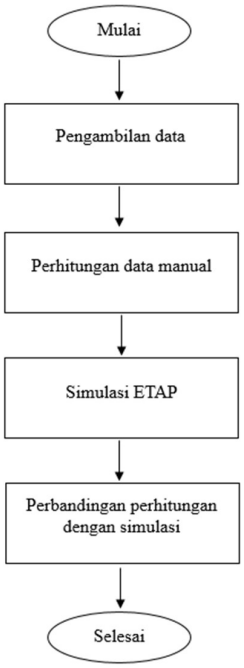
Software *ETAP Power Station 19.0.1* merupakan software yang digunakan untuk simulasi suatu jaringan tenaga listrik. Salah satunya adalah untuk mensimulasikan studi aliran beban suatu jaringan listrik. Dari simulasi yang dilakukan akan diketahui besarnya rugi-rugi daya dan kondisi profil tegangan pada sistem tenaga listrik. Dan dengan diketahui nilai tegangan, arus dan daya, maka dapat dilakukan analisis sistem tenaga listrik yang digunakan untuk memperbaiki rugi-rugi daya yang terjadi dan memperbaiki profil tegangan pada jaringan tersebut. (Kumolo, 2014)

3. METODE PENELITIAN

Pada penelitian di menggunakan metode *Backward-Forward* . Metode ini digunakan untuk perhitungan manual dari data yang telah diperoleh dari penyulang LOWAYU di PT. PLN UP3 Gresik. Data tersebut berupa data konfigurasi jaringan penyulang, beban penyulang (beban penuh), panjang saluran penyulang, data sheet kabel yang digunakan (jenis kabel, luas penampang kabel, dan impedansi kabel), daya,tegangan dan arus.

3.1 Flow Chart Penelitian

Didalam flow chart ini berisi alur metodologi penyelesaian untuk melaksanakan penelitian ini.



Gambar 1. Flow Chart Penelitian

3.2 Tahapan Penelitian

Pada tahapan penelitian berisi langkah-langkah dalam mengerjakan penelitian Analisis Pemasangan Kapasitor Bank Sebagai Solusi Mengurangi Drop Tegangan Pada Penyulang LOWAYU.

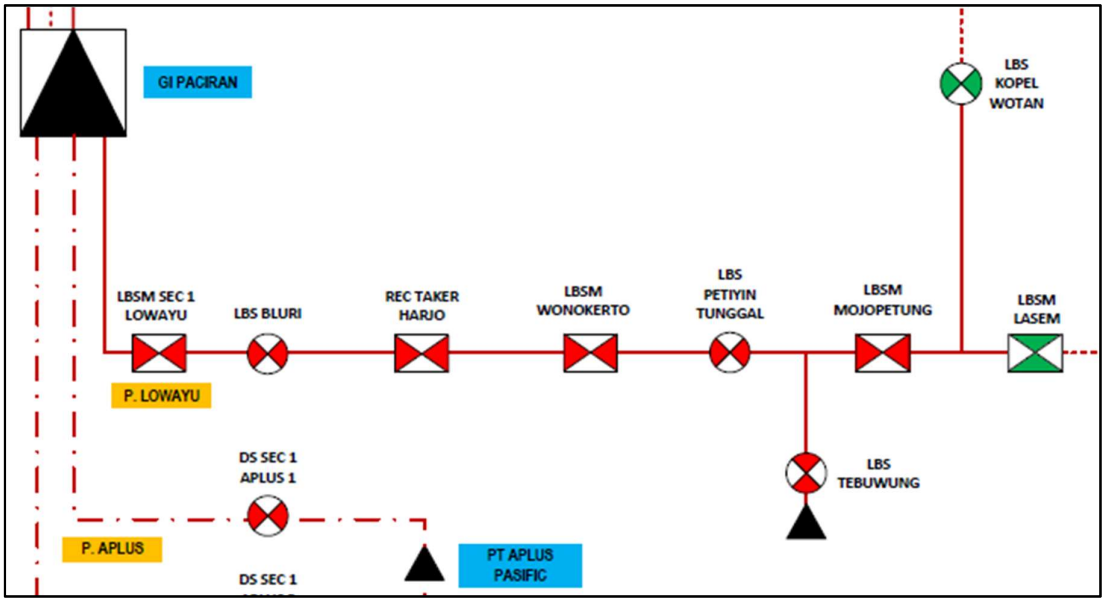
3.2.1 Pengambilan Data

Proses pengambilan data dilakukan pada saat penyulang LOWAYU dalam kondisi beban penuh dengan tujuan untuk mendapatkan data ketika penyulang bekerja dalam kondisi maksimal. Pengambilan data dilaksanakan tanggal 26 Oktober 2023 pada penyulang LOWAYU di PT. PLN UP3 Gresik. Berikut ini merupakan data-data yang telah diperoleh, antara lain :

3.2.1.1 Single Line Konfigurasi Penyulang LOWAYU.

Data pertama yang digubakan dalam penelitian ini adalah data gambar *single line* penyulang LOWAYU.

Berikut gambar *single line* dari penyulang LOWAYU.



Gambar 2. Single Line Penyulang LOWAYU

3.2.1.2 Data Sheet Penghantar yang Digunakan.

Data sheet penghantar yang digunakan berdasarkan SPLN 64:1985. Berikut adalah data sheet yang digunakan pada penyulang LOWAYU :

Tabel 1. Data Sheet Kabel yang digunakan pada Penyulang LOWAYU

Tipe Kabel	Ukuran	Impedansi Positif (Ohm/Km)	Impedansi Nol (Ohm/Km)
AAAC	150mm^2	0,2162 + j 0,3305	0,3631 + j 1,6180

Tabel 2. Data Penghantar Penyulang LOWAYU PLN UP3 Gresik

PENYULANG LOWAYU					
Sect	Alamat			Panjang Jaringan (Kms)	AAAC Ukuran (mm^2)
1	GI	s/d	LBSM SECT 1	0.630	150
2	LBSM SECT 1		LBS Bluri	3.150	150
3	LBS Bluri		REC Takerharjo	6.825	150
4	REC Takerharjo		LBSM Wonokerto	6.605	150
5	LBSM Wonokerto		LBS Petiyin Tunggal	3.725	150
6	LBS Petiyin Tunggal		REC Tebuwung	14.712	150
7	REC Tebuwung		LBSM Mojopetung	6.954	150
8	LBSM Mojopetung		LBSM Lasem	12.560	150

3.2.1.3 Data Beban Penyulang

Data beban disini adalah nilai beban (A) dan tegangan (kV) pada setiap section yang ada pada penyulang LOWAYU. Data Daya (KVA) yang didapatkan dari PLN kita konversikan menjadi Arus (I), karena didalam pemodelan ETAP data yang akan di input berupa Arus (I).

