

Analisis Rugi-Rugi Daya pada Jaringan Distribusi 20 kV PT PLN UP3 Sukoharjo Area Solo Baru

Mohamad Rifqi Maylani¹, Rizki Nurilyas Ahmad²

¹Universitas Muhammadiyah Surakarta, Jl. A. Yani Tromol Pos 1, Pabelan, Kartasura,
Sukoharjo, Indonesia

²Universitas Muhammadiyah Surakarta, Jl. A. Yani Tromol Pos 1, Pabelan, Kartasura,
Sukoharjo, Indonesia

 Email korespondensi: rifqimaylani05@gmail.com

Abstrak. Kenaikan rugi-rugi daya pada jaringan distribusi listrik umumnya disebabkan oleh jarak jauh antara pembangkit dan konsumen serta kondisi peralatan yang sudah berumur. Penelitian ini bertujuan menganalisis rugi-rugi daya dan skenario kompensasi VAR pada jaringan distribusi 20 kV PT PLN UP3 Sukoharjo area Solo Baru dengan menggunakan data beban puncak pukul 10.00 WIB dan 19.00 WIB. Hasil menunjukkan bahwa rugi daya tertinggi terjadi pada penyulang SBR 5 sebesar 1032,2 kW pada pukul 10.00 WIB. Pemasangan kapasitor bank berhasil menurunkan rugi daya SBR 5 sebesar 316 kW. Penurunan drop tegangan pada beban puncak pukul 10.00 WIB terlihat di SBR 5 dari 15,51% menjadi 7,55%, SBR 9 dari 11,47% menjadi 3,10%, SBR 11 dari 12,16% menjadi 3,46%, dan SBR 16 dari 14,16% menjadi 4,14%. Pada pukul 19.00 WIB, penurunan drop tegangan juga terjadi di SBR 5, 9, 11, dan 16 dengan nilai serupa. Faktor daya mengalami perbaikan signifikan, dengan SBR 5 naik dari 0,88 menjadi 0,93 pada pukul 10.00 WIB, serta SBR 9, 11, dan 16 meningkat dari 0,75 menjadi hampir 1 pada kedua waktu beban puncak. Penelitian ini membuktikan bahwa optimasi sistem melalui pemasangan kapasitor bank efektif dalam mengurangi rugi daya, memperbaiki tegangan, dan meningkatkan efisiensi distribusi energi listrik. Contohnya, rugi daya pada penyulang SBR 5 berkurang dari 1032,2 kW menjadi 716,2 kW pada pukul 10.00 WIB dan dari 812,6 kW menjadi 634,6 kW pada pukul 19.00 WIB.

Kata kunci: Jaringan distribusi; rugi-rugi daya; faktor daya; kapasitor; kompensator VAR



PENDAHULUAN

PT. PLN (Persero) UP3 Sukoharjo merupakan perusahaan listrik milik negara yang beroperasi untuk menyediakan energi listrik bagi masyarakat umum pada sebagian besar Kabupaten Sukoharjo, Kabupaten Wonogiri dan sebagian besar Kabupaten Karanganyar. Kebutuhan energi itu meliputi industri, perumahan, dan komersial. Pendistribusian tenaga listrik ke pelanggan di suatu kawasan, penggunaan sistem jaringan tegangan menengah sebagai jaringan utama dalam penyaluran tenaga listrik ke konsumen dan sebagai upaya utama menghindari rugi-rugi penyaluran (*losses*) dengan kualitas standar tegangan yang harus dipenuhi oleh PT PLN (Persero) selaku perusahaan pemasok tenaga listrik utama yang telah diatur dalam UU Ketenagalistrikan No.30 tahun 2009 [1].

Pada sistem distribusi tenaga listrik, energi yang diterima oleh konsumen tidak sepenuhnya sama dengan energi yang dihasilkan oleh pembangkit. Perbedaan ini terjadi karena adanya kehilangan energi atau rugi-rugi yang disebabkan oleh berbagai hal. Salah satu penyebab utama adalah jarak yang cukup jauh antara pembangkit dan titik beban, sehingga menyebabkan rugi-rugi energi pada jaringan distribusi maupun pada peralatan yang telah lama digunakan. Selain itu, ketidakseimbangan beban antara ketiga fasa, timbulnya panas pada konduktor serta transformator, dan sambungan listrik yang kurang baik juga menjadi sumber kerugian energi. Faktor eksternal seperti pencurian listrik oleh pihak tertentu turut menambah besarnya kehilangan daya. Mengingat kondisi beban sistem selalu berubah dari waktu ke waktu, perhitungan rugi energi menjadi cukup kompleks dan tidak dapat dilakukan secara sederhana. Oleh karena itu, dibutuhkan metode analisis yang andal dan akurat untuk menghitung rugi daya secara tepat dan baik.

Pada setiap wilayah dimasing-masing PLN area di seluruh Indonesia tentunya mempunyai rugi daya dengan jumlah susut atau *losses* yang berbeda-beda besar nilainya. Begitupun pada PT. PLN (Persero) UP3 Sukoharjo yang memiliki nilai susut atau *losses* dengan nilai tertentu. Berdasarkan hal tersebut maka penulis melakukan penelitian tentang rugi-rugi daya pada jaringan distribusi PT. PLN (Persero) UP3 Sukoharjo khususnya area Solo Baru, sehingga nantinya dapat memberikan suatu gambaran tentang rugi-rugi daya yang terjadi pada jaringan distribusi dengan cara menghitung berapa besar rugi-rugi daya pada jaringan tersebut, Sehingga hasilnya dapat bermanfaat dalam kaitannya dengan sistem transmisi tenaga listrik terutama pada saluran sistem tegangan menengah.

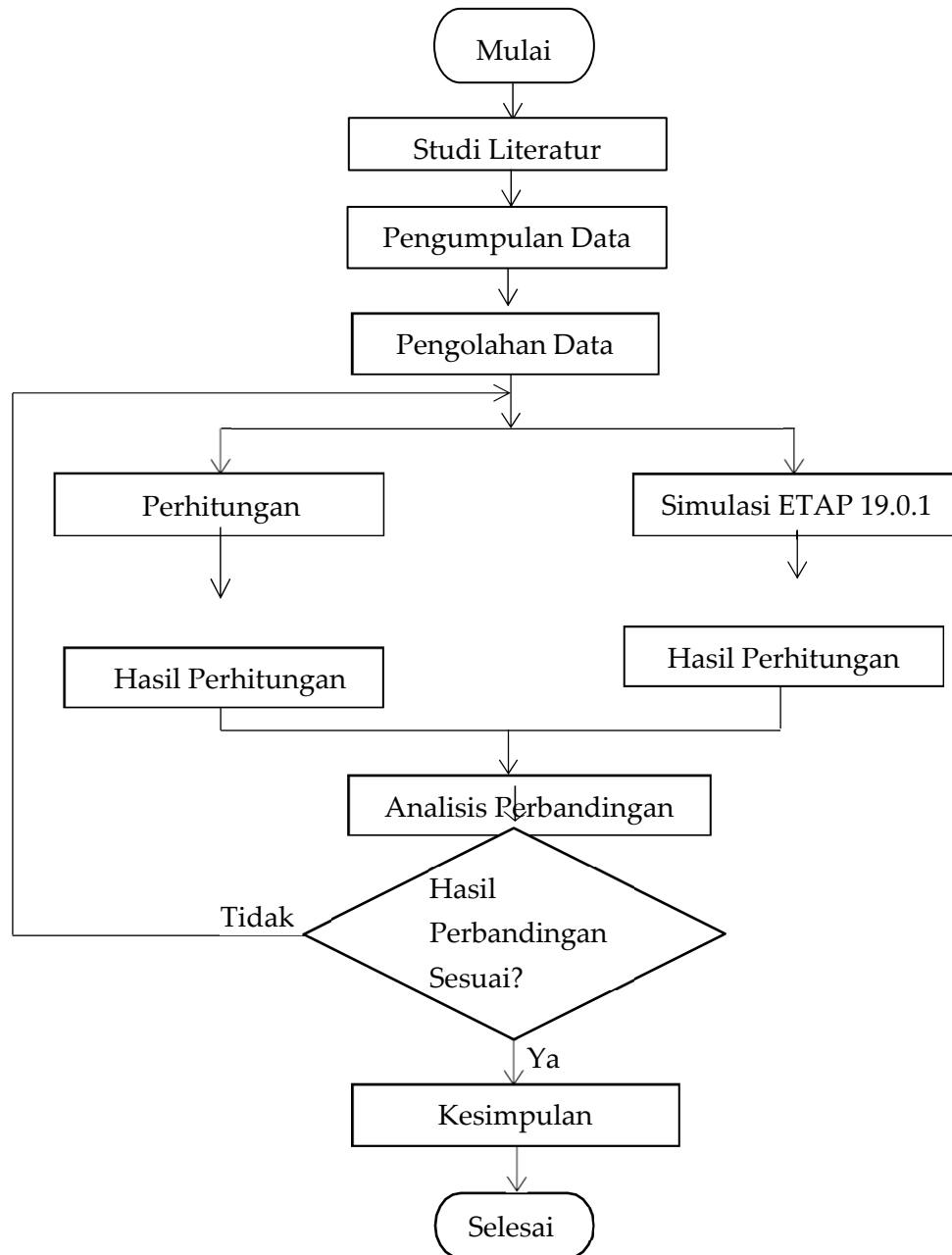
METODE

Penelitian ini dilaksanakan dengan langkah awal studi literatur untuk mencari referensi jurnal, artikel, buku yang ada di internet ataupun dari media cetak dan catatan-catatan kuliah yang berhubungan dengan penelitian ini. Pengumpulan data diperoleh



dari sumber data PT. PLN (Persero) UP3 Sukoharjo, perhitungan, simulasi software ETAP 19.0.1. Hasil dari perhitungan dan simulasi diperoleh, selanjutnya dianalisa untuk memperoleh perbandingan nilai persentase rugi-rugi daya pada jaringan distribusi

Alur Penelitian



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

Mulai penelitian dengan studi literatur untuk mencari referensi jurnal, artikel, buku yang ada di internet ataupun dari media cetak dan catatan-catatan kuliah yang



berhubungan dengan penelitian ini. pengambilan data-data utama dari di PT PLN (Persero) UP3 Sukoharjo. Data yang ada seperti, arus, tegangan, jenis dan jarak penghantar dengan melakukan perhitungan kemudian simulasi *software* ETAP 19.0.1. Data yang sudah diperoleh dari perhitungan dan simulasi ETAP kemudian dibandingkan untuk melihat kesesuaian. Jika Ya, maka dapat disimpulkan dan jika Tidak, maka pengulangan proses pengolahan data.

Kajian Pustaka

Analisis aliran daya digunakan untuk memeriksa apakah sistem tenaga listrik beroperasi dalam kondisi normal dan sebagai dasar perencanaan saat terjadi penambahan beban. Dari analisis ini, parameter sistem seperti daya, tegangan, dan faktor daya dapat diketahui, sehingga rugi daya dan penurunan tegangan bisa diidentifikasi sejak awal. [2]. Penambahan kapasitor bank dapat memperbaiki faktor daya pada bus-bus yang mengalami under voltage. Sebelum penambahan kapasitor bank rata-rata faktor daya sebesar 0,88, tetapi setelah penambahan kapasitor bank, faktor daya mengalami kenaikan menjadi 0,95. Ada perbaikan faktor daya sebesar 0,07. Faktor daya mengalami perbaikan/kenaikan sebesar 7,95%. [3]. Kapasitor bank mampu meningkatkan tegangan hingga 94% dan menurunkan rugi-rugi sebesar 44,4 kW sedangkan SVC mampu meningkatkan tegangan hingga 91% dan menurunkan rugi-rugi sebesar 40,7 kW. Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa pemasangan *capasitor bank* lebih berpengaruh untuk mengurangi jatuh tegangan dan rugi-rugi daya dibandingkan dengan pemasangan statik *VAR compensator*. [4].

