

Analisis Pengaruh Kapasitor Bank Terhadap Nilai Faktor Daya dan Nilai Jatuh Tegangan

Bagus Ferdiansah
Program Studi S1 Teknik Elektro
Universitas Semarang
Kota Semarang, Indonesia
bagusferdiansah27@gmail.com

Agus Margiantono
Program Studi S1 Teknik Elektro
Universitas Semarang
Kota Semarang, Indonesia
agusmargiantono@usm.ac.id

Fahrudin Ahmad
Program Studi S1 Teknik Elektro
Universitas Semarang
Kota Semarang, Indonesia
fahrudinahmad@usm.ac.id

Diterima : Juli 2023
Disetujui : Juli 2023
Dipublikasi : Juli 2023

Abstrak—Listrik merupakan salah satu kebutuhan pokok masyarakat dalam melakukan aktivitasnya sehari – hari. Salah satu penyebab terjadinya gangguan sistem tenaga listrik adalah ketidakseimbangan beban yang mempunyai variasi beban listrik yang ada pada industri PT Bonanza Megah. Sifat induktif yang dimiliki beban listrik tersebut dapat menyebabkan rendahnya nilai faktor daya dan nilai jatuh tegangan semakin besar. Untuk meminimalisir hal tersebut dapat dilakukan pemasangan kapasitor bank secara paralel. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis pengaruh kapasitor bank terhadap nilai faktor daya dan nilai jatuh tegangan dengan metode perhitungan segitiga daya yang disimulasikan dengan *software Etap 19*. Sebelum diperbaiki, besar nilai faktor daya (PF) = 0,72 dan nilai jatuh tegangan = 4,31%. Berdasarkan nilai jatuh tegangan tersebut masih tergolong standar karena berdasarkan standar PLN toleransi nilai tegangan adalah +5 dan -10%. Untuk nilai faktor daya minimal adalah 0,85. Akan tetapi nilai faktor daya tergolong tidak standar. Sehubungan dengan hal tersebut PT Bonanza Megah menggunakan kapasitor bank sebesar 6 x 50 kVAR dengan kapasitas kapasitor 4000 μ F untuk memperbaiki nilai faktor daya dan sekaligus untuk mengurangi nilai jatuh tegangan. Selanjutnya, disimulasikan dengan *software Etap 19* dengan cara memasukkan data yang sudah dikumpulkan dan sudah diolah. Setelah dilakukan simulasi dapat dilihat terjadi perubahan nilai jatuh tegangan yang semula 4,31 % menjadi 3,22% dan nilai faktor daya yang semula 0,72 menjadi 0,99. Dari hasil simulasi tersebut nilai faktor daya dan nilai jatuh tegangan menjadi standar/ ideal sesuai standarisasi PLN.

Kata Kunci—Jatuh Tegangan; Faktor Daya; Etap 19

Abstract— *electricity is one of the basic needs of society in carrying out their daily activities. one of the causes of the disturbance of the electric power system is the load imbalance which has a variation of the electrical load that exists in the pt bonanza majestic industry. the inductive nature of the electric load can cause a lower power factor value and a greater voltage drop value. to minimize this, you can install capacitor banks in parallel. the purpose of this study was to analyze the effect of bank capacitors on power factor values and voltage drop values using the power triangle calculation method which was simulated with etap 19 software. before being repaired, the power factor value (pf) = 0.72 and the voltage drop value = 4.31 %. based on the value of the voltage drop, it is still classified as standard because based on pln standards, the tolerance for voltage values is +5 and -10%. for*

the minimum power factor value is 0.85. however, the power factor value is classified as non-standard. in connection with this, pt bonanza majestic uses a capacitor bank of 6 x 50 kvar with a capacity of 4000 μ f capacitor to improve the value of the power factor and at the same time to reduce the value of the voltage drop. then, simulated with etap 19 software by entering data that has been collected and has been processed. after the simulation, it can be seen that there is a change in the value of the voltage drop from 4.31 % to 3.22% and the power factor value from 0.72 to 0.99. from the simulation results, the power factor and voltage drop values are standard/ideal according to pln standards.

keywords—drop voltage; power factor; Etap 19

I. PENDAHULUAN

Agar dapat berfungsi, listrik merupakan kebutuhan dalam kehidupan modern. Memiliki akses ke sumber energi listrik yang andal sangat penting untuk pertumbuhan dan kemakmuran area tertentu. Pengelolaan energi listrik yang efisien dan terfokus dengan baik dapat membantu memacu pertumbuhan di daerah yang kurang terlayani. Percepatan pertumbuhan daerah, termasuk di bidang industri, adalah tersedianya energi listrik yang memadai dan terfokus. PT Bonanza Megah mengoperasikan berbagai pabrik—termasuk boiler, kilang, margarin, dan kopra—untuk mengolah minyak goreng. Tidak ada cara yang dapat diandalkan untuk memprediksi seberapa banyak penggunaan daya yang lebih tinggi di masa depan. Karena permintaan akan daya meningkat sementara pasokannya tetap sama, ketidakpastian ini dapat menimbulkan masalah jika terus berlanjut.

Salah satu penyebab terjadinya gangguan sistem tenaga listrik di industri PT Bonanza Megah adalah ketidakseimbangan beban yang mempunyai variasi beban listrik. Ketidakseimbangan beban ini berdampak pada pihak penyedia maupun konsumen, terlebih permasalahan ketidakseimbangan beban ini seringkali terjadi karena beban pelanggan yang sangat bervariasi dan tidak menentu [1]. Beban listrik tersebut seperti motor induksi, kompresor, dan mesin – mesin yang lainnya yang ada pada industri PT Bonanza Megah tersebut. Karena beban induktif dan suku cadang membutuhkan lebih banyak arus suplai, kapasitas distribusi sistem tenaga listrik berkurang karena kerugian

