

PERBAIKAN PROFIL TEGANGAN PADA SISTEM KELISTRIKAN PABRIK PEPSICO INDONESIA SNACK GREENFIELD JAWA BARAT

Moch Albi Febriansyah¹, Awan Uji Krismanto², I Made Wartana³
Teknik Elektro, Institut Teknologi Nasional Malang, Malang Indonesia

¹MochAlbiFebriansyah@Gmail.com, ²awan_uji_krismanto@lecturer.itn.ac.id, ³m.wartana@lecturer.itn.ac.id

Abstrak—Dominasi beban induktif pada sistem distribusi industri menjadi permasalahan umum yang dapat meningkatkan rugi daya saluran akibat penurunan profil tegangan dibawah standar. Penelitian ini membahas perbaikan profil tegangan pada sistem distribusi tenaga listrik di pabrik Pepsico Indonesia Snack Greenfield dengan menerapkan kapasitor bank sebagai metode kompensasi daya reaktif. Beban induktif yang dominan dalam sistem menyebabkan penurunan tegangan pada beberapa titik bus dibawah standar 0,95 pu. Kondisi ini dapat menurunkan efisiensi sistem serta mempercepat kerusakan peralatan listrik. Dengan menggunakan perangkat lunak ETAP, dilakukan simulasi aliran daya untuk mengidentifikasi titik bus yang mengalami penurunan tegangan dan menghitung kebutuhan kapasitas kapasitor. Hasil menunjukkan bahwa pemasangan kapasitor bank secara signifikan meningkatkan nilai tegangan pada bus yang sebelumnya berada dalam kondisi tidak standar. Tegangan pada titik kritis meningkat dari 0,93-0,94 pu menjadi 0,95-0,96 pu setelah kompensasi dilakukan. Peningkatan ini membuktikan bahwa penggunaan kapasitor bank merupakan solusi yang efektif untuk menjaga kualitas tegangan sistem dilingkungan industri.

Kata Kunci: Kapasitor bank, profil tegangan, daya reaktif, simulasi ETAP, sistem distribusi listrik.

I. PENDAHULUAN

Profil tegangan merupakan salah satu parameter penting dalam sistem tenaga listrik yang menunjukkan distribusi tegangan pada setiap titik beban. Tegangan yang baik harus dijaga agar tetap mendekati nilai nominal sehingga kualitas daya tetap terjaga. Dalam banyak penelitian, rentang 0,95–1,05 pu sering digunakan sebagai acuan evaluasi profil tegangan karena dianggap mampu merepresentasikan kondisi operasi yang diinginkan pada sistem distribusi tenaga listrik[1]. Apabila tegangan berada di luar rentang tersebut, maka akan berakibat merusak peralatan listrik seperti motor dan meningkatkan rugi-rugi daya[2].

Salah satu permasalahan yang umum terjadi pada sistem distribusi industri adalah jatuh tegangan (*voltage drop*). Kondisi ini biasanya disebabkan oleh dominasi beban induktif, seperti motor listrik, pompa, dan mesin produksi, yang membutuhkan daya reaktif cukup besar. *Voltage drop* tidak hanya menurunkan kualitas daya, tetapi juga meningkatkan rugi-rugi daya, mengurangi efisiensi, serta mempercepat kerusakan peralatan listrik [3][4]. Dalam skala industri besar, fenomena ini berdampak langsung pada meningkatnya biaya operasional akibat penggunaan energi yang tidak efisien

Permasalahan tersebut juga ditemukan pada sistem kelistrikan Pabrik Pepsico Indonesia Snack Greenfield Jawa Barat, yaitu sebuah industri pengolahan makanan ringan dengan kapasitas produksi besar. Pabrik ini disuplai oleh transformator berkapasitas 2500 kVA yang mengoperasikan berbagai peralatan listrik, terutama beban induktif seperti motor, pompa, dan mesin produksi. Dominasi beban induktif tersebut menyebabkan beberapa bus mengalami tegangan di bawah standar, yakni kurang dari 0,95 pu. Jika kondisi ini tidak segera ditangani, maka dapat menurunkan kinerja mesin, memperpendek umur peralatan, serta mengganggu kontinuitas proses produksi.

Salah satu metode yang umum digunakan untuk memperbaiki profil tegangan adalah pemasangan kapasitor bank [5]. Kapasitor bank merupakan sekumpulan kapasitor yang dipasang secara paralel untuk menyuplai daya reaktif secara lokal[5]. Dengan cara ini, kapasitor bank dapat mengurangi ketergantungan beban terhadap suplai daya reaktif dari sumber utama, memperbaiki faktor daya, menurunkan rugi-rugi daya, serta meningkatkan profil tegangan pada sistem distribusi tenaga listrik[6].

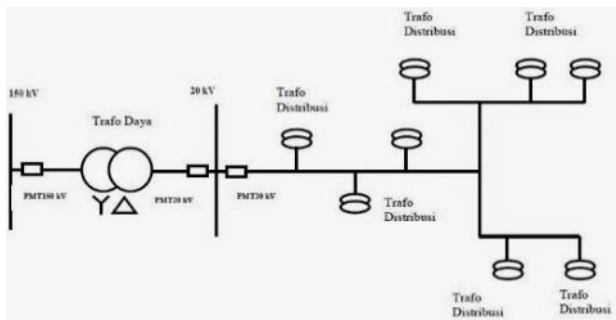
Dalam penelitian ini, perangkat lunak ETAP (Electrical Transient Analysis Program) digunakan untuk menganalisis aliran daya (*load flow*) guna menentukan efektivitas kompensasi daya reaktif. Penentuan lokasi

pemasangan kapasitor dilakukan dengan mengamati bus yang mengalami penurunan tegangan paling signifikan dan memberikan dampak terbesar terhadap sistem ketika disuplai daya reaktif. Sementara itu, penentuan kapasitas kapasitor dihitung secara manual menggunakan persamaan kompensasi daya reaktif berdasarkan daya aktif beban dan faktor daya sebelum serta sesudah kompensasi[7]. Dengan metode tersebut, diharapkan profil tegangan pada sistem distribusi Pabrik Pepsico Indonesia Snack Greenfield dapat diperbaiki, rugi daya berkurang, serta kualitas sistem kelistrikan industri dapat ditingkatkan.

II. KAJIAN PUSTAKA

A. Sistem Tenaga Listrik

Sistem Tenaga Listrik adalah jaringan besar yang terdiri dari komponen pembangkitan, transmisi dan pemanfaatan energi listrik. Sistem tenaga Listrik bertujuan untuk menghasilkan, mengalirkan, serta mendistribusikan energi listrik dari pembangkit hingga ke pengguna seperti industri, perkantoran dan rumah tangga [8]. Sistem kelistrikan pada pabrik sangatlah vital untuk mendukung proses produksi yang membutuhkan suplai listrik stabil dan berkualitas. Gangguan kecil dalam suplai listrik dapat berakibat pada terhentinya proses produksi, kerusakan mesin, hingga menurunkan kualitas produk yang dihasilkan. Oleh karena itu, perancangan dan pengelolaan sistem tenaga listrik di sektor industri harus memperhatikan faktor keandalan, efisiensi, dan keamanan.