Daya

Daya listrik menggambarkan laju penggunaan energi dalam suatu rangkaian listrik. Tegangan listrik sebagai sumber energi menghasilkan daya, sementara beban yang terhubung akan menyerap daya tersebut. Secara umum, daya merupakan ukuran rata-rata dari kerja yang dilakukan dalam suatu periode waktu. Adapun rumus untuk menghitung daya adalah sebagai berikut [5]:

$$P = V \times I \times \cos \varphi \quad (1)$$

$$Q = V \times I \times \sin \varphi \quad (2)$$

$$S = V \times I \quad (3)$$

Keterangan:



P = Daya Aktif (Watt)

Q = Daya Reaktif (VAR)

S = Daya Semu (VA)

V = Tegangan listrik (Volt)

I = Arus listrik (Ampere)

R = Hambatan (Ohm)

$\cos \varphi$ = Faktor daya

Tahanan Saluran

Penyaluran daya listrik di jaringan distribusi primer tidak terlepas dari pengaruh resistansi, induktansi, dan kapasitansi. Ketiga elemen ini berkontribusi terhadap terjadinya tegangan jatuh dan rugi-rugi daya selama proses distribusi. Untuk mencari tahanan saluran dapat dicari dengan persamaan [6]:

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (4)$$

Dimana:

ρ = resistivitas ($\Omega \cdot m$)

l = panjang kawat (m)

A = luas penampang kawat (mm^2)

Rugi-rugi Daya atau *Losses*

Hilangnya energi pada proses penyaluran energi listrik mulai dari gardu distribusi, konduktor penghantar sampai dengan pelanggan disebut rugi-rugi daya atau *losses*. [7]. Berikut merupakan persamaan untuk menghitung rugi-rugi daya. [8].

$$P_{loss} = I^2 \times R \quad (5)$$

Dimana:

I = Arus (Ampere)

R = Resistansi (Ω/km)

Capasitor Bank

Capacitor bank adalah alat listrik yang digunakan untuk menyediakan daya reaktif pada sistem kelistrikan. Dahulu, perangkat ini lebih sering dipasang di sistem distribusi dan subtransmisi. Kini, pemasangannya semakin banyak ditemukan di jaringan



transmisi. Sistem distribusi yang memiliki rasio R/X tinggi dan mengalami penurunan tegangan yang besar dapat menyebabkan kerugian energi hingga 13% dari daya total. Dengan penempatan *capacitor shunt* yang tepat, kita dapat mengontrol aliran daya, meningkatkan kestabilan sistem, memperbaiki faktor daya, menjaga profil tegangan, serta mengurangi rugi-rugi daya aktif.

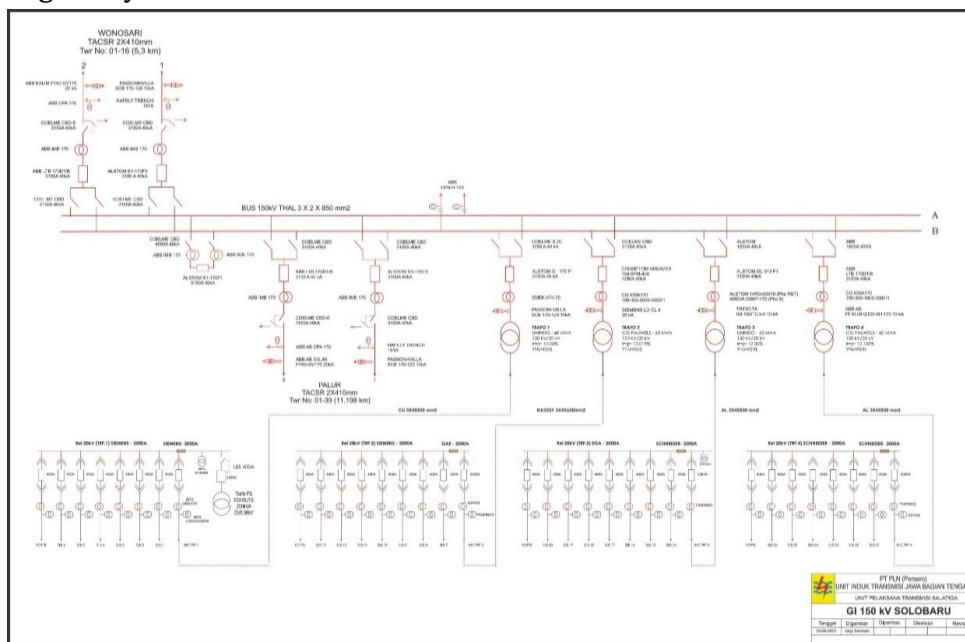
Untuk sistem distribusi yang tidak terlalu besar, perhitungan kapasitor untuk memperbaiki faktor daya di lokasi tertentu dapat dilakukan secara manual. Kebutuhan KVAR ditujukan untuk menaikkan faktor daya dari nilai awal $\cos \varphi_1$ ke nilai akhir $\cos \varphi_2$. Untuk menentukan besarnya kapasitor yang dibutuhkan dapat diperoleh persamaan berikut. [9].

$$Q_c = P(\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2) \tag{6}$$

Dimana:

- P = Daya Aktif (kW)
- Qc = Daya Reaktif Kapasitor (kVAR)
- $\varphi_1 = \cos^{-1}$ Faktor Sesungguhnya
- $\varphi_2 = \cos^{-1}$ Faktor yang diinginkan

Perancangan Blynk



Gambar 2. Single Line Diagram Jaringan Gardu Induk Solo Baru

Gambar 2 merupakan *single line diagram* jaringan gardu induk 150 kV Solo Baru. Gardu induk 150 kV Solo Baru memiliki 4 trafo dan 23 penyulang. Pada trafo 1 terdapat penyulang SBR 1, SBR 2, SBR 3, SBR 4, SBR 5 dan SBR 6. Pada trafo 2 terdapat penyulang SBR 7, SBR 8, SBR 9, SBR 10, SBR 11, SBR 12 dan SBR 13. Pada trafo 3 terdapat penyulang



SBR 14, SBR 15, SBR 17, SBR 18 dan SBR 19. Dan pada trafo 4 terdapat penyulang SBR 16, SBR 20, SBR 22 dan SBR 23. Untuk detail *single line diagram* jaringan gardu induk solo baru terlampir.

HASIL

Pengambilan data dilakukan untuk menghitung rugi-rugi daya pada jaringan distribusi di wilayah Solo Baru. Setelah dilakukan pengambilan data secara kuantitatif diperoleh hasil yang ditunjukkan pada tabel 1. Penghantar AAAC 240 mm² menjadi acuan dalam proses pengukuran beban dan analisis rugi daya pada jaringan distribusi tegangan menengah.

Pengukuran Beban

Jaringan distribusi di wilayah Solo Baru diukur secara langsung pada tanggal 7 September 2024 sebagai bagian dari kegiatan analisis sistem.

Tabel 1. Data Pengukuran Panel Surya

| FEDEER | Arus Beban (A) | | | | | |
|--------|----------------|-----|-----|-----------|-----|-----|
| | JAM 10:00 | | | JAM 19:00 | | |
| | R | S | T | R | S | T |
| SBR01 | 228 | 230 | 242 | 226 | 225 | 236 |
| SBR02 | 272 | 267 | 253 | 257 | 257 | 230 |
| SBR03 | 195 | 187 | 190 | 157 | 151 | 151 |
| SBR04 | 57 | 58 | 60 | 52 | 54 | 61 |
| SBR05 | 221 | 237 | 252 | 196 | 207 | 238 |
| SBR06 | 231 | 207 | 211 | 247 | 207 | 222 |
| SBR07 | 196 | 189 | 192 | 158 | 153 | 153 |
| SBR08 | 143 | 149 | 153 | 173 | 182 | 181 |
| SBR09 | 287 | 278 | 316 | 294 | 290 | 340 |
| SBR10 | 55 | 57 | 54 | 71 | 71 | 68 |



| | | | | | | |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| SBR11 | 196 | 234 | 201 | 216 | 275 | 220 |
| SBR12 | 33 | 29 | 33 | 35 | 30 | 31 |
| SBR13 | 221 | 216 | 220 | 203 | 204 | 204 |
| SBR15 | 225 | 199 | 243 | 231 | 190 | 240 |
| SBR17 | 221 | 237 | 252 | 196 | 207 | 238 |
| SBR18 | 127 | 118 | 120 | 133 | 118 | 120 |
| SBR19 | 30 | 25 | 27 | 25 | 22 | 23 |
| SBR16 | 150 | 157 | 157 | 147 | 155 | 154 |
| SBR20 | 139 | 137 | 128 | 57 | 57 | 46 |
| SBR22 | 104 | 108 | 107 | 96 | 102 | 100 |
| SBR23 | 33 | 29 | 33 | 35 | 30 | 31 |

Tabel 1 menyajikan data hasil pengukuran arus beban antar fasa pada jaringan distribusi tegangan menengah untuk penyulang SBR 1 hingga SBR 23 di wilayah Solo Baru. Penyulang dengan arus beban tertinggi tercatat pada SBR 2, sedangkan nilai arus terendah ditemukan pada penyulang SBR 12 dan SBR 23.

Perhitungan Resistensi pada setiap Penyulang

Berdasarkan data yang diperoleh dari PT. PLN UP3 Sukoharjo, penampang pada penyulang di Solo Baru menggunakan jenis penghantar AAAC yang terbuat dari bahan aluminum, dimana alumunium memiliki nilai hambatan jenis sebesar $2,65 \times 10^{-8}$ dengan luas penampang kawat 240 mm^2 . Sehingga dapat dihitung dan dapat diketahui untuk nilai hambatan penghantar dengan menggunakan persamaan 4 yaitu:

Penyulang SBR 1

$$l = 9,9 \text{ km}$$

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

$$= 2,65 \times 10^{-8} \times \frac{9,9 \times 1000}{240 \times 10^{-6}}$$

$$= 1,094 \Omega$$

Penyulang SBR 2

$$l = 13,3 \text{ km}$$



$$R = \rho \frac{l}{A}$$

$$= 2,65 \times 10^{-8} \times \frac{13,3 \times 1000}{240 \times 10^{-6}}$$

$$= 1,473 \Omega$$

Penyulang SBR 3

$$l = 15,3 \text{ km}$$

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

$$= 2,65 \times 10^{-8} \times \frac{15,3 \times 1000}{240 \times 10^{-6}}$$

$$= 1,689 \Omega$$

Dengan melakukan cara yang sama untuk menghitung resistansi pada semua Penyulang didapatkan hasil pada tabel 2 berikut:

Tabel 2. Resistansi Penghantar

| Penyulang | Panjang Penghantar (km) | Resistansi total (Ω) |
|-----------|-------------------------|-------------------------------|
| SBR01 | 9,9 | 1,094 |
| SBR02 | 13,3 | 1,473 |
| SBR03 | 15,3 | 1,689 |
| SBR04 | 5,6 | 0,619 |
| SBR05 | 50,6 | 5,587 |
| SBR06 | 17,0 | 1,878 |
| SBR07 | 3,4 | 0,375 |
| SBR08 | 3,5 | 0,382 |
| SBR09 | 16,8 | 1,855 |
| SBR10 | 2,6 | 0,286 |
| SBR11 | 24,703 | 2,728 |
| SBR12 | 2,493 | 0,275 |
| SBR13 | 2,661 | 0,294 |
| SBR15 | 9,557 | 1,055 |
| SBR17 | 19,063 | 2,105 |
| SBR18 | 0,253 | 0,028 |
| SBR19 | 3,187 | 0,352 |
| SBR16 | 38,837 | 4,288 |
| SBR20 | 5,391 | 0,595 |
| SBR22 | 6,71 | 0,741 |
| SBR23 | 0,459 | 0,051 |



Tabel 2 memperlihatkan variasi nilai resistansi pada masing-masing penyulang. Perbedaan nilai tersebut disebabkan oleh panjang penyulang yang tidak seragam antara SBR 1 hingga SBR 23. Umumnya, semakin panjang suatu penghantar, maka resistansi yang ditimbulkannya juga akan semakin tinggi.

Perhitungan Rugi-rugi Daya pada setiap Penyulang

Perhitungan Rugi-rugi Daya Tiap Fasa

a) Pada beban puncak siang pukul 10.00.

Penyulang SBR 1

$$P_{\text{losses}} \phi R = 228^2 \times 1,094 = 56.870 \text{ Watt} = 56,87 \text{ kW}$$

$$P_{\text{losses}} \phi S = 230^2 \times 1,094 = 57.873 \text{ Watt} = 57,873 \text{ kW}$$

$$P_{\text{losses}} \phi T = 242^2 \times 1,094 = 64.069 \text{ Watt} = 64,069 \text{ kW}$$

Penyulang SBR 2

$$P_{\text{losses}} \phi R = 272^2 \times 1,473 = 108.978 \text{ Watt} = 108,978 \text{ kW}$$

$$P_{\text{losses}} \phi S = 267^2 \times 1,473 = 105.009 \text{ Watt} = 105,009 \text{ kW}$$

$$P_{\text{losses}} \phi T = 253^2 \times 1,473 = 94.285 \text{ Watt} = 94,285 \text{ kW}$$

Penyulang SBR 3

$$P_{\text{losses}} \phi R = 195^2 \times 1,689 = 64.224 \text{ Watt} = 64,224 \text{ kW}$$

$$P_{\text{losses}} \phi S = 187^2 \times 1,689 = 59.063 \text{ Watt} = 59,063 \text{ kW}$$

$$P_{\text{losses}} \phi T = 190^2 \times 1,689 = 60.973 \text{ Watt} = 60,973 \text{ kW}$$

b) Pada beban puncak malam pukul 19.00.