Rumus konversi Daya (KVA) ke Arus (I):

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \times V} \quad (3.1)$$

Tabel 3. Data Beban (A) Penyulang LOWAYU

PENYULANG LOWAYU					
Sect	Alamat			Daya (KVA)	Beban (A)
1	GI	s/d	LBSM SECT 1	-	0
2	LBSM SECT 1		LBS Bluri	220	6,36
3	LBS Bluri		REC Takerharjo	560	16,18
4	REC Takerharjo		LBSM Wonokerto	765	22,11
5	LBSM Wonokerto		LBS Petiyin Tunggal	1195	34,56
6	LBS Petiyin Tunggal		REC Tebuwung	720	20,81
7	REC Tebuwung		LBSM Mojopetung	395	11,42
8	LBSM Mojopetung		LBSM Lasem	1310	37,88

Tabel 4. Data Tegangan Pada Setiap BUS Dari Hasil Simulasi ETAP 19.0.1

PENYULANG LOWAYU					
Sect	Alamat			Tegangan (kV)	cos φ
1	GI	s/d	LBSM SECT 1	-	-
2	LBSM SECT 1		LBS Bluri	20,24	0,85
3	LBS Bluri		REC Takerharjo	19,66	0,85
4	REC Takerharjo		LBSM Wonokerto	19,17	0,85
5	LBSM Wonokerto		LBS Petiyin Tunggal	18,94	0,85
6	LBS Petiyin Tunggal		REC Tebuwung	18,35	0,85
7	REC Tebuwung		LBSM Mojopetung	18,16	0,85
8	LBSM Mojopetung		LBSM Lasem	17,89	0,85

Tabel 5. Alamat Beban Gardu Penyulang LOWAYU

PENYULANG LOWAYU		
Section	Gardu	Alamat
Section 2	NB0107	DS. BLURI SOLOKURO LMG
Section 3	NB0108	DS. BANYU BANG SOLOKURO LAMONGAN
	NB0094	DS. TAKERHARJO
	NB0287	DS. BLURI
	NB0335	DS TAKER SISIPAN
	NB0109	DS. DAGAN SOLOKURO
	NB0313	DS DAGAN
	NB0093	DS TAKERHARJO
Section 4	NB0119	DS. PETIYIN TAKER SOLOKURO LMG
	NB0362	SOFYAN ADIYANTO
	NB0072	DS. KR. CANGKRING

	NB0082	DS. SAWO DUKUN
	NB0083	DS. SAWO DUKUN
	NB0302	DS KEDONG KEDOOAN
	NB0306	PERUM SAWO
	NB0336	PASAR SAWO
	NB0339	DS SISIPAN SAWO
	NB0392	UD SUMBER NUSANTARA
Section 5	NB0058	DS. LOWAYU DUKUN
	NB0135	JL.Raya Petiyen Tunggal
	NB0142	JALAN LOWAYU DUKUN
	NB0372	SAMUJI (MALINDO)
	NB0291	DS.H M SHOLEH MASKUM
	NB0301	UD ADEM AYEM
	NB0081	DS. WONOKERTO DUKUN
	NB0123	DS. BULANGAN
	NB0354	DS WONOKERTO
	NB0073	DS LOWAYU
	NB0088	DS LOWAYU KEC. DUKUN
	NB0111	DS. BANGERAN DUKUN
	NB0181	DS BANGERAN LEBAK
	NB0231	DS LOWAYU DUKUN
	NB0232	DS LOWAYU
	NB0347	MASJID LOWAYU
Section 6	NB0134	DS. TEBUWUNG DUKUN
	NB0059	DS. MENTARAS DPN KTR POLISI
	NB0314	PUSKESMAS DUKUN
	NB0068	DS PETIYIN TUNGGAL
	NB0067	DS. SUKODONO PANCENG
	NB0266	CV. AKTIVA ALAM NUSANTARA
	NB0060	DS. MENTARAS DUKUN
	NB0101	DESA REJOSARI
	NB0280	DS. MENTARAS
	NB0140	DS. MENTARAS
Section 7	NB0071	DS TEBUWUNG
	NB0281	DS TEBUWUNG
	NB0091	DS. TIREM ENGGAL DUKUN
	NB0092	DS. KARANG ASEM DUKUN
	NB0127	DS. MADUMULYOREJO
	NB0115	DS. BARON DUKUN
	NB0404	DS MENTARAS
Section 8	NB0065	DS. PETUNG PANCENG
	NB0041	DS. BABAK BAWO DUKUN
	NB0210	DS BABAK BAWO

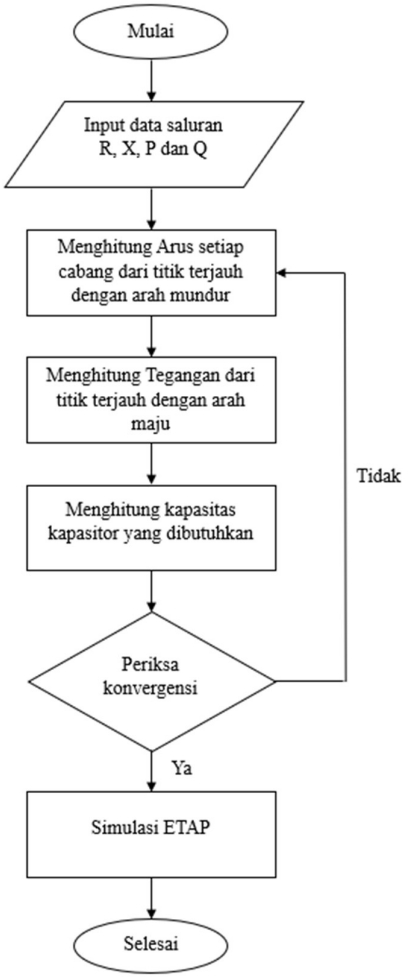
	NB0066	DS.WOTAN PANCENG
	NB0329	GAPURO WOTAN PETUNG
	NB0294	LASEM
	NB0337	WADUK WOTAN
	NB0330	PETUNG COB IMAAN
	NB0057	DS. IMAAN DUKUN
	NB0124	DS. JREBENG DUKUN
	NB0104	DS SEKARGADUNG
	NB0182	DS SIDOMULYO BABAKBAWO
	NB0043	DS. SUKOREJO
	NB0042	DS. SAMBOGUNUNG
	NB0358	SUKOREJO
	NB0100	DS.MOJOPETUNG
	NB0268	LASEM

3.3 Diagram Alir Metode Backward-Forward

Berikut ini adalah keterangan analisa data pada gambar 3:

1. Input data-data yang diperlukan untuk melakukan perhitungan dari data yang telah diperoleh dari PT. PLN UP3 Gresik.
2. Menghitung tegangan yang telah diketahui nilai impedansi dan arus yang mengalir pada saluran setiap bus dengan persamaan (2.21).
3. Setelah itu dilanjutkan dengan menghitung arus cabang pada masing-masing bus dengan matrik BIBC pada persamaan (2.22) (2.23).
4. Selanjutnya menghitung tegangan pada cabang-cabang menggunakan matrik BCBV pada persamaan (2.24) (2.25).
5. Dilanjutkan dengan menghitung nilai jatuh tegangan (drop voltage) dengan persamaan (2.26) (2.27).
6. Selanjutnya menghitung tegangan asli dari penyulang dengan persamaan (2.28).
7. Menghitung rugi-rugi daya menggunakan persamaan (2.29) (2.30).
8. Selanjutnya menghitung kapasitas kapasitor yang diperlukan untuk memperbaiki faktor daya pada bus-bus yang mengalami jatuh tegangan, dengan persamaan (2.33) (2.34).
9. Periksa apakah arus dan tegangan sesuai dengan konvergensi? Jika belum, kembali ke langkah 2, dan jika sudah
10. Lakukan simulasi rangkaian jaringan menggunakan software *ETAP 19.0.1*.