Gambar 1 Konfigurasi Radial

Pada Gambar 1 ditunjukkan bahwa konfigurasi sistem distribusi yang digunakan dalam penelitian ini adalah konfigurasi radial, yaitu suatu sistem distribusi tenaga listrik di mana aliran daya berasal dari satu sumber utama dan mengalir ke arah beban melalui satu jalur cabang tanpa adanya jalur sumber daya listrik dari lainnya. Konfigurasi ini umum digunakan karena struktur jaringan yang sederhana, biaya instalasi yang relatif lebih murah, serta kemudahannya dalam pengoperasian dan pemeliharaan. Namun memiliki kelemahan dari sistem ini adalah ketergantungan pada satu jalur suplai, sehingga apabila terjadi gangguan pada salah satu titik dalam jaringan, maka seluruh beban di hilir dari titik gangguan tersebut akan mengalami pemadaman. Oleh karena itu, konfigurasi sistem ini cocok diterapkan pada lokasi dengan tingkat keandalan beban yang tidak terlalu tinggi seperti di industri [9].

B. Profil Tegangan

Salah satu masalah utama pada sistem kelistrikan industri adalah fluktuasi tegangan akibat beban besar yang dinyalakan secara bersamaan, yang dapat menyebabkan *voltage drop*. Panjang kabel yang memengaruhi penurunan tegangan. Faktor daya yang rendah, yang meningkatkan kebutuhan daya nyata (*apparent power*) [10]. Tegangan yang tidak stabil dapat menyebabkan gangguan operasional, penurunan efisiensi, dan risiko kerusakan pada peralatan listrik sensitif. Untuk mengatasi masalah ini, pemasangan kapasitor bank dapat memperbaiki profil tegangan pada sistem jaringan kelistrikan dengan memasok daya reaktif di dekat beban.

Selain itu, pemantauan dan analisis profil tegangan secara berkala sangatlah penting untuk menjaga kinerja sistem kelistrikan. Profil tegangan yang baik menunjukkan distribusi tegangan stabil dan mendekati nilai nominal di seluruh jaringan [11]. Kondisi tegangan jatuh (*drop voltage*) atau tegangan berlebih (*over voltage*) dapat meningkatkan risiko hubung singkat (*Short Circuit*), serta dapat menurunkan umur pakai peralatan listrik.

Di Indonesia menurut PUIL SPLN, tegangan rendah (220/380 V) harus dijaga dalam rentang -10% hingga +5% dari nilai nominal[12], sedangkan untuk tegangan menengah (11 kV atau 20kV), batas penyimpangan yang diizinkan adalah $\pm 5\%$. Untuk sistem tinggi (>70kV), batas deviasi lebih ketat yaitu $\pm 2,5\%$. Standar IEEE 1159 juga merekomendasikan batas 5% untuk sistem distribusi 120V dilingkungan industri dan komersial.

Dengan memperhatikan profil tegangan secara serius dan mengacupada standar yang berlaku, sistem kelistrikan dapat dioptimalkan untuk mencapai keandalan, efisiensi, serta memperpanjang umur peralatan listrik, sehingga dapat mendukung produktivitas industri secara keseluruhan.

C. Studi Aliran daya

Aliran daya dalam system kelistrikan adalah suatu proses yang sangat penting untuk memastikan distribusi daya yang efisien dari sumber pembangkit hingga ke beban akhir. Secara dasar, daya Listrik akan selalu mengalir menuju beban, yang merupakan titik akhir dari penggunaan energi dalam system kelistrikan [13]. Beban dalam system kelistrikan dapat digolongkan menjadi dua kategori yaitu beban statis dan beban dinamis. Beban statis adalah beban yang konsumsi dayanya tidak mengalami perubahan besar dengan seiring waktu atau peralatan elektronik yang memiliki daya konstan. Sedangkan dinamis merujuk pada peralatan elektronik yang memiliki komponen mekanisbergerak seperti contohnya motor Listrik yang digunakan pada mesin industry.

Beban-beban ini dapat direpresentasikan seperti impedan (Z), daya (P), tegangan (V) atau arus (I). Namun, dalam banyak penelitian dan analisis system kelistrikan, pembebanan dilakukan dengan tegangan konstan pada setiap bus. Hal ini dikarenakan tegangan adalah parameter yang lebih mudah dikendalikan dan diukur dibandingkan arus atau impedansi [14]. Selain itu, besarnya aliran daya yang terjadi di setiap saluran distribusi serta rugi-rugi daya yang ditimbulkan dapat diketahui dengan lebih akurat setelah menghitung tegangan dan sudut fasornya pada semua bus pada system.

- Generator Bus (PV Bus)

Generator bus, juga disebut PV bus atau Voltage-Controlled Bus, adalah bus yang terhubung dengan pembangkit listrik seperti generator. Pada bus ini, daya aktif (P) yang dihasilkan oleh generator serta tegangan (V) dipertahankan pada nilai tertentu. Parameter daya reaktif (Q) dan sudut fasa (δ) dihitung melalui analisis aliran daya. Bus ini berfungsi untuk menjaga tegangan sistem, sehingga fluktuasi yang disebabkan oleh perubahan beban dapat diminimalkan. Generator bus umumnya digunakan di pembangkit tenaga Listrik.

- Slack Bus (Swing Bus)

Slack bus, juga disebut swing bus atau reference bus, adalah bus referensi dalam sistem aliran daya yang dirancang untuk menyeimbangkan total daya yang masuk dan keluar dalam jaringan. Tegangan (V) dan sudut fasa (δ) pada slack bus ditentukan sebelumnya sebagai referensi tetap, sementara daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) disesuaikan secara otomatis untuk menutupi kerugian daya di jaringan. Slack bus sangat penting dalam sistem kelistrikan untuk memastikan keakuratan perhitungan aliran daya dan stabilitas sistem secara keseluruhan.