Penyulang SBR 1

$$P_{\text{losses}} \phi R = 226^2 \times 1,094 = 55.877 \text{ Watt} = 55,877 \text{ kW}$$

$$P_{\text{losses}} \phi S = 225^2 \times 1,094 = 55.384 \text{ Watt} = 55,384 \text{ kW}$$

$$P_{\text{losses}} \phi T = 236^2 \times 1,094 = 60.931 \text{ Watt} = 60,931 \text{ kW}$$

Penyulang SBR 2

$$P_{\text{losses}} \phi R = 257^2 \times 1,473 = 97.290 \text{ Watt} = 97,29 \text{ kW}$$

$$P_{\text{losses}} \phi S = 257^2 \times 1,473 = 97.290 \text{ Watt} = 97,29 \text{ kW}$$

$$P_{\text{losses}} \phi T = 230^2 \times 1,473 = 77.922 \text{ Watt} = 77,922 \text{ kW}$$

Penyulang SBR 3

$$P_{\text{losses}} \phi R = 157^2 \times 1,689 = 41.632 \text{ Watt} = 41,632 \text{ kW}$$

$$P_{\text{losses}} \phi S = 151^2 \times 1,689 = 38.511 \text{ Watt} = 38,511 \text{ kW}$$

$$P_{\text{losses}} \phi T = 151^2 \times 1,689 = 38.511 \text{ Watt} = 38,511 \text{ kW}$$

Perhitungan Rugi-rugi Daya Tiga Fasa

a) Pada beban puncak siang pukul 10.00.

$$\text{Penyulang SBR 1. } P_{\text{losses}} 3\phi = 56,87 + 57,873 + 64,069 = 178,812 \text{ kW}$$

$$\text{Penyulang SBR 2. } P_{\text{losses}} 3\phi = 108,978 + 105,009 + 94,285 = 308,272 \text{ kW}$$

$$\text{Penyulang SBR 3. } P_{\text{losses}} 3\phi = 64,224 + 59,063 + 60,973 = 184,26 \text{ kW}$$



b) Pada beban puncak malam pukul 19.00.

Penyulang SBR 1. $P_{\text{losses}} 3\phi = 55,887 + 55,384 + 60,931 = 172,192 \text{ kW}$

Penyulang SBR 2. $P_{\text{losses}} 3\phi = 97,29 + 97,29 + 77,922 = 272,502 \text{ kW}$

Penyulang SBR 3. $P_{\text{losses}} 3\phi = 41,632 + 38,511 + 38,511 = 118,654 \text{ kW}$

Perhitungan Rata-rata Rugi-rugi Daya

Penyulang SBR 1. $P_{\text{losses}} \text{rata - rata} = \frac{178,812+172,192}{2} = 175,502 \text{ kW}$

Penyulang SBR 2. $P_{\text{losses}} \text{rata - rata} = \frac{308,272+272,502}{2} = 290,387 \text{ kW}$

Penyulang SBR 3. $P_{\text{losses}} \text{rata - rata} = \frac{184,26+118,654}{2} = 151,457 \text{ kW}$

Dengan melakukan cara yang sama untuk menghitung besar rugi-rugi daya pada semua Penyulang didapatkan hasil pada tabel berikut:

Tabel 3. Data Pengukuran Panel Surya Saat Lampu UV Menyala

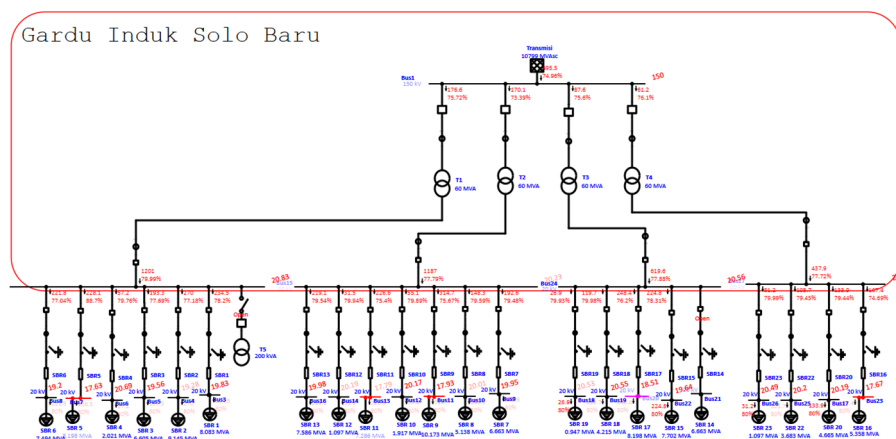
| FEDEER | Rugi rugi daya (kW) | | | | | | | | Rata-rata |
|--------|---------------------|---------|---------|----------|-----------|---------|---------|----------|-----------|
| | JAM 10:00 | | | | JAM 19:00 | | | | |
| | R | S | T | 3 ϕ | R | S | T | 3 ϕ | |
| SBR01 | 56,870 | 57,873 | 64,069 | 178,812 | 55,877 | 55,384 | 60,931 | 172,192 | 175,502 |
| SBR02 | 108,978 | 105,009 | 94,285 | 308,272 | 97,290 | 97,290 | 77,922 | 272,502 | 290,387 |
| SBR03 | 64,224 | 59,063 | 60,973 | 184,260 | 41,632 | 38,511 | 38,511 | 118,654 | 151,457 |
| SBR04 | 2,011 | 2,082 | 2,228 | 6,322 | 1,674 | 1,805 | 2,303 | 5,782 | 6,052 |
| SBR05 | 272,875 | 313,816 | 354,797 | 941,488 | 214,630 | 239,397 | 316,470 | 770,498 | 855,993 |
| SBR06 | 100,212 | 80,470 | 83,610 | 264,293 | 114,575 | 80,470 | 92,555 | 287,601 | 275,947 |
| SBR07 | 14,406 | 13,395 | 13,824 | 41,625 | 9,362 | 8,778 | 8,778 | 26,918 | 34,272 |
| SBR08 | 7,812 | 8,481 | 8,942 | 25,235 | 11,433 | 12,653 | 12,515 | 36,601 | 30,918 |
| SBR09 | 152,794 | 143,362 | 185,233 | 481,389 | 160,339 | 156,006 | 214,438 | 530,782 | 506,086 |
| SBR10 | 0,865 | 0,929 | 0,834 | 2,628 | 1,442 | 1,442 | 1,322 | 4,206 | 3,417 |
| SBR11 | 104,799 | 149,374 | 110,214 | 364,387 | 127,278 | 206,305 | 132,035 | 465,618 | 415,002 |
| SBR12 | 0,299 | 0,231 | 0,299 | 0,830 | 0,337 | 0,248 | 0,264 | 0,849 | 0,839 |
| SBR13 | 14,359 | 13,717 | 14,230 | 42,306 | 12,115 | 12,235 | 12,235 | 36,586 | 39,446 |
| SBR15 | 53,409 | 41,779 | 62,297 | 157,485 | 56,296 | 38,086 | 60,768 | 155,149 | 156,317 |
| SBR17 | 102,810 | 118,236 | 133,676 | 354,722 | 80,866 | 90,197 | 119,236 | 290,298 | 322,510 |
| SBR18 | 0,452 | 0,390 | 0,403 | 1,245 | 0,495 | 0,390 | 0,403 | 1,288 | 1,267 |
| SBR19 | 0,317 | 0,220 | 0,257 | 0,793 | 0,220 | 0,170 | 0,186 | 0,577 | 0,685 |
| SBR16 | 96,480 | 105,695 | 105,695 | 307,870 | 92,659 | 103,019 | 101,694 | 297,373 | 302,621 |
| SBR20 | 11,496 | 11,168 | 9,748 | 32,412 | 1,933 | 1,933 | 1,259 | 5,125 | 18,769 |
| SBR22 | 8,015 | 8,643 | 8,484 | 25,141 | 6,829 | 7,709 | 7,410 | 21,948 | 23,545 |
| SBR23 | 0,055 | 0,042 | 0,055 | 0,153 | 0,062 | 0,045 | 0,049 | 0,157 | 0,155 |



Tabel 3 menyajikan data rugi-rugi daya yang terjadi pada sistem distribusi listrik di wilayah Solo Baru. Nilai rugi daya ini dihitung untuk setiap penyulang, serta dibedakan berdasarkan masing-masing fasa penghantar. Penyulang SBR 5 tercatat mengalami rugi daya tertinggi, yakni saat beban puncak pukul 10.00, dengan nilai rugi masing-masing fasa R, S, dan T sebesar 272,875 kW, 313,816 kW, dan 354,797 kW. Adapun pada beban puncak pukul 19.00, nilai rugi daya untuk fasa yang sama masing-masing sebesar 214,63 kW, 239,397 kW, dan 316,470 kW, menghasilkan rata-rata rugi total sebesar 855,993 kW. Sebaliknya, rugi daya terendah dicapai oleh penyulang SBR 23, dengan nilai saat beban puncak pukul 10.00 untuk fasa R, S, dan T masing-masing 0,055 kW, 0,042 kW, dan 0,055 kW; serta pada pukul 19.00 sebesar 0,062 kW, 0,045 kW, dan 0,049 kW, dengan rata-rata total hanya 0,155 kW. Kerugian daya tersebut disebabkan oleh aliran arus yang melebihi kapasitas resistansi penghantar, sehingga menimbulkan panas yang mengakibatkan hilangnya energi. Temuan ini menunjukkan bahwa sebagian energi yang dikirimkan dari sumber tidak sepenuhnya diterima oleh konsumen akibat adanya rugi transmisi.

Simulasi Load Flow menggunakan Software ETAP 19.0.1

Simulasi *load flow* menggunakan *software* ETAP 19.0.1 digunakan untuk mengetahui nilai rugi daya pada jaringan distribusi 20 kV area Solo Baru dengan memasukkan data yang didapat dari penelitian yaitu, jarak atau panjang penghantar, total nilai arus beban, dan spesifikasi trafo. Berikut dibawah ini merupakan *capture* hasil simulasi pada gambar 3.



Gambar 3. Simulasi Load Flow ETAP pada Beban Puncak Pukul 10.00



Branch Losses Summary Report

| Branch ID | From-To Bus Flow | | To-From Bus Flow | | Losses | | % Bus Voltage | | Vd % Drop in Vmag |
|-----------|------------------|---------|------------------|----------|--------|---------|---------------|-------|-------------------------|
| | kW | kvar | kW | kvar | kW | kvar | From | To | |
| SBR1 | 6615.7 | 5273.2 | -6444.6 | -4833.4 | 171.1 | 439.8 | 104.1 | 99.2 | 4.98 |
| SBR10 | -1538.5 | -1153.9 | 1541.0 | 1160.3 | 2.5 | 6.4 | 100.8 | 101.1 | 0.30 |
| SBR11 | -5585.9 | -4189.5 | 5984.4 | 5213.4 | 398.5 | 1024.0 | 89.0 | 101.1 | 12.16 |
| SBR12 | -881.0 | -660.7 | 881.8 | 662.7 | 0.8 | 2.0 | 101.0 | 101.1 | 0.17 |
| SBR13 | 6106.6 | 4653.0 | -6066.4 | -4549.8 | 40.2 | 103.2 | 101.1 | 99.9 | 1.24 |
| SBR15 | -6117.8 | -4588.4 | 6269.6 | 4978.3 | 151.8 | 390.0 | 98.2 | 102.8 | 4.60 |
| SBR16 | -4097.9 | -3073.4 | 4439.9 | 3952.3 | 342.1 | 879.0 | 88.3 | 102.5 | 14.17 |
| SBR17 | -6371.0 | -4778.2 | 6740.5 | 5727.8 | 369.5 | 949.5 | 92.6 | 102.8 | 10.25 |
| SBR18 | -3409.4 | -2557.0 | 3410.5 | 2559.9 | 1.1 | 2.9 | 102.8 | 102.8 | 0.06 |
| SBR19 | -765.6 | -574.2 | 766.3 | 576.0 | 0.7 | 1.9 | 102.6 | 102.8 | 0.18 |
| SBR2 | 7517.4 | 6192.5 | -7212.6 | -5409.5 | 304.7 | 783.0 | 104.1 | 96.4 | 7.74 |
| SBR20 | -3746.5 | -2809.9 | 3776.9 | 2887.9 | 30.4 | 78.1 | 101.0 | 102.5 | 1.54 |
| SBR22 | -2958.6 | -2218.9 | 2982.1 | 2279.5 | 23.6 | 60.6 | 101.0 | 102.5 | 1.51 |
| SBR23 | -886.4 | -664.8 | 886.5 | 665.1 | 0.1 | 0.4 | 102.5 | 102.5 | 0.03 |
| SBR3 | 5417.1 | 4389.7 | -5237.5 | -3928.1 | 179.6 | 461.6 | 104.1 | 97.8 | 6.36 |
| SBR4 | 1645.1 | 1244.3 | -1639.3 | -1229.5 | 5.8 | 14.8 | 104.1 | 103.5 | 0.68 |
| SBR5 | 7298.8 | 3799.4 | -6266.5 | -4699.9 | 1032.2 | -900.5 | 104.1 | 88.2 | 15.97 |
| SBR6 | 6164.2 | 5101.4 | -5901.3 | -4426.0 | 262.9 | 675.5 | 104.1 | 96.0 | 8.13 |
| SBR7 | -5324.5 | -3993.4 | 5364.1 | 4095.3 | 39.7 | 101.9 | 99.7 | 101.1 | 1.40 |
| SBR8 | -4111.2 | -3083.4 | 4135.4 | 3145.5 | 24.2 | 62.2 | 100.0 | 101.1 | 1.11 |
| SBR9 | -7819.0 | -5864.3 | 8341.9 | 7207.9 | 522.9 | 1343.6 | 89.7 | 101.1 | 11.47 |
| T1 | 34746.5 | 29975.7 | -34658.2 | -26000.5 | 88.3 | 3975.2 | 100.0 | 104.1 | 4.13 |
| T2 | 32441.5 | 30022.6 | -32355.2 | -26138.2 | 86.3 | 3884.4 | 100.0 | 101.1 | 1.13 |
| T3 | 17210.4 | 14900.0 | -17186.9 | -13842.1 | 23.5 | 1057.9 | 100.0 | 102.8 | 2.82 |
| T4 | 12097.2 | 10313.3 | -12085.4 | -9784.9 | 11.7 | 528.4 | 100.0 | 102.5 | 2.50 |
| | | | | | 4114.2 | 15925.5 | | | |

* This Transmission Line includes Series Capacitor.

