

**ANALISIS HASIL PENGUKURAN BEBAN DAN RUGI-RUGI
DAYA PADA JARINGAN DISTRIBUSI TEGANGAN
MENENGAH DI AREA BOYOLALI**



**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I
pada Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik**

Oleh :

RAMA TRI KURNIAWAN

D400160055

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA**

2020

HALAMAN PERSETUJUAN

**ANALISIS HASIL PENGUKURAN BEBAN DAN RUGI-RUGI DAYA PADA JARINGAN
DISTRIBUSI TEGANGAN MENENGAH DI AREA BOYOLALI**

PUBLIKASI ILMIAH

Oleh :

RAMA TRI KURNIAWAN

D400160055

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh :

Dosen Pembimbing



Agus Kurniawan

Agus Supardi, ST., MT

Nik. 883

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISIS HASIL PENGUKURAN BEBAN DAN RUGI-RUGI DAYA PADA
JARINGAN DISTRIBUSI TENGANGAN MENENGAH DI AREA BOYOLALI

OLEH

RAMA TRI KURNIAWAN

D400160055

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
Fakultas Teknik Program Studi Teknik Elektro
Universitas Muhammadiyah Surakarta
Pada hari,
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Dewan Penguji:

1. Agus Supardi S.T.,M.T
(Ketua Dewan Penguji)
2. Tindyo Prasetyo, ST. MT
(Anggota I Dewan Penguji)
3. Ir. Jatmiko, MT
(Anggota II Dewan Penguji)

(.....)

(.....)

(.....)

Dekan,



Ir. Sri Sunarjono, M.T, Ph.D

Nik. 682

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam naskah publikasi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya di atas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 09 Januari 2020

Penulis



RAMA TRI KURNIAWAN

D 400 160 055

ANALISIS HASIL PENGUKURAN BEBAN DAN RUGI-RUGI DAYA PADA JARINGAN DISTRIBUSI TEGANGAN MENENGAH DI AREA BOYOLALI

Abstrak

Banyaknya pertumbuhan penduduk dan seiring berkembangnya teknologi yang sangat modern seperti sekarang ini menyebabkan beban antar fasa yang berbeda-beda sehingga menimbulkan ketidakseimbangan pada jaringan distribusi. Hal tersebut dapat menyebabkan arus yang mengalir pada penghantar fasa melebihi kuat hantar arusnya sehingga bisa menyebabkan panas berlebihan. Ketidakseimbangan beban juga dapat menyebabkan arus mengalir pada penghantar netralnya sehingga bisa menyebabkan kenaikan rugi-rugi daya dan susut tegangan pada jaringan distribusi. Rugi-rugi daya dapat menyebabkan pemborosan energi listrik, oleh karena itu dibutuhkan energi listrik yang mengalir ke konsumen selalu stabil. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk menganalisis hasil pengukuran beban dan rugi-rugi daya pada jaringan distribusi tegangan menengah di area Boyolali. Penelitian dimulai dengan studi literatur mengenai sistem tidak seimbang dan rugi-rugi daya. Setelah itu dilakukan pengumpulan data dengan cara mengukur tegangan, arus, dan panjang penghantar. Jaringan distribusi ini menggunakan penghantar AAAC 240 mm². Hasil dari penelitian ini adalah pengukuran beban pada setiap penyulang tidak ada yang melebihi kuat hantar arus penghantarnya, ketidakseimbangan beban tertinggi terdapat pada penyulang Mojo 5 yaitu fasa R sebesar -9,312% fasa S sebesar -7,078%, dan fasa T sebesar 16,39% dan yang terendah pada penyulang Mojo 9 yaitu fasa R sebesar -1,99% fasa S sebesar 0,993% dan fasa T sebesar 0,993%. Rugi-rugi daya tertinggi terjadi pada penyulang Mojo 4 yaitu fasa R mencapai 17,58 kW fasa S mencapai 13,03 kW fasa dan T mencapai 16,77 kW dan untuk rugi-rugi daya terendah terjadi pada penyulang Mojo 3 yaitu fasa R mencapai 6,09 kW fasa S mencapai 6,3 kW dan fasa T mencapai 5,48 kW. Jumlah kerugian energi listrik pada jaringan distribusi di wilayah Boyolali adalah fasa R sejumlah 2.950,6 kWh fasa S sejumlah 2.814,7 kWh dan fasa T sejumlah 3.001,9 kWh. Jumlah kerugian yang diakibatkan oleh rugi-rugi daya pada jaringan distribusi di area Boyolali adalah Rp. 10.882.699,12.

Kata kunci: Jaringan distribusi, Pengukuran beban, Rugi-rugi daya.

