

BAB II

TINJUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

2.1.1. Sistem Tenaga Listrik

Sistem Tenaga Listrik merupakan jaringan yang terdiri dari beberapa komponen, termasuk pembangkitan, transmisi, distribusi, dan beban, yang saling terhubung dan bekerja sama untuk memenuhi kebutuhan listrik pelanggan sesuai dengan persyaratan mereka (Konsumen). Sistem distribusi tenaga listrik merujuk pada pembangkitan listrik yang disalurkan kepada pelanggan dan konsumen (beban). Hal ini penting untuk dipahami saat mempertimbangkan tahap-tahap distribusi tenaga listrik, yang meliputi: energi listrik yang dihasilkan oleh pembangkit listrik atau generator ditransmisikan melalui jaringan kabel tegangan ekstra tinggi (SUTET) dengan tegangan berkisar antara 275 kV hingga 800 kV menuju gardu induk (GI). (Mardiyanto, 2018)

Dari gardu induk, energi listrik ditransmisikan ke jaringan distribusi utama dengan rentang tegangan 150 kV hingga 200 kV melalui saluran transmisi tegangan tinggi (SUTT).

Pada aliran Listrik yang dialirkan ke jaringan distribusi sekunder menggunakan saluran udara tegangan Menengah (SUTM) dengan bertegangan sekitar 20kV, yang akhirnya didistribusikan ke konsumen melalui saluran udara tegangan Rendah (SUTR) dengan tegangan 220 V hingga 380 V pada sistem tiga Fasa, sistem transmisi berfungsi untuk menyalurkan daya yang bertegangan tinggi dari pusat pembangkit ke gardu induk, sedangkan sistem distribusi bertugas menyalurkan energi pembangkit ke gardu induk, sedangkan pada sistem distribusi bertugas menyalurkan energi Listrik dari gardu induk ke konsumen akhir, sesuai kebutuhan beban Listrik di masing- masing wilayah.

2.1.2. Sistem Distribusi

Sistem distribusi meliputi semua jaringan distribusi primer atau jaringan distribusi primer atau jaringan tegangan menengah (JTM) dan semua jaringan distribusi sekunder atau jaringan tegangan rendah (JTR) hingga ke meter-meter pelanggan. Sistem distribusi merupakan sub-sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan,

karena catu daya pada pusat-pusat beban (pelanggan) dilayani langsung melalui jaringan distribusi. Setiap elemen jaringan distribusi pada lokasi tertentu dipasang trafo-trafo distribusi, dimana tegangan distribusi 20 kV diturunkan ke tegangan rendah 380/220 Volt. Dari trafo tersebut kemudian disalurkan ke pelanggan listrik dengan menarik kabel tegangan rendah untuk menjelajahi sepanjang pusat pemukiman Berdasarkan letak jaringan terhadap posisi gardu distribusi, jaringan distribusi dibedakan menjadi 2 yaitu:

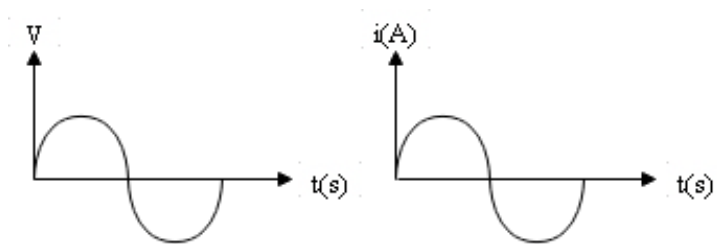
1. Jaringan tegangan menengah (JTM) adalah sistem jaringan yang berfungsi menyalurkan energi listrik dari gardu induk menuju gardu distribusi maupun langsung ke pelanggan tegangan menengah. Proses penyaluran ini dapat dilakukan melalui saluran udara tegangan menengah (SUTM) dengan menggunakan kabel udara, maupun melalui saluran kabel tegangan menengah (SKTM) dengan pemasangan kabel bawah tanah. Pemilihan jenis jaringan tersebut disesuaikan dengan kondisi lingkungan, kebutuhan keandalan sistem, serta pertimbangan teknis dan operasional.
2. Jaringan tegangan rendah (JTR) adalah jaringan yang berfungsi untuk menyalurkan energi listrik dari gardu distribusi kepada pelanggan tegangan rendah. Penyaluran energi listrik pada jaringan ini umumnya menggunakan saluran udara tegangan rendah (SUTR) dengan media penghantar berupa kabel udara. (Novi Gusti Pahiyanti S. S., 2018)

2.1.3. Sistem distribusi Tenaga Listrik

Distribusi berfungsi sebagai jembatan antara sisi transmisi dan konsumen. Sistem distribusi mencakup semua komponen sistem tenaga listrik yang secara langsung menghubungkan sumber daya listrik besar dengan konsumen listrik. Fungsinya adalah untuk menyalurkan energi listrik ke sejumlah pelanggan dan bertindak sebagai sub sistem jaringan tenaga listrik yang secara langsung terhubung dengan pengguna akhir.

2.1.4. Sumber Listrik AC (Alternating Current)

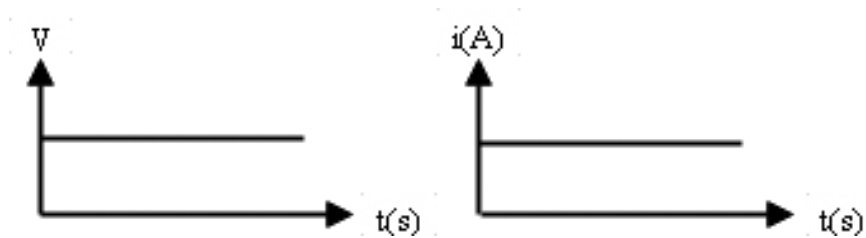
Sumber listrik AC adalah listrik yang besarnya berubah-ubah menurut waktu secara periodik (Santoso dan Setianto, 2017). Dikatakan bolak-balik karena arus yang mengalir tidak tetap yaitu berbentuk gelombang sinusoidal yang memiliki nilai positif dan negatif.