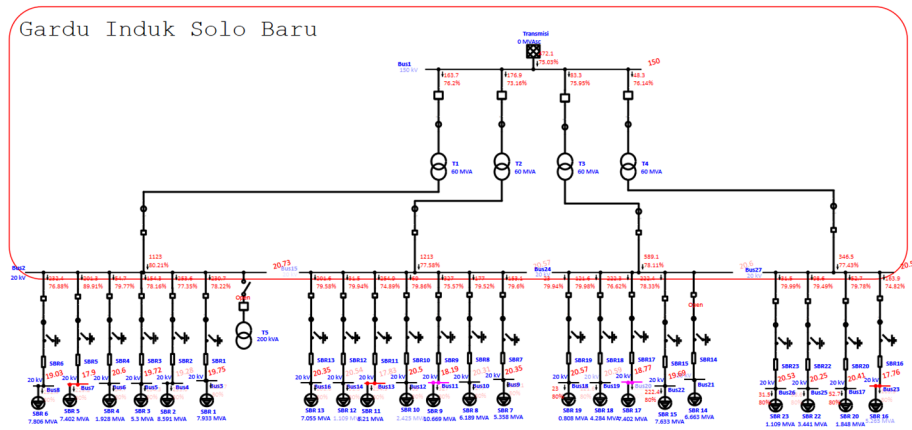
Gambar 4. Hasil Simulasi *Load Flow* ETAP pada Beban Puncak Pukul 10.00

Pada gambar 3 simulasi *load flow* ETAP pada beban puncak pukul 10.00 terdapat busbar yang mengalami *drop* tegangan di atas 10% yaitu, pada busbar 7 yang berada di penyulang SBR 5 sebesar 15,97% dengan pF 0,88, busbar 11 yang berada di penyulang SBR 9 sebesar 11,47% dengan pF 0,75, busbar 13 yang berada di penyulang SBR 11 sebesar 12,16% dengan pF 0,75 dan busbar 23 yang berada di penyulang SBR 16 sebesar 14,17% dengan pF 0,75.

Dari gambar 4 merupakan data hasil simulasi nilai rugi-rugi daya dari setiap penyulang pada beban puncak pukul 10.00. Nilai rugi rugi daya terbesar terjadi pada penyulang SBR 5 dengan rugi-rugi daya total 1032,2 kW.

Simulasi ETAP 19.0.1 pada beban puncak pukul 19.00 sebagai berikut:





Gambar 5. Simulasi Load Flow ETAP pada Beban Puncak Pukul 19.00

Branch Losses Summary Report

| Branch ID | From-To Bus Flow | | To-From Bus Flow | | Losses | | % Bus Voltage | | Vd in Vmag |
|-----------|------------------|---------|------------------|----------|--------|---------|---------------|-------|---------------|
| | kw | kvar | kw | kvar | kW | kvar | From | To | |
| SBR1 | 6480.6 | 5161.8 | -6314.9 | -4736.2 | 165.7 | 425.7 | 103.7 | 98.8 | 4.90 |
| SBR10 | -1959.5 | -1469.6 | 1963.3 | 1479.6 | 3.9 | 10.0 | 102.5 | 102.9 | 0.38 |
| SBR11 | -6298.5 | -4723.9 | 6803.0 | 6020.3 | 504.5 | 1296.5 | 89.2 | 102.9 | 13.72 |
| SBR12 | -896.5 | -672.4 | 897.3 | 674.4 | 0.8 | 2.0 | 102.7 | 102.9 | 0.17 |
| SBR13 | 5717.5 | 4350.0 | -5683.5 | -4262.7 | 34.0 | 87.3 | 102.9 | 101.7 | 1.14 |
| SBR15 | -6068.2 | -4551.1 | 6216.8 | 4933.0 | 148.6 | 381.9 | 98.4 | 103.0 | 4.56 |
| SBR16 | -4034.1 | -3025.6 | 4362.2 | 3868.6 | 328.1 | 843.0 | 88.8 | 102.7 | 13.87 |
| SBR17 | -5779.9 | -4334.9 | 6075.8 | 5095.4 | 296.0 | 760.5 | 93.8 | 103.0 | 9.15 |
| SBR18 | -3467.9 | -2600.9 | 3469.0 | 2603.9 | 1.2 | 3.0 | 102.9 | 103.0 | 0.07 |
| SBR19 | -654.1 | -490.6 | 654.6 | 491.9 | 0.5 | 1.4 | 102.8 | 103.0 | 0.16 |
| SBR2 | 7044.3 | 5772.5 | -6775.4 | -5081.5 | 268.9 | 691.0 | 103.7 | 96.4 | 7.26 |
| SBR20 | -1490.3 | -1117.7 | 1495.0 | 1129.8 | 4.7 | 12.1 | 102.1 | 102.7 | 0.60 |
| SBR22 | -2766.7 | -2075.0 | 2787.2 | 2127.7 | 20.5 | 52.7 | 101.3 | 102.7 | 1.41 |
| SBR23 | -896.3 | -672.2 | 896.4 | 672.6 | 0.1 | 0.4 | 102.6 | 102.7 | 0.03 |
| SBR3 | 4330.9 | 3456.5 | -4216.3 | -3162.3 | 114.5 | 294.3 | 103.7 | 98.6 | 5.06 |
| SBR4 | 1566.8 | 1184.7 | -1561.5 | -1171.1 | 5.3 | 13.5 | 103.7 | 103.0 | 0.65 |
| SBR5 | 6498.4 | 3164.2 | -5685.8 | -4264.4 | 812.6 | -1100.2 | 103.7 | 89.5 | 14.15 |
| SBR6 | 6444.4 | 5335.8 | -6126.0 | -4594.5 | 288.5 | 741.3 | 103.7 | 95.1 | 8.52 |
| SBR7 | -4316.7 | -3237.6 | 4341.8 | 3301.9 | 25.0 | 64.3 | 101.8 | 102.9 | 1.11 |
| SBR8 | -4982.3 | -3736.7 | 5016.8 | 3825.3 | 34.5 | 88.6 | 101.6 | 102.9 | 1.32 |
| SBR9 | -8240.4 | -6180.3 | 8804.8 | 7630.7 | 564.4 | 1450.4 | 90.9 | 102.9 | 11.93 |
| T1 | 32412.6 | 27548.9 | -32335.4 | -24075.5 | 77.2 | 3473.4 | 100.0 | 103.7 | 3.66 |
| T2 | 33634.8 | 31339.0 | -33544.6 | -27282.2 | 90.2 | 4056.8 | 100.0 | 102.9 | 2.87 |
| T3 | 16437.5 | 14080.6 | -16416.3 | -13124.3 | 21.3 | 956.3 | 100.0 | 103.0 | 2.99 |
| T4 | 9548.2 | 8129.5 | -9540.8 | -7798.7 | 7.4 | 330.8 | 100.0 | 102.7 | 2.66 |
| | | | | | 3818.2 | 14936.9 | | | |

* This Transmission Line includes Series Capacitor.

Gambar 6. Hasil Simulasi Load Flow ETAP pada Beban Puncak Pukul 19.00

Pada simulasi load flow ETAP pada beban puncak pukul 19.00 (gambar 5) terdapat juga busbar yang mengalami drop tegangan di atas 10% yaitu, busbar 7 yang berada di penyulang SBR 5 sebesar 14,15% dengan pF 0,88, busbar 11 yang berada di penyulang SBR 9 sebesar 11,93% dengan pF 0,75, busbar 13 yang berada di penyulang SBR 11 sebesar 13,72% dengan pF 0,75 dan busbar 23 yang berada di penyulang SBR 16 sebesar 13,87% dengan pF 0,75.



Dari gambar 6 diketahui nilai rugi-rugi daya dari setiap penyulang pada beban puncak pukul 19.00. Nilai rugi rugi daya terbesar terjadi pada penyulang SBR 5 dengan nilai rugi-rugi daya total sebesar 812,6 kW. Tabel 4 menunjukkan perbandingan hasil rugi-rugi daya pada ETAP 19.0.1 dan perhitungan manual.

Tabel 4. Perbandingan Hasil Rugi-Rugi Daya pada ETAP 19.0.1 dan Perhitungan Manual

| Penyulang | Rugi-rugi Daya | | | | Persentase Perbandingan |
|--------------|----------------|---------|-------------|---------|-------------------------|
| | 10.00 | | 19.00 | | |
| | ETAP 19.0.1 | Manual | ETAP 19.0.1 | Manual | |
| SBR01 | 171,1 | 178,812 | 165,7 | 172,192 | 4,48% |
| SBR02 | 304,7 | 308,272 | 268,9 | 272,502 | 1,16% |
| SBR03 | 179,6 | 184,26 | 114,5 | 118,654 | 2,56% |
| SBR04 | 5,8 | 6,322 | 5,3 | 5,782 | 9,86% |
| SBR05 | 1032,2 | 941,488 | 812,6 | 770,498 | 8,79% |
| SBR06 | 262,9 | 264,293 | 288,5 | 287,601 | 0,54% |
| SBR07 | 39,7 | 41,625 | 25,0 | 26,918 | 4,96% |
| SBR08 | 24,2 | 25,235 | 34,5 | 36,601 | 4,29% |
| SBR09 | 522,9 | 481,389 | 564,4 | 530,782 | 7,93% |
| SBR10 | 2,5 | 2,628 | 3,9 | 4,206 | 6,08% |
| SBR11 | 398,5 | 364,387 | 504,5 | 465,618 | 8,55% |
| SBR12 | 0,8 | 0,83 | 0,8 | 0,849 | 6,88% |
| SBR13 | 40,2 | 42,306 | 34,0 | 36,586 | 5,33% |
| SBR15 | 151,8 | 157,485 | 148,6 | 155,149 | 3,77% |
| SBR17 | 369,5 | 354,722 | 296,0 | 290,298 | 4,007% |
| SBR18 | 1,1 | 1,2 | 1,2 | 1,288 | 9,19% |
| SBR19 | 0,7 | 0,793 | 0,5 | 0,577 | 9,33% |
| SBR16 | 342,1 | 307,87 | 328,1 | 297,373 | 9,99% |
| SBR20 | 30,4 | 32,412 | 4,7 | 5,125 | 6,70% |
| SBR22 | 23,6 | 25,141 | 20,5 | 21,948 | 6,68% |
| SBR23 | 0,1 | 0,153 | 0,1 | 0,157 | 9,56% |

Optimasi Sistem dengan *Capsitor Bank*

Pada penentuan kandidat busbar mana yang akan dipasangkan *capasitor bank*, pada simulasi *load flow* di beban puncak pukul 10.00 dan 19.00. terdapat bus yang mengalami *drop* tegangan melebihi 10% yang berarti sudah melebihi nilai toleransi menurut standar PLN (SPLN). Dan perlu dilakukan perbaikan faktor daya dengan memasang *capasitor bank* pada penyulang yang mengalami *drop* tegangan lebih dari 10% dan mengalami kerusakan



faktor daya yaitu pada penyulang SBR 5, SBR 9, SBR 11 dan SBR 16. Tabel 5 menunjukkan kandidat busbar yang perlu diperbaiki faktor dayanya.

Tabel 5. Kandidat Busbar

| Penyulang | Busbar | %Drop Tegangan | | Faktor Daya | |
|-----------|--------|----------------|-------|-------------|-------|
| | | 10:00 | 19:00 | 10:00 | 19:00 |
| SBR 5 | 7 | 15,97 | 14,15 | 0,88 | 0,88 |
| SBR 9 | 11 | 11,47 | 11,93 | 0,75 | 0,75 |
| SBR 11 | 13 | 12,16 | 13,72 | 0,75 | 0,75 |
| SBR 16 | 23 | 14,17 | 13,87 | 0,75 | 0,75 |

Perhitungan Kebutuhan *Capasitor Bank*

Perhitungan diambil dari data yang mengalami rugi-rugi daya terbesar dan yang mengalami *drop* tegangan >10% dan mengalami kerusakan faktor daya yang mana tertera pada tabel 5, sehingga perlu dilakukan perbaikan faktor daya dengan memasang *capasitor bank*.