- Load Bus (PQ Bus)

Load bus, atau PQ bus, adalah bus dalam sistem tenaga listrik di mana daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) diketahui berdasarkan kebutuhan beban yang terhubung. Tegangan (V) dan sudut fasa (δ) dihitung melalui analisis aliran daya. Load bus umumnya mewakili sebagian besar bus dalam sistem distribusi listrik, seperti perumahan, pabrik, atau fasilitas komersial yang hanya mengonsumsi daya tanpa menyuplai energi kembali ke sistem.

dalam penelitian dan analisis system kelistrikan, pembebanan dilakukan dengan tegangan konstan pada setiap bus. Untuk perhitungan aliran daya pada setiap bus dalam system, persamaan sebagai berikut:

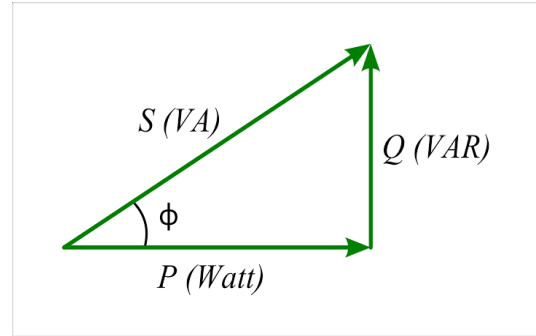
$$P_i = \sum_{j=1}^n V_i V_j [G_{ij} \cos(\delta_i - \delta_j) + B_{ij} \sin(\delta_i - \delta_j)] \quad (1)$$

$$Q_i = \sum_{j=1}^n V_i V_j [G_{ij} \sin(\delta_i - \delta_j) + B_{ij} \cos(\delta_i - \delta_j)] \quad (2)$$

Dimana:

G_{ij} : elemen konduktansi antara bus I dan bus J
 B_{ij} : elemen susceptansi antara bus I dan bus J
 $(\delta_i - \delta_j)$: sudut fasa tegangan bus I dan bus J
 $V_i V_j$: tegangan pada bus I dan bus J

D. Segitiga Daya



Gambar 2 Segitiga Daya

Gambar 2 pada sistem tenaga listrik arus bolak-balik (AC) terdapat 3 jenis daya yang digunakan untuk menggambarkan performa suatu sistem, yaitu daya nyata (P), daya reaktif (Q), dan daya semu (S). Hubungan antara tiga jenis daya ini dapat direpresentasikan dalam bentuk segitiga daya, yang memberikan gambaran visual dan matematis mengenai kontribusi masing-masing daya terhadap sistem secara keseluruhan.

hubungan antara ketiga daya ini dapat dijelaskan menggunakan hukum pythagoras sebagai berikut :

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (3)$$

Segitiga daya menggambarkan hubungan tersebut dalam bentuk segitiga siku-siku, di mana sisi horizontal mewakili daya nyata (P), sisi vertikal mewakili daya reaktif (Q), dan sisi miring mewakili daya semu (S). Sudut antara daya nyata dan daya semu disebut sebagai sudut ϕ (phi), yang mencerminkan faktor daya (power factor) dari sistem.

Faktor daya ($\cos \phi$) adalah rasio antara daya nyata terhadap daya semu, yang menunjukkan seberapa efisien energi listrik yang digunakan. Faktor daya yang efisien yaitu nilai nya mendekati 1. Salah satu metode yang umum untuk memperbaiki faktor daya adalah dengan pemasangan kapasitor bank, yang berfungsi untuk menyuplai daya reaktif dan mengurangi beban reaktif yang ditarik dari sistem jaringan. beberapa persamaan yang berkaitan dengan segitiga daya antara lain:

$$\cos \phi = \frac{P}{S} ; \sin \phi = \frac{Q}{S} ; \tan \phi = \frac{Q}{P} \quad (4)$$

E. Jatuh Tegangan (Drop Voltage)

Jatuh tegangan (Voltage Drop) merupakan kondisi penurunan nilai tegangan listrik yang terjadi sepanjang penghantar atau kabel listrik akibat adanya aliran arus listrik yang melewati penghantar tersebut. Penurunan tegangan ini disebabkan oleh adanya resistansi (R) dan reaktansi (X) pada penghantar yang menghambat aliran arus listrik[15].

Secara umum, semakin panjang penghantar dan semakin besar arus yang mengalir, maka jatuh tegangan yang terjadi akan semakin besar pula. Hal ini dapat menyebabkan tegangan di ujung beban menjadi drop atau lebih rendah dari tegangan yang seharusnya diterima.

Perhitungan jatuh tegangan pada penghantar dapat dilakukan dengan menggunakan rumus berikut :

$$\Delta V = I \times (R \cos \phi + X \sin \phi) \quad (5)$$

Di mana :

ΔV : besar jatuh tegangan (Volt)
 I : arus beban yang mengalir (Ampere)
 R : nilai resistansi penghantar (Ohm)
 X : nilai reaktansi penghantar (Ohm)
 ϕ : sudut fasa antara arus dan tegangan yang dipengaruhi faktor daya

Jatuh tegangan yang terlalu besar tidak hanya menyebabkan tegangan disisi beban menjadi rendah, tetapi juga bisa meningkatkan rugi-rugi daya pada sistem distribusi, menurunkan efisiensi sistem dan memperpendek umur peralatan listrik, perlu dilakukan analisis dan pengaturan tegangan agar tetap berada dalam batas yang diizinkan oleh standar, misalnya tidak melebihi 5% dari tegangan nominal untuk sistem tegangan rendah.

F. Rugi Rugi Daya

Rugi daya adalah gangguan dalam sistem dimana sejumlah energi hilang dalam proses pengaliran listrik mulai dari gardu induk sampai dengan konsumen, Rugi – rugi daya merupakan daya yang hilang dalam penyaluran daya listrik dari sumber daya listrik utama ke suatu beban seperti kerumah - rumah, ke gedung –gedung dan lain – lain. Rugi – rugi daya yang dihitung pada penelitian ini adalah di primer trafo. Rugi-rugi daya yang terjadi akibat adanya daya yang hilang pada jaringan seperti daya aktif daya reaktif. Semakin panjang saluran maka nilai tahanan dan reaktansi jaringan akan semakin besar, sehingga rugi-rugi bertambah besar baik itu pada rugi-rugi daya aktif maupun rugi-rugi daya reaktif. berdasarkan SPLN No.1 tahun 1995 besarnya nilai rugi daya diperlukan untuk menentukan keandalan pada sistem, yaitu nilai rugi daya tidak boleh melebihi standar yang di ijinan sebesar 10%.