Abstract

A lot of population growth and along with the development of very modern technology as it is now causing different inter-phase burdens causing an imbalance in the distribution network. This can cause the current flowing in the conductor phase exceeds the current strength so that it can cause excessive heat. The load imbalance can also cause current to flow in its neutral conductor so that it can cause an increase

in power losses and voltage losses in the distribution network. Power losses can cause waste of electrical energy, therefore electricity is needed which flows to the consumer is always stable. This study was conducted with the aim of analyzing the results of measurements of load and power losses in the medium voltage distribution network in the Boyolali area. The study began with a literature study on unbalanced systems and power losses. After that the data is collected by measuring the voltage, current and length of conductor. This distribution network uses a 240 mm² AAAC conductor. The results of this study are that the load measurements on each feeder do not exceed the conductivity of the conductor, the highest load imbalance is found in Mojo 5 feeders, namely the R phase of -9.312% S phase of -7.078%, and the T phase of 16.39% and the lowest in Mojo 9 feeder is R phase by -1.99% S phase by 0.993% and T phase by 0.993%. The highest power losses occur in Mojo 4 feeders, namely phase R reaches 17.58 kW S phase reaches 13.03 kW phase and T reaches 16.77 kW and for the lowest power losses occur in Mojo 3 feeders ie phase R reaches 6,09 kW S phase reaches 6.3 kW and T phase reaches 5.48 kW. The amount of electrical energy losses in the distribution network in the Boyolali region is phase R in the amount of 2,950.6 kWh in phase S in the amount of 2,814.7 kWh and in phase T in the amount of 3,001,9 kWh. The total loss caused by power losses in the distribution network in the Boyolali area is Rp. 10,882,699.12.

Keywords: distribution network, load measurement, power losses.

1. PENDAHULUAN

Banyaknya pertumbuhan penduduk dan seiring perkembangan teknologi yang sangat modern seperti sekarang ini maka kebutuhan energi listrik yang dibutuhkan oleh konsumen semakin meningkat, oleh karena itu pihak penyedia energi listrik berusaha menyediakan energi listrik yang dibutuhkan oleh masyarakat. Listrik adalah sumber tenaga yang utama dibutuhkan oleh masyarakat untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari. Energi listrik dapat diubah menjadi energi lain seperti gerak, panas dan cahaya. Penyaluran energi listrik harus benar-benar efisien karena sangat dibutuhkan oleh masyarakat. Efisien yang dimaksud adalah energi listrik yang diproduksi dapat dimanfaatkan oleh konsumen secara maksimal atau tidak mengalami kehilangan energi listrik pada jaringan atau peralatan.

Perusahaan Listrik Negara (PLN) adalah sebuah perusahaan yang menangani semua aspek kelistrikan yang ada di Indonesia. Perusahaan tersebut mempunyai tingkatan dalam mensuplai energi listrik yaitu mulai dari pembangkitan energi listrik, jaringan transmisi, dan jaringan distribusi, setelah itu baru sampai ke pelanggan. Karena banyaknya tingkatan penyaluran sebelum sampai ke pelanggan maka banyak masalah yang ditimbulkan, maka dari itu PLN dituntut memenuhi kebutuhan energi listrik yang cukup dan berkualitas.

PT. PLN persero mempunyai sistem kelistrikan antar pusat pembangkit listrik dan pusat beban yang terpisah dengan jarak yang cukup jauh yaitu ratusan kilometer atau bahkan ribuan kilometer. Hal tersebut disebabkan karena beban (pelanggan) di setiap tempat yang jaraknya sangat jauh dari pusat pembangkitan listrik yang umumnya berada di tempat-tempat tertentu. Listrik yang dibangkitkan oleh pembangkit harus ditransmisikan, dan yang terakhir melalui jaringan distribusi kemudian sampai ke pelanggan. Jauhnya pelanggan yang berada di setiap wilayah, oleh karena itu penyaluran energi listrik yang dibangkitkan oleh pusat pembangkit listrik disalurkan melalui jaringan transmisi kemudian jaringan distribusi (Alumona, 2014). Jaringan transmisi merupakan sistem penyaluran energi listrik dari pembangkit menuju saluran distribusi sehingga dapat digunakan oleh konsumen. Jaringan transmisi beroperasi pada tegangan tinggi dan tegangan ekstra tinggi. Jaringan distribusi merupakan tahap akhir dalam penyaluran tenaga listrik, ini merupakan proses penyaluran dari sistem transmisi listrik menuju pelanggan. Distribusi ini dibagi menjadi dua yaitu distribusi primer dan distribusi sekunder. Distribusi primer yaitu jaringan distribusi dengan tegangan 20 kV atau disebut dengan jaringan tegangan menengah (JTM) kemudian disalurkan ke pelanggan dengan menurunkan tegangan melalui trafo gardu distribusi. Distribusi sekunder yaitu jaringan distribusi dari gardu distribusi yang disalurkan ke pelanggan dengan tegangan 220 V dan 380 V (antar fasa). Penyaluran energi listrik ke beban akan mengalami rugi-rugi teknis yaitu rugi daya dan rugi energi mulai dari pembangkitan (Barbulescu & Fati, 2015). Dalam

proses pendistribusian energi listrik ketidakseimbangan beban perlu diperhatikan, karena dapat menyebabkan arus yang mengalir pada penghantar fasa melebihi kuat hantar arusnya sehingga menimbulkan panas berlebihan (Mufutau, 2015). Ketidakseimbangan beban juga dapat menyebabkan arus mengalir pada penghantar netralnya sehingga bisa menyebabkan kenaikan rugi-rugi daya dan susut tegangan pada jaringan distribusi, hal ini mengakibatkan pemborosan energi bahkan bisa terjadi pemadaman listrik. Besar arus netral tergantung seberapa besar faktor ketidakseimbangannya (Bina & Khasefi, 2011). Faktor lain yang dapat menyebabkan rugi-rugi daya antara lain faktor jarak, korona, kebocoran isolator dan lain-lain. Semakin tinggi arus yang mengalir maka semakin tinggi penurunan tegangan, arus yang mengalir berbanding terbalik dengan level tegangan untuk jumlah daya (Nawaz, 2018). Dari faktor tersebut peneliti melakukan studi literatur mengenai pengukuran beban, ketidakseimbangan beban serta perhitungan rugi-rugi daya. Selanjutnya dilakukan pengumpulan data dengan cara mengukur arus dan panjang penghantar. Perhitungan dilakukan pada jaringan distribusi tegangan menengah 20 kV di wilayah Boyolali. Analisa dilakukan selama satu bulan dengan menghitung rugi-rugi daya guna mengetahui seberapa besar daya yang hilang dan menganalisis ketidakseimbangan beban.