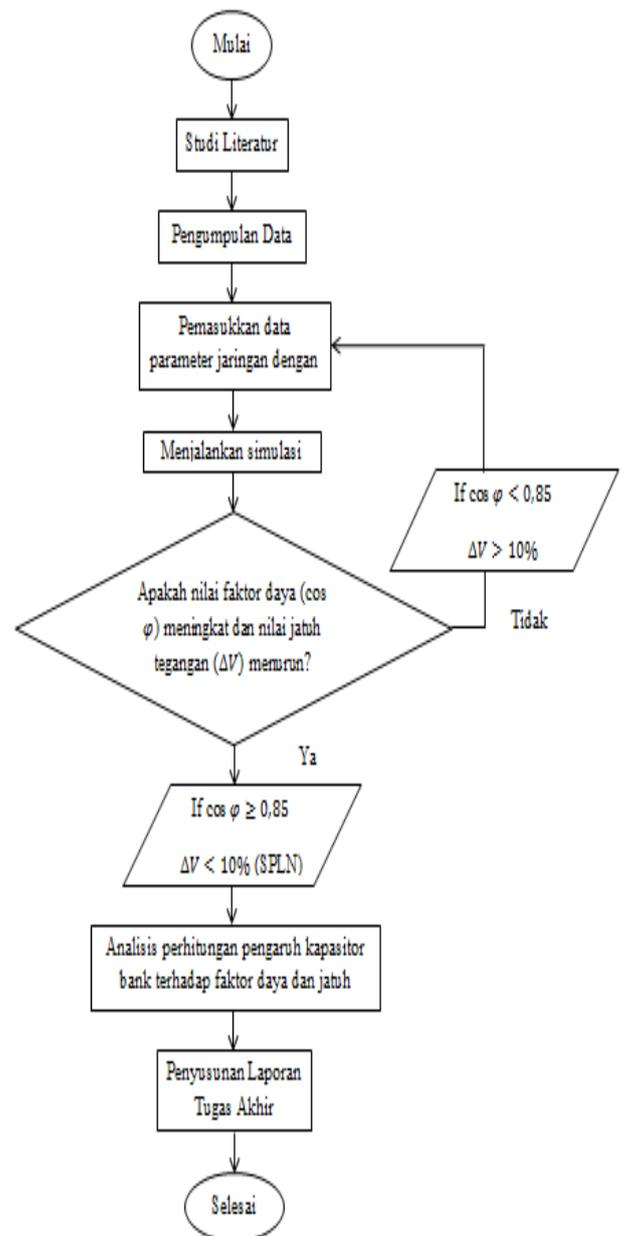
sistem dan penurunan tegangan yang dihasilkan oleh nilai daya reaktif yang tinggi [2].[3]. Hal ini menyebabkan jatuh tegangan naik dan faktor daya turun [4]. Penurunan tegangan adalah perbedaan antara ujung transmisi dan penerima dari suatu rangkaian. PLN menetapkan nilai 0,85 untuk faktor daya. Sementara itu, voltase memiliki jangkauan operasi +5% hingga -10%. Di luar batas toleransi yang diperbolehkan, penurunan tegangan dapat mengganggu kinerja dan keamanan peralatan listrik dan operasi industri [5].

Sektor PT Bonanza Megah menggunakan bank kapasitor yang dihubungkan paralel dengan beban untuk memperbaiki faktor daya.[6] Kerugian daya dan penurunan tegangan dapat diminimalkan dan keandalan distribusi ditingkatkan dengan memasang bank kapasitor, yang akan membatasi arus yang mengalir melalui konduktor ke beban.[7] Penyesuaian faktor daya juga mengurangi beban listrik pada kabel dan komponen listrik lainnya, yang pada gilirannya menurunkan penurunan voltase jarak jauh dan menghemat energi.[8] Studi sebelumnya mendefinisikan nilai faktor daya yang rendah dan kehilangan tegangan (penurunan tegangan) [9], namun studi ini hanya mencakup sejumlah kecil bus. Untuk memperluas pekerjaan sebelumnya, penulis menjalankan simulasi menggunakan program Etap 19 dengan 13 bus untuk melihat bagaimana penambahan kapasitor bank mempengaruhi faktor daya dan penurunan tegangan.

Melihat konteks tersebut, penelitian ini menggunakan teknik perhitungan segitiga daya untuk mengkaji bagaimana penambahan bank kapasitor mempengaruhi faktor daya dan penurunan tegangan. Perangkat lunak Etap 19 [10] digunakan untuk mensimulasikan data pengukuran untuk melakukan penelitian. Selain itu, temuan studi ini dapat membantu memastikan pasokan listrik yang stabil ke rumah dan bisnis [11].

II. METODE

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis nilai faktor daya dan nilai jatuh tegangan di PT Bonanza Megah pada yang bertempat di Kawasan Industri Terboyo Blok N3, Trimulyo, Sayung, Genuk, Demak Regency, Central Java 50118. Untuk mengurangi penurunan voltase dan meningkatkan faktor daya, organisasi telah memilih untuk menggunakan bank kapasitor. Dengan penelitian ini, kami ingin lebih memahami bagaimana kapasitor bank mempengaruhi faktor daya dan penurunan tegangan. Untuk melengkapi studi ini, diperlukan data tegangan, arus, daya listrik, dan faktor daya dari transformator. Dalam penyelidikan ini, kami menggunakan teknik segitiga kekuatan untuk menganalisis hasil percobaan. Kemudian, kami menggunakan Etap 19 untuk melakukan beberapa simulasi.



Gambar 1. Flowchart Penelitian

Tahapan yang terlibat dalam melakukan penelitian ditunjukkan pada Gambar 1, diagram alir penelitian.

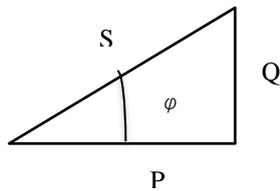
A. Pengumpulan Data

Pembacaan tegangan, arus, daya semu, daya aktif, daya reaktif, dan faktor daya dilakukan bersamaan dengan pengukuran lainnya pada tanggal 29 Mei 2023 di PT Bonanza Megah. Butuh waktu berjam-jam setiap hari, dari pukul 10.00 WIB hingga pukul 15.00 WIB, untuk mengumpulkan data-data yang diperlukan.

B. Segitiga Daya

Data – data *real* yang sudah dikumpulkan di lapangan akan diolah menggunakan perhitungan segitiga daya yang dapat dijelaskan sebagai berikut.

Segitiga daya menggambarkan interaksi antara daya yang dirasakan, daya aktif, dan daya reaktif. Menurut [12], sudut antara daya semu dan daya aktif pada segitiga daya induktif yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Segitiga Daya

1. Daya Semu

Nilai daya yang disediakan PLN kepada pelanggannya, diukur dalam kilovolt-ampere (kVA), adalah produk dari tegangan dan arus root-mean-square (rms) jaringan. [13] Berikut persamaannya.

$$S = \sqrt{3} \times V \times I \quad (1)$$

2. Daya Aktif

Daya aktif adalah daya yang digunakan yang berbanding lurus dengan faktor daya, didefinisikan sebagai hasil kali tegangan dengan arus dikalikan dengan dirinya sendiri (13). Berikut ini adalah persamaannya.

$$P = S \times \cos \varphi = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi \quad (2)$$

3. Daya Reaktif

Energi yang dibutuhkan untuk menciptakan medan magnet dikenal sebagai daya reaktif. Satuan daya reaktif adalah kilo volt ampere reaktif (kVAR). [14] Persamaannya adalah sebagai berikut.

$$Q^2 = S^2 - P^2 = \sqrt{3} \times V \times I \times \sin \varphi \quad (3)$$

Keterangan:

S : Daya Semu (kVA)

P : Daya Aktif (kW)

Q: Daya Reaktif (kVAR)

V: Tegangan (Volt)

I : Arus (Ampere)

$\cos \varphi$ = Faktor Daya (PF)

C. Faktor Daya

Faktor daya adalah cosinus dari perbedaan sudut fasa antara arus dan tegangan. Faktor daya dilambangkan dengan $\cos \varphi$ dan nilainya berkisar antara 0 hingga 1. Semakin mendekati 1, semakin baik nilai faktor dayanya. Kemudian nilai faktor daya dapat dicari dengan cara membagi daya nyata (P) dengan daya semu (S).