Besar rugi daya aktif dapat di rumus kan sebagai berikut:

Untuk satu fasa:

$$\Delta P = 2 \times I^2 \times R \times L \quad (6)$$

Untuk tiga fasa:

$$\Delta P = 3 \times I^2 \times R \times L \quad (7)$$

Keterangan :

ΔP : Rugi Daya Aktif (watt)
 I : Arus Saluran (Ampere)
 R : Hambatan (Ohm/km)
 L : Panjang Saluran (Km)

Besar rugi daya reaktif dapat di rumus kan sebagai berikut:

Untuk satu fasa:

$$\Delta Q = 2 \times I^2 \times X \times L \quad (8)$$

Untuk tiga fasa:

$$\Delta Q = 3 \times I^2 \times X \times L \quad (9)$$

Keterangan :

ΔQ : Rugi Daya Reaktif (Watt)
 I : Arus Saluran (Ampere)
 X : Reaktansi Saluran (Ohm/Km)
 L : Panjang Saluran (Km)

G. Kapasitor Bank



Gambar 3 Kapasitor Bank

Gambar 3 sendiri merupakan Kapasitor bank, Kapasitor Bank adalah sekumpulan kapasitor yang terhubung secara parallel maupun seri, dan digunakan untuk meningkatkan kualitas daya Listrik, terutama melalui perbaikan factor daya ($\cos \phi$). Kapasitor ini digunakan untuk menghasilkan daya reaktif kapasitif yang berfungsi mengimbangi daya reaktif induktid dari beban seperti motor Listrik dan transformator. Satuan kapasitor bank biasanya dinyatakan dalam Kilo Volt Ampere Reaktif (kVAR), dan memiliki sifat kapasitif yang dapat mengurangi atau bahkan meniadakan efek induktif pada sistem. [16].

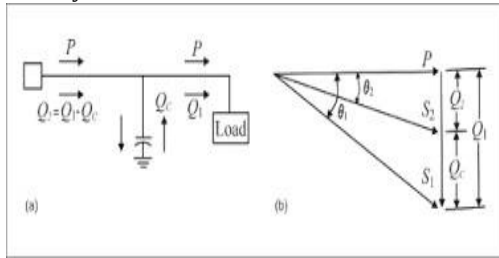
Dengan pemasangan kapasitor bank ini, nilai factor daya sistem dapat ditingkatkan, yang berakibat pada peningkatan efisiensi dan pengurangan rugi daya dalam jaringan distribusi. Selain itu kapasitor bank juga berperan dalam memperbaiki profil tegangan, khususnya pada ujung-ujung jaringan distribusi yang mengalami penurunan tegangan akibat jarak yang jauh dari sumber. Penambahan kapasitor menyebabkan suplai daya reaktif menjadi lebih local, sehingga tegangan pada bus-bus sistem menjadi lebih lokal, sehingga tegangan pada bus-bus sistem dapat naik mendekati nilai nominalnya.

Sebelum adanya kapasitor bank daya aktif (kW) dan daya reaktif (kVAR) yang dibutuhkan oleh beban induktif sepenuhnya disuplai oleh sumber pusat (trafo atau pembangkit), sehingga total daya semu (kVA) yang disalurkan menjadi besar. Setelah kapasitor bank dipasang dilokasi beban atau jaringan distribusi, Sebagian atau seluruh daya reaktif dapat disuplai secara lokal oleh kapasitor. Dengan demikian, beban induktif tidak lagi sepenuhnya bergantung pada pasokan daya reaktif dari pusat, sehingga sumber utama hanya perlu menyuplai daya reaktif.

Penerapan kapasitor bank juga berkontribusi terhadap peningkatan profil tegangan, pengurangan rugi-rugi daya jaringan, menambah efisiensi sistem distribusi, serta memperpanjang umur peralatan Listrik. Namun pemilihan kapasitor bank harus didasarkan pada analisis sistem yang cermat untuk menghindari resiko seperti overvoltage atau

resonansi harmonic. Maka penempatan dan perhitungan kapasitas kebutuhan kapasitor sangat lah penting diketahui cara mengetahui kebutuhan kapasitas kapasitor sebagai berikut :

1. Perhitungan Kebutuhan Kapasitor Untuk Perbaikan Faktor Daya.



Gambar 4 Ilustrasi Kompensasi VAR

Pada Gambar 4 ini menunjukkan ilustrasi perbaikan faktor daya dalam sistem Analisa data yang dilakukan untuk menentukan kebutuhan kapasitor pada peningkatan faktor daya. Dari gambar tersebut, dapat terlihat bahwa kapasitor berfungsi sebagai sumber daya reaktif kapasitif, yang akan mengurangi daya reaktif dari beban.

Dengan asumsi bahwa beban menerima daya nyata (P), daya reaktif (Q1), dan daya semu (S1), persamaan faktor daya ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$\cos\phi_1 = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q_1^2}} \quad (10)$$

Bila Kapasitor parallel dengan kapasitas QC kVAR di pasang pada sisa beban, maka faktor dayanya diperbaiki menjadi

$$\cos\phi_2 = \frac{P}{S_2} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q_2^2}} \quad (11)$$

Atau:

$$\cos\phi_2 = \frac{P}{\sqrt{P^2 + (Q_1 - Q_2)^2}} \quad (12)$$

Bila factor daya disebut $\cos\phi_1$ dan di perbaiki menjadi $\cos\phi_2$ maka besar kapasitor = QC dapat ditentukan sebagai berikut:

$$Q_C = P (\tan\phi_1 - \tan\phi_2) \text{ kVAR} \quad (13)$$

Keterangan:

- S1 : Daya semu awal (VA) (Sebelum dikompensasi)
- P : Daya Aktif Beban (Watt)
- $\cos\phi_1$:Faktor daya awal (Rad/Deg) (sebelum kompensasi)
- Q1 :Daya Reaktif (VAR) (Sebelum dikompensasi)
- S2 :Daya semu diinginkan (VA) (Setelah dikompensasi)
- $\cos\phi_2$: Faktor daya yang diharapkan (Red/Deg)
- Q2 : Daya reaktif yang setelah di kompensasi (VAR)
- QC : Rating kapasitor (KVAR)

2. Perhitungan Nilai Kapasitas Kapasitor Bank

Kapasitor adalah komponen yang dapat menyimpan dan menyediakan energi dalam jumlah terbatas, sesuai dengan kapasitasnya. Pada dasarnya, kapasitor terdiri dari dua pelat sejajar yang dipisahkan oleh medium dielektrik. Dalam sistem daya listrik, kapasitor menghasilkan daya reaktif yang berfungsi untuk memperbaiki tegangan dan faktor daya. Dengan memasang atau menambah kapasitor pada jaringan listrik, kerugian daya listrik dapat dikurangi.