2. METODE

Metode yang digunakan peneliti adalah yang pertama dengan melakukan studi literature mengenai sistem tidak seimbang dan rugi-rugi daya. Studi literature tersebut dilakukan dengan mempelajari buku-buku, *browsing*, tinjauan pustaka, penelitian sebelumnya, jurnal-jurnal yang berkaitan dengan penelitian ini dan melakukan konsultasi dengan pembimbing dan supervisor yang berada di PLN Boyolali. Setelah itu dilakukan pengambilan data yang diambil langsung di lapangan yang berada pada jaringan distribusi tegangan menengah di wilayah Boyolali dengan cara mengukur tegangan, arus dan panjang penghantar. Pengumpulan data dilakukan setiap hari pada pukul 09.00 WIB sampai selesai selama satu bulan. Jaringan distribusi tegangan

menengah area Boyolali menggunakan penghantar jenis AAAC (*All Aluminium Alloy Conductor*) dengan luas penampang penghantarnya 240 mm² mempunyai nilai resistansi 0,07 Ω, dimana nilai resistansi tersebut dapat ditentukan setiap jarak 1 km. Untuk menghitung nilai resistansi total dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan :

$$R_{total} = R_{penghantar} \times L \quad (1)$$

Dengan : R_{total} : Resistansi total (Ω)

$R_{penghantar}$: Resistansi penghantar (Ω/km)

L : Panjang penghantar (meter)

Tiap penghantar fasa pada jaringan distribusi 20 kV mempunyai arus yang berbeda-beda disebabkan oleh pembagian beban yang tidak seimbang. Hal tersebut dapat mengakibatkan arus mengalir pada penghantar netralnya sehingga menyebabkan kenaikan rugi-rugi daya. Untuk mencari besarnya rugi-rugi daya pada jaringan distribusi dengan menggunakan persamaan :

$$P_{losses} = I^2 \times R \quad (2)$$

Dengan : P_{losses} : Rugi-rugi daya (watt)

I : Arus yang mengalir (amper)

R : Tahanan saluran (Ω)

Hilangnya energi yang ditimbulkan karena rugi-rugi daya menyebabkan kerugian pada perusahaan pemasok listrik. Kerugian tersebut disebabkan oleh energi yang disalurkan ke pelanggan tidak sama dengan energi yang diterima oleh pelanggan, sehingga energi listrik yang dikirim ke pelanggan tidak dapat terjual secara keseluruhan, maka dari itu dapat dihitung besarnya energi listrik serta dana yang hilang yang disebabkan karena rugi-rugi daya dengan menggunakan persamaan :

$$W = P \times t \quad (3)$$

Dengan : W : Energi listrik (kW.jam)

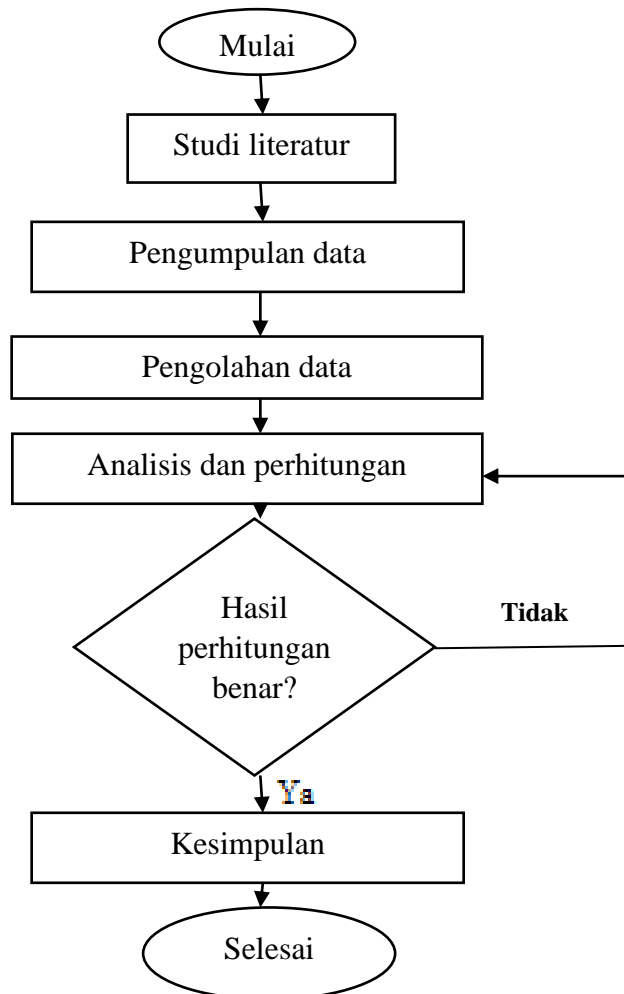
P : Daya listrik (kW)

t : lama pemakaian (jam)

$$\text{Biaya Listrik} = W \times \text{TDL} \quad (4)$$

Dengan : TDL : Tarif dasar listrik (Rp/kWh)