Gambar 1 Bentuk Gelombang Tegangan dan Arus AC

2.1.5. Sumber Listrik DC (Direct Current)

Sumber listrik DC adalah sumber listrik yang mengalirkan arus searah. Dikatakan searah karena arus bernilai positif saja atau negatif saja.



Gambar 2 Bentuk Arus dan Tegangan DC

2.1.6. Arus Listrik

Arus listrik merupakan perubahan kecepatan muatan terhadap waktu atau muatan yang mengalir dalam satuan waktu. Selama muatan tersebut bergerak maka akan muncul arus, tetapi ketika muatan tersebut diam maka arus pun akan hilang. Muatan akan bergerak jika ada energi luar yang mempengaruhinya. Arus listrik terjadi karena adanya aliran elektron di mana setiap elektron mempunyai muatan yang besarnya sama. Arus dinyatakan dalam ampere. Arus didapat dengan

persamaan:

$$I = \frac{Q}{t} \dots\dots\dots(1.1)$$

Keterangan

I = Arus (Ampere)

Q = Muatan (Coulomb)

T = Waktu (Detik)

2.1.7. Tegangan Listrik

Tegangan (*voltage*) atau sering disebut sebagai beda potensial adalah kerja yang dilakukan untuk menggerakkan muatan sebesar satu coulomb dari satu terminal ke terminal lainnya. Perbedaan potensial listrik antara dua titik dalam rangkaian listrik dan dinyatakan dalam satuan volt (V) (Ramdhani, 2008). Tegangan dapat dihitung dengan persamaan:

$$V = \frac{P}{I} \dots\dots\dots(1.2)$$

Keterangan

V = Tegangan (Volt)

P = Daya (Watt)

I = Arus (Ampere)

2.1.8. Daya Listrik

Daya adalah besaran penting dalam sirkuit listrik, berfungsi sebagai ukuran pelepasan energi di dalam suatu perangkat. Karena tegangan dan arus dapat bervariasi sebagai fungsi waktu, baik nilai instan maupun rata-rata dapat digunakan untuk menggambarkan pelepasan energi ini. Daya listrik didefinisikan sebagai hasil kali tegangan dan arus sesaat. Daya ini umumnya diukur dalam satuan watt, di mana satu watt mewakili daya yang dihasilkan oleh perkalian arus sebesar 1 ampere dan tegangan sebesar 1 volt. Kualitas daya sangat dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti beban non-linier, ketidakseimbangan beban, dan distorsi gelombang harmonik. Bahkan menyebabkan penurunan kapasitas daya pada sumber pembangkit (Generator). (Aisyah Indah Almira, 2024)

$$P = V.I.Cos \varphi \dots\dots\dots(1.3)$$

Keterangan:

P = Daya (Watt)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

Cos φ = Faktor Daya

2.1.9. Daya Aktif

Pertumbuhan populasi memiliki dampak yang signifikan terhadap kebutuhan energi listrik. Daya aktif adalah besaran listrik yang menunjukkan jumlah energi listrik yang benar-benar digunakan untuk melakukan kerja nyata dalam suatu sistem kelistrikan. Daya ini merupakan komponen utama dari daya total yang dikonsumsi oleh peralatan listrik seperti lampu, motor listrik, pemanas, dan peralatan elektronik lainnya, besarnya daya aktif sebanding dengan keluaran arus listrik yang mengalir pada beban resistif dan dinyatakan dalam satuan Watt. (W.Fardo, 2010)

$$P = V \times I \times \cos \varphi \dots\dots\dots(1.4)$$

Keterangan:

P = Daya (watt)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

$\cos \varphi$ = Faktor daya (*Power Factor*)

2.1.10. Daya Reaktif

Daya reaktif adalah komponen daya listrik yang tidak menghasilkan kerja nyata, tetapi sangat penting untuk membentuk dan mempertahankan medan magnet pada peralatan listrik induktif seperti motor, transformator, dan ballast. Daya ini diperlukan untuk proses magnetisasi pada beban induktif, sehingga sistem kelistrikan dapat beroperasi dengan baik. Daya reaktif dilambangkan dengan huruf Q dan memiliki satuan *volt-ampere reactive* (VAR). Beban yang bersifat kapasitif akan menarik daya reaktif agar menghasilkan medan Listrik.

Semakin besar arus listrik yang mengalir pada beban reaktansi, maka semakin besar pula daya reaktif yang dibutuhkan, karena daya reaktif berbanding lurus dengan kuadrat arus tersebut Persamaan untuk daya reaktif adalah sebagai berikut:

$$Q = V.I.\sin \varphi \text{ (1 phasa)} \dots\dots\dots(1.5)$$

$$Q = 3.VL.IL.\sin \varphi \text{ (3 phasa)} \dots\dots\dots(1.6)$$

Keterangan :