Untuk menentukan nilai kapasitas kapasitor bank dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Q_C = P \times (\tan\theta_1 - \tan\theta_2) \quad (14)$$

Dimana:

- Q_C : kapasitas kapasitor yang di butuhkan
- P : Daya aktif dalam beban
- θ_1 : sudut sebelum kompensasi
- θ_2 : sudut sesudah kompensasi

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Teknik Pengumpulan Data

Penelitian ini difokuskan untuk meneliti tegangan pada sistem kelistrikan pabrik PEPSICO INDONESIA SNACK GREENFIELD JAWA BARAT dengan adanya injeksi kapasitor bank. Teknik pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Kajian literatur

Kajian pustaka merupakan langkah awal yang bertujuan untuk mempelajari teori-teori yang relevan dan menjadi dasar dalam penelitian ini. Literatur yang digunakan mencakup berbagai sumber yang membahas teori tentang sistem kelistrikan industri, analisis tegangan, serta penerapan kapasitor bank dalam sistem kelistrikan. Referensi yang digunakan berasal dari buku teks, jurnal ilmiah internasional, dan studi-studi terdahulu yang memiliki keterkaitan langsung dengan topik penelitian ini.

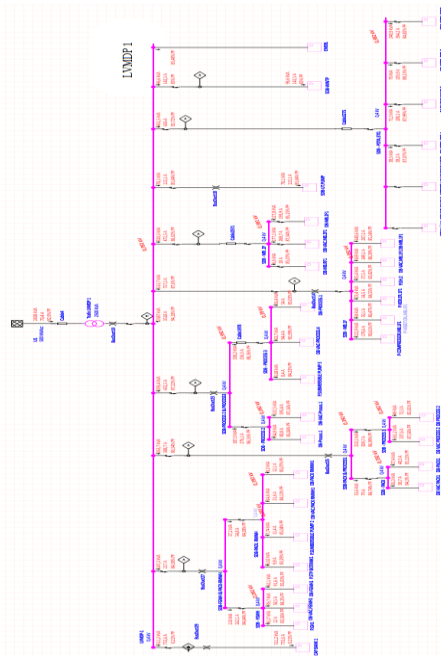
2. Pengumpulan data

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data sistem kelistrikan berupa diagram single line, data transformator, data beban, data saluran dan data parameter mesin yang ada pada pabrik PEPSICO INDONESIA SNACK GREENFIELD. Setelah itu, data yang dikumpulkan tersebut akan digunakan dalam simulasi dengan menggunakan software ETAP untuk melakukan analisis dan perbaikan profil tegangan.

3. Analisa

Hasil simulasi yang didapatkan dari software ETAP akan digunakan untuk menganalisa kondisi system kelistrikan, terutama profil tegangan ataupun beban pada kondisi normal dan setelah dilakukan penambahan kapasitor bank. Analisis ini bertujuan untuk menentukan apakah penambahan kapasitor bank dapat memperbaiki profil tegangan dan mengurangi rugi daya pada system kelistrikan yang ada.

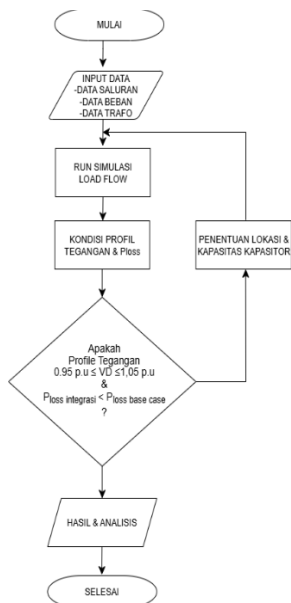
B. Single Line Diagram



Gambar 5 Single Line Diagram

Gambar 5 menunjukkan Single Line Diagram (SLD) dari panel distribusi utama LVMDP1 pada sistem kelistrikan Pabrik Pepsico Indonesia Snack Greenfield. Diagram ini digunakan sebagai dasar pemodelan sistem pada perangkat lunak ETAP untuk melakukan analisis profil tegangan. Melalui SLD ini, aliran daya dari transformator menuju bus utama dan feeder dapat diamati, sehingga memudahkan dalam menentukan titik-titik pengukuran serta evaluasi terhadap kondisi tegangan pada masing-masing bus dan beban.

C. Flowchart



Gambar 6 Flowchart

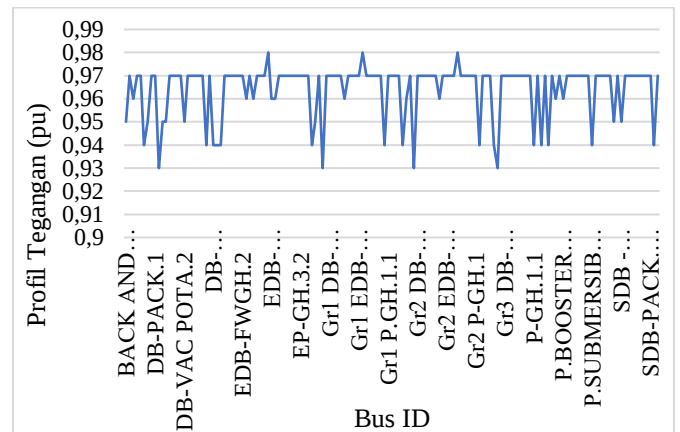
Pada Gambar 6 flowchart ini, dapat dilihat secara jelas alur dari proses penelitian yang dimulai dengan input data, simulasi load flow, analisis kondisi profil tegangan, dan

akhirnya menentukan apakah perlu dilakukan penambahan kapasitor bank. Jika kondisi tegangan tidak memenuhi batas yang diinginkan, langkah-langkah perbaikan akan dilakukan dengan mengimplementasikan kapasitor bank yang sesuai.

IV. SIMULASI DAN ANALISA

A. Hasil Load Flow Sebelum Kompensasi

Simulasi load flow ini bertujuan untuk mengetahui kondisi awal sistem, mengetahui nilai rating tegangan pada setiap bus, mengetahui daya yang mengalir disetiap saluran dan mendapatkan nilai daya aktif dan daya reaktif pada bus. Pada simulasi load flow ini menggunakan metode Newton Rhapson



Gambar 7 Grafik Profil Tegangan Sebelum Kompensasi

Dapat dilihat pada Grafik 7 kondisi awal keseluruhan bus, terdapat beberapa nilai tegangan yang berada dibawah 0,95 pu. Sesuai dengan standar IEEC 61000-4-30 bahwa tegangan harus berada dalam rentang 0,95pu-1,05pu ($\pm 5\%$) dari tegangan nominal untuk menjaga kualitas daya. Diketahui sebanyak 19 bus mengalami tegangan dibawah standar yang telah ditentukan.