D. Perbaikan Faktor Daya

Peningkatan faktor daya terdiri dari peningkatan nilai $\cos \varphi_1$ menjadi $\cos \varphi_2$, dengan tingkat distorsi yang rendah dan tidak ada resonansi pada impedansi bus utama. Kebutuhan daya aktif dan reaktif dapat ditentukan berdasarkan pengukuran pada operasi normal dan pada beban puncak sebagai berikut :

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{V \times I \times \cos \varphi}{V \times I} \quad (4)$$

Keterangan :

$\cos \varphi$: Faktor Daya (PF)

P : Daya Aktif (kW)

S : Daya Semu (kVA)

V : Tegangan (Volt)

I : Arus (Ampere)

E. Kapasitor Bank

Jumlah bank kapasitor yang diperlukan untuk menaikkan faktor daya dari φ_1 (titik awal) menjadi φ_2 (nilai target)

dapat diperkirakan dengan menggunakan persamaan berikut [15]:

$$Q_b = P \tan \varphi_1 \quad (5)$$

$$Q_t = P \tan \varphi_2 \quad (6)$$

Sehingga :

$$Q_c = Q_b - Q_t \quad (7)$$

F. Menghitung Kapasitas Kapasitor

Memperbaiki faktor daya membutuhkan perhitungan kapasitansi yang tepat untuk setiap kapasitor. Kapasitansi kapasitor dapat dihitung menggunakan rumus berikut:[16]

$$C = \frac{Q_c}{2\pi f V^2} \quad (8)$$

Keterangan :

Q_b : Daya Reaktif Sebelum Perbaikan Faktor Daya (KVAR)

Q_t : Daya Reaktif Setelah Perbaikan Faktor Daya (KVAR)

Q_c : Nilai KVAR Kapasitor (KVAR)

C : Nilai Kapasitor (Farad)

V : Tegangan (Volt)

f : Frekuensi (Hz)

G. Jatuh Tegangan

Jika mengambil tegangan di ujung transmisi dan mengurangnya dari tegangan di ujung penerima, Anda mendapatkan penurunan tegangan. Kelebihan beban, panjang jaringan, dan faktor daya hanyalah beberapa elemen yang berkontribusi terhadap penurunan tegangan ini. [17] [18]. Pelat logam yang membentuk kapasitor daya dipisahkan satu sama lain dan dari bahan isolasi yang berfungsi sebagai komponen konduktor kapasitor. Tidak ada potongan mekanis, tetapi ada gaya yang sebanding dengan intensitas medan listrik.

Daya reaktif induktif yang dapat menyebabkan penurunan tegangan dan rugi daya pada saluran distribusi bertambah sebanding dengan panjang saluran dan jumlah motor yang dioperasikan. Menggunakan bank kapasitor secara paralel dengan beban dengan kapasitas yang sesuai, sumber daya reaktif kapasitif dapat memperbaiki penurunan tegangan pada jalur distribusi utama. [19]

Rumus berikut dapat digunakan untuk menentukan persentase kehilangan tegangan, dinyatakan dalam % :

$$\Delta V = \frac{V_S - V_R}{V_S} \times 100\% \quad (9)$$

Keterangan :

(ΔV): Nilai Jatuh Tegangan (%)

V_S : Tegangan Pada Sisi Kirim (Volt)

V_R : Tegangan Pada Sisi Terima (Volt)

H. Simulasi Menggunakan Software ETAP 19

Perangkat lunak seperti ETAP 19 digunakan sebagai pengelola data real-time offline dan online serta penganalisa sistem kelistrikan menyeluruh. Pengasutan motor, analisis daya harmonik, koordinasi perangkat proteksi, dan analisis stabilitas transien hanyalah beberapa analisis yang dapat dilakukan dengan menggunakan ETAP 19. Penempatan Kapasitor Optimal [20] adalah simulasi yang digunakan untuk memperbaiki kehilangan tegangan pada ETAP 19. Pada Gambar. 3, dapat melihat tampilan antarmuka Etap 19:

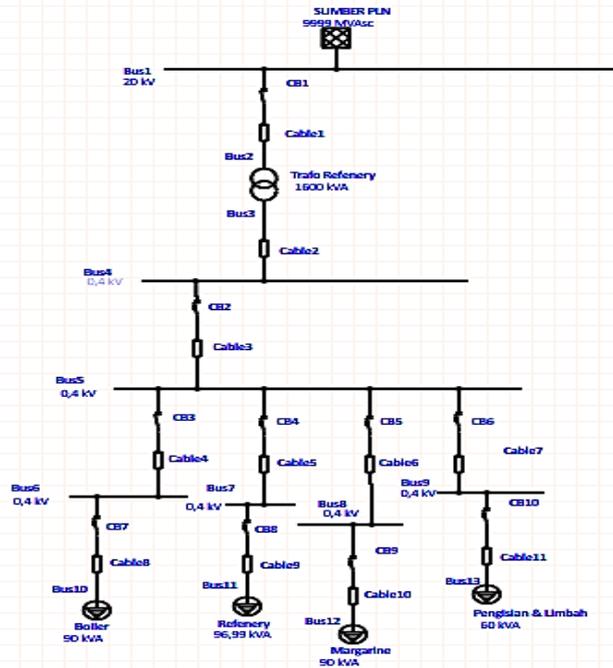


Gambar 3. Tampilan Aplikasi ETAP 19

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Single Line Diagram Kelistrikan PT Bonanza Megah

Single line diagram kelistrikan pada plant refinery ditunjukkan pada Gambar 4 berikut ini:



Gambar 4. Single Line Diagram Kelistrikan PT Bonanza Megah

Gambar 4 adalah single line diagram kelistrikan PT Bonanza Megah yang menyuplai sistem kelistrikan pada boiler, plant refinery, plant margarin, pengisian dan limbah.

B. Data Trafo Distribusi Pada PT Bonanza Megah

Adapun spesifikasi trafo distribusi yang terpasang pada PT Bonanza Megah yaitu sebagai berikut:

1. Manufacture : PT Trafoindo Prima Perkasa
2. Rate Power : 1600 kVA
3. Voltage : 20 kV/ 400V
4. Ampere sisi LV : 2309 A
5. Belitan : D/Y



Gambar 5. Name plate traansformator

Gambar 5 merupakan data transformator pada di PT Bonanza Megah.