Q = Daya Reaktif (VAR)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

V_L = Tegangan Jaringan

2.1.11. Daya Semu

Daya semu adalah total daya listrik yang mengalir dalam suatu sistem tenaga listrik AC dan merupakan gabungan dari daya aktif serta daya reaktif. Daya semu menunjukkan keseluruhan kapasitas daya yang dibutuhkan untuk mengoperasikan beban, baik untuk menghasilkan kerja nyata maupun membentuk medan magnet. Besaran daya semu dilambangkan dengan huruf S dan diukur dalam satuan *volt-ampere* (VA), dan merupakan hasil perkalian tegangan dan arus yang mengalir melalui beban, yaitu:

$$S = V \cdot I \dots\dots\dots(1.7)$$

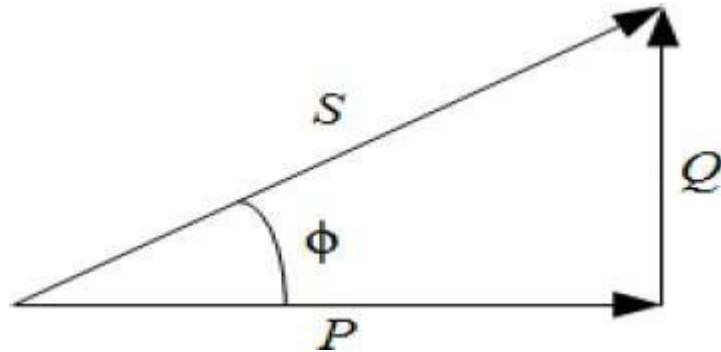
Keterangan :

S = Daya Semu

V = tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

Ketiga komponen daya listrik, yaitu daya aktif (P), daya reaktif (Q), dan daya semu (S), memiliki keterkaitan yang dapat digambarkan dalam bentuk segitiga daya



Gambar 3 Segitiga Daya

Pada gambar diatas hubungan antara segitiga daya dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \dots\dots\dots (1.8)$$

$$P = S \cdot \cos \varphi \dots\dots\dots (1.9)$$

$$P = V \cdot I \cos \varphi \dots\dots\dots (1.10)$$

$$Q = S \cdot \sin \varphi \dots\dots\dots (1.11)$$

$$Q = V \cdot I \sin \varphi \dots\dots\dots (1.12)$$

$$\cos \varphi = pf \dots\dots\dots (1.13)$$

$\cos \varphi$ didefinisikan sebagai perbandingan antara daya aktif dan daya semu, yang juga merepresentasikan faktor daya. Untuk beban induktif terjadi kondisi lagging di mana arus tertinggal terhadap tegangan, sedangkan pada beban kapasitif terjadi kondisi leading di mana arus mendahului tegangan. (Chayo, 2024)

2.1.12. Rugi-Rugi (*Losses*)

Pada proses penyaluran tenaga listrik ke pelanggan, pasti terjadi susut atau rugi-rugi (*losses*) teknis dan nonteknis. Susut teknis dapat terjadi pada penghantar maupun pada transformator. Susut teknis pada penghantar disebabkan adanya tahanan dari penghantar

tersebut yang dilairi besaran arus tertentu. Adapun penyebab terjadinya Losses pada jaringansaluran udara tegangan menengah 20 kV antara lain:

1. Luas penampang terlalu kecil (penampang tidak sesuai dengan beban) semakin kecil kawat semakin besar ruginya.
2. Panjang jaringan : terlalu panjang sehingga listrik yang mengalir banyak yang hilang. Terlalu panjang jaringannya juga menyebabkan arusnya besar sehingga tegangannya turun.
3. Sambungan tidak baik juga dapat mengakibatkan adanya loss contact, sambungan antar kawat tidak rapat sehingga terdapat celah udara yang seharusnya kedap udara sehingga menyebabkan alat cepat rusak. Sambungan tidak baik kadang disebabkan adanya ranting pohon, layang-layang yang menempel pada kabel.
4. Umur alat: alat yang terlalu tua dapat menurunkan kinerja alat tersebut.
5. Arus yang terlalu besar dapat menimbulkan panas sehingga dapat merusak alat dan terjadi *losses*.
6. Terlalu banyak percabangan saluran SR (tarikan SR maksimal 7) untuk sambungan pelayanan.
7. Bila arus listrik yang mengalir ke R, S, T tidak seimbang maka yang terjadi arus akan mengalir ke ground sehingga menyebabkan adanya hambatan di ground yang besar. (maksimal 5Ω). (Febri Izzuddin, 2018)

2.1.13. Rugi-Rugi Pada Sistem Distribusi

Kehilangan daya bukan penjualan, mengurangi catu daya yang dikirim oleh PLN dan bagi mereka yang diterima oleh konsumen, tetapi hilangnya kerugian karena penyusutan. Dalam hal ini, pemasok listrik elektronik (PLN) telah mengakibatkan kerugian karena daya kebangkitan dalam nilai yang cukup besar, tetapi tidak mendapatkan manfaat finansial dari hasil penjualan daya. Susut daya listrik elektronik adalah masalah penting yang dihadapi oleh PLN dan belum sepenuhnya dipecahkan. Kemudian, itu kemudian dibuat dengan kegelapan subur untuk menghindari sistem yang menguji seluruh *shutdown* (sepenuhnya hitam). Masalah kekuatan adalah masalah lain yang terjadi karena tidak ada catu daya karena tidak ada catu daya. (Muhammad Salman Alfarizi, 2022)

2.1.14. Sifat Beban Listrik

Dalam suatu rangkaian listrik selalu dijumpai suatu sumber dan beban. Bila sumber listrik DC, maka sifat beban hanya bersifat resistif murni, karena frekuensi sumber DC adalah nol. Reaktansi induktif (X_L) akan menjadi nol yang berarti bahwa induktor tersebut akan short circuit. Reaktansi kapasitif (X_C) akan menjadi tak berhingga yang berarti bahwa kapasitif tersebut akan open circuit. Jadi sumber DC akan mengakibatkan beban induktif dan beban kapasitif tidak akan berpengaruh pada rangkaian. Bila sumber listrik AC maka beban dibedakan menjadi 3 sebagai berikut:

1. Beban Resistif

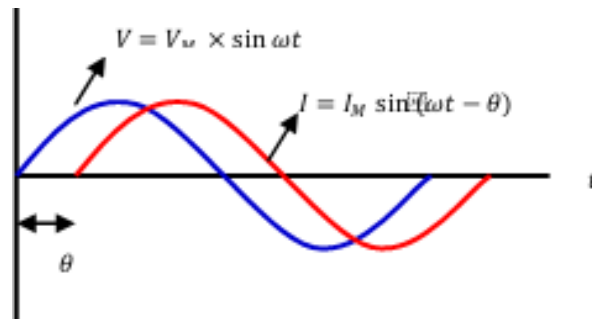
Beban resistif yang merupakan suatu resistor murni, contoh : lampu pijar, pemanas. Beban ini hanya menyerap daya aktif dan tidak menyerap daya reaktif sama sekali. Tegangan dan arus se-fasa. Secara matematis dinyatakan: $R=V/I$



Gambar 4 Arus dan tegangan pada beban resistif

2. Beban Induktif

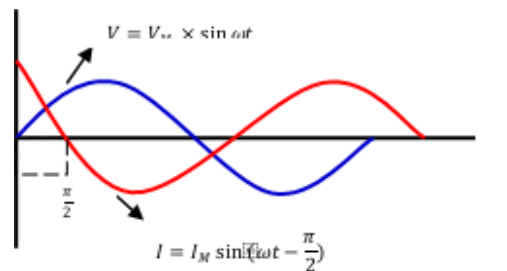
Beban induktif adalah beban yang mengandung kumparan kawat yang dililitkan pada sebuah inti biasanya inti besi, contoh: motor – motor listrik, induktor dan transformator. Beban ini mempunyai faktor daya antara 0 – 1 “*lagging*”. Beban ini menyerap daya aktif (kW) dan daya reaktif (kVAR). Tegangan mendahului arus sebesar ϕ° . Secara matematis dinyatakan:



Gambar 5 Arus, tegangan dan GGL induksi-diri pada beban induktif

3. Beban Kapasitif

Beban kapasitif adalah beban yang mengandung suatu rangkaian kapasitor. Beban ini mempunyai faktor daya antara 0–1 “*leading*”. Beban ini menyerap daya aktif (kW) dan mengeluarkan daya reaktif (kVAR). Arus mendahului tegangan sebesar ϕ° . Secara matematis dinyatakan:



Gambar 6 Arus, tegangan dan GGL induksi-diri pada beban kapasitif

2.1.15. Panel Listrik

Panel listrik adalah suatu komponen utama dalam sistem distribusi tenaga listrik yang berfungsi sebagai pusat pengendali, pengatur, dan pendistribusi daya ke berbagai beban listrik. Panel ini berisi berbagai peralatan proteksi dan pengendalian seperti MCB, MCCB, kontaktor, relai, terminal, busbar, dan instrumen pengukur. Melalui panel listrik, energi listrik yang berasal dari sumber (misalnya gardu induk, genset, atau pembangkit) dapat disalurkan secara terarah dan aman ke berbagai peralatan atau mesin. Panel listrik juga berperan penting dalam menjaga keandalan sistem kelistrikan, karena mampu melindungi peralatan dari gangguan seperti hubung singkat, beban lebih, maupun tegangan tidak stabil. Selain itu, panel listrik memungkinkan proses pemeliharaan dan

perbaikan sistem dilakukan dengan lebih aman, karena arus listrik dapat diputuskan dari titik pusat. Berdasarkan fungsinya, panel listrik terbagi menjadi beberapa jenis seperti panel distribusi utama (MDP), panel sub distribusi (SDP), panel kontrol motor (MCC), dan panel kontrol otomatis. Penggunaan panel listrik sangat umum di industri, gedung perkantoran, fasilitas komersial, dan perumahan. Desain panel listrik harus memenuhi standar keselamatan dan keandalan agar sistem distribusi listrik dapat beroperasi dengan efisien dan minim gangguan.

2.1.16. Kompensasi Daya Reaktif Menggunakan kapasitor

Beberapa pelanggan PLN yang dikenakan biaya pemakaian kVARh adalah pelanggan dengan golongan tarif I2. Biaya tersebut dikenakan apabila pemakaian energi reaktif (kVARh) melebihi batas pemakaian yang diberikan secara gratis, yaitu selama faktor daya ($\cos \phi$) berada di bawah 0,85 lagging. Dengan kata lain, apabila pelanggan mampu menjaga faktor daya $\geq 0,85$ lagging, maka pemakaian kVARh masih dalam batas yang tidak dikenakan biaya tambahan. Pada kelompok tarif I2, umumnya pemakaian kVARh relatif kecil sehingga tetap dikenakan biaya sesuai ketentuan. Hal ini dipengaruhi oleh karakteristik beban yang digunakan, seperti peralatan penerangan, peralatan kantor, dan peralatan rumah tangga seperti kulkas, yang cenderung tidak menyerap daya reaktif dalam jumlah besar. Namun, pada beberapa golongan tarif tertentu yang memiliki karakteristik beban dengan faktor daya rata-rata rendah, konsumsi kVARh menjadi tinggi sehingga biaya yang dibebankan juga semakin besar. Oleh karena itu, pelanggan dengan biaya kVARh tinggi dapat melakukan perbaikan faktor daya dengan cara meningkatkan nilai power factor. Salah satu metode yang umum digunakan adalah pemasangan kapasitor daya yang dipasang paralel dengan beban, sehingga konsumsi kVARh dapat ditekan dan biaya pemakaian energi reaktif menjadi lebih efisien. (Herusetiawan, 2018)

Dalam perencanaan pemasangan kapasitor daya sebagai upaya untuk menurunkan pemakaian kVARh sekaligus mengurangi biaya energi reaktif, diperlukan perencanaan yang matang. Salah satu hal yang harus diperhatikan adalah memahami karakteristik beban yang digunakan. Hal ini mencakup analisis pola penggunaan daya aktif, seperti kurva beban aktif yang diamati dalam periode harian maupun mingguan, sehingga

pemasangan kapasitor dapat disesuaikan dengan kondisi dan kebutuhan sistem secara optimal.