B. Bus Yang Mengalami Under Voltage

Tabel 1 Bus Yang Mengalami Under Voltage

NO	Bus ID	TEGANGAN (PU)
1	DB-MB.2F.1	0,94
2	DB-POTA.OFF3	0,93
3	DB-VAC.MB.2F.1	0,94
4	DB-VAC.POTA.OFF3	0,94
5	DB-VAC.POTA.STO.1.2	0,94
6	DB-VAC.POTA.STO.3.2	0,94
7	Gr1 DB-MB.2F.1	0,94
8	Gr1 DB-POTA.OFF.2	0,94
9	Gr1 P-GH.2.2	0,94
10	Gr2 DB-MB.2F.1	0,94
11	Gr2 DB-POTA.OFF.2	0,93
12	Gr2 P-GH.2.2	0,94
13	Gr3 DB-MB.2F.1	0,94
14	Gr3 DB-POTA.OFF.2	0,93
15	P-GH.1.1	0,94
16	P-GREASE TRAP.2	0,94
17	P-SUBMERSIBLE PUMP .2	0,94
18	P.SUBMERSIBLE PUMP 4	0,94
19	SDB-POTA.OFF3	0,94

Tabel 1 menampilkan daftar bus yang mengalami penurunan profil tegangan di bawah batas standar pada kondisi awal sistem (base case). Dari hasil simulasi, terdapat 19 bus yang memiliki nilai tegangan di bawah 0,95 pu. Nilai tegangan terendah tercatat sebesar 0,93 pu, yaitu pada bus DB-POTA.OFF3, Gr2 DB-POTA.OFF.2, dan Gr3 DB-POTA.OFF.2. Kondisi ini menunjukkan bahwa beberapa titik dalam sistem memiliki profil tegangan yang belum sesuai dengan batas minimum yang telah ditentukan.

C. Penentuan Bus Kandidat

Penentuan bus kandidat bertujuan untuk mengidentifikasi lokasi atau bus dalam sistem distribusi yang paling tepat untuk dipasang kapasitor bank. Proses ini sangat krusial dalam upaya kompensasi daya reaktif, karena tidak semua bus memberikan dampak yang signifikan terhadap peningkatan kualitas tegangan jika dipasang kapasitor. Oleh karena itu, pemilihan bus kandidat dilakukan melalui serangkaian analisis teknis yang meliputi evaluasi kondisi sistem sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor, perhitungan kebutuhan daya reaktif di setiap bus, serta peninjauan terhadap penurunan tegangan (voltage drop) dan nilai faktor daya.

Dalam tahapan ini, analisis aliran daya (load flow) digunakan untuk memeriksa profil tegangan di seluruh titik bus dan mengidentifikasi bus-bus yang berada dalam kondisi kritis (tegangan < 0,95 pu). Bus dengan tegangan rendah dan beban induktif yang dominan diprioritaskan karena berpotensi memberikan peningkatan sistem paling signifikan apabila dikompensasi dengan kapasitor. Selain itu, lokasi bus dalam struktur sistem distribusi juga menjadi pertimbangan penting, terutama untuk memastikan bahwa pemasangan kapasitor memberikan pengaruh optimal pada wilayah distribusi sekitarnya.

Proses seleksi ini juga mempertimbangkan aspek keandalan dan keamanan sistem. Pemasangan kapasitor pada bus yang tepat tidak hanya membantu menstabilkan tegangan, tetapi juga mengurangi rugi-rugi daya dan menurunkan arus pada jaringan, sehingga meningkatkan efisiensi operasional secara keseluruhan. Berdasarkan hasil simulasi dan evaluasi teknis, maka diperoleh daftar bus kandidat yang memenuhi kriteria teknis dan operasional untuk dilakukan pemasangan kapasitor. Bus-bus ini kemudian dijadikan acuan utama dalam tahap perancangan kapasitor bank dan perhitungan kapasitas yang dibutuhkan, agar solusi yang diterapkan benar-benar efektif dan efisien dalam meningkatkan profil tegangan.

Tabel 2 Bus Kandidat

NO	Bus ID	TEGANGAN (PU)
1	DB-MB.2F.1	0,94
2	DB-POTA.OFF3	0,93
3	DB-VAC.MB.2F.1	0,94
4	DB-VAC.POTA.OFF3	0,94
5	DB-VAC.POTA.STO.1.2	0,94
6	Gr2 DB-MB.2F.1	0,94
7	Gr2 DB-POTA.OFF.2	0,93
8	Gr3 DB-MB.2F.1	0,94

9	Gr3 DB-POTA.OFF.2	0,93
10	SDB-POTA.OFF3	0,94

Daftar bus kandidat yang direkomendasikan untuk pemasangan kapasitor sebagai upaya kompensasi daya reaktif ditunjukkan pada Tabel 2. Seluruh bus pada tabel memiliki nilai tegangan di bawah standar tegangan minimum yaitu 0,95 pu, yang menunjukkan bahwa bus-bus tersebut mengalami penurunan tegangan dan memerlukan Tindakan kompensasi. Nilai tegangan yang tercatat berkisar antar 0,93pu hingga 0,94pu. Kondisi menandakan bahwa penambahan kapasitor pada bus-bus tersebut diharapkan dapat meningkatkan profil tegangan sistem secara keseluruhan. Dengan demikian, bus-bus dalam tabel tersebut dipilih sebagai kandidat utama dalam proses kompensasi untuk memperbaiki profil tegangan.

D. Penentuan Kapasitas Kapasitor

Analisis kebutuhan kapasitor pada sistem distribusi dilakukan dengan menghitung daya reaktif (Q_c) menggunakan persamaan :

$$Q_c = P (\tan \phi_1 - \tan \phi_2) \quad (13)$$

Dimana P adalah daya aktif (kW), ϕ_1 adalah sudut fasa sebelum kompensasi dan ϕ_2 adalah sudut fasa kompensasi yang diharapkan. Persamaan ini digunakan untuk menentukan besarnya daya reaktif yang harus ditangani oleh kapasitor agar faktor daya sistem dapat ditingkatkan sesuai standar yang ditetapkan.

Nilai Q_c yang diperoleh menunjukkan besarnya daya reaktif yang harus dikompensasi pada masing-masing titik beban. Berikut adalah tabel yang menyajikan hasil perhitungan Q_c dalam satuan Kvar berdasarkan identifikasi Bus, yang selanjutnya digunakan sebagai acuan dalam perancangan kapasitas kapasitor yang dibutuhkan untuk peningkatan profil tegangan.