C. Data Hasil Pengukuran Pada Plant Refinery

Data hasil pengukuran ini diambil pada panel induk PT Bonanza Megah. Parameter yang diukur adalah data tegangan yang dirujuk pada Tabel 1, data arus yang dirujuk pada Tabel 2 dan daya listrik yang dirujuk pada Tabel 3 sebagai berikut:

TABEL 1. DATA TEGANGAN PANEL INDUK PT BONANZA MEGAH SEBELUM PEMASANGAN KAPASITOR BANK

| DATA TEGANGAN | | | | | | | | | |
|------------------------------|-----------------|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|---------------|---------------|
| Sebelum Pemasangan Kapasitor | | | | | | | | | |
| Hari ke- (tgl/bn/thn) | pukul | Tegangan (Volt) | | | | | | | |
| | | R-N | S-N | T-N | R-S | S-T | R-T | Rata-rata L-N | Rata-Rata L-L |
| Senin, 29 Mei 2023 | 10.00 s/d 11.00 | 220,00 | 219,00 | 221,00 | 385,00 | 378,00 | 380,00 | 220,00 | 381,00 |
| | 11.00 s/d 12.00 | 222,00 | 225,00 | 223,30 | 386,00 | 381,00 | 381,00 | 223,43 | 382,67 |
| | 12.00 s/d 13.00 | 221,50 | 223,40 | 222,30 | 379,00 | 380,30 | 380,00 | 222,40 | 379,77 |
| | 13.00 s/d 14.00 | 220,50 | 220,00 | 221,10 | 375,00 | 377,80 | 379,00 | 220,53 | 377,27 |
| | 14.00 s/d 15.00 | 221,80 | 222,30 | 224,70 | 378,50 | 382,00 | 380,00 | 222,93 | 380,17 |
| Selasa, 30 Mei 2023 | 10.00 s/d 11.00 | 220,00 | 220,00 | 221,00 | 376,30 | 377,10 | 377,20 | 220,33 | 376,87 |
| | 11.00 s/d 12.00 | 225,00 | 223,10 | 222,10 | 378,20 | 379,10 | 378,90 | 223,40 | 378,73 |
| | 12.00 s/d 13.00 | 224,60 | 222,90 | 222,00 | 378,00 | 378,00 | 378,00 | 223,17 | 378,00 |
| | 13.00 s/d 14.00 | 222,00 | 222,00 | 222,00 | 377,90 | 377,90 | 377,90 | 222,00 | 377,90 |
| | 14.00 s/d 15.00 | 218,90 | 216,30 | 217,90 | 377,50 | 377,50 | 377,50 | 217,70 | 377,50 |
| Rabu, 31 Mei 2023 | 10.00 s/d 11.00 | 219,30 | 220,00 | 220,00 | 378,90 | 378,90 | 380,00 | 219,77 | 379,27 |
| | 11.00 s/d 12.00 | 221,60 | 221,40 | 222,50 | 381,00 | 384,00 | 382,00 | 221,83 | 382,33 |
| | 12.00 s/d 13.00 | 222,50 | 222,40 | 222,50 | 384,00 | 384,40 | 384,30 | 222,47 | 384,23 |
| | 13.00 s/d 14.00 | 220,00 | 220,00 | 220,00 | 380,00 | 380,00 | 380,00 | 220,00 | 380,00 |
| | 14.00 s/d 15.00 | 217,80 | 218,80 | 218,80 | 378,00 | 379,20 | 379,20 | 218,47 | 378,80 |
| Jum'at, 2 Juni 2023 | 10.00 s/d 11.00 | 225,90 | 223,40 | 223,40 | 386,00 | 386,50 | 386,50 | 224,23 | 386,33 |
| | 11.00 s/d 12.00 | 222,10 | 222,10 | 222,10 | 382,30 | 382,30 | 382,30 | 222,10 | 382,30 |
| | 12.00 s/d 13.00 | 224,00 | 224,30 | 224,30 | 385,70 | 385,60 | 385,20 | 224,20 | 385,50 |
| | 13.00 s/d 14.00 | 221,30 | 222,60 | 222,60 | 379,40 | 380,20 | 380,20 | 222,17 | 379,93 |
| | 14.00 s/d 15.00 | 225,60 | 224,10 | 225,10 | 386,80 | 386,50 | 386,50 | 224,93 | 386,60 |
| Sabtu, 3 Juni 2023 | 10.00 s/d 11.00 | 220,00 | 220,00 | 220,00 | 380,00 | 380,00 | 380,00 | 220,00 | 380,00 |
| | 11.00 s/d 12.00 | 223,00 | 222,80 | 222,00 | 381,30 | 382,40 | 382,40 | 222,60 | 382,03 |
| | 12.00 s/d 13.00 | 221,10 | 221,10 | 221,10 | 380,80 | 380,40 | 380,80 | 221,10 | 380,67 |
| | 13.00 s/d 14.00 | 220,00 | 219,10 | 220,00 | 380,00 | 380,00 | 380,00 | 219,70 | 380,00 |
| | 14.00 s/d 15.00 | 219,00 | 218,10 | 220,00 | 379,40 | 376,90 | 377,30 | 219,03 | 377,87 |
| Rata-rata Total | | | | | | | | 221,54 | 380,63 |

TABEL 2. DATA ARUS PANEL INDUK PT BONANZA MEGAH SEBELUM PEMASANGAN KAPASITOR BANK

| DATA ARUS | | | | | |
|------------------------------|-----------------|---------------|-----|-----|-------------|
| Sebelum pemasangan Kapasitor | | | | | |
| Hari ke- (tgl/bln/thn) | Pukul | Arus (ampere) | | | |
| | | R | S | T | I rata-rata |
| Senin, 29 Mei 2023 | 10.00 s/d 11.00 | 535 | 480 | 485 | 500,00 |
| | 11.00 s/d 12.00 | 520 | 490 | 480 | 496,67 |
| | 12.00 s/d 13.00 | 525 | 500 | 490 | 505,00 |
| | 13.00 s/d 14.00 | 510 | 491 | 487 | 496,00 |
| Selasa, 30 Mei 2023 | 10.00 s/d 11.00 | 497 | 497 | 493 | 495,67 |
| | 11.00 s/d 12.00 | 517 | 521 | 514 | 517,33 |
| | 12.00 s/d 13.00 | 512 | 514 | 509 | 511,67 |
| | 13.00 s/d 14.00 | 542 | 548 | 550 | 546,67 |
| Rabu, 31 Mei 2023 | 10.00 s/d 11.00 | 520 | 496 | 480 | 498,67 |
| | 11.00 s/d 12.00 | 521 | 500 | 500 | 507,00 |
| | 12.00 s/d 13.00 | 528 | 528 | 528 | 528,00 |
| | 13.00 s/d 14.00 | 534 | 532 | 538 | 534,67 |
| Jumat, 2 Juni 2023 | 10.00 s/d 11.00 | 489 | 490 | 496 | 491,67 |
| | 11.00 s/d 12.00 | 495 | 498 | 500 | 497,67 |
| | 12.00 s/d 13.00 | 500 | 503 | 505 | 502,67 |
| | 13.00 s/d 14.00 | 512 | 516 | 518 | 515,33 |
| Sabtu, 3 Juni 2023 | 10.00 s/d 11.00 | 490 | 498 | 500 | 496,00 |
| | 11.00 s/d 12.00 | 510 | 512 | 511 | 511,00 |
| | 12.00 s/d 13.00 | 523 | 525 | 528 | 525,33 |
| | 13.00 s/d 14.00 | 540 | 534 | 538 | 537,33 |
| Rata-rata Total | | | | | 515,88 |