Flowchart penelitian



Gambar 2. Diagram alir penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengambilan data dilakukan untuk mengetahui apakah hasil pengukuran beban melebihi kuat hantar arus penghantarnya, mengetahui berapa persen ketidakseimbangan beban, dan menghitung rugi-rugi daya pada jaringan distribusi tegangan menengah di wilayah Boyolali. Setelah dilakukan survei dapat dilakukan perhitungan dan diperoleh hasil yang ditunjukkan pada tabel 1.

Pengukuran beban, perhitungan ketidakseimbangan beban, dan perhitungan rugi-rugi daya pada jaringan distribusi tegangan menengah berdasarkan data penghantar AAAC 240 mm² yang mempunyai kuat hantar arus 585 A dan resistansi 0,07 Ω /km.

3.1 Pengukuran beban :

Pengukuran dilakukan secara langsung pada jaringan distribusi di wilayah Boyolali pada bulan Agustus 2019.

Tabel 1. Hasil pengukuran beban pada jaringan distribusi.

Penyulang	Arus beban (A)		
	Fasa R	Fasa S	Fasa T
Mojo 1	415,5	433,3	409,8
Mojo 2	367,3	358,5	392
Mojo 3	295	300	280
Mojo 4	501,2	431,6	489,5
Mojo 5	272	278,7	349,1
Mojo 6	326,2	304,3	320,2
Mojo 7	430,8	420	393,6
Mojo 8	424,4	407,5	411,8
Mojo 9	427	440	440
Mojo 10	412,1	429,5	426,2
Mojo 12	462	439	473

Tabel 1 menampilkan hasil pengukuran beban antar fasa pada jaringan distribusi tegangan menengah yang diukur secara langsung pada penyulang Mojo 1 sampai Mojo 12 yang berada di wilayah Boyolali. Arus beban yang paling besar

terdapat pada penyulang Mojo 4 dan yang paling kecil pada penyulang Mojo 5. Dari pengukuran tersebut dapat dilihat bahwa besarnya arus beban tidak ada yang melebihi kua hantar arus penghantarnya, jika melebihi akan mengakibatkan panas yang berlebih pada penghantarnya dan juga dapat mengakibatkan pemborosan energi bahkan dapat menimbulkan kebakaran.

3.2 Ketidakseimbangan Beban :

Penyulang Mojo 1

$$\begin{aligned} I \text{ Rata-rata} &= \frac{I \text{ fasa R} + I \text{ fasa S} + I \text{ fasa T}}{3} \\ &= \frac{415,5 + 433,3 + 409,8}{3} \\ &= 419,53 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ketidakseimbangan beban fasa R} &= \frac{I \text{ selisih}}{I \text{ rata-rata}} \times 100\% \\ &= \frac{4,03}{419,53} \times 100\% = 0,96 \text{ \%} \end{aligned}$$

Tabel 2. Hasil perhitungan ketidakseimbangan beban

Penyulang	Arus Rata-rata (A)	Ketidakseimbangan beban (%)		
		Fasa R	Fasa S	Fasa T
Mojo 1	419,53	- 0,96	+ 3,282	- 2,318
Mojo 2	372,6	- 1,422	- 3,784	+ 5,206
Mojo 3	291,67	+ 1,141	+ 2,855	- 4,001
Mojo 4	474,1	+ 5,71	- 8,96	+ 3,24
Mojo 5	299,93	- 9,312	- 7,078	+ 16,39
Mojo 6	316,9	+ 2,93	- 3,97	+ 1,04
Mojo 7	414,8	+ 3,85	+ 1,25	- 5,11
Mojo 8	414,567	+ 2,38	- 1,704	- 0,667
Mojo 9	435,67	- 1,99	+ 0,993	+ 0,993
Mojo 10	422,6	- 2,48	+ 1,63	+ 0,85
Mojo 12	458	+ 0,87	- 0,85	+ 3,71

Tabel 2 menampilkan perhitungan ketidakseimbangan beban pada penghantar. Dari data tersebut dapat dilihat bahwa pada jaringan distribusi di wilayah Boyolali terjadi ketidakseimbangan beban karena banyaknya pemasangan listrik baru yang terjadi di area tersebut. Dari perhitungan tersebut ketidakseimbangan beban terjadi pada setiap penyulang. Ketidakseimbangan beban tertinggi terjadi pada penyulang Mojo 5 karena perbedaan beban antar fasa yang cukup jauh yaitu fasa R sebesar -9,312%, fasa S sebesar -7,078%, dan fasa T sebesar 16,39%. Pada penyulang Mojo 9 paling mendekati titik imbang karena perbedaan beban antar fasa lebih kecil dari pada penyulang yang lainnya yaitu fasa R sebesar -1,99%, fasa S sebesar 0,993% dan fasa T sebesar 0,993%.