11. Bandingkan hasil perhitungan manual dengan hasil simulasi software *ETAP 19.0.1*.



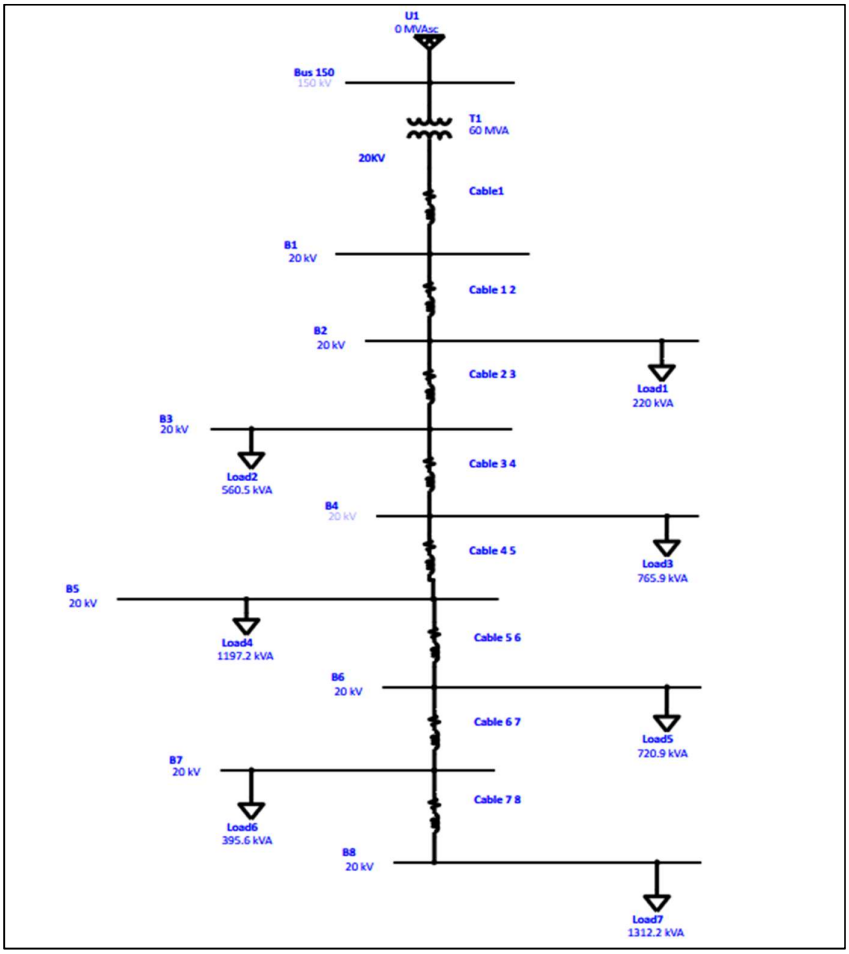
Gambar 3. Flowcahrt analisa

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Perancangan Dan Susunan Jaringan

Langkah pertama dalam melakukan penelitian ini adalah dengan membuat pemodelan *sigle line* konfigurasi jaringan dari penyulang LOWAYU yang berpusat di trafo GI PACIRAN dengan menggunakan *software* ETAP 19.0.1

Berikut ini adalah bentuk pemodelan konfigurasi *single line* jaringan dari penyulang LOWAYU pada *software* ETAP 19.0.1.



Gambar 4. Pemodelan Single Line Konfigurasi Penyulang LOWAYU Menggunakan Software ETAP 19.0.1

Pemodelan single line konvigirasi penyulang LOWAYU berdasarkan pada data yang telah diperoleh dari PT. PLN UP3 Gresik, yang akan digunakan dalam perhitungan metode *Backward – Forward* dan simulasi.Dari Gambar 4. 1 keterangan dari singkatan / simbol yang ada pada gambar pemodelan *single line* penyulang LOWAYU akan dijelaskan pada table berikut :

Tabel 6. Simbol Dan Keterangan Single Line Penyulang Lowayu.

No.	Singkatan / Simbol	Keterangan
1.	T1	Trafo GI PACIRAN
2.	B1	Bus 1
3.	B2	Bus 2
4.	B3	Bus 3
5.	B4	Bus 4
6.	B5	Bus 5
7.	B6	Bus 6
8.	B7	Bus 7
9.	B8	Bus 8
10.	Cable1	Kabel penghantar dari Trafo menuju Bus 1
11.	Cable 1 2	Kabel penghantar dari Bus 1 menuju Bus 2
12.	Cable 2 3	Kabel penghantar dari Bus 2 menuju Bus 3
13.	Cable 3 4	Kabel penghantar dari Bus 3 menuju Bus 4
14.	Cable 4 5	Kabel penghantar dari Bus 4 menuju Bus 5
15.	Cable 5 6	Kabel penghantar dari Bus 5 menuju Bus 6
16.	Cable 6 7	Kabel penghantar dari Bus 6 menuju Bus 7
17.	Cable 7 8	Kabel penghantar dari Bus 7 menuju Bus 8

4.2 Menentukan Nilai Daya Pada Jaringan Penyulang LOWAYU

Sebelum melakukan perhitungan metode *Backward – Forward* kita hitung dulu daya aktif (P), daya reaktif (Q) dan daya semu (S) untuk memastikan nilai daya setiap bus pada jaringan penyulang LOWAYU. Berikut adalah perhitungan daya aktif, daya reaktif dan daya semu :

4.2.1 Mencari Nilai Daya Aktif (P) Pada Setiap Bus

Perhitungan mencari nilai daya aktif dimulai dari bus 2 sampai bus 8. Berikut perhitungannya :

3. Menentukan daya aktif pada bus 2

$$P_2 = \sqrt{3}.V.I.\cos\theta$$

$$P_2 = \sqrt{3} \times 20530 \times 6{,}36 \times 0{,}85 = 192{,}004\ KW$$

4. Menentukan daya aktif pada bus 3

$$P_3 = \sqrt{3}.V.I.\cos\theta$$

$$P_3 = \sqrt{3} \times 20530 \times 16{,}18 \times 0{,}85 = 488{,}464\ KW$$

5. Menentukan daya aktif pada bus 4

   $P_4 = \sqrt{3}.V.I.\cos\theta$

   $P_4 = \sqrt{3} \times 20530 \times 22{,}11 \times 0{,}85 = 667{,}487\ KW$

6. Menentukan daya aktif pada bus 5

   $P_5 = \sqrt{3}.V.I.\cos\theta$

   $P_5 = \sqrt{3} \times 20530 \times 34{,}56 \times 0{,}85 = 1043{,}344\ KW$

7. Menentukan daya aktif pada bus 6

   $P_6 = \sqrt{3}.V.I.\cos\theta$

   $P_6 = \sqrt{3} \times 20530 \times 20{,}81 \times 0{,}85 = 628{,}241\ KW$

8. Menentukan daya aktif pada bus 7

   $P_7 = \sqrt{3}.V.I.\cos\theta$

   $P_7 = \sqrt{3} \times 20530 \times 11{,}42 \times 0{,}85 = 344{,}763\ KW$

9. Menentukan daya aktif pada bus 8

   $P_8 = \sqrt{3}.V.I.\cos\theta$

   $P_8 = \sqrt{3} \times 20530 \times 37{,}88 \times 0{,}85 = 1143{,}573\ KW$

4.2.2 Mencari Nilai Daya Reaktif (Q) Pada Setiap Bus

Perhitungan mencari nilai daya reaktif dimulai dari bus 2 sampai bus 8. Berikut perhitungannya :