TABEL 3. DATA DAYA PANEL INDUK PT BONANZA MEGAH SEBELUM PEMASANGAN KAPASITOR BANK

| DATA DAYA | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|-----------------|-----------|--------|--------|--------|--------------|-------|--------|--------|------------|-------|--------|--------|---------|
| Sebelum Pemasangan Kapasitor | | | | | | | | | | | | | | |
| Hari ke- (tgl/bln/thn) | Pukul | Daya Semu | | | | Daya Reaktif | | | | Daya Aktif | | | | Cos phi |
| | | R | S | T | Total | R | S | T | Total | R | S | T | Total | |
| Senin, 29 Mei 2023 | 10.00 s/d 11.00 | 117,70 | 105,12 | 107,19 | 330,01 | 94,16 | 84,10 | 85,75 | 264,00 | 70,62 | 63,07 | 64,31 | 198,00 | 0,60 |
| | 11.00 s/d 12.00 | 115,44 | 110,25 | 107,18 | 332,87 | 72,24 | 68,99 | 67,07 | 208,31 | 90,04 | 86,00 | 83,60 | 259,64 | 0,78 |
| | 12.00 s/d 13.00 | 116,29 | 111,70 | 108,93 | 336,91 | 88,37 | 84,88 | 82,78 | 256,03 | 75,39 | 72,61 | 70,80 | 218,99 | 0,65 |
| | 13.00 s/d 14.00 | 112,46 | 108,02 | 107,68 | 328,15 | 80,31 | 77,14 | 76,90 | 234,35 | 78,72 | 75,61 | 75,37 | 229,71 | 0,70 |
| Selasa, 30 Mei 2023 | 10.00 s/d 11.00 | 116,45 | 113,37 | 112,35 | 342,17 | 69,87 | 68,02 | 67,41 | 205,30 | 93,16 | 90,70 | 89,88 | 273,73 | 0,80 |
| | 11.00 s/d 12.00 | 109,34 | 109,34 | 108,95 | 327,63 | 71,06 | 71,06 | 70,81 | 212,94 | 83,10 | 83,10 | 82,80 | 249,00 | 0,76 |
| | 12.00 s/d 13.00 | 116,33 | 116,24 | 114,16 | 346,72 | 80,73 | 80,66 | 79,22 | 240,61 | 83,75 | 83,69 | 82,19 | 249,64 | 0,72 |
| | 13.00 s/d 14.00 | 120,32 | 121,66 | 122,10 | 364,08 | 87,09 | 88,06 | 88,38 | 263,52 | 83,02 | 83,94 | 84,25 | 251,22 | 0,69 |
| Rabu, 31 Mei 2023 | 10.00 s/d 11.00 | 116,89 | 115,72 | 117,23 | 349,84 | 79,89 | 79,09 | 80,12 | 239,10 | 85,33 | 84,48 | 85,58 | 255,39 | 0,73 |
| | 11.00 s/d 12.00 | 114,04 | 109,12 | 105,60 | 328,76 | 81,44 | 77,93 | 75,41 | 234,78 | 79,83 | 76,38 | 73,92 | 230,13 | 0,70 |
| | 12.00 s/d 13.00 | 115,45 | 110,70 | 111,25 | 337,40 | 70,79 | 67,87 | 68,21 | 206,86 | 91,21 | 87,45 | 87,89 | 266,55 | 0,79 |
| | 13.00 s/d 14.00 | 117,48 | 117,45 | 117,48 | 352,39 | 86,14 | 86,10 | 86,14 | 258,37 | 79,89 | 79,85 | 79,89 | 239,62 | 0,68 |
| Jumat, 2 Juni 2023 | 10.00 s/d 11.00 | 117,48 | 117,04 | 118,36 | 352,88 | 90,27 | 89,93 | 90,94 | 271,14 | 75,19 | 74,91 | 75,75 | 225,84 | 0,64 |
| | 11.00 s/d 12.00 | 113,26 | 114,87 | 114,43 | 342,56 | 73,61 | 74,66 | 74,37 | 222,64 | 86,07 | 87,30 | 86,97 | 260,34 | 0,76 |
| | 12.00 s/d 13.00 | 110,47 | 109,47 | 110,81 | 330,74 | 76,66 | 75,97 | 76,90 | 229,52 | 79,53 | 78,82 | 79,78 | 238,13 | 0,72 |
| | 13.00 s/d 14.00 | 109,94 | 110,61 | 111,05 | 331,60 | 68,80 | 69,21 | 69,49 | 207,51 | 85,75 | 86,27 | 86,62 | 258,64 | 0,78 |
| Sabtu, 3 Juni 2023 | 10.00 s/d 11.00 | 112,00 | 112,82 | 113,27 | 338,09 | 72,79 | 73,33 | 73,62 | 219,74 | 85,12 | 85,75 | 86,09 | 256,95 | 0,76 |
| | 11.00 s/d 12.00 | 113,31 | 114,86 | 115,31 | 343,47 | 78,63 | 79,71 | 80,02 | 238,36 | 81,58 | 82,70 | 83,02 | 247,30 | 0,72 |
| | 12.00 s/d 13.00 | 124,31 | 123,70 | 123,81 | 371,81 | 89,97 | 89,54 | 89,61 | 269,12 | 85,77 | 85,36 | 85,43 | 256,55 | 0,69 |
| | 13.00 s/d 14.00 | 113,51 | 114,86 | 115,31 | 343,47 | 78,63 | 79,71 | 80,02 | 238,36 | 81,58 | 82,70 | 83,02 | 247,30 | 0,72 |
| Rata-rata | | 115,26 | 113,82 | 113,76 | 342,84 | 79,94 | 78,90 | 78,86 | 237,71 | 82,50 | 81,51 | 81,47 | 245,49 | 0,72 |
| Rata-rata Total | | 114,28 | | 342,84 | | 79,24 | | 237,71 | | 81,83 | | 245,49 | | 0,72 |

D. Data Pengukuran Sebelum Pemasangan Kapasitor Bank Pada Plant Refinery

Diketahui beberapa parameter berdasarkan hasil pengukuran di lapangan.

- Rata – rata daya semu (S) : 342,84 kVA
- Rata – rata daya aktif (P) : 245,49 kW
- Rata – rata daya reaktif (Q) : 237,71 kVAR
- Rata – rata tegangan (V) : 380,63 V
- Rata – rata arus (I) : 515,88 A
- Cos phi (PF) : 0,72
- Frekuensi : 50 Hz

E. Menjadikan PF = 0,99

Setelah menerapkan faktor daya (PF = 0,99), persamaan berikut memberikan hasil akhir dalam hal nilai pembebanan.