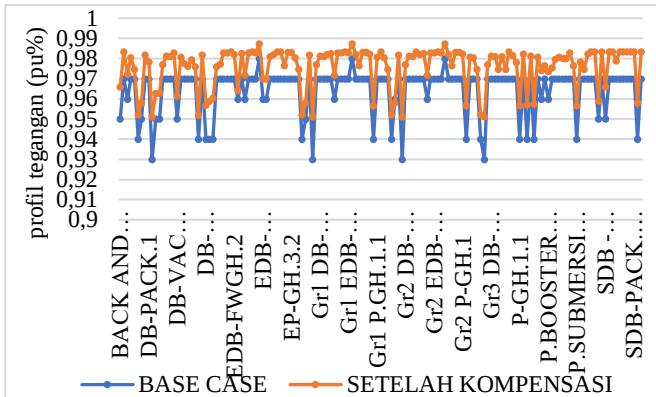
Tabel 3 Kapasitas Kapasitor

NO	Bus ID	Q_c (kVAR)
1	DB-MB.2F.1	31
2	DB-POTA.OFF3	46
3	DB-VAC.MB.2F.1	37
4	DB-VAC.POTA.OFF3	9
5	DB-VAC.POTA.STO.1.2	4
6	Gr2 DB-MB.2F.1	24
7	Gr2 DB-POTA.OFF.2	4
8	Gr3 DB-MB.2F.1	5
9	Gr3 DB-POTA.OFF.2	42
10	SDB-POTA.OFF3	64

Dapat dilihat pada tabel 3, bus dengan kebutuhan daya reaktif tertinggi terdapat pada bus SDB-POTA.OFF3 dengan nilai sebesar 64 kVAR, selanjutnya oleh DB-POTA.OFF3 sebesar 46 kVAR dan Gr3 DB-POTA.OFF.2 sebesar 42 kVAR. Nilai ini menjadi dasar dalam menentukan kapasitas

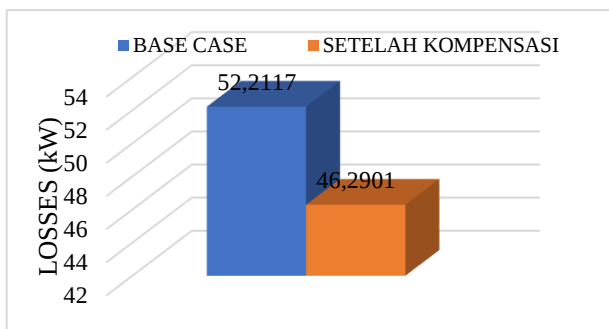
kapasitor yang diperlukan untuk kompensasi daya reaktif di masing-masing lokasi.

E. Hasil Perbandingan Profil Tegangan, P_{loss} dan Q_{loss}



Gambar 8 Grafik Perbandingan Profil Tegangan Sebelum dan Sesudah Kompensasi

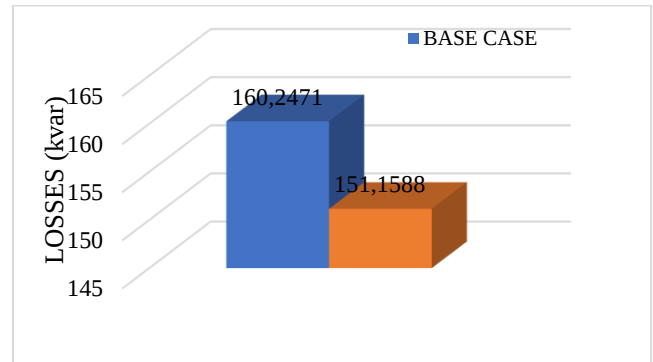
Dapat dilihat pada gambar 8 perbandingan profil tegangan pada masing-masing bus sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor bank. Terlihat dengan jelas bahwa setelah dilakukan kompensasi daya reaktif menggunakan kapasitor bank, terjadi peningkatan signifikan pada nilai tegangan hampir seluruh titik bus. Sebelum pemasangan kapasitor, beberapa bus mengalami penurunan tegangan dan setelah pemasangan kapasitor, tegangan diseluruh bus menunjukkan peningkatan ke atas nilai 0,95 pu dengan sebagian besar menyentuh 0,98 – 0,99 pu. Hal ini menunjukkan bahwa kapasitor bank mampu menyediakan suplai daya reaktif secara lokal, sehingga beban tidak lagi sepenuhnya bergantung pada daya reaktif dari sumber utama.



Gambar 9 Grafik Rugi daya Saluran Sebelum dan Sesudah Kompensasi

Berdasarkan Gambar 9, dapat dianalisis bahwa total rugi daya saluran mengalami penurunan setelah dilakukan kompensasi daya reaktif. Sebelum kompensasi, total rugi daya saluran tercatat sebesar 52,211 kW. Namun, setelah kompensasi diterapkan, rugi daya menurun menjadi 46,094 kW. Penurunan rugi daya ini menunjukkan bahwa kompensasi yang diberikan mampu meningkatkan efisiensi sistem tenaga listrik. Hal ini dapat terjadi karena kompensasi daya reaktif membantu mengurangi aliran arus reaktif pada jaringan, sehingga menurunkan arus total yang mengalir di saluran

transmisi. Dengan berkurangnya arus, maka rugi daya akibat resistansi saluran juga menurun. Oleh karena itu, penerapan kompensasi tidak hanya memperbaiki profil tegangan, tetapi juga secara signifikan mengurangi rugi daya, yang berdampak positif terhadap efisiensi secara keseluruhan.



Gambar 10 Grafik Perbandingan Daya Reaktif Sebelum dan Sesudah Kompensasi

Gambar 10 menunjukkan perbandingan nilai daya reaktif (kVAR) sebelum dan sesudah kompensasi menggunakan kapasitor bank. Nilai daya reaktif awal sebesar 4687,30 kVAR, sedangkan setelah dilakukan kompensasi nilainya menurun menjadi 4266,49 kVAR. Penurunan sebesar 600,81 kVAR ini menunjukkan efektivitas pemasangan kapasitor bank dalam menyuplai kebutuhan daya reaktif pada beban induktif, sehingga sistem sepenuhnya tidak lagi bergantung pada pasokan daya reaktif dari sumber utama.

V. KESIMPULAN

Dari hasil dan simulasi yang dilakukan pada sistem distribusi Listrik di Pabrik Pepsico Indonesia Snack Greenfield, dapat disimpulkan bahwa pemasangan kapasitor bank yang tepat mampu , memperbaiki profil tegangan dan menurunkan rugi daya secara signifikan. Sistem distribusi pada kondisi awalnya terdapat sejumlah titik bus yang mengalami nilai profil tegangan dibawah standar minimum 0,95 pu, terutama disebabkan oleh dominasi beban bersifat induktif. Setelah dilakukann perhitungan kapasitas kapasitor dan Lokasi optimal pemasangan kapasitor bank, perbaikan kondisi sistem berhasil dicapai, baik secara teknis maupun efisien energi.

Adapaun hasil perbandingann yang diperoleh sebagai berikut:

- Jumlah bus dengan kondisi tegangan dibawah standar berkurang dari 19 bus menjadi 0, artinya semua titik bus berhasil memenuhi standar tegangan yang telah ditentukan setelah kompensasi daya reaktif dilakukan.
- Nilai tegangan minimum meningkat dari sebelumnya 0,93–0,94 pu menjadi 0,95–0,96 pu, memperlihatkan kestabilan tegangan pada seluruh titik distribusi.
- Rugi daya aktif (Ploss) berhasil diturunkan dari 52,2117 kW menjadi 46,2901 kW, terjadi penurunan sebesar 5,9216 kW atau sekitar 11,34%.