Sebagai contoh perhitungan sebagai berikut:

Penyulang SBR 5

Sebelum mencari daya reaktif untuk kebutuhan kapasitor, diperlukan mengetahui nilai daya aktif pada penyulang. Perhitungan daya aktif diambil dari tabel 1 penyulang SBR 5 pada beban puncak pukul 10.00. Daya aktif bisa dihitung dengan menggunakan persamaan 1:

Diketahui :

$$I_R = 221 A$$

$$I_S = 237 A$$

$$I_T = 252 A$$

$$\cos\varphi = 0,8$$

$$V = 20kV$$

Maka,

$$P_R = 20 \times 221 \times 0,8 = 3.536 \text{ kW}$$

$$P_S = 20 \times 237 \times 0,8 = 3.792 \text{ kW}$$

$$P_T = 20 \times 252 \times 0,8 = 4.032 \text{ kW}$$

$$P_{total} = 3.536 + 3.792 + 4.032 = 11.360 \text{ kW}$$

Perhitugan kebutuhan daya reaktif kapasitor di busbar 7 pada penyulang SBR 5 di atas dapat dihitung menggunakan persamaan 6 sebagai berikut:

Diketahui:

$$\cos\varphi_1 = 0,8$$



$$\begin{aligned} \tan\phi_1 &= \tan(\cos^{-1}0,8) = 0,75 \\ \cos\phi_2 &= 0,95 \\ \tan\phi_2 &= \tan(\cos^{-1}0,95) = 0,3286 \\ \text{Maka,} \\ Q_c &= P(\tan\phi_1 - \tan\phi_2) \\ Q_c &= 11.360 (0,75 - 0,3286) \\ Q_c &= 4.787 \text{ KVAR} \end{aligned}$$

Penyulang SBR 9

Sebelum mencari daya reaktif untuk kebutuhan *capasitor bank*, diperlukan mengetahui nilai daya aktif pada penyulang. Perhitungan daya aktif diambil dari tabel 1 penyulang SBR 9 pada beban puncak pukul 10.00. Daya aktif bisa dihitung dengan menggunakan persamaan 1:

Diketahui :

$$\begin{aligned} I_R &= 287 \text{ A} \\ I_S &= 278 \text{ A} \\ I_T &= 316 \text{ A} \\ \cos\phi &= 0,75 \\ V &= 20 \text{ kV} \end{aligned}$$

Maka,

$$\begin{aligned} P_R &= 20 \times 287 \times 0,75 = 4.305 \text{ kW} \\ P_S &= 20 \times 278 \times 0,75 = 4.170 \text{ kW} \\ P_T &= 20 \times 316 \times 0,75 = 4.780 \text{ kW} \\ P_{total} &= 4.305 + 4.170 + 4.780 = 13.215 \text{ kW} \end{aligned}$$

Perhitungan kebutuhan daya reaktif kapasitor di busbar 11 pada penyulang SBR 9 di atas dapat dihitung menggunakan persamaan 7 sebagai berikut :

Diketahui :

$$\begin{aligned} \cos\phi_1 &= 0,75 \\ \tan\phi_1 &= \tan(\cos^{-1}0,75) = 0,88 \\ \cos\phi_2 &= 0,95 \\ \tan\phi_2 &= \tan(\cos^{-1}0,95) = 0,3286 \end{aligned}$$

Maka,

$$\begin{aligned} Q_c &= P(\tan\phi_1 - \tan\phi_2) \\ Q_c &= 14.096 (0,88 - 0,3286) \\ Q_c &= 7.286 \text{ KVAR} \end{aligned}$$

Tabel 6. Hasil Perhitungan Kebutuhan kVAR *Capasitor Bank*

| Penyulang | Busbar | Qc (kVAR) |
|-----------|--------|--------------|
|-----------|--------|--------------|

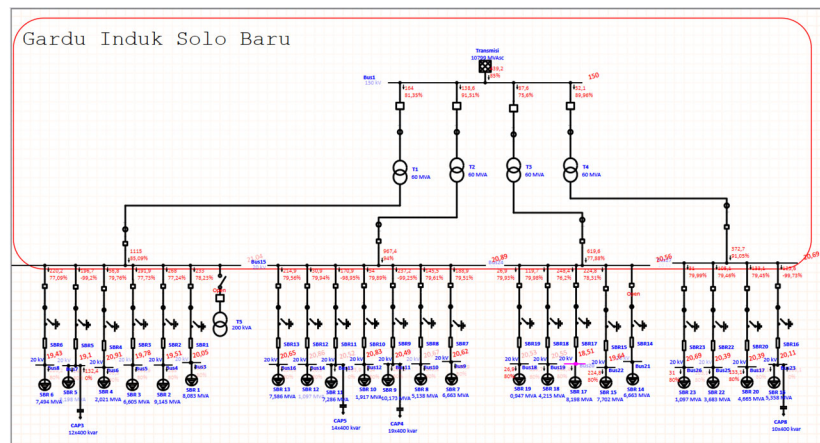


| | | |
|---------------|----|-------|
| SBR 5 | 7 | 4.787 |
| SBR 9 | 11 | 7.286 |
| SBR 11 | 13 | 5.219 |
| SBR 16 | 23 | 3.837 |

Perhitungan kebutuhan kVAR yang dibutuhkan untuk *capasitor bank* pada penyulang SBR 5 busbar 7 sebesar 4.787 kVAR, penyulang SBR 9 busbar 11 sebesar 7.286 kVAR, penyulang SBR 11 busbar 13 sebesar 5.219 kVAR dan pada penyulang SBR 16 busbar 23 sebesar 3.837.

Berikut merupakan simulasi *load flow* setelah pemasangan *capasitor bank* pada *software* ETAP 19.0.1 menggunakan data kVAR perhitungan manual:

Simulasi *load flow* setelah pemasangan *capasitor bank* menggunakan *software* ETAP 19.0.1 digunakan untuk mengetahui perubahan nilai rugi daya, %*drop* tegangan dan faktor daya pada jaringan distribusi 20 kV area Solo Baru dengan memasukkan data *capasitor* yang didapat dari hasil perhitungan manual. Berikut dibawah ini merupakan *capture* hasil simulasi.



Gambar 7. Simulasi Setelah Pemasangan *Capasitor Bank* pada Beban Puncak Pukul 10.00



Branch Losses Summary Report

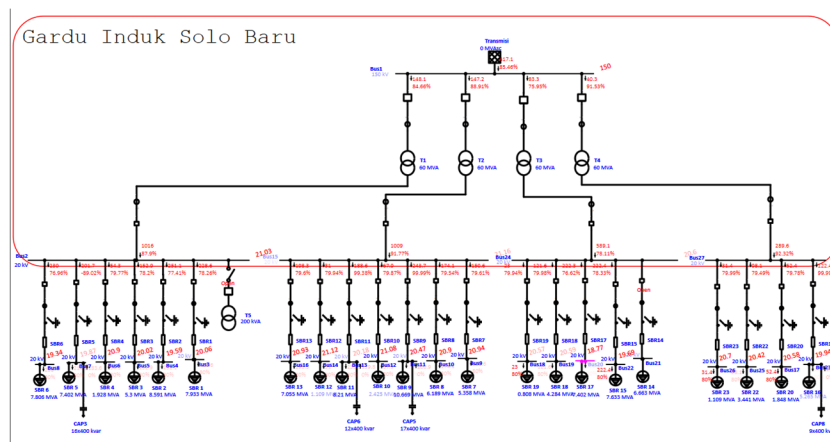
| Branch ID | From-To Bus Flow | | To-From Bus Flow | | Losses | | % Bus Voltage | | Vd % Drop in Vmag |
|-----------|------------------|---------|------------------|----------|--------|---------|---------------|-------|-------------------------|
| | kw | kvar | kw | kvar | kW | kvar | From | To | |
| SBR1 | 6642.2 | 5288.9 | -6473.4 | -4855.0 | 168.9 | 433.9 | 105.2 | 100.3 | 4.94 |
| SBR10 | -1559.4 | -1169.6 | 1561.8 | 1175.7 | 2.4 | 6.1 | 104.1 | 104.4 | 0.30 |
| SBR11 | -5890.3 | 1477.0 | 6116.9 | -894.5 | 226.7 | 582.4 | 102.6 | 104.4 | 1.85 |
| SBR12 | -892.9 | -669.7 | 893.7 | 671.6 | 0.7 | 1.9 | 104.3 | 104.4 | 0.16 |
| SBR13 | 6187.4 | 4710.8 | -6148.7 | -4611.5 | 38.6 | 99.3 | 104.4 | 103.2 | 1.22 |
| SBR15 | -6117.8 | -4588.4 | 6269.6 | 4978.3 | 151.8 | 390.0 | 98.2 | 102.8 | 4.60 |
| SBR16 | -4296.0 | 823.5 | 4488.4 | -329.0 | 192.4 | 494.5 | 100.6 | 103.5 | 2.90 |
| SBR17 | -6571.0 | -4778.2 | 6740.5 | 5727.8 | 369.5 | 949.5 | 92.6 | 102.8 | 10.25 |
| SBR18 | -3409.4 | -2557.0 | 3410.5 | 2559.9 | 1.1 | 2.9 | 102.8 | 102.8 | 0.06 |
| SBR19 | -765.6 | -574.2 | 766.3 | 576.0 | 0.7 | 1.9 | 102.6 | 102.8 | 0.18 |
| SBR2 | 7545.3 | 6205.4 | -7245.0 | -5433.7 | 300.3 | 771.7 | 105.2 | 97.5 | 7.68 |
| SBR20 | -3761.3 | -2820.9 | 3791.3 | 2898.1 | 30.0 | 77.2 | 101.9 | 103.5 | 1.53 |
| SBR22 | -2970.2 | -2227.7 | 2993.5 | 2287.5 | 23.3 | 59.9 | 102.0 | 103.5 | 1.50 |
| SBR23 | -889.9 | -667.4 | 890.0 | 667.7 | 0.1 | 0.4 | 103.4 | 103.5 | 0.03 |
| SBR3 | 5438.0 | 4400.9 | -5260.9 | -3945.7 | 177.2 | 455.2 | 105.2 | 98.9 | 6.31 |
| SBR4 | 1652.3 | 1248.6 | -1646.6 | -1234.9 | 5.7 | 14.6 | 105.2 | 104.5 | 0.68 |
| SBR5 | 7111.2 | -907.3 | -6443.8 | -453.4 | 667.4 | -1360.7 | 105.2 | 95.5 | 9.70 |
| SBR6 | 6186.8 | 5111.4 | -5927.8 | -4445.8 | 259.0 | 665.6 | 105.2 | 97.1 | 8.07 |
| SBR7 | -5396.7 | -4047.5 | 5434.9 | 4145.5 | 38.1 | 98.0 | 103.1 | 104.4 | 1.37 |
| SBR8 | -4166.9 | -3125.2 | 4190.2 | 3185.0 | 23.3 | 59.8 | 103.4 | 104.4 | 1.08 |
| SBR9 | -8219.1 | 1812.7 | 8516.0 | -1049.6 | 297.0 | 763.1 | 102.5 | 104.4 | 1.99 |
| T1 | 34651.9 | 24774.0 | -34575.8 | -21348.8 | 76.1 | 3425.2 | 100.0 | 105.2 | 5.22 |
| T2 | 32958.2 | 14523.4 | -32900.9 | -11944.5 | 57.3 | 2578.9 | 100.0 | 104.4 | 4.45 |
| T3 | 17210.4 | 14900.0 | -17186.9 | -13842.1 | 23.5 | 1057.9 | 100.0 | 102.8 | 2.82 |
| T4 | 12171.7 | 5907.1 | -12163.2 | -5524.3 | 8.5 | 382.8 | 100.0 | 103.5 | 3.47 |
| | | | | | 3139.8 | 12011.9 | | | |

* This Transmission Line includes Series Capacitor.

Gambar 8. Hasil Simulasi Setelah Pemasangan *Capacitor Bank* pada Beban Puncak Pukul 10.00

Dari gambar 7 diketahui nilai rugi-rugi daya dari setiap penyulang pada beban puncak pukul 10.00. Nilai rugi rugi daya terbesar terjadi pada penyulang SBR 5 dengan nilai rugi-rugi daya total sebesar 667,4 kW. Gambar 8 diketahui bahwa pada simulasi kandidat busbar seperti pada tabel 4 yang perlu diperbaiki sudah tidak mengalami drop tegangan >10%.