3.3 Perhitungan resistansi total :

Penyulang Mojo 1

$$\begin{aligned}
 R_{\text{total}} &= R_{\text{penghantar}} \times L \\
 &= 0,07 \, \Omega/\text{km} \times 10,54 \, \text{km} \\
 &= 0,73 \, \Omega
 \end{aligned}$$

Tabel 3. Resistansi total penghantar

Penyulang	$R_{\text{penghantar}}$ (Ω/km)	Panjang penghantar (km)	Resistansi total (Ω)
Mojo 1	0,07	10,54	0,73
Mojo 2	0,07	6,74	0,47
Mojo 3	0,07	2,55	0,17
Mojo 4	0,07	18,64	1,304
Mojo 5	0,07	6,83	0,478
Mojo 6	0,07	6,68	0,46
Mojo 7	0,07	17,23	1,2
Mojo 8	0,07	8,3	0,58
Mojo 9	0,07	15,78	1,1
Mojo 10	0,07	16,21	1,13
Mojo 12	0,07	17,96	1,25

Tabel 3 menampilkan nilai resistansi pada setiap penyulang. Setiap penyulang nilai resistansinya berbeda-beda karena panjang penyulang dari Mojo 1 sampai Mojo 12 tidak sama. Semakin panjang penyulang maka nilai resistansinya semakin besar.

3.4 Perhitungan rugi-rugi daya pada penghantar jaringan distribusi

Penyulang Mojo 1

$$\begin{aligned}
 P_{\text{losses fasa R}} &= I^2 \times R \\
 &= (415,5 \text{ A})^2 \times 0,73 \Omega \\
 &= 12.084,81 \text{ W} \\
 &= 12,08 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

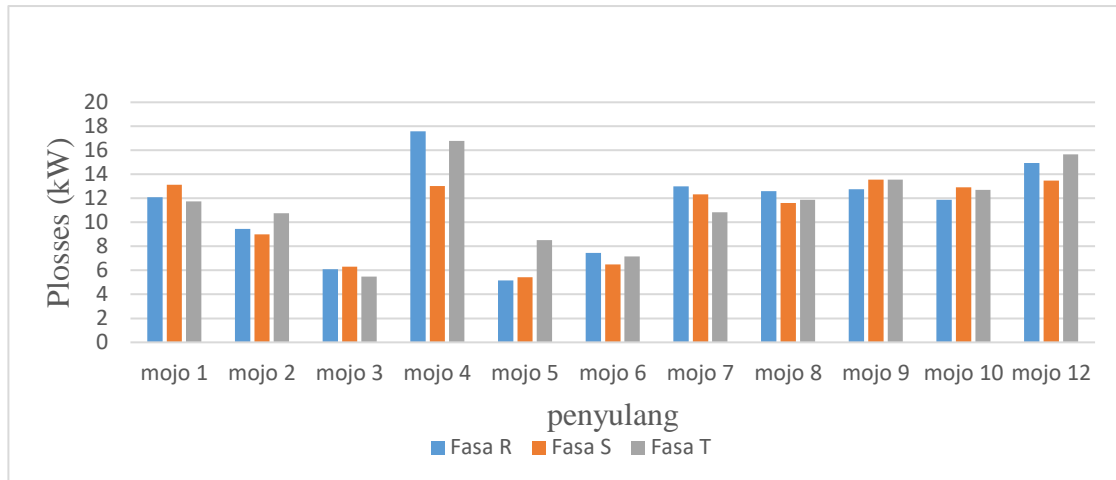
$$\begin{aligned}
 P_{\text{losses fasa S}} &= (433,3 \text{ A})^2 \times 0,73 \Omega \\
 &= 13.142,42 \text{ W} \\
 &= 13,14 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{\text{losses fasa T}} &= (409,8 \text{ A})^2 \times 0,73 \Omega \\
 &= 11.755,52 \text{ W} \\
 &= 11,75 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

Tabel 4. Perhitungan rugi-rugi daya

Penyulang	Arus beban (A)			P _{losses} (kW)		
	Fasa R	Fasa S	Fasa T	Fasa R	Fasa S	Fasa T
Mojo 1	415,5	433,3	409,8	12,08	13,14	11,75
Mojo 2	367,3	358,5	392	9,44	8,99	10,75
Mojo 3	295	300	280	6,09	6,3	5,48
Mojo 4	501,2	431,6	489,5	17,58	13,03	16,77
Mojo 5	272	278,7	349,1	5,17	5,43	8,53
Mojo 6	326,2	304,3	320,2	7,44	6,48	7,17
Mojo 7	430,8	420	393,6	12,99	12,34	10,84
Mojo 8	424,4	407,5	411,8	12,6	11,62	11,87
Mojo 9	427	440	440	12,76	13,55	13,55
Mojo 10	412,1	429,5	426,2	11,88	12,91	12,71

Mojo 12	462	439	473	14,94	13,49	15,66
---------	-----	-----	-----	-------	-------	-------



Gambar 2. Rugi-rugi daya pada penyulang Mojo 1 sampai Mojo 12

Tabel 4 menampilkan nilai rugi-rugi daya yang terjadi pada jaringan distribusi di wilayah Boyolali. Rugi-rugi daya tersebut dihitung pada setiap penyulang dan dihitung pada masing-masing penghantar fasanya. Rugi-rugi daya cukup besar terjadi pada penyulang Mojo 4, dengan penghantar fasa R, S, dan T berturut-turut sebesar 17,58 kW, 13,03 kW dan 16,77 kW dan rugi-rugi daya terendah terjadi pada penyulang Mojo 3, dengan penghantar fasa R, S, dan T berturut-turut sebesar 6,09 kW, 6,3 kW dan 5,48 kW. Rugi-rugi daya tersebut terjadi karena proses pengirimannya, arus beban melebihi batas nilai resistansi maka menyebabkan panas pada penghantar. Rugi-rugi daya tersebut membuktikan bahwa besar daya yang dikirim tidak semua diterima oleh konsumen. Solusi untuk mengurangi rugi-rugi daya yaitu dengan menambah penyulang atau mengganti penghantar dengan luas penampang lebih besar sehingga nilai resistansinya lebih kecil.