1. Menentukan daya reaktif pada bus 2

   $Q_2 = \sqrt{3}.V.I.\sin\varphi$

   $Q_2 = \sqrt{3} \times 20530 \times 6{,}36 \times 0{,}53 = 119{,}720\ KVAR$

2. Menentukan daya reaktif pada bus 3

   $Q_3 = \sqrt{3}.V.I.\sin\varphi$

   $Q_3 = \sqrt{3} \times 20530 \times 16{,}18 \times 0{,}53 = 304{,}571\ KVAR$

3. Menentukan daya reaktif pada bus 4

   $Q_4 = \sqrt{3}.V.I.\sin\varphi$

   $Q_4 = \sqrt{3} \times 20530 \times 22{,}11 \times 0{,}53 = 416{,}197\ KVAR$

4. Menentukan daya reaktif pada bus 5

   $Q_5 = \sqrt{3}.V.I.\sin\varphi$

   $Q_5 = \sqrt{3} \times 20530 \times 34{,}56 \times 0{,}53 = 650{,}556\ KVAR$

5. Menentukan daya reaktif pada bus 6

$Q_6 = \sqrt{3}.V.I.\sin\varphi$

$Q_6 = \sqrt{3} \times 20530 \times 20{,}81 \times 0{,}53 = 391{,}726\ KVAR$

6. Menentukan daya reaktif pada bus 7

$Q_7 = \sqrt{3}.V.I.\sin\varphi$

$Q_7 = \sqrt{3} \times 20530 \times 11{,}42 \times 0{,}53 = 214{,}969\ KVAR$

7. Menentukan daya reaktif pada bus 8

$Q_8 = \sqrt{3}.V.I.\sin\varphi$

$Q_8 = \sqrt{3} \times 20530 \times 37{,}88 \times 0{,}53 = 713{,}051\ KVAR$

4.2.3 Mencari Nilai Daya Semu (S) Pada Setiap Bus

Perhitungan mencari nilai daya semu dimulai dari bus 2 sampai bus 8. Berikut perhitungannya :

10. Menentukan daya semu pada bus 2

$S_2 = \sqrt{P^2 + Q^2}$

$S_2 = \sqrt{192{,}004^2 + 119{,}720^2} = 226{,}271\ KVA$

11. Menentukan daya semu pada bus 3

$S_3 = \sqrt{P^2 + Q^2}$

$S_3 = \sqrt{488{,}464^2 + 304{,}571^2} = 575{,}639\ KVA$

12. Menentukan daya semu pada bus 4

$S_4 = \sqrt{P^2 + Q^2}$

$S_4 = \sqrt{667{,}487^2 + 416{,}197^2} = 786{,}612\ KVA$

13. Menentukan daya semu pada bus 5

$S_5 = \sqrt{P^2 + Q^2}$

$S_5 = \sqrt{1043{,}344^2 + 650{,}556^2} = 1229{,}549\ KVA$

14. Menentukan daya semu pada bus 6

$S_6 = \sqrt{P^2 + Q^2}$

$S_6 = \sqrt{628{,}241^2 + 391{,}726^2} = 740{,}362\ KVA$

15. Menentukan daya semu pada bus 7

$$S_7 = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

$$S_7 = \sqrt{344{,}763^2 + 214{,}969^2} = 406{,}291\ KVA$$

16. Menentukan daya semu pada bus 8

$$S_8 = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

$$S_8 = \sqrt{1143{,}573^2 + 713{,}051^2} = 1347{,}665\ KVA$$

Tabel 7. Hasil Perhitungan Nilai Daya Setiap Bus Pada Penyulang LOWAYU

Bus	Daya Aktif (P) KW	Daya Reaktif (Q) KVAR	Daya Semu (S) KVA
Bus 2	192,464	119,720	226,271
Bus 3	488,464	304,571	575,639
Bus 4	667,487	416,197	786,612
Bus 5	1043,344	650,556	1229,549
Bus 6	628,241	391,726	740,362
Bus 7	344,763	214,969	406,291
Bus 8	1143,573	713,051	1347,665

4.3 Perhitungan Metode Backward – Forward

Langkah kerja metode backward-forward yang pertama adalah menghitung besar arus yang mengalir pada saluran dari bus awal hingga akhir (bacward), langkah kedua yaitu menghitung nilai drop tegangan pada setiap saluran dengan mengalikan nilai arus yang telah dihitung sebelumnyan dengan nilai impedansi salurannya (forward) dengan rumus dibawah ini. Pada tabel 8 merupakan hasil perhitungan tegangan pada bus.

$$V_i = V_{Ui} - Z_i . I_{Li} \quad \text{.....} (2.9)$$

Keterangan :

V_i = Tegangan pada titik *i*

V_{Ui} = Tegangan pada atas dari titik *i*

Z_i = Impedansi salulan *i*

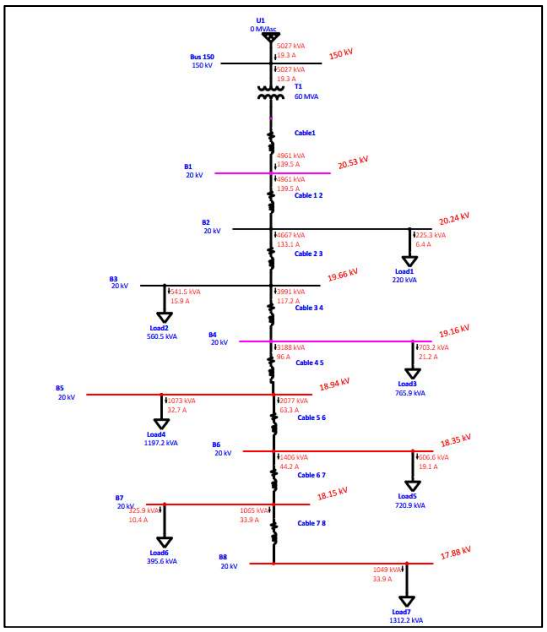
I_{Li} = Arus yang mengalir pada saluran *i*

Tabel 8. Nilai Tegangan Pada Setiap Bus Jaringan Penyulang LOWAYU.

Bus	Tegangan (KV) Iterasi 1	Tegangan (KV) Iterasi 2	Tegangan (KV) Iterasi 3	Tegangan (KV) Iterasi 4	Tegangan (KV) Iterasi 5
Bus 2	20,344	20,332	20,331	20,331	20,331
Bus 3	19,958	19,920	19,917	19,917	19,917
Bus 4	19,627	19,565	19,560	19,560	19,560
Bus 5	19,472	19,399	19,393	19,393	19,393
Bus 6	19,064	18,955	18,946	18,945	18,945
Bus 7	18,929	18,807	18,797	18,796	18,796
Bus 8	18,741	18,601	18,589	18,588	18,588

4.4 Simulasi Menggunakan Software ETAP 19.0.1

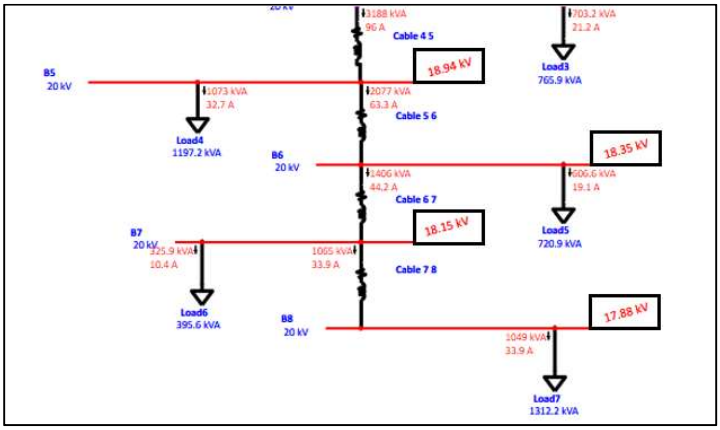
Dari pemodelan single line konvigirasi penyulang LOWAYU berdasarkan pada data yang telah diperoleh dari PT. PLN UP3 Gresik, selanjutnya akan dilakukan simulasi untuk mengetahui nilai *drop tegangan* yang terjadi pada jarinan penyulang LOWAYU. Berikut adalah gambar pemodelan hasil simulasi aliran daya pada jaringan penyulang LOWAYU :



Gambar 5. Simulasi Aliran Daya Penyulang LOWAYU Dengan Sofware ETAP

Dari simulasi tersebut juga dapat diketahui besar nilai arus yang mengalir, tegangan pada setiap bus dan daya yang terpakai pada jaringan penyulang LOWAYU.