Simulasi setelah pemasangan *capacitor bank* pada beban puncak pukul 19.00 sebagai berikut:



Gambar 9. Simulasi Setelah Pemasangan *Capacitor Bank* pada Beban Puncak Pukul 19.00



Branch Losses Summary Report

| Branch ID | From-To Bus Flow | | To-From Bus Flow | | Losses | | % Bus Voltage | | Vd % Drop in Vmag |
|-----------|------------------|---------|------------------|----------|--------|---------|---------------|-------|-------------------------|
| | kW | kvar | kW | kvar | kW | kvar | From | To | |
| SBR1 | 6306.7 | 5177.3 | -6343.3 | -4757.5 | 163.4 | 419.9 | 104.7 | 99.9 | 4.86 |
| SBR10 | -1986.6 | -1490.0 | 1990.4 | 1499.6 | 3.7 | 9.6 | 105.9 | 106.2 | 0.37 |
| SBR11 | -6647.5 | 953.6 | 6922.6 | -246.6 | 275.1 | 706.9 | 103.0 | 106.2 | 3.24 |
| SBR12 | -909.0 | -681.7 | 909.7 | 683.7 | 0.7 | 1.9 | 106.1 | 106.2 | 0.16 |
| SBR13 | 5795.1 | 4405.9 | -5762.4 | -4321.8 | 32.7 | 84.1 | 106.2 | 105.1 | 1.12 |
| SBR15 | -6068.2 | -4551.1 | 6216.8 | 4933.0 | 148.6 | 381.9 | 98.4 | 103.0 | 4.56 |
| SBR16 | -4230.1 | 911.9 | 4416.7 | -432.6 | 186.5 | 479.3 | 101.1 | 103.6 | 2.58 |
| SBR17 | -5779.9 | -4334.9 | 6075.8 | 5095.4 | 296.0 | 760.5 | 93.8 | 103.0 | 9.15 |
| SBR18 | -3467.9 | -2600.9 | 3469.0 | 2603.9 | 1.2 | 3.0 | 102.9 | 103.0 | 0.07 |
| SBR19 | -654.1 | -490.6 | 654.6 | 491.9 | 0.5 | 1.4 | 102.8 | 103.0 | 0.16 |
| SBR2 | 7070.9 | 5785.4 | -6805.9 | -5104.5 | 265.0 | 680.9 | 104.7 | 97.5 | 7.21 |
| SBR20 | -1496.2 | -1122.2 | 1500.9 | 1134.1 | 4.7 | 12.0 | 103.0 | 103.6 | 0.60 |
| SBR22 | -2777.6 | -2083.2 | 2797.9 | 2135.3 | 20.3 | 52.1 | 102.2 | 103.6 | 1.40 |
| SBR23 | -899.8 | -674.9 | 900.0 | 675.2 | 0.1 | 0.4 | 103.6 | 103.6 | 0.03 |
| SBR3 | 4348.2 | 3466.7 | -4235.3 | -3176.5 | 112.9 | 290.2 | 104.7 | 99.7 | 5.03 |
| SBR4 | 1573.7 | 1189.7 | -1568.5 | -1176.4 | 5.2 | 13.4 | 104.7 | 104.1 | 0.65 |
| SBR5 | 6395.9 | -1591.5 | -5847.5 | 115.1 | 548.5 | -1476.4 | 104.7 | 96.8 | 7.91 |
| SBR6 | 6437.8 | 5345.4 | -6153.7 | -4615.2 | 284.1 | 730.1 | 104.7 | 96.3 | 8.46 |
| SBR7 | -4376.6 | -3282.5 | 4400.7 | 3344.4 | 24.1 | 62.0 | 105.1 | 106.2 | 1.09 |
| SBR8 | -5051.4 | -3788.6 | 5084.6 | 3873.9 | 33.2 | 85.3 | 104.9 | 106.2 | 1.29 |
| SBR9 | -8672.1 | 1703.8 | 8990.3 | -886.1 | 318.2 | 817.7 | 103.9 | 106.2 | 2.30 |
| T1 | 32399.4 | 22346.6 | -32333.3 | -19373.1 | 66.1 | 2973.5 | 100.0 | 104.7 | 4.75 |
| T2 | 34153.4 | 15367.1 | -34093.5 | -12674.8 | 59.8 | 2692.3 | 100.0 | 106.2 | 6.23 |
| T3 | 16437.5 | 14080.6 | -16416.3 | -13124.3 | 21.3 | 956.3 | 100.0 | 103.0 | 2.99 |
| T4 | 9620.4 | 3736.2 | -9615.4 | -3512.1 | 5.0 | 224.1 | 100.0 | 103.6 | 3.63 |
| | | | | | 2877.1 | 10962.4 | | | |

* This Transmission Line includes Series Capacitor.

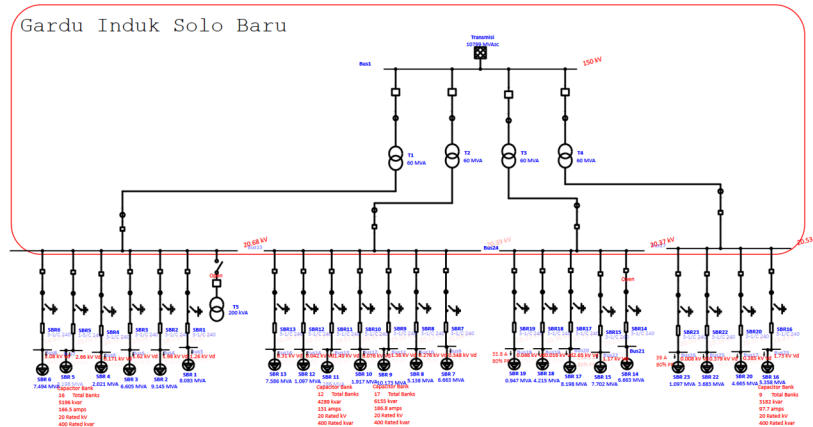
Gambar 10. Hasil Simulasi Setelah Pemasangan *Capasitor Bank* pada Beban Puncak Pukul 19.00

Dari gambar 9 diketahui nilai rugi-rugi daya dari setiap penyulang pada beban puncak pukul 19.00. Nilai rugi rugi daya terbesar terjadi pada penyulang SBR 5 dengan nilai rugi-rugi daya total sebesar 548,5 kW. Pada gambar 10 diketahui bahwa pada simulasi kandidat busbar seperti pada tabel 4 yang perlu diperbaiki sudah tidak mengalami drop tegangan >10%.

Simulasi OCP dan Perbandingan Kebutuhan kVAR Kapasitor Bank Perhitungan dengan *Optimal Capasitor Placement ETAP 19.0.1*.

Pada *software ETAP 19.0.1* terdapat simulasi *Optimal Capasitor Placement (OCP)* yang dapat menentukan kebutuhan *capasitor* yang digunakan untuk menurunkan nilai rugi-rugi daya dan *drop* tegangan. Berikut di bawah ini merupakan *capture* hasil simulasi *OCP* pada ETAP 19.0.1.





Gambar 11. Simulasi *Optimal Capasitor Placement* (OCP)

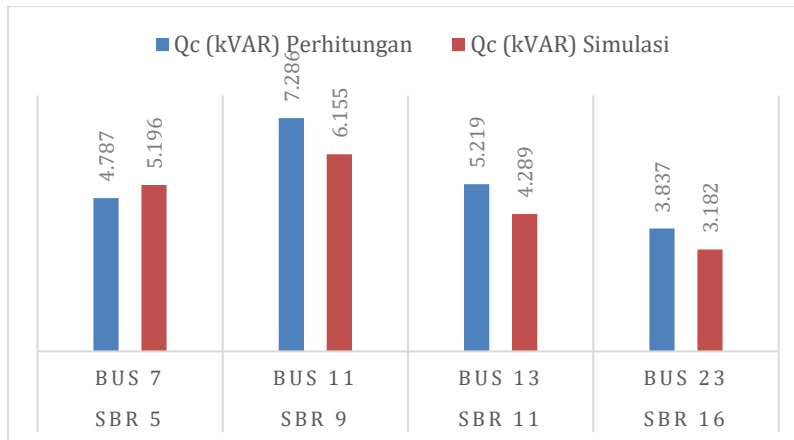
Dari gambar 11 diketahui hasil simulasi *Optimal Capasitor Placement* (OCP) pada SBR 5 busbar 7 sebesar 5.196 kVAR dan menggunakan 16 bank dengan besar 400 kVAR, pada SBR 9 busbar 11 sebesar 6.155 kVAR dan menggunakan 17 bank dengan besar 400 kVAR, pada SBR 11 busbar 13 sebesar 4.289 kVAR dan menggunakan 12 bank dengan besar 400 kVAR dan pada SBR 16 busbar 23 sebesar 3.182 kVAR dan menggunakan 9 bank dengan besar 400 kVAR.

Berikut perbandingan kebutuhan *capasitor bank* perhitungan dengan simulasi OCP ETAP 19.0.1:

Tabel 7. Perbandingan Kebutuhan kVAR *Capasitor Bank*

| Penyulang | Busbar | Qc (kVAR) | |
|-----------|--------|-------------|----------|
| | | Perhitungan | Simulasi |
| SBR 5 | Bus 7 | 4.787 | 5.196 |
| SBR 9 | Bus 11 | 7.286 | 6.155 |
| SBR 11 | Bus 13 | 5.219 | 4.289 |
| SBR 16 | Bus 23 | 3.837 | 3.182 |

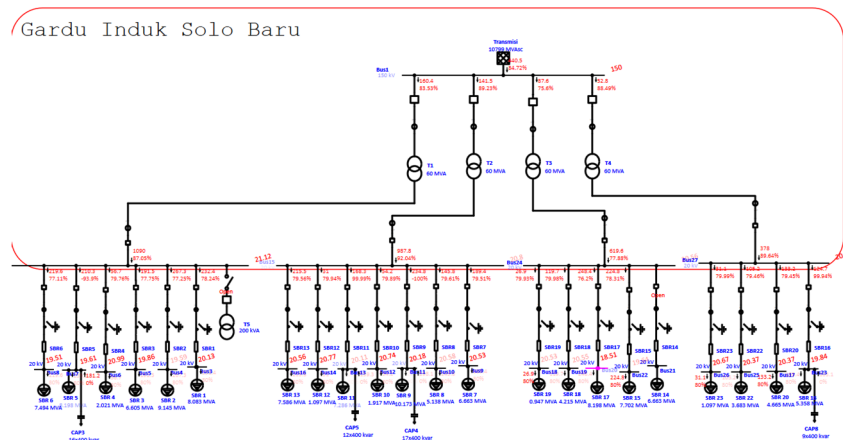




Gambar 12. Perbandingan kVAR *Capasitor Bank*

Berikut merupakan simulasi *load flow* setelah pemasangan *capasitor bank* pada *software* ETAP 19.0.1 menggunakan data simulasi OCP.

Simulasi *load flow* setelah pemasangan kapasitor bank menggunakan *software* ETAP 19.0.1 digunakan untuk mengetahui perubahan nilai rugi daya dan %*drop* tegangan pada jaringan distribusi 20 kV area Solo Baru dengan memasukkan data kapasitor yang didapat dari hasil simulasi *Optimal Capacitor Placement (OCP)* yaitu, jumlah dan rated bank yang dibutuhkan. Berikut dibawah ini merupakan *capture* hasil simulasi.