Gambar 2 menampilkan grafik rugi-rugi daya yang diambil dari perhitungan pada setiap penyulang yang dihitung pada masing-masing penghantar fasanya. Dapat dilihat grafik diatas bahwa penyulang Mojo 4 tertinggi karena beban dan nilai resistansi pada penyulang tersebut besar sedangkan Mojo 3 terendah karena beban dan nilai resistansi lebih kecil.

3.5 Perhitungan kerugian energi listrik per hari :

Penyulang Mojo 1

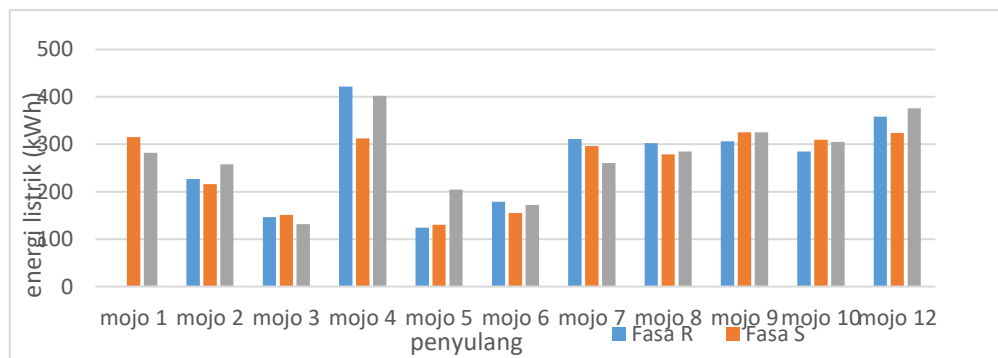
$$\begin{aligned}
 W_{\text{fasa R}} &= P \times t \\
 &= 12,08 \text{ kw} \times 24 \text{ jam} \\
 &= 289,92 \text{ kWh}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W_{\text{fasa S}} &= 13,14 \text{ kW} \times 24 \text{ jam} \\
 &= 315,36 \text{ kWh}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W_{\text{fasa T}} &= 11,75 \text{ Kw} \times 24 \text{ jam} \\
 &= 282 \text{ kWh}
 \end{aligned}$$

Tabel 5. Perhitungan kerugian energi listrik per hari

Penyulang	Waktu (jam)	P _{losses} (kW)			Energi listrik (KWh)		
		Fasa R	Fasa S	Fasa T	Fasa R	Fasa S	Fasa T
Mojo 1	24	12,08	13,14	11,75	289,92	315,36	282
Mojo 2	24	9,44	8,99	10,75	226,56	215,76	258
Mojo 3	24	6,09	6,3	5,48	146,16	151,2	131,52
Mojo 4	24	17,58	13,03	16,77	421,92	312,72	402,48
Mojo 5	24	5,17	5,43	8,53	124,08	130,32	204,72
Mojo 6	24	7,44	6,48	7,17	178,56	155,52	172,08
Mojo 7	24	12,99	12,34	10,84	311,16	296,16	260,16
Mojo 8	24	12,6	11,62	11,87	302,4	278,88	284,88
Mojo 9	24	12,76	13,55	13,55	306,24	325,2	325,2
Mojo 10	24	11,88	12,91	12,71	285,12	309,84	305,04
Mojo 12	24	14,94	13,49	15,66	358,56	323,76	375,84
Total					2.950,6	2.814,7	3.001,9



Gambar 3. Energi listrik yang hilang pada penyulang Mojo 1 sampai Mojo 12.

Tabel 5 menampilkan nilai energi listrik yang hilang pada setiap penyulang. Dari perhitungan tersebut jumlah energi listrik (kWh) yang hilang adalah fasa R mencapai 2.950,6 kWh, fasa S mencapai 2.814,7 kWh dan fasa T mencapai 3.001,9 kWh.

Gambar 3 menampilkan grafik energi listrik yang hilang pada penyulang Mojo 1 sampai Mojo 12. Semakin tinggi grafik maka energi yang hilang semakin besar begitupun sebaliknya. Energi yang hilang terbesar terjadi pada penyulang Mojo 4 serta terendah Mojo 3.