- Menggunakan persamaan (4) untuk mendapatkan nilai kVA dari kapasitas kW. Mengingat bahwa P = 245,49 kW, kita mendapatkan:

$$PF = \frac{P}{S}$$

$$S = \frac{P}{PF}$$

$$S = \frac{245,49 \text{ kW}}{0,99}$$

$$S = 247,97 \text{ kVA}$$

- Menghitung besar arus yang mengalir dengan menggunakan persamaan (1). Dimana nilai kVA yang telah dihitung disubstitusikan dan V = 380,63 V, maka :

$$S = \sqrt{3} \times V \times I$$

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \times V}$$

$$I = \frac{247970 \text{ VA}}{\sqrt{3} \times 380,63}$$

$$I = 376,13 \text{ A}$$

Hasil perhitungan setelah pemasangan kapasitor bank pada plant refinery ditunjukkan pada Tabel 4 sebagai berikut:

TABEL 4. HASIL PERHITUNGAN SETELAH PEMASANGAN KAPASITOR BANK PADA PANEL INDUK PT BONANZA MEGAH DENGAN MENGGUNAKAN PERHITUNGAN SEGITIGA DAYA

| Kondisi | Perhitungan Segitiga Daya | | | |
|------------------------------|---------------------------|----------|-----------------|-----------------|
| | Cos phi | Arus (A) | Daya Aktif (kW) | Daya Semu (kVA) |
| Sesudah Pemasangan Kapasitor | 0,99 | 376,13 | 245,49 | 247,97 |

- Persamaan berikut dapat digunakan untuk mendapatkan nilai Daya Reaktif (kVAR) dengan nilai faktor daya (PF = 0,99).

$$\phi_2 = \cos^{-1} 0,99 = 8,10^\circ$$

Sehingga dengan persamaan (6) diperoleh:

$$Q_t = P \tan \phi_2 = 245,49 \times \tan 8,10^\circ = 34,93 \text{ kVAR}$$

Dengan menggunakan persamaan (7), kita dapat menentukan besarnya penyesuaian daya reaktif berdasarkan nilai kVAR. Asumsi nilai, kompensasi daya reaktif adalah sebagai berikut:

$$Q_b = 237,71 \text{ kVAR}; \text{ dan } Q_t = 34,93 \text{ kVAR, sehingga :}$$

$$Q_c = Q_b - Q_t = 237,71 - 34,93 = 202,78 \text{ kVAR}$$

- Menghitung nilai kapasitor dilakukan dengan menggunakan persamaan (8). Adapun data yang digunakan untuk penjabaran prosesnya berdasarkan dari data panel induk PT Bonanza Megah. Parameter yang digunakan dalam perhitungan ini adalah sebagai berikut.

$$Q_c = 202,78 \text{ kVAR} = 202780 \text{ VAR}; V = 380,63 \text{ V};$$

$$f = 50 \text{ Hz}$$

$$C = \frac{Q_c}{2\pi f V^2} = \frac{202780}{2 \times 3,14 \times 50 \times 380,63^2} = \frac{202780}{45492067,83} = 0,004F$$

$$C = 4000\mu F$$

Tabel 5 di bawah ini menjelaskan langkah-langkah yang digunakan untuk menghitung nilai kapasitor terpasang dan nilai kompensasi daya reaktif setelah diperbaiki (Qc) dengan menggunakan segitiga daya.

TABEL 5. HASIL KOMPENSASI DAYA REAKTIF PADA FAKTOR DAYA (PF = 0,99) PADA PT BONANZA MEGAH

| Kondisi | Perhitungan Segitiga Daya | | | |
|------------------------------|---------------------------|-----------|-----------|--------|
| | Qb (kVAR) | Qt (kVAR) | Qc (kVAR) | C (µF) |
| Sesudah Pemasangan Kapasitor | 237,71 | 34,93 | 202,78 | 4000 |

Ukuran pemasangan kapasitor dapat dihitung dengan menggunakan nilai kapasitor tipikal yang ditunjukkan pada Tabel 5. Kemudian, ukuran bank kapasitor ditentukan dengan nilai pada Tabel 6.

TABEL 6. NILAI PEMASANGAN KAPASITOR PADA PT BONANZA MEGAH

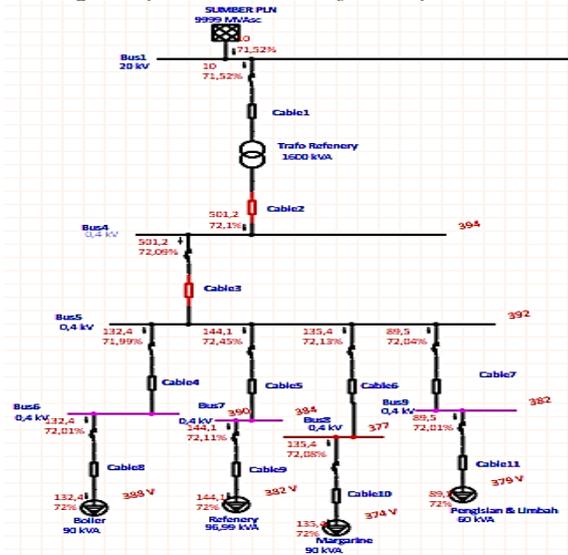
| Kondisi | Perhitungan Segitiga Daya | | | |
|------------------------------|---------------------------|--|-------------|------------------|
| | Qc (kVAR) | Rata-rata daya kapasitor yang bekerja perhari (kVAR) | Jumlah Step | Daya/Step (kVAR) |
| Sesudah Pemasangan Kapasitor | 202,78 | 300 | 6 | 50 |

F. Simulasi Etap 19

Adapun cara untuk menganalisis nilai jatuh tegangan pada penelitian ini yaitu menggunakan *software ETAP 19* menggunakan icon *Load Flow Analysis*. Pada simulasi tersebut dimasukkan data – data *real* di lapangan yang telah dikumpulkan di lapangan. Dari data tersebut akan dianalisis perbedaan nilai jatuh tegangan sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor bank.

1. Simulasi ETAP 19 Sebelum Pemasangan Kapasitor Bank

Berikut ini adalah hasil simulasi ETAP 19 sebelum pemasangan kapasitor bank ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Simulasi ETAP 19 Sebelum Pemasangan Kapasitor Bank

Berdasarkan Gambar 6 telah disimulasikan menggunakan *software ETAP 19* bahwa terjadi *drop/ jatuh* tegangan yang signifikan pada bus 4 hingga ke bus

8 yaitu mengarah ke bagian margarine yang dapat dihitung menggunakan persamaan (9) sebagai berikut :

$$\Delta V = \frac{V_S - V_R}{V_S} \times 100\%$$

$$\Delta V = \frac{394 - 377}{394} \times 100\%$$

$$\Delta V = 4,31\%$$

Dari nilai *drop/ jatuh* teganga di atas masih tergolong standar berdasarkan SPLN. Akan tetapi, faktor daya tergolong buruk lebih baik diperbaiki dengan memasang kapasitor bank karena beban listrik akan terus bertambah sehingga akan terjadi jatuh tegangan yang lebih besar.

Berikut ini adalah hasil simulasi sebelum pemasangan kapasitor bank ditunjukkan pada Tabel 7.