Gambar 13. Simulasi Setelah Pemasangan *Capasitor Bank* pada Beban Puncak Pukul 10.00



Branch Losses Summary Report

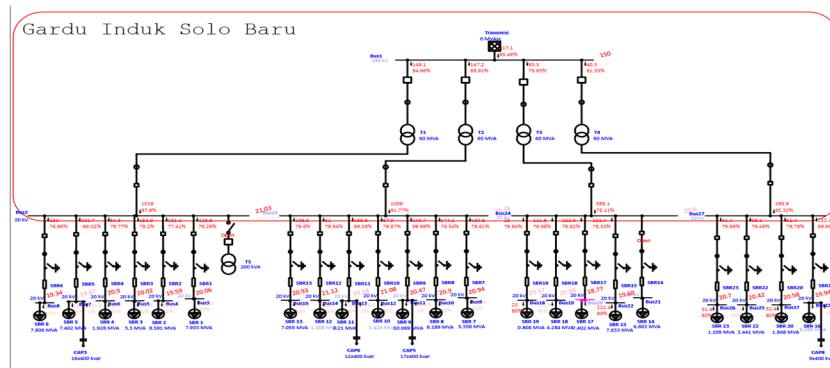
| Branch ID | From-To Bus Flow | | To-From Bus Flow | | Losses | | % Bus Voltage | | Vd % Drop in Vmag |
|-----------|------------------|---------|------------------|----------|--------|---------|---------------|-------|-------------------------|
| | kw | kvar | kw | kvar | kW | kvar | From | To | |
| SBR1 | 6651.9 | 5294.7 | -6483.8 | -4862.9 | 168.0 | 431.8 | 105.6 | 100.7 | 4.93 |
| SBR10 | -1556.6 | -1167.4 | 1559.0 | 1173.6 | 2.4 | 6.2 | 103.7 | 104.0 | 0.30 |
| SBR11 | -5841.6 | 471.0 | 6061.4 | 93.9 | 219.8 | 564.9 | 100.5 | 104.0 | 3.46 |
| SBR12 | -891.3 | -668.5 | 892.1 | 670.4 | 0.8 | 1.9 | 103.8 | 104.0 | 0.16 |
| SBR13 | 6176.4 | 4702.9 | -6137.5 | -4603.1 | 38.8 | 99.8 | 104.0 | 102.8 | 1.22 |
| SBR15 | -6117.8 | -4588.4 | 6269.6 | 4978.3 | 151.8 | 390.0 | 98.2 | 102.8 | 4.60 |
| SBR16 | -4273.0 | 339.6 | 4462.8 | 148.1 | 189.8 | 487.8 | 99.2 | 103.4 | 4.14 |
| SBR17 | -6371.0 | -4778.2 | 6740.5 | 5727.8 | 369.5 | 949.5 | 92.6 | 102.8 | 10.25 |
| SBR18 | -3409.4 | -2557.0 | 3410.5 | 2559.9 | 1.1 | 2.9 | 102.8 | 102.8 | 0.06 |
| SBR19 | -765.6 | -574.2 | 766.3 | 576.0 | 0.7 | 1.9 | 102.6 | 102.8 | 0.18 |
| SBR2 | 7555.5 | 6210.2 | -7256.7 | -5442.5 | 298.8 | 767.7 | 105.6 | 97.9 | 7.66 |
| SBR20 | -3759.6 | -2819.7 | 3789.7 | 2897.0 | 30.1 | 77.3 | 101.8 | 103.4 | 1.53 |
| SBR22 | -2968.9 | -2226.7 | 2992.3 | 2286.6 | 23.3 | 59.9 | 101.9 | 103.4 | 1.50 |
| SBR23 | -889.5 | -667.1 | 889.6 | 667.5 | 0.1 | 0.4 | 103.3 | 103.4 | 0.03 |
| SBR3 | 5445.7 | 4405.0 | -5269.4 | -3952.0 | 176.3 | 453.0 | 105.6 | 99.3 | 6.29 |
| SBR4 | 1654.9 | 1251.5 | -1649.2 | -1236.9 | 5.7 | 14.5 | 105.6 | 104.9 | 0.68 |
| SBR5 | 7224.4 | -2646.1 | -6508.1 | 1272.2 | 716.2 | -1373.9 | 105.6 | 98.1 | 7.55 |
| SBR6 | 6195.0 | 5115.2 | -5937.4 | -4453.0 | 257.7 | 662.1 | 105.6 | 97.6 | 8.05 |
| SBR7 | -5386.9 | -4040.2 | 5425.2 | 4138.7 | 38.3 | 98.5 | 102.6 | 104.0 | 1.37 |
| SBR8 | -4159.3 | -3119.5 | 4182.7 | 3179.6 | 23.4 | 60.1 | 102.9 | 104.0 | 1.09 |
| SBR9 | -8167.7 | 796.8 | 8458.7 | -48.8 | 291.1 | 748.0 | 100.9 | 104.0 | 3.10 |
| T1 | 34800.1 | 22907.0 | -34727.3 | -19630.4 | 72.8 | 3276.6 | 100.0 | 105.6 | 5.61 |
| T2 | 32815.3 | 16598.9 | -32755.5 | -13910.3 | 59.7 | 2688.7 | 100.0 | 104.0 | 4.00 |
| T3 | 17210.4 | 14900.0 | -17186.9 | -13842.1 | 23.5 | 1057.9 | 100.0 | 102.8 | 2.82 |
| T4 | 12143.1 | 6393.0 | -12134.4 | -5999.2 | 8.8 | 393.8 | 100.0 | 103.4 | 3.36 |
| | | | | | 3168.6 | 11921.1 | | | |

* This Transmission Line includes Series Capacitor.

Gambar 14. Hasil Simulasi Setelah Pemasangan *Capasitor Bank* pada Beban Puncak Pukul 10.00

Dari gambar 13 diketahui nilai rugi-rugi daya dari setiap penyulang pada beban puncak pukul 10.00. Nilai rugi rugi daya terbesar terjadi pada penyulang SBR 5 dengan nilai rugi-rugi daya total sebesar 716,2 kW. Gambar 14 diketahui bahwa pada simulasi kandidat busbar seperti pada tabel 4 yang perlu diperbaiki sudah tidak mengalami drop tegangan >10%.

Simulasi setelah pemasangan *capasitor bank* pada beban puncak pukul 19.00 sebagai berikut:



Gambar 15. Simulasi Setelah Pemasangan *Capasitor Bank* pada Beban Puncak Pukul 19.00



Branch Losses Summary Report

| Branch ID | From-To Bus Flow | | To-From Bus Flow | | Losses | | % Bus Voltage | | Vd % Drop in Vmag |
|-----------|------------------|---------|------------------|----------|--------|---------|---------------|-------|-------------------------|
| | kw | kvar | kw | kvar | kW | kvar | From | To | |
| SBR1 | 6516.2 | 5183.0 | -6353.6 | -4765.2 | 162.6 | 417.8 | 105.1 | 100.3 | 4.85 |
| SBR10 | -1982.9 | -1487.2 | 1986.7 | 1496.9 | 3.8 | 9.7 | 105.4 | 105.8 | 0.38 |
| SBR11 | -6591.7 | -56.9 | 6867.9 | 766.4 | 276.1 | 709.6 | 100.9 | 105.8 | 4.88 |
| SBR12 | -907.3 | -680.5 | 908.0 | 682.4 | 0.8 | 1.9 | 105.6 | 105.8 | 0.16 |
| SBR13 | 5784.6 | 4398.3 | -5751.7 | -4313.8 | 32.9 | 84.5 | 105.8 | 104.7 | 1.12 |
| SBR15 | -6068.2 | -4551.1 | 6216.8 | 4933.0 | 148.6 | 381.9 | 98.4 | 103.0 | 4.56 |
| SBR16 | -4207.4 | 423.2 | 4390.3 | 46.9 | 183.0 | 470.1 | 99.7 | 103.5 | 3.82 |
| SBR17 | -5779.9 | -4334.9 | 6075.8 | 5095.4 | 296.0 | 760.5 | 93.8 | 103.0 | 9.15 |
| SBR18 | -3467.9 | -2600.9 | 3469.0 | 2603.9 | 1.2 | 3.0 | 102.9 | 103.0 | 0.07 |
| SBR19 | -654.1 | -490.6 | 654.6 | 491.9 | 0.5 | 1.4 | 102.8 | 103.0 | 0.16 |
| SBR2 | 7080.7 | 5790.2 | -6817.0 | -5112.8 | 263.6 | 677.4 | 105.1 | 98.0 | 7.19 |
| SBR20 | -1495.5 | -1121.7 | 1500.2 | 1133.6 | 4.7 | 12.0 | 102.9 | 103.5 | 0.60 |
| SBR22 | -2776.4 | -2082.3 | 2796.7 | 2134.5 | 20.3 | 52.2 | 102.1 | 103.5 | 1.40 |
| SBR23 | -899.4 | -674.6 | 899.6 | 674.9 | 0.1 | 0.4 | 103.5 | 103.5 | 0.03 |
| SBR3 | 4354.6 | 3470.4 | -4242.2 | -3181.6 | 112.4 | 288.8 | 105.1 | 100.1 | 5.02 |
| SBR4 | 1576.2 | 1191.6 | -1571.0 | -1178.3 | 5.2 | 13.3 | 105.1 | 104.5 | 0.65 |
| SBR5 | 6540.7 | -3346.6 | -5906.1 | 1888.2 | 634.6 | -1458.4 | 105.1 | 99.4 | 5.78 |
| SBR6 | 6446.3 | 5349.0 | -6163.7 | -4622.8 | 282.6 | 726.2 | 105.1 | 96.7 | 8.43 |
| SBR7 | -4368.5 | -3276.4 | 4392.7 | 3338.6 | 24.2 | 62.3 | 104.7 | 105.8 | 1.09 |
| SBR8 | -5042.1 | -3781.5 | 5075.4 | 3867.3 | 33.4 | 85.7 | 104.5 | 105.8 | 1.30 |
| SBR9 | -8616.6 | 660.5 | 8930.3 | 145.6 | 313.7 | 806.1 | 102.3 | 105.8 | 3.43 |
| T1 | 32577.8 | 20479.9 | -32514.6 | -17637.6 | 63.2 | 2842.3 | 100.0 | 105.1 | 5.14 |
| T2 | 34008.1 | 17503.6 | -33945.7 | -14695.5 | 62.4 | 2808.1 | 100.0 | 105.8 | 5.78 |
| T3 | 16437.5 | 14080.6 | -16416.3 | -13124.3 | 21.3 | 956.3 | 100.0 | 103.0 | 2.99 |
| T4 | 9592.0 | 4221.0 | -9586.8 | -3989.9 | 5.1 | 231.0 | 100.0 | 103.5 | 3.52 |
| | | | | | 2952.2 | 10944.2 | | | |

* This Transmission Line includes Series Capacitor.

Gambar 16. Hasil Simulasi Setelah Pemasangan *Capacitor Bank* pada Beban Puncak Pukul 19.00

Dari gambar 15 diketahui nilai rugi-rugi daya dari setiap penyulang pada beban puncak pukul 19.00. Nilai rugi rugi daya terbesar terjadi pada penyulang SBR 5 dengan nilai rugi-rugi daya total sebesar 634,6 kW. Pada gambar 16 diketahui bahwa pada simulasi sudah tidak ada busbar yang mengalami *drop* tegangan >10%.

PEMBAHASAN

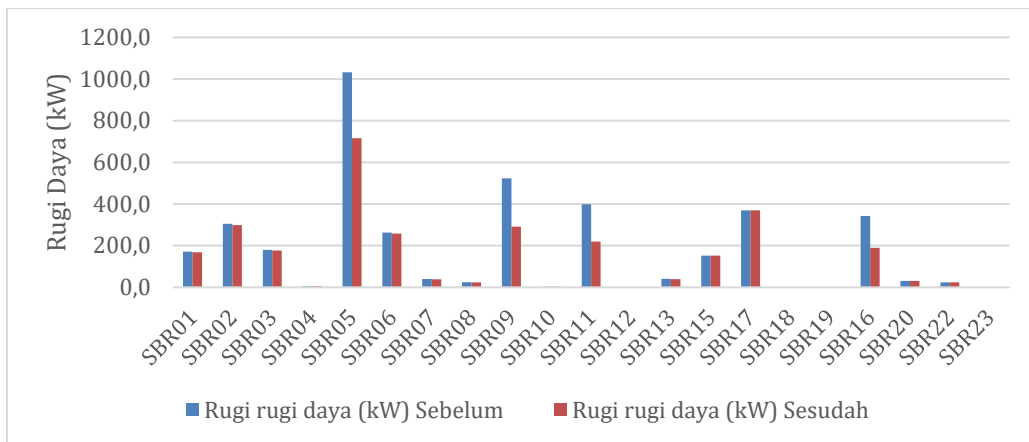
**Perbandingan Sebelum dan Sesudah Optimasi Sistem dengan *Capacitor Bank*
Perbandingan Rugi-rugi Daya**



Tabel 8. Perbandingan Rugi-Rugi Daya

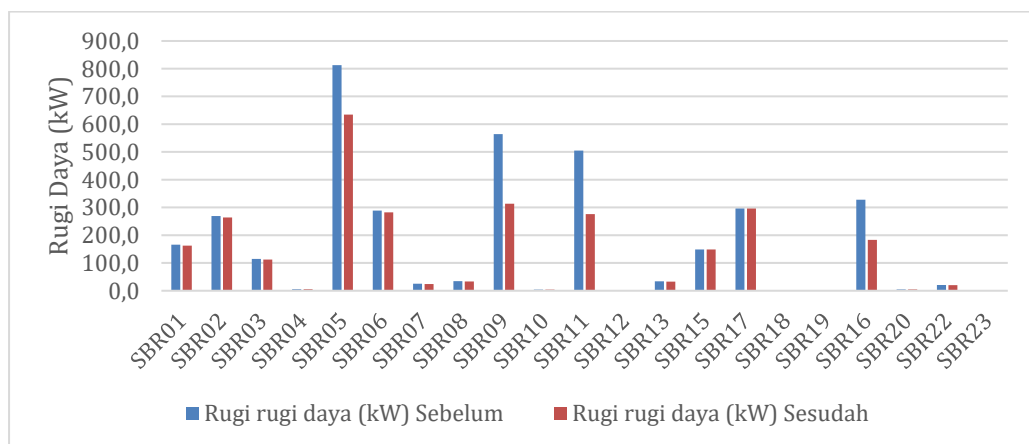
| FEDEER | Rugi rugi daya (kW) | | | |
|--------|---------------------|---------|---------|---------|
| | 10:00 | | 19:00 | |
| | Sebelum | Sesudah | Sebelum | Sesudah |
| SBR01 | 171,1 | 168,0 | 165,7 | 162,6 |
| SBR02 | 304,7 | 298,8 | 268,9 | 263,6 |
| SBR03 | 179,6 | 176,3 | 114,5 | 112,4 |
| SBR04 | 5,8 | 5,7 | 5,3 | 5,2 |
| SBR05 | 1032,2 | 716,2 | 812,6 | 634,6 |
| SBR06 | 262,9 | 257,7 | 288,5 | 282,6 |
| SBR07 | 39,7 | 38,3 | 25,0 | 24,2 |
| SBR08 | 24,2 | 23,4 | 34,5 | 33,4 |
| SBR09 | 522,9 | 291,1 | 564,4 | 313,7 |
| SBR10 | 2,5 | 2,4 | 3,9 | 3,8 |
| SBR11 | 398,5 | 219,8 | 504,5 | 276,1 |
| SBR12 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| SBR13 | 40,2 | 38,8 | 34,0 | 32,9 |
| SBR15 | 151,8 | 151,8 | 148,6 | 148,6 |
| SBR17 | 369,5 | 369,5 | 296,0 | 296,0 |
| SBR18 | 1,1 | 1,1 | 1,2 | 1,2 |
| SBR19 | 0,7 | 0,7 | 0,5 | 0,5 |
| SBR16 | 342,1 | 189,8 | 328,1 | 183,0 |
| SBR20 | 30,4 | 30,1 | 4,7 | 4,7 |
| SBR22 | 23,6 | 23,3 | 20,5 | 20,3 |
| SBR23 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |





Gambar 17. Perbandingan Rugi Daya pada Beban Puncak Pukul 10.00

Dari gambar 17 menunjukan bahwa hasil perbandingan rugi-rugi daya pada beban puncak pukul 10.00 mengalami penurunan terutama pada penyulang yang dipasang *capasitor bank* yaitu, SBR 5 turun sebesar 316 kW, SBR 9 turun sebesar 231,8 kW, SBR 11 turun sebesar 178,7 kW dan SBR 16 turun sebesar 152,3 kW.