1. Karakteristik pemakaian energi reaktif (kVARh) perlu dianalisis melalui kurva beban reaktif, baik pada periode harian maupun mingguan.
2. Berdasarkan data karakteristik beban aktif dan reaktif tersebut, dapat ditentukan nilai faktor daya (power factor) sistem. Informasi ini sangat penting sebagai dasar dalam perencanaan.
3. Perencanaan perbaikan faktor daya dilakukan untuk meningkatkan nilai power factor sehingga pemakaian kVARh dapat berkurang.

2.1.17. Panel kapasitor Bank

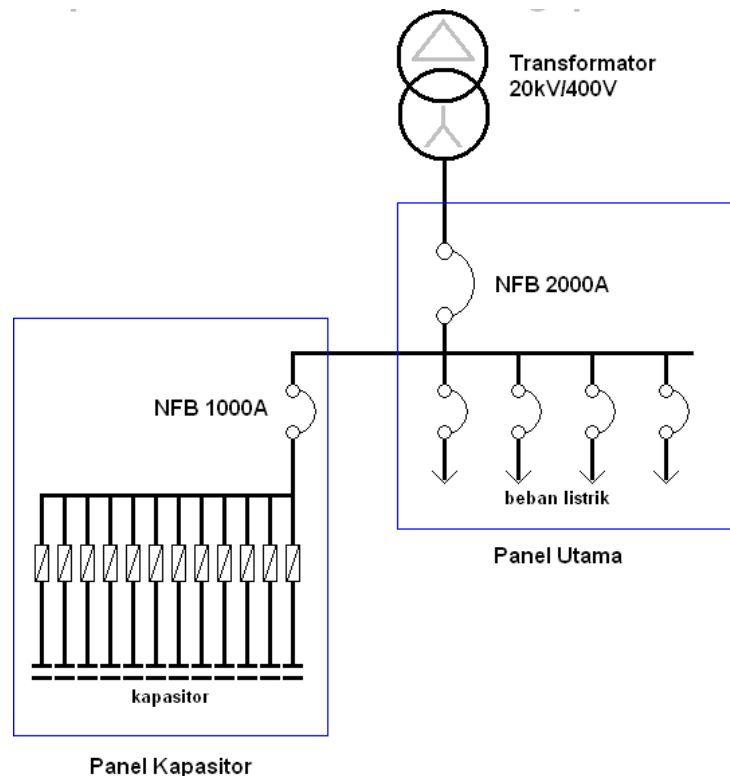
Panel kapasitor bank adalah suatu perangkat dalam sistem kelistrikan yang berfungsi untuk memperbaiki faktor daya dengan cara memberikan kompensasi daya reaktif. Panel ini berisi rangkaian kapasitor yang dirancang untuk menyuplai daya reaktif ke jaringan listrik, sehingga mengurangi beban daya reaktif yang ditarik dari sumber utama. Dengan cara ini, panel kapasitor bank membantu menurunkan arus total dalam sistem dan meningkatkan efisiensi distribusi daya listrik. Panel kapasitor bank biasanya terdiri dari komponen utama seperti kapasitor daya, kontaktor, fuse atau MCB, pengendali faktor daya (*PFC controller*), serta sistem proteksi dan indikator. Ketika faktor daya turun di bawah batas yang diinginkan, kapasitor bank secara otomatis aktif untuk mengoreksi pergeseran sudut antara tegangan dan arus. Penggunaan panel kapasitor bank sangat penting dalam instalasi industri, komersial, dan gedung bertingkat, karena dapat mengurangi rugi-rugi daya, menurunkan biaya tagihan listrik akibat penalti faktor daya rendah, serta meningkatkan stabilitas tegangan sistem. Desain dan kapasitas panel ini harus disesuaikan dengan kebutuhan daya reaktif pada beban agar kompensasi faktor daya berjalan optimal. (Siregar, 2019). Pada sistem arus searah (DC), sumber daya listrik biasanya dimanfaatkan untuk mereduksi arus riak serta meningkatkan kapasitas penyimpanan energi. Penggunaan kapasitor bank yang sebelumnya umum di sektor industri dan pabrik dengan beban daya besar, kini telah meluas hingga ke rumah tangga sebagai upaya efisiensi konsumsi energi listrik. (Nurhadi, 202)

2.1.18. Cara Pemasangan Kapasitor

Metode pemasangan kapasitor dapat dibedakan menjadi 2 cara pemasangan, yaitu:

a. Koneksi Langsung

Metode ini umumnya digunakan pada beban listrik berskala besar yang beroperasi secara kontinu dan stabil, seperti motor listrik berdaya besar yang memiliki nilai faktor daya rendah. Dalam penerapannya, kapasitor dipasang secara paralel terhadap beban dan dihubungkan melalui kontaktor atau saklar yang bekerja secara bersamaan dengan beban tersebut. Penerapan metode ini memiliki keunggulan, antara lain mampu mengurangi biaya pemasangan serta tidak memerlukan perangkat pengatur tambahan untuk mengendalikan proses penyambungan dan pelepasan kapasitor.