TABEL 7. HASIL SIMULASI SEBELUM PEMASANGAN KAPASITOR BANK

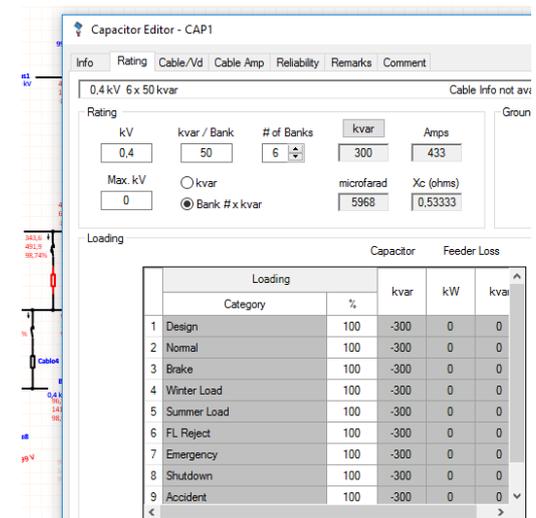
| Kondisi | Sebelum | | |
|----------------------|---------|-----------------|---------------------------|
| | Cos phi | Arus Pada bus 8 | Jatuh Tegangan pada bus 8 |
| Berdasarkan Simulasi | 0,72 | 135,4 | 4,31 % |

2. Simulasi ETAP 19 Setelah Pemasangan Kapasitor Bank

Untuk memperbaiki nilai faktor daya dan nilai jauh tegangan pada sistem jaringan kelistrikan tersebut dipasang kapasitor bank dengan spesifikasi berdasarkan perhitungan segitiga daya sebagai berikut:

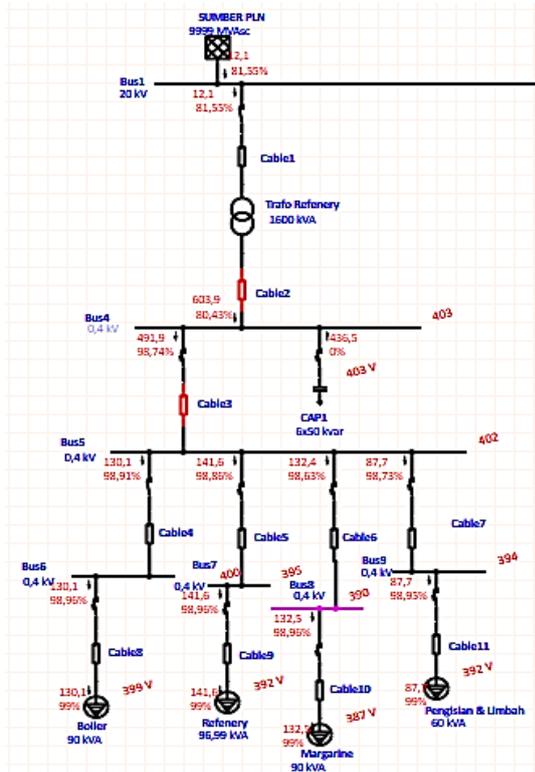
- Tegangan kerja : 400 Volt
- kVAR/ bank : 50 kVAR
- Jumlah : 6

Dari hasil perhitungan segitiga daya dengan memasukkan spesifikasi 400 V; 50 kVAR; 6 step pada *software ETAP 19*, maka diperoleh total kVAR = 300 akan terjadi perubahan nilai faktor daya dan nilai jatuh tegangan.



Gambar 7. Spesifikasi Kapasitor Bank

Hasil simulasi ETAP 19 setelah pemasangan kapasitor bank yang ditunjukkan pada Gambar 8 sebagai berikut:



Gambar 8. Simulasi ETAP 19 Setelah Pemasangan Kapasitor Bank

Gambar 8 menunjukkan bahwa ketika bank kapasitor dipasang, faktor daya dan penurunan tegangan telah meningkat ke level optimal (PF = 0,99). Menggunakan persamaan (9), perhitungan baru dimungkinkan:

$$\Delta V = \frac{V_S - V_R}{V_S} \times 100\%$$

$$\Delta V = \frac{403 - 390}{403} \times 100\%$$

$$\Delta V = 3,22\%$$

Hasil simulasi setelah pemasangan kapasitor bank ditunjukkan pada Tabel 8 sebagai berikut.

TABEL 8. HASIL SIMULASI SETELAH PEMASANGAN KAPASITOR BANK

| Kondisi | Setelah | | |
|----------------------|---------|-----------------|---------------------------|
| | Cos phi | Arus Pada bus 8 | Jatuh Tegangan pada bus 8 |
| Berdasarkan Simulasi | 0,99 | 132,5 | 3,22% |

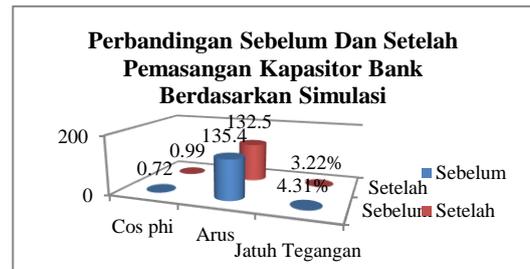
Berdasarkan Tabel 8, pada uji coba simulasi dengan menggunakan *software Etap19* dapat dijelaskan bahwa hasil simulasi setelah pemasangan kapasitor bank nilai faktor daya menjadi 0,99. Nilai arus listrik menurun menjadi 132,5 A dan nilai jatuh tegangan menurun menjadi 3,22%.

G. Perbandingan Hasil Simulasi

Hasil simulasi sebelum dan sesudah dipasang capacitor bank ditampilkan pada Tabel 9 dan Gambar 9.

TABEL 9. PERBANDINGAN HASIL SIMULASI SEBELUM DAN SETELAH PEMASANGAN KAPASITOR BANK

| Kondisi | Sebelum | | | Setelah | | |
|----------------------|---------|-----------------|---------------------------|---------|-----------------|---------------------------|
| | Cos phi | Arus Pada bus 8 | Jatuh Tegangan pada bus 8 | Cos phi | Arus Pada bus 8 | Jatuh Tegangan pada bus 8 |
| Berdasarkan Simulasi | 0,72 | 135,4 | 4,31% | 0,99 | 132,5 | 3,22% |



Gambar 9. Perbandingan Sebelum Dan Sesudah Pemasangan Kapasitor Bank Berdasarkan Simulasi

Tabel 9 dan Gambar 9 menunjukkan hasil perbandingan simulasi sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor bank, menunjukkan nilai faktor daya = 0,72 sebelum pemasangan kapasitor bank. Harga saat ini adalah 135,4 A. Nilai rugi tegangan sebesar 4,31%. Setelah bank kapasitor dipasang, nilai faktor daya meningkat drastis, mencapai 0,99. Penurunan tegangan sekarang 3,22 persen, dan arus 132,5 ampere.