3.6 Perhitungan rugi-rugi biaya listrik per hari

Tabel 6. Tarif dasar listrik subsidi dan non subsidi

Golongan tarif	Tarif daya (Rp/KWh)	keterangan
450 VA	Rp. 415 / KWh	Subsidi
900 VA	Rp. 605 / KWh	Subsidi
900 VA	Rp. 1.352 / KWh	Non subsidi
1300 VA	Rp. 1.467,28 / KWh	Non subsidi
2200 VA	Rp. 1.467,28 / KWh	Non subsidi
3500 VA - 5500 VA	Rp. 1.467,28 / KWh	Non subsidi
6600 VA – 200 KVA	Rp. 1.467,28 / KWh	Non subsidi
Tarif rata-rata		Rp. 1.241.28

Tabel 6 menampilkan tarif tenaga listrik PLN subsidi dan non subsidi pada bulan Agustus 2019. Dari tarif tersebut dapat digunakan untuk menghitung besarnya rugi-rugi biaya yang disebabkan oleh rugi-rugi daya yang terjadi di jaringan distribusi area Boyolali.

Perhitungan biaya listrik pada penyulang Mojo 1

$$\begin{aligned}
 \text{Rugi-rugi biaya listrik fasa R} &= W \times \text{TDL} \\
 &= 289,92 \text{ kWh} \times 1.241,28 \text{ Rp/kWh} \\
 &= \text{Rp. } 359.871,89
 \end{aligned}$$

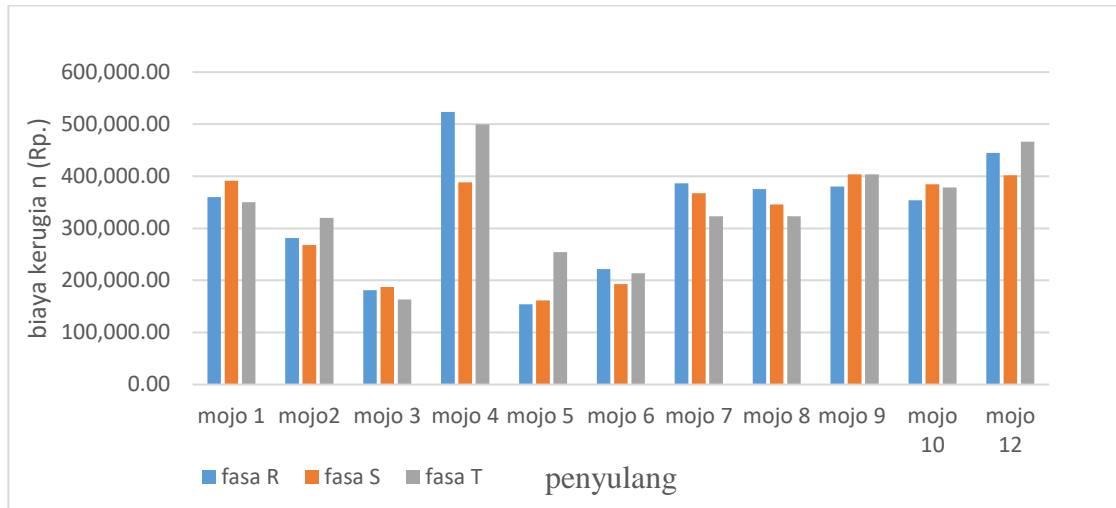
$$\begin{aligned}
 \text{Rugi-rugi biaya listrik fasa S} &= 315,36 \text{ kWh} \times 1.241.28 \text{ Rp/kWh} \\
 &= \text{Rp. } 391.450,06
 \end{aligned}$$

$$\text{Rugi-rugi biaya listrik fasa T} = 282 \text{ kWh} \times 1.241.28 \text{ Rp/kWh}$$

= Rp. 350.040,96

Tabel 7. Perhitungan kerugian biaya listrik

Penyulang	Energi listrik (kWh)			Biaya listrik (Rp.)		
	Fasa R	Fasa S	Fasa T	Fasa R	Fasa S	Fasa T
Mojo 1	289,92	315,36	282	Rp. 359.871,89	Rp. 391.450,06	Rp. 350.040,96
Mojo 2	226,56	215,76	258	Rp. 281.225,39	Rp. 267.818,57	Rp. 320.250,24
Mojo 3	146,16	151,2	131,52	Rp. 181.425,48	Rp. 187.681,53	Rp. 163.253,14
Mojo 4	421,92	312,72	402,48	Rp. 523.720,85	Rp. 388.173,08	Rp. 499.590,37
Mojo 5	124,08	130,32	204,72	Rp. 154.018,02	Rp. 161.763,6	Rp. 254.114,84
Mojo 6	178,56	155,52	172,08	Rp. 221.642,95	Rp. 193.043,86	Rp. 213.599,46
Mojo 7	311,16	296,16	260,16	Rp. 386.236,68	Rp. 367.617,48	Rp. 322.931,4
Mojo 8	302,4	278,88	284,88	Rp. 375.363,07	Rp. 346.168,16	Rp. 353.615,84
Mojo 9	306,24	325,2	325,2	Rp. 380.129,58	Rp. 403.664,25	Rp. 403.664,25
Mojo 10	285,12	309,84	305,04	Rp. 353.913,75	Rp. 384.598,19	Rp. 378.640,05
Mojo 12	358,56	323,76	375,84	Rp. 445.073,35	Rp. 401.876,81	Rp. 466.522,67
Jumlah				Rp. 3.662.621,1	Rp. 3.493.855,81	Rp. 3.726.223,2