Berikut adalah gambar yang menunjukkan setiap bus yang mengalami *drop tegangan* :



Gambar 6. Bus Yang Mengalami Drop Tegangan Pada Penyulang LOWAYU

Dari hasil simulasi menggunakan software ETAP 19.0.1 dapat diketahui bahwa drop tegangan terjadi mulai dari bus 5, bus 6, bus 7 dan bus 8 dimana drop tegangan sudah melebihi batas toleransi standart dari SPLN yaitu 5%. Berikut ini adalah hasil dari Load Flow Analyzer pada jaringan penyulang LOWAYU, dimana bus yang mengalami drop tegangan melebihi 5% ditandai dengan warna merah :

Load Flow Analyzer

Study Reports

Ref.	Select	Reports
⊙	☑	PENYULANG LOWAYU 2

	Bus ID	Nominal kV	Voltage	kvar Loading	Amp Loading
1	B1	20	20.525	4951.2	139.5
2	B2	20	20.242	4884.9	139.5
3	B3	20	19.658	4528.9	133.1
4	B4	20	19.164	3889.3	117.2
5	B5	20	18.937	3149	96.04
6	B6	20	18.346	2011.9	63.33
7	B7	20	18.152	1390.6	44.24
8	B8	20	17.884	1049.2	33.87

Gambar 7. Load Flow Analyzer Penyulang LOWAYU Simulasi ETAP 19.0.1

4.5 Perbandingan Hasil Drop Tegangan Perhitungan Manual Dengan Simulasi ETAP 19.0.1

Berikut ini adalah perbandingan hasil analisa pada penyulang LOWAYU antara perhitungan manual menggunakan metode *backward* - *forward* dengan simulasi menggunakan *software* ETAP 19.0.1. Berikut perbandingan perhitungan manual dengan simulasi ETAP :

Tabel 9.Perbandingan Perhitugan

Bus	Perhitungan Manual		Simulasi ETAP		Persentase Akurasi (%)
	Tegangan (KV)	Arus (A)	Tegangan (KV)	Arus (A)	
Bus 2	20,331	6,43	20,242	6,43	99,6
Bus 3	19,917	16,71	19,658	15,9	98,7
Bus 4	19,560	23,25	19,164	21,19	98
Bus 5	19,393	36,65	18,937	32,72	97,6
Bus 6	18,945	22,59	18,346	19,09	96,8
Bus 7	18,796	12,49	18,152	10,36	96,6
Bus 8	18,588	41,9	17,884	33,87	96,2

Dari tabel 9 diatas dapat diketahui nilai drop tegangan dari hasil perhitungan manual menggunakan metode backward – forward dan hasil simulasi menggunakan software ETAP 19.0.1 didapatkan nilai rata-rata persentase akurasi sebesar 97,6 %.

4.6 Mencari Rugi-Rugi Daya

Rugi-rugi daya (losses) yang besar terjadi ketika proses penyaluran, karena luasnya daerah (semakin panjang saluran) yang membutuhkan suplai tenaga listrik dari jaringan distribusi.

4.6.1 Menghitung Rugi Daya Semu (S) Pada Setiap Bus

1. Menghitung rugi daya semu pada bus 2

$$S_s = V_{S\,(B1)} \times I_{B2}$$

$$S_S = 20{,}530 \times 160{,}03 = 3285{,}42$$

$$S_r = V_{R\,(B1)} \times I_{B2}$$

$$S_r = 20{,}331 \times 160{,}03 = 3253{,}57$$

$$S_L = S_s \times S_r$$

$$S_L = 3285{,}42 - 3253{,}57 = 31{,}85\ KVA$$

2. Menghitung rugi daya semu pada bus 3

$$S_s = V_{S\,(B2)} \times I_{B3}$$
$$S_S = 20{,}331 \times 153{,}59 = 3122{,}64$$
$$S_r = V_{R\,(B2)} \times I_{B3}$$
$$S_r = 19{,}917 \times 153{,}64 = 3059{,}05$$
$$S_L = S_s \times S_r$$
$$S_L = 3122{,}64 - 3059{,}05 = 63{,}59\ KVA$$

3. Menghitung rugi daya semu pada bus 4

$$S_s = V_{S\,(B3)} \times I_{B4}$$
$$S_S = 19{,}917 \times 136{,}89 = 2726{,}44$$
$$S_r = V_{R\,(B3)} \times I_{B4}$$
$$S_r = 19{,}560 \times 136{,}89 = 2677{,}57$$
$$S_L = S_s \times S_r$$
$$S_L = 2726{,}44 - 2677{,}57 = 48{,}87\ KVA$$

4. Menghitung rugi daya semu pada bus 5

$$S_s = V_{S\,(B4)} \times I_{B5}$$
$$S_S = 19{,}560 \times 113{,}64 = 2222{,}79$$
$$S_r = V_{R\,(B4)} \times I_{B5}$$
$$S_r = 19{,}393 \times 113{,}64 = 2203{,}82$$
$$S_L = S_s \times S_r$$
$$S_L = 2222{,}79 - 2203{,}82 = 18{,}98\ KVA$$

5. Menghitung rugi daya semu pada bus 6

$$S_s = V_{S\,(B5)} \times I_{B6}$$
$$S_S = 19{,}393 \times 76{,}99 = 1493{,}13$$
$$S_r = V_{R\,(B5)} \times I_{B6}$$
$$S_r = 18{,}945 \times 76{,}99 = 1458{,}63$$
$$S_L = S_s \times S_r$$
$$S_L = 1493{,}13 - 1458{,}63 = 34{,}5\ KVA$$

6. Menghitung rugi daya semu pada bus 7

$$S_s = V_{S\,(B6)} \times I_{B7}$$
$$S_S = 18{,}945 \times 54{,}4 = 1030{,}66$$
$$S_r = V_{R\,(B6)} \times I_{B7}$$
$$S_r = 18{,}796 \times 54{,}4 = 1022{,}56$$
$$S_L = S_s \times S_r$$
$$S_L = 1030{,}66 - 1022{,}56 = 8{,}11\ KVA$$

7. Menghitung rugi daya semu pada bus 8

$$S_s = V_{S\,(B7)} \times I_{B8}$$

$$S_S = 18{,}796 \times 41{,}9 = 787{,}72$$

$$S_r = V_{R\,(B7)} \times I_{B8}$$

$$S_r = 18{,}588 \times 41{,}9 = 779$$

$$S_L = S_s \times S_r$$

$$S_L = 787{,}72 - 779 = 8{,}7\ KVA$$

4.6.2 Menghitung Rugi Daya Aktif (P) Pada Setiap Bus

Untuk menghitung rugi-rugi daya semu (S) pada setiap bus sebagai berikut .