IV. KESIMPULAN

Kesimpulan berikut dapat dibuat dari analisis penelitian yang ditunjukkan di atas: 1) Segitiga daya dapat digunakan untuk menunjukkan dampak penambahan bank kapasitor pada faktor daya dan penurunan nilai dengan menentukan peringkat bank kapasitor yang diperlukan. Dari analisis nilai *rating* kapasitor bank untuk memperbaiki faktor daya (PF) dari 0,72 menjadi 0,99 dapat diperoleh berdasarkan nilai kompensasi daya reaktif (Q_c) = 202,78 kVAR yaitu selisih antara daya reaktif sebelum perbaikan faktor daya (Q_b) = 237,71 kVAR dan setelah perbaikan faktor daya (Q_i) = 34,93 kVAR. Dari perhitungan tersebut membutuhkan kapasitor sebesar 202,78 kVAR dengan kapasitas 4000µF. 2) Nilai rendahnya faktor daya dan nilai jatuh tegangan dipengaruhi oleh beban yang dijalankan. Jika beban yang dijalankan adalah beban induktif maka akan meningkatkan nilai daya reaktif (kVAR). Semakin banyak beban induktif yang dijalankan semakin rendah nilai faktor daya dan semakin besar nilai jatuh tegangan. Maka dari itu, upaya yang dilakukan adalah melakukan pemasangan kapasitor bank (beban kapasitif) untuk memperbaiki faktor daya dan jatuh tegangan. Jika nilai faktor daya rendah, maka nilai jatuh tegangan tinggi. Begitu pula sebaliknya jika nilai faktor daya meningkat, maka nilai jatuh tegangan akan menurun. Hal tersebut dapat dilihat pada analisis jatuh tegangan sebelum pemasangan kapasitor bank sebesar 4,31% dan setelah pemasangan kapasitor bank menjadi 3,22%. Nilai arus sebelum pemasangan kapasitor bank sebesar 135,4 A dan sesudah pemasangan kapasitor bank menjadi 132,5 A.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis artikel jurnal ini mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada PT Bonanza Megah dan kampus Universitas Semarang atas bimbingan dan bantuannya dalam menyelesaikan pekerjaan ini.

REFERENSI

- [1] G. S. Wicaksono, "Evaluasi Ketidakseimbangan Beban pada GTT 20kV di Penyulang Plumbungan Surabaya," vol. 5, pp. 172–178, 2023.
- [2] A. F. Bastos, "Analysis of Power Factor Over Correction in a

- Distribution Feeder,” 2016.
- [3] M. Rusda, Khairuddin Karim, “Analisis Perbaikan Faktor Daya Untuk Penghematan Energi Listrik Pada Politeknik Negeri Samarinda,” no. November, pp. 1–9, 2017.
- [4] S. Nabilla and I. Hajar, “Kapasitas Kapasitor Koreksi Faktor Daya Pada Pelanggan Rumah Tangga 6600 VA,” *Sutet*, vol. 11, no. 2, pp. 94–104, 2021, doi: 10.33322/sutet.v11i2.1576.
- [5] Z. Tharo, “Penggunaan Kapasitor Bank Sebagai Solusi Drop Tegangan Pada Jaringan 20 kV,” *Semnastek Usu*, pp. 82–86, 2020.
- [6] & T. B. Cekmas, C., *Transmisi Daya Listrik. In Transmisi Daya Listrik*. Yogyakarta: Andi, 2013.
- [7] B. Winardi, “Perbaikan Losses Dan Drop Tegangan Pwi 9 Dengan Pelimpahan Beban Ke Penyulang Baru Pwi 11 Di Pt Pln (Persero) Area Semarang,” *Transmisi*, vol. 18, no. 2, pp. 1–5, 2016.
- [8] S. W. Naing, “Application of Distribution System Automatic Capacitor Banks for Power Factor Improvement (132/66/33KV,90 MVA Aung Chan Thar (Monywa) Substation in Myanmar),” *Am. J. Sci. Eng. Technol.*, vol. 2 No.4, pp. 120–31, 2017.
- [9] C. I. Cahyadi, K. Atmia, and A. Fitriani, “Analisis Pengaruh Rugi-Rugi Daya Pada Jaringan Transmisi 150 kV Menggunakan Software Etap 12.6,” *Jambura J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 4, no. 2, pp. 126–130, 2022, doi: 10.37905/jjee.v4i2.13306.
- [10] T. W. Firhan Akbar, “Dampak Gangguan Beban Lebih terhadap Overload Shedding Gardu Induk 150kV Sukolilo , Surabaya,” vol. 5, pp. 157–163, 2023.
- [11] F. Fauzi, S. Subhan, M. Muliadi, S. Syukri, T. M. Asyadi, and A. S. Budi, “Analisis Tingkat Keandalan Pada Jaringan Express Feeder SUTM A3CS Sebagai Incoming Baru,” *Jambura J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 5, no. 1, pp. 48–54, 2023, doi: 10.37905/jjee.v5i1.17006.
- [12] M. Chanif, S. Sarwito, and E. S. K., “Analisa Pengaruh Penambahan Kapasitor Terhadap Proses Pengisian Baterai Wahana Bawah Laut,” *J. Tek. Pomits*, vol. 3, no. 1, pp. 1–6, 2014.
- [13] D. Almanda and N. Majid, “Studi Analisa Penyebab Kerusakan Kapasitor Bank Sub Station Welding di PT. Astra Daihatsu Motor,” *Resist. (elektRONika kEndali Telekomun. tenaga List. kOmputeR)*, vol. 2, no. 1, p. 7, 2019, doi: 10.24853/resistor.2.1.7-14.
- [14] R. L. Mega, Purwito, “Analisis Penambahan Kapasitor Shunt untuk Memperbaiki Faktor Daya pada Sisi Jaringan Tegangan Rendah di PT . Semen Tonasa Unit V,” no. September, pp. 110–115, 2021.
- [15] A. Jamal, S. G. Putri, A. N. N. Chamim, and R. Syahputra, “Power quality evaluation for electrical installation of hospital building,” *Int. J. Adv. Comput. Sci. Appl.*, vol. 10, no. 12, pp. 380–388, 2019, doi: 10.14569/ijacsa.2019.0101250.
- [16] I. Hajar and S. M. Rahayuni, “ANALISIS PERBAIKAN FAKTOR DAYA MENGGUNAKAN KAPASITOR BANK DI PLANT 6 PT. INDOCEMENT TUNGGAL PRAKARSA Tbk. UNIT CITEUREUP,” *Setrum Sist. Kendali-Tenaga-elektronika-telekomunikasi-komputer*, vol. 9, no. 1, p. 8, 2020, doi: 10.36055/setrum.v9i1.8111.
- [17] I Made Agus Mahardiananta, Putu Aries Ridhana Arimbawa, and Dewa Ayu Sri Santiari, “Perhitungan Drop Tegangan Sistem Distribusi Menggunakan Metode Aliran Daya,” *J. Resist. (Rekayasa Sist. Komputer)*, vol. 3, no. 1, pp. 13–18, 2020, doi: 10.31598/jurnalresistor.v3i1.453.
- [18] E. H. Harun, M. T. Adam, and J. Ilham, “Perbaikan Kualitas Tegangan Distribusi 20 kV di Gardu Hubung Lemito Melalui Studi Aliran Daya,” *Jambura J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 4, no. 2, pp. 143–147, 2022, doi: 10.37905/jjee.v4i2.13825.
- [19] S. Akto, E. Ervianto, and D. Y. Sukma, “Kajian Penempatan Kapasitor Bank Menggunakan Metode Genetik Algoritma pada South Balam Feeder 1 PT. Chevron Pacific Indonesia,” *J. Online Mhs. FTEKNIK*, vol. 2, no. 1, pp. 1–8, 2014.
- [20] S. Samsurizal and B. Hadinoto, “Studi Analisis Dampak Overload Transformator Terhadap Kualitas Daya Di PT. PLN(Persero) Up3 Pondok Gede,” *Kilat*, vol. 9, no. 1, pp. 136–142, 2020, doi: 10.33322/kilat.v9i1.784.