Gambar 7 Kapasitor dipasang secara direct connection

b. Koneksi tidak langsung

Metode ini diterapkan pada sistem distribusi tenaga listrik yang memiliki beban induktif dengan karakteristik perubahan daya yang tidak tetap. Pada penerapannya, kapasitor dipasang secara paralel pada panel distribusi, umumnya terhubung pada *Main Distribution Panel* (MDP). Perubahan beban yang terjadi dapat menimbulkan kondisi

kompensasi berlebih (*overcompensation*), sehingga diperlukan perangkat pengendali untuk menjaga nilai faktor daya tetap sesuai dengan yang diharapkan. Perangkat tersebut dikenal sebagai *Automatic Power Factor Regulator* (APFR) yang dapat dioperasikan baik secara manual maupun otomatis. (Shelviani, 2018)

2.1.19. Perawatan dan Perlindungan Kapasitor Bank

Kapasitor bank yang digunakan sebagai sarana perbaikan faktor daya perlu dilakukan pemeliharaan secara berkala agar memiliki umur pakai yang optimal. Dalam pelaksanaannya, kapasitor bank harus ditempatkan pada lingkungan yang sesuai, yaitu tidak lembap, tidak terkena air, serta terlindung dari debu dan kotoran. Sebelum proses pemeriksaan dilakukan, kapasitor bank wajib dipastikan telah terlepas dari sumber tegangan listrik. Adapun beberapa jenis pemeriksaan yang perlu dilakukan meliputi:

- a. Pemeriksaan terhadap kemungkinan terjadinya kebocoran pada kapasitor.
- b. Pemeriksaan kondisi kabel penghubung serta dudukan atau penopang kapasitor.
- c. Pemeriksaan keadaan isolator untuk memastikan fungsinya masih bekerja dengan

Untuk mengurangi risiko kegagalan sekering pada perangkat pelepas muatan maupun terjadinya kerusakan pada selubung kapasitor bank, standar teknis menetapkan batas maksimum energi total yang dapat tersimpan dalam satu kelompok kapasitor yang dihubungkan secara paralel, yaitu sebesar 4659 kVAR. Guna memenuhi ketentuan tersebut, salah satu solusi yang dapat diterapkan adalah dengan menyusun kapasitor bertegangan rendah dalam konfigurasi seri, sehingga jumlah unit yang dipasang secara paralel pada setiap kelompok menjadi lebih sedikit. Namun, penerapan konfigurasi ini berpotensi menurunkan tingkat sensitivitas sistem dalam mendeteksi kondisi ketidakseimbangan. Oleh karena itu, pemisahan kapasitor bank ke dalam dua bagian dengan hubungan seri dapat dijadikan alternatif yang sesuai untuk diterapkan pada skema tersebut.

Agar kondisi ketidakseimbangan dapat terdeteksi dengan lebih baik, alternatif lain yang dapat diterapkan adalah penggunaan sekering pembatas arus. Penentuan konfigurasi sambungan yang paling tepat pada *Single Capacitor Bank* (SCB) sangat bergantung pada pemanfaatan optimal terhadap kemampuan tegangan yang dimiliki oleh unit kapasitor, sekering, serta rele proteksi yang digunakan. Pada umumnya, kapasitor bank yang

terpasang di gardu induk menggunakan konfigurasi hubungan seri. Oleh karena itu, dalam setiap penerapan kapasitor bank, sistem penyambungan harus dirancang baik dalam bentuk hubungan seri maupun paralel sesuai dengan kebutuhan sistem dan karakteristik peralatan yang digunakan.

2.1.20. Pemilihan Kapasitor

Secara garis besar kapasitor dapat dibagi menjadi dua golongan besar yaitu kapasitor polar dan kapasitor non polar. Kapasitor non polar sering dijumpai dalam instalasi listrik yang umumnya digunakan sebagai perbaikan faktor daya. Kapasitor dengan bahan dielektrik kertas merupakan kapasitor non polar yang dapat dihubungkan secara sembarangan tanpa memperhatikan polaritas titik – titik hubungan.

Kapasitor polar harus dihubungkan secara hati - hati dengan memperhatikan polaritas yang ditunjukkan. Jika terjadi kesalahan dalam hubungan polaritas, maka kapasitor dapat meledak. Kapasitor elektrolit merupakan kapasitor polar dan umum digunakan untuk aplikasi – aplikasi yang memerlukan kapasitansi yang tinggi namun dalam kemasan kapasitor yang relatif kecil. Penggunaan kapasitor polar yang lebih banyak ditemui pada rangkaian elektronika seperti untuk stabilisasi tegangan, lampu darurat, dan sistem tanda bahaya.

Dalam menentukan jenis kapasitor yang akan digunakan pada suatu aplikasi tertentu, perlu dilakukan pertimbangan terhadap beberapa parameter utama, antara lain besarnya nilai kapasitansi, tegangan operasi yang diizinkan, serta karakteristik arus bocor yang dimiliki oleh kapasitor tersebut. Kapasitansi suatu kapasitor dinyatakan dalam unit farad disimbolkan sebagai F), sebagai penghargaan atas jasa-jasa ilmuwan listrik inggris Michael Faraday. Namun demikian dalam keperluan–keperluan praktis satuan farad sering kali dianggap terlalu tinggi sehingga digunakan fraksi yang lebih kecil masing – masing:

$$1 \text{ mikrofara} = \mu f = 1 \times 10^{-6} \text{ F}$$

$$1 \text{ nanofara} = nf = 1 \times 10^{-9} \text{ F}$$

$$1 \text{ pikofara} = pf = 1 \times 10^{-12} \text{ F}$$

Kapasitor yang digunakan untuk perbaikan faktor daya lampu fluoresen rumah tangga biasanya akan memiliki nilai kapasitansi $8\ \mu f$ pada tegangan kerja 400 volt. Sedangkan untuk rangkaian tapis elektronik nilai tipikal kapasitor yang digunakan adalah $100\ pf$ dengan tegangan kerja 63 v. Mungkin perlu untuk diperhatikan bahwa kapasitansi 1 mikrofarad adalah sejuta kali lebih besar daripada 1 mikrofarad, karena $1000\ pf = 1\ nf$ dan $1000\ nf = 1\ \mu f$