- Rugi daya reaktif (Qloss) menurun dari 160,2471 kVar menjadi 151,1588 kVar, terjadi penurunan sebesar 9,0883 kVar atau 5,67%

Secara keseluruhan, penggunaan kapasitor bank sebagai kompensator daya reaktif terbukti menjadi solusi yang efektif dan efisien dalam meningkatkan profil tegangan, meningkatkan efisiensi distribusi, serta mendukung keandalan operasional sistem kelistrikan industri.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. M. Arhami, A. Lomi, I. Budi, T. Elektro, And I. Malang, "Optimasi Penempatan Capasitor Bank Untuk Meminimalkan Rugi-Rugi Daya Dan Meningkatkan Profil Tegangan Pada Sistem Distribusi 20 Kv Lombok."
- [2] A. Jose Ginting And W. Parluhutan Nainggolan, "Impression: Jurnal Teknologi Dan Informasi Evaluasi Kehilangan Daya Dan Profil Tegangan Pada Sistem Transmisi 150 Kv Menggunakan Matlab: Studi Kasus Saluran Udara Dan Bawah Tanah," 2025.
- [3] N. Kurnia Sari *Et Al.*, "Perbaikan Kualitas Daya Menggunakan Optimal Capacitor Placement (Ocp) Pada Sistem Kelistrikan Pt. Fmc Agricultural Manufacturing," *Media Elekrika*, Vol. 13, No. 2, 2020, [Online]. Available: [Http://Jurnal.Unimus.Ac.Id](http://Jurnal.Unimus.Ac.Id)
- [4] H. Ananta, "Rancang Bangun Kapasitor Bank Untuk Efisiensi Daya Listrik Pada Industri Kecil."
- [5] Y. Permadi And D. B. Santoso, "Analisis Penggunaan Kapasitor Bank Untuk Meningkatkan Faktor Daya Pada Ruang Mcc Di Pt. X Purwakarta," *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan, Desember*, Vol. 2023, No. 25, Pp. 903–912, Doi: 10.5281/Zenodo.10437502.
- [6] M. Y. Rofandy, A. Hasibuan, And R. Rosdiana, "Analysis Of The Effect Of Bank Capacitor Placement As Voltage Drop Increase In Distribution Network," *Andalasian International Journal Of Applied Science, Engineering And Technology*, Vol. 2, No. 1, Pp. 11–24, Mar. 2022, Doi: 10.25077/Aijaset.V2i1.32.
- [7] A. P. Kebutuhan Bank Kapasitor Untuk Perbaikan Faktor Daya Di Beras Rajawali Menggunakan, B. Irfani Al Firdausi, And An Auliq, "Optimal Capacitor Placement Etap 19," Vol. 5, No. 1, 2024.
- [8] Mohanad Muneer Yaqoob, Ali Nasser Hussain, Wathiq Rafa Abed, And Daniel Augusto Pereira, "Power Loss Reduction And Reliability Improvement Of Radial Distribution Systems Using Optimal Capacitor Placement Technique," *Journal Of Techniques*, Vol. 6, No. 1, Pp. 1–9, Jan. 2024, Doi: 10.51173/Jt.V6i1.1215.
- [9] I. Hajar, S. Megi Rahayuni, And I. Artikel, "Analisis Perbaikan Faktor Daya Menggunakan Kapasitor Bank Di Plant 6 Pt. Indocement Tunggal Prakarsa Tbk. Unit Citeureup," *Jurnal Ilmiah Setrum*, Vol. 9, No. 1, Pp. 8–16, 2020.
- [10] Muslimin, Hadi Suyono, And Rini Nur Hasanah, "Perbaikan Profil Tegangan Pada Feeder Harapan Baru Lima (H5) Area Samarinda Untuk Pengurangan Susut Energi".
- [11] Dr. Ir. P. S. M. T. Ipm. 2), Z. A. S. T. M. Eng. 3) P. S. T. E. J. T. E. F. T. U. T. Aldino Hisyam1), "Peningkatan Profil Tegangan Menggunakan Kapasitor Bank Pada Jaringan Tegangan Menengah (Jtm) 20 Kv Penyulang Sei Deras," 2022.
- [12] Zainal Abidin, "Alokasi Bank Kapasitor Untuk Meningkatkan Profil Tegangan Pada Jaringan Tegangan Menengah 20 Kv Berdasarkan Standar Spln T6.001:2013," *Media Elekrika*, Vol. 18, Jun. 2025, Accessed: Sep. 18, 2025. [Online]. Available: [Http://Jurnal.Unimus.Ac.Id](http://Jurnal.Unimus.Ac.Id)
- [13] Syafruddin R, "Perbaikan Faktor Daya Beban Industri Rumah Tangga Dengan Menggunakan Capasitor Bank," 2021.
- [14] E. W. Ardany, "Studi Analisis Aliran Daya Dengan Metode Newton Raphson Pada Sistem Distribusi Pembangkit Renewable."
- [15] T. H. Jung, G. H. Gwon, C. H. Kim, J. Han, Y. S. Oh, And C. H. Noh, "Voltage Regulation Method For Voltage Drop Compensation And Unbalance Reduction In Bipolar Low-Voltage Dc Distribution System," *Ieee Transactions On Power Delivery*, Vol. 33, No. 1, Pp. 141–149, Feb. 2018, Doi: 10.1109/Tpwr.2017.2694836.
- [16] W. Liu *Et Al.*, "Review Of Energy Storage Capacitor Technology," Aug. 01, 2024, *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (Mdpi)*. Doi: 10.3390/Batteries10080271.

VII. BIODATA PENULIS



Penulis Lahir di Kota Blitar, Tanggal 06 Februari 2003, dengan nama Moch Albi Febriasnyah dengan latar belakang pendidikan di SMK NASIONAL MALANG pada tahun 2018 dengan mengambil jurusan Teknik Instalasi Tenaga Listrik hingga tamat pada tahun 2021. Kemudian melanjutkan jenjang pendidikannya Strata 1 di Institut Teknologi Nasional Malang. Penulis mengambil program studi teknik Elektro dengan konsentrasi Energi Listrik. Dengan konsentrasi atau keahlian yang dipilih, maka penulis berharap dengan penelitian yang berjudul "Analisis Perbaikan Profil Tegangan Pada Sistem Kelistrikan Pabrik PEPSICO Indonesia Snack Greenfield" dapat memberikan kontribusi yang baik untuk pembaca dalam memperluas ilmu pengetahuan dibidang kelistrikan.