1. Menghitung rugi daya aktif pada bus 2

$$P_L = \sqrt{3} \times S_{L\,(B2)} \times cos\ \varphi$$

$$P_L = \sqrt{3} \times 31{,}85 \times 0.85 = 46{,}8\ \text{KW}$$

2. Menghitung rugi daya aktif pada bus 3

$$P_L = \sqrt{3} \times S_{L\,(B3)} \times cos\ \varphi$$

$$P_L = \sqrt{3} \times 63{,}59 \times 0.85 = 93{,}5\ KW$$

3. Menghitung rugi daya aktif pada bus 4

$$P_L = \sqrt{3} \times S_{L\,(B4)} \times cos\ \varphi$$

$$P_L = \sqrt{3} \times 48{,}87 \times 0.85 = 71{,}8\ KW$$

4. Menghitung rugi daya aktif pada bus 5

$$P_L = \sqrt{3} \times S_{L\,(B5)} \times cos\ \varphi$$

$$P_L = \sqrt{3} \times 18{,}98 \times 0.85 = 27{,}9\ KW$$

5. Menghitung rugi daya aktif pada bus 6

$$P_L = \sqrt{3} \times S_{L\,(B6)} \times cos\ \varphi$$

$$P_L = \sqrt{3} \times 34{,}49 \times 0.85 = 50{,}7\ KW$$

6. Menghitung rugi daya aktif pada bus 7

$$P_L = \sqrt{3} \times S_{L\,(B7)} \times cos\ \varphi$$

$$P_L = \sqrt{3} \times 8{,}11 \times 0.85 = 11{,}9\ KW$$

7. Menghitung rugi daya aktif pada bus 8

$$P_L = \sqrt{3} \times S_{L\,(B8)} \times cos\ \varphi$$

$$P_L = \sqrt{3} \times 8{,}7 \times 0.85 = 12{,}8\ KW$$

4.6.3 Rugi-Rugi Daya Dari Hasil Simulasi ETAP 19.0.1

Dari hasil simulai menggunakan *software* ETAP 19.0.1 didapatkan nilai rugi daya atau losses yang dapat dilihat pada laporan *Branch Losses Summary Report.* Berikut adalah gambar dari laporan *Branch Losses Summary Report* :

Branch Losses Summary Report

Branch ID	From-To Bus Flow		To-From Bus Flow		Losses	
	MW	Mvar	MW	Mvar	kW	kvar
Cable 1 2	0.306	4.951	-0.265	-4.885	41.6	66.3
Cable 2 3	0.263	4.660	-0.181	-4.529	82.1	130.7
Cable 3 4	0.176	3.987	-0.114	-3.889	61.6	98.1
Cable 4 5	0.108	3.186	-0.085	-3.149	23.3	37.1
Cable 5 6	0.076	2.076	-0.036	-2.012	40.1	63.8
Cable 6 7	0.031	1.405	-0.021	-1.391	9.2	14.7
Cable 7 8	0.019	1.065	-0.009	-1.049	9.8	15.6

Gambar 8. Laporan Rugi Daya Pada Penyulang LOWAYU Dari Hasil Simulasi Software ETAP 19.0.1

4.6.4 Perbandingan Nilai Rugi-Rugi Daya Perhitungan Manual Dengan Simulasi ETAP 19.0.1

Berikut ini adalah nilai rugi-rugi daya (losses) dari perhitungan manual dengan simulais ETAP 19.0.1 :

Tabel 10. Perbandingan Perhitungan Manual Dengan Simulasi ETAP 19.0.1

Line	Perhitungan Manual Rugi Daya Aktif (KW)	Simulasi ETAP Rugi Daya Aktif (KW)
Cable 1 2	46,8	41,6
Cable 2 3	93,5	82,1
Cable 3 4	71,8	61,6
Cable 4 5	27,9	23,3
Cable 5 6	50,7	40,1
Cable 6 7	11,9	9,2
Cable 7 8	12,8	9,8

4.7 Skema Perbaikan Drop Tegangan

Ada beberapa cara yang dapat dilakukan untuk mengatasi adanya drop tegngan pada jaringan penyulang, salah satunya adalah dengan melakukan pemasangan kasitor bank secara paralel pada bus yang mengalami drop tegangan. Pemasangan kapasitor bank secara paralel (shunt) bukan tanpa alasan, ini bertujuan untuk memperbaiki tipe daya reaktif atau arus reaktif untuk melawan komponen dari arus yang dihasilkan oleh beban induktif. Kapasitor paralel (shunt) sebagai supply lagging kepada sistem pada titik

sambung.Dengan memasang kapasitor bank secara paralel maka arus yang mengalir pada saluran akan berkurang, sehingga drop tegangan akan berkurang dan akan menyebabkan kenaikan tegangan pada saluran. Berikut adalah tabel drop tegangan yang ingin diperbaiki.

Tabel 11.. Data Drop Tegangan Pada Jaringan Penyulang LOWAYU

Bus	Tegangan (KV)	ΔV (V)	ΔV(%)	Arus (A)
Bus 5	18,937	1063	5,3	32,72
Bus 6	18,346	1654	8,27	19,09
Bus 7	18,152	1848	9,24	10,36
Bus 8	17,884	2116	10,58	33,87

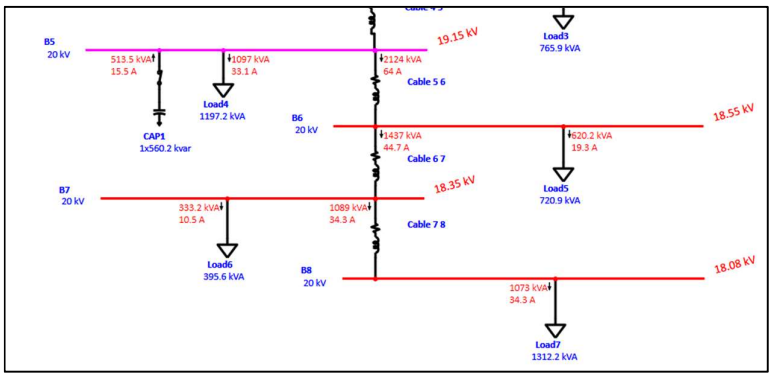
Berikut adalah perhitungan untuk menentukan besar kapasitor yang dibutuhkan untuk memperbaiki drop tegangan pada saluran menggunakan rumus :

$$Q_C = Q1 - Q2$$

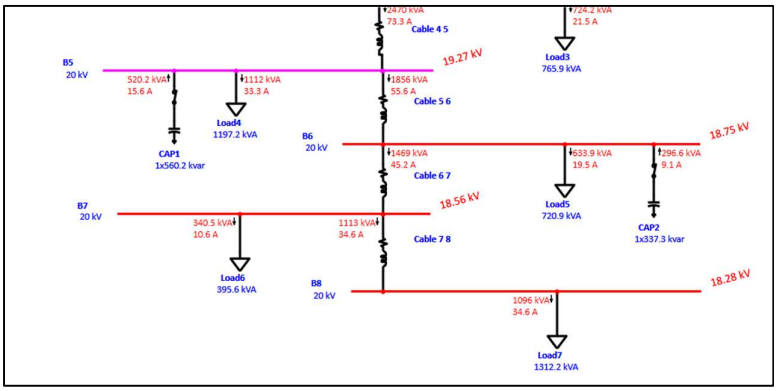
Selanjutnya menggunakan rumus :

$$C = \frac{1}{2\pi f X_C}$$

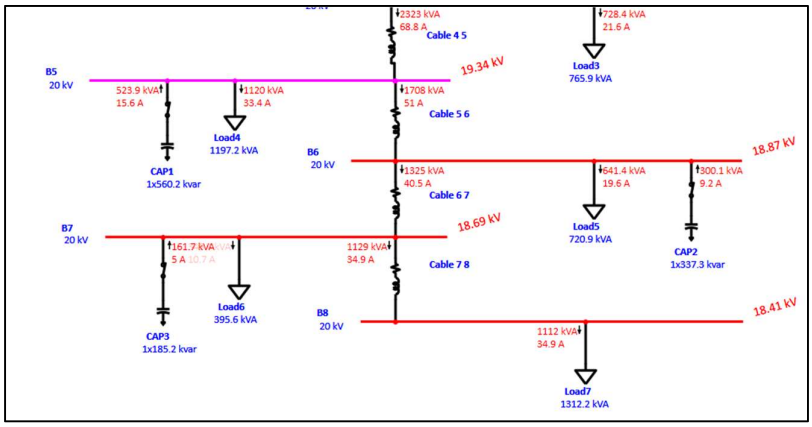
Berikut ini adalah hasil simulasi setelah penamabahan kapasitor bank menggunakan etap.