Tegangan kerja kapasitor ialah nilai maksimum tegangan yang dapat dikenakan di antara kedua pelat kapasitor tanpa menghancurkan sifat isolasi bahan dielektriknya. Nilai tegangan kerja ini merupakan nilai untuk tegangan searah sehingga kapasitor dengan tegangan maksimum 200 V hanya dapat dihubungkan dengan tegangan maksimum 200 VDC. Karena untuk tegangan bolak-balik pada umumnya nilai yang diberikan ialah nilai efektif, maka tegangan suplai bolak-balik 200 V akan memiliki nilai maksimum 283 V sehingga dapat menghancurkan kapasitor dengan tegangan kerja 200 V. Untuk menghubungkan kapasitor dengan suplai tegangan 230 V, maka harus digunakan kapasitor dengan tegangan kerja sekitar 400 V untuk memberikan faktor keamanan yang lebih baik karena tegangan efektif 230 V akan memiliki nilai maksimum 325 V. selisih tegangan sekitar 75 V digunakan sebagai rentang keamanan kerja kapasitor sehingga tegangan kerja kapasitor tak akan dilampaui. (Januarfi, 2014)

Sebuah kapasitor yang terisolasi ideal akan dapat menahan muatan yang tersimpan di dalamnya selamanya. Namun dalam kenyataannya tidak terdapat bahan-bahan dielektrik yang sempurna sehingga muatan-muatan diantara kedua pelat tersebut akan bocor dan terjadi pelepasan muatan secara perlahan – lahan . kehilangan muatan kebocoran ini, untuk kapasitor yang baik harusnya semakin kecil. Walaupun demikian, untuk kapasitor-kapasitor yang digunakan untuk memperbaiki faktor daya umumnya dipasang bersamaan dengan resistor pelapisan muatan untuk mengantisipasi arus bocor kapasitor secara aman.

2.1.21. Kapasitor Bank Untuk Perbaikan Faktor Daya

Menurut *Stevenson* (Dalam Khadaifi Alland, n.d.) Dalam analisis sistem tenaga listrik, kapasitor umumnya dipandang oleh insinyur sistem tenaga sebagai sumber penyedia daya reaktif, bukan sebagai beban yang menyerap daya reaktif. Pandangan ini didasarkan pada kenyataan bahwa kapasitor menyerap daya reaktif bernilai negatif dan,

ketika dipasang secara paralel dengan beban induktif, mampu mengurangi jumlah daya reaktif yang harus dipasok oleh sistem ke beban tersebut. Dengan demikian, kapasitor berfungsi menyuplai kebutuhan daya reaktif yang diperlukan oleh beban induktif.

Secara konseptual, kapasitor dapat dianggap sebagai elemen yang menyuplai arus tertinggal (*lagging*) kepada sistem, bukan sebagai komponen yang menarik arus mendahului (*leading*). Apabila sebuah kapasitor variabel dihubungkan secara paralel dengan beban induktif, nilai kapasitansinya dapat diatur sehingga arus mendahului yang dihasilkan oleh kapasitor memiliki besar yang sama dengan komponen arus beban induktif yang tertinggal sebesar 90° terhadap tegangan. Kondisi ini menyebabkan arus total menjadi sefasa dengan tegangan. Meskipun rangkaian induktif tetap membutuhkan daya reaktif positif, secara keseluruhan daya reaktif bersih sistem menjadi nol. Oleh karena itu, kapasitor lebih tepat diperlakukan sebagai pemasok daya reaktif bagi beban induktif dalam sistem tenaga listrik.

2.1.22. Prinsip Kerja Kapasitor Bank

Kapasitor yang digunakan untuk meningkatkan nilai faktor daya dipasang secara paralel terhadap rangkaian beban. Ketika rangkaian tersebut diberi tegangan, elektron akan mengalir dan tersimpan di dalam kapasitor. Setelah kapasitor mencapai kondisi bermuatan penuh, terjadi perubahan tegangan yang menyebabkan elektron dilepaskan kembali dari kapasitor dan mengalir ke dalam rangkaian. Proses ini berlangsung secara berulang seiring dengan perubahan tegangan pada sistem yang memerlukannya dengan demikian pada saat itu kapasitor membangkitkan daya reaktif. Bila tegangan yang berubah itu kembali normal (tetap) Ketika kapasitor melepaskan elektron yang ditandai dengan arus kapasitor (I_c), kondisi tersebut menunjukkan bahwa kapasitor berperan dalam menyuplai daya reaktif kepada beban. Mengingat beban memiliki sifat induktif dengan daya reaktif bernilai positif, sedangkan kapasitor menghasilkan daya reaktif bernilai negatif, maka interaksi keduanya menyebabkan besarnya daya reaktif total dalam sistem menjadi berkurang. (Januarfi, 2014) Ketika kapasitor melepaskan elektron yang ditandai dengan arus kapasitor (I_c), kondisi tersebut menunjukkan bahwa kapasitor berperan dalam menyuplai daya reaktif kepada beban. Mengingat beban memiliki sifat induktif dengan daya reaktif bernilai positif, sedangkan kapasitor menghasilkan daya

reaktif bernilai negatif, maka interaksi keduanya menyebabkan besarnya daya reaktif total dalam sistem menjadi berkurang.