Gambar 4. Rugi-rugi biaya listrik pada penyulang Mojo 1 sampai Mojo 12

Tabel 7 menampilkan kerugian biaya yang disebabkan karena rugi-rugi daya yang cukup besar terjadi di jaringan distribusi tegangan menengah di wilayah Boyolali. Kerugian terbesar terjadi pada penyulang Mojo 4, dengan penghantar fasa R, S, dan T berturut-turut sebesar Rp. 523.720,85 , Rp. 388.173,08 dan Rp. 499.590,37 dan kerugian terendah terjadi pada penyulang Mojo 3, dengan penghantar fasa R, S dan T berturut-turut sebesar Rp. 445.073,35 , Rp. 187.681,53 dan Rp. 163.253,14 dengan total kerugian setiap penghantar fasa sebesar fasa R sebesar Rp. 3.662.621,1 fasa S sebesar Rp. 3.493.855,81 dan fasa T sebesar Rp. 3.726.223,2 untuk total kerugian keseluruhan sejumlah Rp. 10.882.699,12. Kerugian biaya pada jaringan distribusi selama setahun mencapai Rp. 3.972.185.178,8.

Gambar 4 menampilkan grafik kerugian biaya yang terjadi pada setiap penyulang. Dari grafik tersebut membuktikan jika kerugian biaya terbesar terjadi pada penyulang Mojo 4 mencapai Rp. 1.411.484,3 dan terendah terjadi pada penyulang Mojo 3 mencapai Rp. 532.360,15.

4. PENUTUP

Bedasarkan hasil analisis pengukuran beban dan rugi-rugi daya pada jaringan distribusi tegangan menengah di area Boyolali yang telah dibahas diatas maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

- 1) Semua arus beban pada setiap penghantar fasa tidak ada yang melebihi kuat hantar arus penghantarnya.

- 2) Ketidakseimbangan beban tertinggi terdapat pada penyulang Mojo 5 yaitu fasa R sebesar -9,312% fasa S sebesar -7,078%, dan fasa T sebesar 16,39% dan yang terendah pada penyulang Mojo 9 yaitu fasa R sebesar -1,99% fasa S sebesar 0,993% dan fasa T sebesar 0,993%.
- 3) Rugi-rugi daya tertinggi terjadi pada penyulang Mojo 4, dengan penghantar fasa R, S dan T berturut-turut sebesar 17,58 kW, 13,03 kW dan 16,77 kW dan untuk rugi-rugi daya terendah terjadi pada penyulang Mojo 3, dengan penghantar fasa R, S dan T berturut-turut sebesar 6,09 kW, 6,3 kW dan 5,48 kW.
- 4) Total energi listrik yang hilang pada jaringan distribusi di wilayah Boyolali adalah fasa R mencapai 2.950,6 kWh fasa S mencapai 2.814,7 kWh dan fasa T mencapai 3.001,9 kWh.
- 5) Jumlah kerugian biaya pada jaringan distribusi di area Boyolali adalah Rp. 10.882.699,12.

PERSANTUNAN

Dalam penyusunan tugas ini penulis sangat bersyukur dan mengucapkan banyak terima kasih kepada pihak membantu dalam proses penyusunan tugas akhir dan juga dukungan yang telah diberikan pada saat menyelesaikan tugas akhir ini sebagai berikut :

- 1) Allah SWT karena telah diberi rahmat serta nikmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
- 2) Terima kasih kepada orang tua yang selalu mendoakan, memberi dukungan penuh, serta memotivasi dan memberi semangat sehingga tugas akhir ini bisa selesai.
- 3) Mas Robby dan Mbak resha yang senantiasa mendoakan, memberi motivasi serta dukungannya.
- 4) Hanny Rahmawati yang selalu memberi dukungan dan memberi semangat dalam mengerjakan tugas akhir ini.
- 5) Bapak Agus Supardi S.T., M.T. selaku dosen pembimbing dalam penyusunan tugas akhir dan sekaligus sekretaris Prodi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Surakarta.

- 6) Bapak Alfin selaku supervisor dan staf di PLN yang telah membantu dalam penelitian hingga tugas akhir ini selesai
- 7) Teman-teman Teknik Elektro 2016 yaitu Rafi Karim, Muhammad Arifin, Ardiyanto, Muklis Khoirudin, Ilham Hutomo, Geraldy, Agita Cahya, Yella Putinela, serta teman-teman yang lain tidak bisa disebutkan yang telah mendoakan, memberi motivasi serta memberi semangat untuk menyelesaikan tugas akhir ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Alumona T. L, (2014). *Overview of Losses and Solutions in Power Transmission Lines*. Network and Complex System. Vol 8, No 4.
- Barulescu, C. St, K., & Fati, O. (2015). *110 kV Network Technical Losses Assessment Real Distribution System Case Study*. Journal of Sustainable Energy, 6(2), 65-71.
- Bina, T. M. & Kashefi, A. (2011). *Three-phase Unbalance of Distribution Systems: Complementary and Experimental Case Study*. Electrical Power and Energy Systems, 33(2011), 817-826.
- Mufutau, W. (2015). *Technical Power Losses Determination: Abeokuta, Ogun State, Nigeria Distribution Network as a Case Study*. IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering (IOSR-JEEE). Vol 10, No 6.
- Nawaz, S. (2018). *Power Loss Minimization in Radial Distribution System Using Network Reconfiguration and Mutiple DG Units*. European Journal of Scientific Research. Vol 148, No 4.