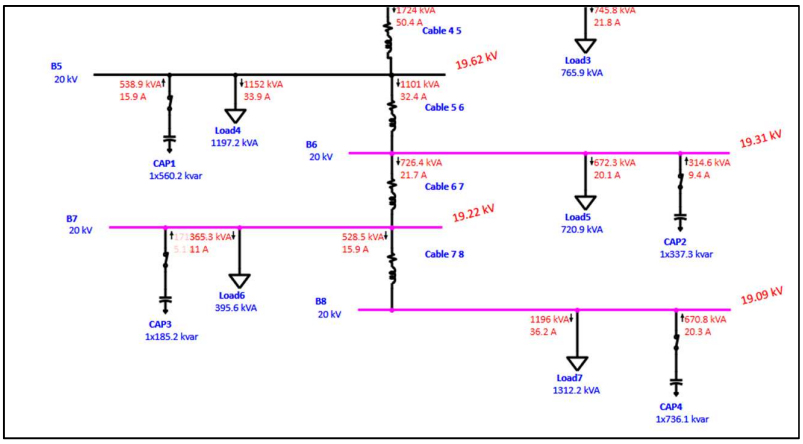
Gambar 9. Hasil simulasi pada bus 5



Gambar 10. Hasil simulasi pada bus 6



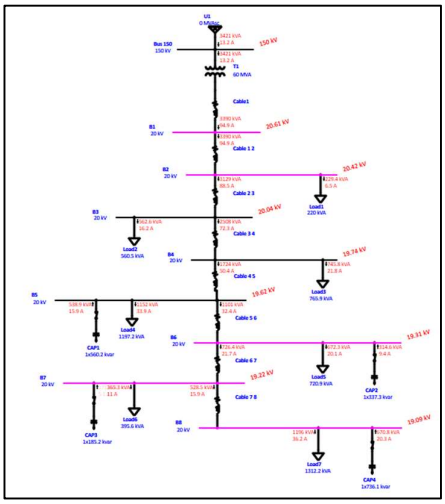
Gambar 11. Hasil simulasi pada bus 6



Gambar 12. . Hasil simulasi pada bus 6

Dari hasil simulasi ETAP diatas dapat diketahui adanya peningkatan tegangan antara sebelum dan sesudah dipasang kapasitor bank pada bus 5 dengan nilai sesuai dengan prhitungan. Dari yang sebelumnyan 18,94 kV menjadi 19,15 kV. Pada bus 6 Tegangan sebelum pemasangan kapasitor bank pada bus 6 adalah 18,55 kV dan meningkat menjadi 18,75 kV setelah pemasangan kapasitor bank dengan nilai sesuai perhitungan. Pada Bus 7 Tegangan sebelum pemasangan kapasitor bank pada bus 7 adalah 18,56 kV dan meningkat menjadi 18,69 kV setelah pemasangan kapasitor bank dengan nilai sesuai perhitungan. Sedangkan pada Pada Bus 8 Tegangan sebelum pemasangan kapasitor bank pada bus 7 adalah 18,41 kV dan meningkat menjadi 19,09 kV setelah pemasangan kapasitor bank dengan nilai sesuai perhitungan.

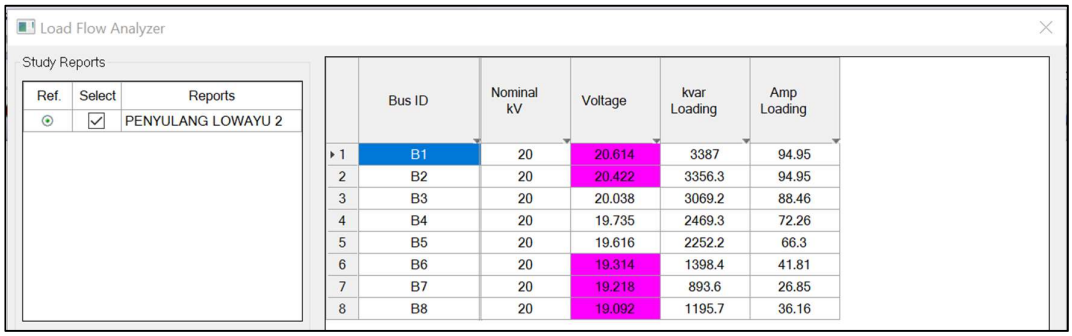
4.7.1 Hasil Akhir Simulasi Setelah Pemasangan Kapasitor Bank



Gambar 13. Simulasi Aliran Daya Penyulang LOWAYU Setelah Pemasangan Kapasitor Bank Dengan Sofware ETAP

Setelah pemasngan kapasitor bank pada setiap bus yang mengalami drop tegangan pada jarngan penyulang LOWAYU berdasarkan perhitungan besar kasitor yang dibutuhkan, dapat diketahui adanya peningkatan tegangan atau perbaikan *drop tegangan* pada jatringan penyulang LOWAYU. Berikut adalah gambar pemodelan hasil simulasi aliran daya pada jaringan penyulang LOWAYU setelah pemasangan kapasitor bank pada setiap bus yang mengalami *drop tegangan* pada gambar 13. Dari hasil simulasi menggunakan software ETAP 19.0.1 dapat diketahui bahwa drop tegangan terjadi mulai dari bus 5, bus 6, bus 7 dan bus 8 dimana sebelumnya drop tegangan sudah melebihi batas toleransi standart dari SPLN yaitu 5%. Setelah pemasangan kapasitor bank drop tegangan

sudah hilang (diperbaiki). Berikut ini adalah hasil dari Load Flow Analyzer pada jaringan penyulang LOWAYU, dimana bus yang sebelumnya mengalami drop tegangan melebihi 5% ditandai dengan warna merah telah hilang / diperbaiki :



	Bus ID	Nominal kV	Voltage	kvar Loading	Amp Loading
1	B1	20	20.614	3387	94.95
2	B2	20	20.422	3356.3	94.95
3	B3	20	20.038	3069.2	88.46
4	B4	20	19.735	2469.3	72.26
5	B5	20	19.616	2252.2	66.3
6	B6	20	19.314	1398.4	41.81
7	B7	20	19.218	893.6	26.85
8	B8	20	19.092	1195.7	36.16

Gambar 14. Load Flow Analyzer Penyulang LOWAYU Setelah Pemasangan Kapasitor Bank Simulasi ETAP 19.0.1

Berikut ini adalah perbandingan nilai tegangan jaringan penyulang LOWAYU antara sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor bank :