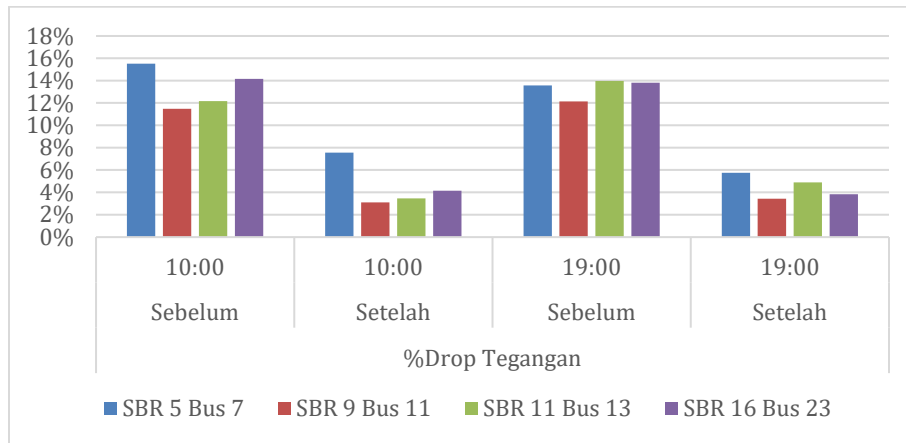


Gambar 18. Perbandingan Rugi Daya pada Beban Puncak Pukul 19.00

Dari gambar 18 menunjukan bahwa hasil perbandingan rugi-rugi daya pada beban puncak pukul 19.00 mengalami penurunan terutama pada penyulang yang dipasang *capasitor bank* yaitu, SBR 5 turun sebesar 178 kW, SBR 9 turun sebesar 250,7 kW, SBR 11 turun sebesar 228,4 kW dan SBR 16 turun sebesar 145,1 kW.

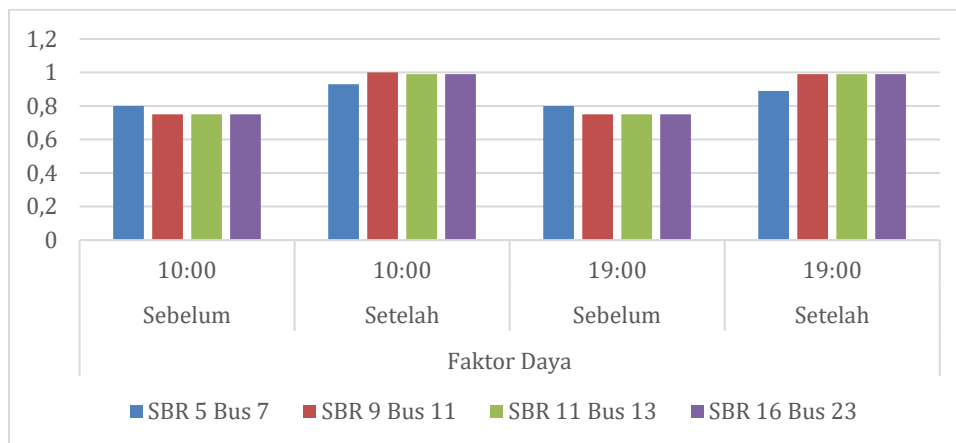


Perbandingan %Drop Tegangan dan Faktor Daya



Gambar 19. Perbandingan %drop Tegangan

Gambar 19 menunjukkan bahwa hasil perbandingan persentase *drop* tegangan pada beban puncak pukul 10.00 SBR 5 turun sebesar 7,96% yang awalnya 15,51% menjadi 7,55%, SBR 9 turun sebesar 8,37% yang awalnya 11,47% menjadi 3,10%, SBR 11 turun sebesar 8,7% yang awalnya 12,16% menjadi 3,46%, SBR 16 turun sebesar 10,02% yang awalnya 14,16% menjadi 4,14%. Dan pada beban puncak pukul 19.00 SBR 5 turun sebesar 7,81% yang awalnya 13,56% menjadi 5,75%, SBR 9 turun sebesar 8,7% yang awalnya 12,13% menjadi 3,43%, SBR 11 turun sebesar 9,09% yang awalnya 13,97% menjadi 4,88%, SBR 16 turun sebesar 9,99% yang awalnya 13,81% menjadi 3,82%.



Gambar 20. Perbandingan Faktor Daya

Gambar 20 menunjukkan bahwa hasil perbandingan faktor daya pada beban puncak pukul 10.00 SBR 5 naik dari 0,88 menjadi 0,93, SBR 9 naik dari 0,75 menjadi 1, SBR 11 naik dari 0,75 menjadi 0,99, SBR 16 naik dari 0,75 menjadi 0,99. Dan pada beban puncak



pukul 19.00 SBR 5 naik 0,8 menjadi 0,89, SBR 9 naik dari 0,75 menjadi 0,99, SBR 11 naik dari 0,75 menjadi 0,99, SBR 16 naik dari 0,75 menjadi 0,99.

KESIMPULAN

Bedasarkan hasil analisis pengukuran rugi-rugi daya pada jaringan distribusi 20 kV PT. PLN UP3 Sukoharjo area Solo Baru yang telah dibahas diatas maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

Rugi-rugi daya tertinggi terjadi pada penyulang SBR 5 pada beban puncak pukul 10.00, dengan total rugi daya sebesar 1032,2 kW. Rugi daya terjadi karena adanya kerusakan pada nilai faktor daya dan *drop* tegangan. Optimasi sistem dengan *capasitor bank* dapat menurunkan nilai rugi-rugi daya, rugi-rugi daya terbesar pada SBR 5 pada beban puncak pukul 10.00 turun sebesar 316 kW. Optimasi sistem dengan *capasitor bank* juga mampu menurunkan %*drop* tegangan pada beban puncak pukul 10.00 SBR 5 turun sebesar 7,96% yang awalnya 15,51% menjadi 7,55%, SBR 9 turun sebesar 8,37% yang awalnya 11,47% menjadi 3,10%, SBR 11 turun sebesar 8,7% yang awalnya 12,16% menjadi 3,46%, SBR 16 turun sebesar 10,02% yang awalnya 14,16% menjadi 4,14%. Dan pada beban puncak pukul 19.00 SBR 5 turun sebesar 7,81% yang awalnya 13,56% menjadi 5,75%, SBR 9 turun sebesar 8,7% yang awalnya 12,13% menjadi 3,43%, SBR 11 turun sebesar 9,09% yang awalnya 13,97% menjadi 4,88%, SBR 16 turun sebesar 9,99% yang awalnya 13,81% menjadi 3,82% dan mampu memperbaiki nilai faktor daya, pada beban puncak pukul 10.00 SBR 5 naik dari 0,88 menjadi 0,93, SBR 9 naik dari 0,75 menjadi 1, SBR 11 naik dari 0,75 menjadi 0,99, SBR 16 naik dari 0,75 menjadi 0,99. Dan pada beban puncak pukul 19.00 SBR 5 naik 0,8 menjadi 0,89, SBR 9 naik dari 0,75 menjadi 0,99, SBR 11 naik dari 0,75 menjadi 0,99, SBR 16 naik dari 0,75 menjadi 0,99.

UCAPAN TERIMA KASIH

Assalamualaikum Wr. Wb., Segala puji syukur penulis haturkan kepada Allah SWT atas segala berkah, rahmat, dan petunjuk-Nya yang telah memungkinkan penulis untuk menyelesaikan laporan tugas akhir ini. Laporan tugas akhir ini disusun dengan tujuan untuk memenuhi syarat meraih gelar sarjana teknik. Dalam Menyusun laporan tugas akhir ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Orang tua yang telah memberikan dukungan semangat, doa dan biaya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Bapak Rizki Nurilyas Ahmad S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing yang telah sabar memberikan bimbingan tugas akhir kepada penulis.



3. Bapak Muhamad Mulki Maulana selaku manager distribusi PT. PLN UP3 Sukoharjo yang telah menerima dan membantu atas data-data yang telah diberikan.
4. Sahabat terbaik Rama Akbar Firmansyah, Fiki Dwi Sasongko, Osama Afgan Wahyu, Nor Iqbal Syam, Muhammad Hanif dan teman – teman angkatan tahun 2019 Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta yang juga telah memberi dukungan semangat, tenaga dan pikiran dalam penyusunan tugas akhir ini.

Semoga Allah SWT memberi balasan yang setimpal kepada semuanya, penulis berharap tugas akhir ini bisa bermanfaat bagi penulis sendiri dan kepada para pembaca.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Djam, F. (2018). Sisip Transformator 50 kVA Dalam Memperbaiki Jatuh Tegangan Ujung Pada Feeder PLR 16 PT PLN (Persero) Rayon Karanganyar. (Laporan Kerja Praktik Diploma, Program Studi Teknologi Listrik Sekolah Vokasi Universitas Gadjah Mada Yogyakarta).
- [2] Haurissa, Marceau AF. "Simulasi Aliran Daya berbasis Etap Menggunakan Metode Newton-Raphson pada Jaringan Distribusi 20kv Penyulang Lateri 2 Dan Lateri 3." *Jurnal ELKO (Elektrikal dan Komputer)* 4.1 (2023).
- [3] Carmanto, Anto. "Analisis Peningkatan Kinerja Kualitas Daya Listrik Tegangan 20 Kv Di Industri Berbasiskan Simulasi Etap 12.6. 0." *Epic J. Electr. Power, Instrum. Control* 2.2 (2019): 1-12.
- [4] Tampubolon, Eben. *Analisis Perbandingan Pemasangan Kapasitor Bank dan Static Var Compensator Ditinjau dari Aspek Ekonomi Teknis pada Jaringan Distribusi 20 Kv PT. PLN Binjai*. Diss. Universitas Sumatera Utara, 2024.
- [5] BASUDEWA, Danang Aji, et al. Analisa penggunaan kapasitor bank terhadap faktor daya pada gedung idb laboratory unesa. *Jurnal Teknik Elektro*, 2020, 9.3: 697-707.
- [6] Angkouw, Bryan J., Hans Tumaliang, and Novi M. Tulung. "Analisa Rugi-Rugi Daya Dan Jatuh Tegangan Pada Jaringan Distribusi Area Minahasa Utara." (2023).
- [7] Hasanah, N, F, N. (2022). Penambahan Trafo Sisip Distribusi 20 kV Guna Mengurangi Rugi Daya Dan Tegangan Penyulang BLA2 Di PT. PLN (Persero) ULP Blora. (Skripsi Sarjana, Universitas Muhammadiyah Surakarta).
- [8] Kurniawan, Rama Tri, and S. T. Agus Supardi. *Analisis Hasil Pengukuran Beban dan Rugi-Rugi Daya pada Jaringan Distribusi Tegangan Menengah di Area Boyolali*. Diss. Universitas Muhammadiyah Surakarta, 2020.
- [9] Rofii, Ahmad, and Rijon Ferdinand. "Analisa penggunaan kapasitor bank dalam upaya perbaikan faktor daya." *Jurnal Kajian Teknik Elektro* 3.1 (2018): 39-51.