Tabel 12. Perbandingan Sebelum Dan Sesudah Pemasangan Kapasitor Bank

Bus	Sebelum pemasangan kapasitor bank			Sesudah pemasangan kapasitor bank		
	Tegangan (KV)	Arus (A)	cos φ	Tegangan (KV)	Arus (A)	cos φ
Bus 2	20,242	6,43	0,85	20,422	6,49	0,85
Bus 3	19,658	15,9	0,85	20,038	16,21	0,85
Bus 4	19,164	21,19	0,85	19,735	21,82	0,85
Bus 5	18,937	32,72	0,85	19,616	33,9	0,95
Bus 6	18,346	19,09	0,85	19,314	20,1	0,95
Bus 7	18,152	10,36	0,85	19,218	10,97	0,95
Bus 8	17,884	33,87	0,85	19,092	36,16	0,98

Tabel 13. Letak Dan Kapasitas Kapasitor Pada Jaringan Penyulang LOWAYU

Bus	Kapasitas Kapasitor (KVAR)
Bus 5	560,16
Bus 6	337,3
Bus 7	185,17
Bus 8	736,13

Tabel 14. Data Drop Tegangan Sebelum Dan Sesudah Pemasangan Kapasitor Bank Pada Jaringan Penyulang LOWAYU

Bus	SEBELUM			SESUDAH		
	Tegangan (KV)	ΔV (V)	$\Delta V(\%)$	Tegangan (KV)	ΔV (V)	$\Delta V(\%)$
Bus 5	18,937	1063	5,3	19,616	384	1,9
Bus 6	18,346	1654	8,27	19,314	686	3,4
Bus 7	18,152	1848	9,24	19,218	782	3,9
Bus 8	17,884	2116	10,58	19,092	908	4, 5

5. KESIMPULAN

Dari analisa aliran daya yang telah dilakukan pada jaringan penyulang LOWAYU maka dapat diambil kesimpulan dan saran sebagai berikut :

1. Perhitungan drop tegangan pada jaringan penyulang LOWAYU dengan menggunakan metode Backward – Forward, membutuhkan 5 iterasi untuk mendapatkan hasil yang konvergen.
2. Nilai drop tegangan dari hasil perhitungan manual menggunakan metode backward – forward dan hasil simulasi menggunakan software ETAP 19.0.1 didapatkan nilai rata-rata persentase akurasi sebesar 97,6 %.
3. Untuk memperbaiki drop tegangan yang terjadi pada jaringan penyulang LOWAYU, membutuhkan pemasangan 1 kapasitor bank disetiap bus yang mengalami drop tegangan dengan perbaikan faktor daya sebesar 0,95 pada bus 5, bus 6, bus 7 dan perbaikan faktor daya sebesar 0,98 pada bus 8 dari yang sebelumnya mempunyai faktor daya 0,85.

DAFTAR PUSTAKA

Alland, K., & Z, E. A. (N.D.). Perancangan Kebutuhan Kapasitor Bank Untuk Perbaikan Faktor Daya Pada Line Mess I Di Pt. Bumi Lamongan Sejati (Wbl). Universitas Negeri Surabaya, 29-35.

Arismunandar, A., & Kuwahara, S. (2004). Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik Jilid Ii Saluran Transmisi. Jakarata: Pt Pratnya Paramita.

Bandri, S., & Danial, T. (2014). Studi Analisa Pemasangan Kapasitor Pada Jaringan Udara Tegangan Menengah 20 Kv Terhadap Drop Tegangan (Aplikasi Pada Feeder 7 Pinang Gi Muaro Bungo). Jurnal Teknik Mesin Vol.4, 30-36.

Bumn. (2023). Pt Pln (Persero) Listrik Untuk Kehidupan Yang Lebih Baik. Retrieved From Perusahaan Listrik Negara: Https://Web.Pln.Co.Id/

Dr. Ramadoni Syahputra, S. M. (2021). Transmisi Dan Distribusi Tenaga Listrik. In S. M. Dr. Ramadoni Syahputra, Transmisi Dan Distribusi Tenaga Listrik (Pp. 83-83). Yogyakarta. Retrieved From Https://Elektro.Umy.Ac.Id/Wp-Content/Uploads/2023/04/Ramadoni-Syahputra__Transmisi-Dan-Distribusi-Tenaga-Listrik-Diktat-2.Pdf

Harahap, M., Nugraha, Y. T., Adam, M., & Nasution, M. S. (2021). Pengaruh Perubahan Variasi Eksitasi Teganganterhadap Daya Reaktif Pada Generator. Rele (Rekayasa Elektrikal Dan Energi) : Jurnal Teknik Elektro, Iii, 71-76.

Hasibuan, A., Isa, M., Yosuff, M. I., & Rahim, S. R. (2020). Analisa Aliran Daya Pada Sistem Tenaga Listrik Dengan Metode Fast Decoupled Menggunakan Software Etap. Rele (Rekayasa Elektrikal Dan Energi) : Jurnal Teknik Elektro, 3, 37-45.

Irsyam, M., Algusri, M., & Marpaung, L. P. (2023). Analisa Rugi-Rugi Daya (Losses Power) Padajaringan Tegangan Rendah Pt. Musimmas Batam. Sigma Teknika, 6, 109-119.

Kumolo, C. (2014). Analisa Aliran Beban Pada Sistem Tenaga Listrik Di Kso Pertamina Ep-Geo Cepu Indonesia Distrik 1 Kawengan Menggunakan Software Etap 12.6. Jurnal Teknik Elektro, Xvi, 1-15.

Nigara, A. G., & Primadiyono, Y. (2015). Analisa Aliran Daya Sistem Tenaga Listrik Pada Bagian Texturizing Di Pt Asia Pasific Fibers Tbk Kendal Menggunakan Software Etap Power Station 4.0. Jurnal Teknik Elektro, Vii, 7-10.

Novialifiah, R. W., Soeprijanto, A., & Wibowo, R. S. (2014). Algoritma Aliran Daya Untuk Sistem Distribusi Radial Dengan Beban Sensitif Tegangan. Jurnal Teknik Pomits, Iii, 7-11.

Sugianto, & Untara, P. (2019). Studi Susut Energi Pada Sistem Distribusi Tenaga Listrik Melalui Analisis Pengukuran Dan Perhitungan. Program Studi Teknik Elektro - Istn, 21, 39-56.

Supriyadi, A. (2016). Analisa Aliran Daya Pada Sistem Tenaga Listrik Menggunakan Software Etap 12.6. Swara Patra.

Susanto, D. B., Sarjiya, & Hadi, S. P. (2017). Algoritma Aliran Daya Dengan Metode Backwar/Forward Sweep Pada Sistem Distribusi Radial. Departemen Teknik Elektro Dan Teknologi Informasi, Ft Ugm, 78-79.

Syufrijal, & Monantun, R. (2014). Jaringan Distribusi Tenaga Listrik, Paket Keahlian Teknik Ketenagalistrikan. Kementrian Pendidikan Dasar Menengah Dan Kebudayaan Republik Indonesia.

Tharo, Z., Tarigan, A. D., Anisah, S., & Yuda, K. T. (2020). Penggunaan Kapasitor Bank Sebagai Solusi Drop Tegangan Pada Jaringan 20 Kv. Semnastekuisu, 82-86.

W.P, S. N., Sriyanto, & Chasanah, N. (2011, Januari). Analisis Efisiensi Distribusi Listrik Unit Pelayanan Jaringan Dengan Metode Data Envelopment Analysis (Dea) Studi Kasus Di Area Pelayanan Jaringan Kudus, Pt. Pln (Persero). J@Ti Undip, 6, 47-56.

Zakwansyah, Sara, I. D., Lubis, R. S., & Amri, B. (2018). Optimasi Penempatan Kapasitor Pada Penyulang Kota Calang Dengan Metode Backward-Forward Sweep. Jurnal J-Innovation Vol. 7, 22-28.