2.1.23. Manfaat Pemasangan Kapasitor Bank

Fungsi utama kapasitor bank dalam sistem tenaga listrik arus kuat adalah untuk meningkatkan nilai faktor daya, khususnya pada instalasi listrik arus bolak-balik (AC) dengan kapasitas daya besar, seperti yang banyak digunakan di sektor industri. Selain berperan dalam perbaikan faktor daya, kapasitor bank juga memiliki beberapa fungsi lain, antara lain:

1. Menyediakan daya reaktif sehingga pemanfaatan daya semu (kVA) dalam sistem dapat dioptimalkan.
2. Mengurangi penurunan tegangan (*voltage drop*) yang terjadi pada jaringan distribusi.
3. Menghindari terjadinya beban lebih pada transformator, karena kapasitor bank dapat berperan sebagai penunjang kebutuhan daya.
4. Menekan peningkatan suhu pada penghantar atau kabel akibat aliran arus yang berlebih.
5. Meningkatkan efisiensi pemakaian energi dengan menurunkan kebutuhan daya semu total, sehingga nilai kVA mendekati daya aktif (kW) yang digunakan.
6. Memperkecil rugi-rugi daya yang terjadi pada jaringan tenaga listrik.
7. Menghindarkan konsumen dari pengenaan penalti oleh PLN akibat konsumsi daya reaktif yang berlebihan.

Pada instalasi listrik skala rumah tangga, permasalahan faktor daya umumnya tidak memberikan dampak yang signifikan karena kapasitas daya yang digunakan relatif kecil. Namun, pada sektor industri yang didominasi oleh beban motor listrik berdaya besar, kondisi faktor daya menjadi sangat berpengaruh. Apabila nilai $\cos \phi$ berada di bawah 0,85, maka konsumsi daya reaktif akan dikenakan biaya tambahan sesuai dengan hasil pengukuran menggunakan kVARh-meter.

Oleh sebab itu, meskipun kapasitor bank untuk kebutuhan industri memiliki biaya investasi yang relatif tinggi, keberadaannya dapat dikatakan sangat diperlukan guna

meningkatkan nilai faktor daya. Selain itu, pemasangan kapasitor bank juga berkontribusi secara tidak langsung dalam memperbaiki kualitas daya listrik yang disuplai oleh PLN sebagai penyedia tenaga listrik.. (Muhammad Taufik Hasyim, 2014).

2.1.24. Komponen Panel Kapasitor bank

1. MCCB

MCCB atau *Molded Case Circuit Breaker* adalah perangkat pengaman listrik yang berfungsi melindungi sistem dari arus hubung singkat dan beban lebih, sehingga kerusakan pada motor listrik serta potensi kebakaran akibat arus berlebih dapat dicegah. (Yogi Adhiminata, 2024)



Gambar 8 MCCB 3VM Series

2. *Change Over Switch Manual (COS)*

Changer switch atau sakelar COS merupakan komponen listrik yang berfungsi untuk memindahkan aliran daya dari sumber utama (PLN) ke sumber cadangan (genset) maupun sebaliknya. Perangkat ini menjadi bagian penting dalam sistem instalasi genset karena memungkinkan proses perpindahan daya dilakukan secara manual dengan memutar tuas sakelar ke posisi PLN atau generator. COS tersedia dalam berbagai kapasitas arus, mulai dari 16 A hingga 1250 A, sehingga dapat disesuaikan dengan kebutuhan daya sistem. (Tresna Umar Syamsuri, 2021)

3. MCB (*Minature circuit breaker*)

MCB (*Miniature Circuit Breaker*) merupakan komponen listrik yang berfungsi untuk melindungi dari kelebihan beban maupun arus pendek yang terjadi karena lonjakan arus listrik yang disengaja atau tidak disengaja. (A, 2019)

4. TOR (*Thermal Oveload Relay*)

(TOR) merupakan perangkat keamanan motor listrik yang melindungi terhadap risiko yang ditimbulkan oleh arus listrik. Jika motor listrik terkena arus yang melebihi arus yang ditentukan, Jika beban mengalami kerusakan, maka komponen ini digunakan untuk memutuskan atau menghubungkan sirkuit pengendali.

5. Pilot lamp

Pilot lamp merupakan komponen indikator visual yang umum digunakan pada sistem kelistrikan, khususnya pada panel kontrol dan panel distribusi daya. Fungsinya adalah memberikan sinyal atau tanda mengenai kondisi kerja peralatan listrik, seperti status ON, OFF, atau adanya gangguan. Lampu ini biasanya memiliki warna berbeda—merah, hijau, dan kuning—yang masing-masing melambangkan kondisi tertentu: merah menandakan aktif atau bahaya, hijau menunjukkan normal atau siap beroperasi, sedangkan kuning menandakan peringatan atau status siaga. Dengan adanya pilot lamp, operator dapat dengan mudah memantau kondisi peralatan tanpa harus melakukan pemeriksaan langsung ke komponen utama. Komponen ini juga membantu meningkatkan keamanan kerja karena mampu memberikan informasi secara cepat dan jelas. Selain itu, *pilot lamp* memiliki daya konsumsi listrik yang rendah dan umur pemakaian yang cukup panjang, sehingga efisien untuk digunakan dalam sistem industri, bangunan komersial, maupun instalasi rumah tangga. (A Zhafran A, 2023)



Gambar 9 Pilot Lamp

6. Push Buton

Push button adalah komponen saklar mekanis yang dioperasikan dengan cara ditekan untuk mengendalikan arus listrik pada suatu rangkaian. Komponen ini banyak digunakan pada panel kontrol untuk menyalakan (ON) atau mematikan (OFF) peralatan listrik seperti motor, lampu, atau mesin industri. Push button memiliki dua jenis utama, yaitu *normally open* (NO) dan *normally closed* (NC), yang menentukan cara rangkaian bekerja saat tombol ditekan. Tombol ini dirancang agar mudah dioperasikan dan memberikan respons cepat. Selain itu, push button juga meningkatkan keamanan dan efisiensi kerja karena memudahkan pengendalian sistem listrik secara manual dan praktis. (Suryadi, 2020)



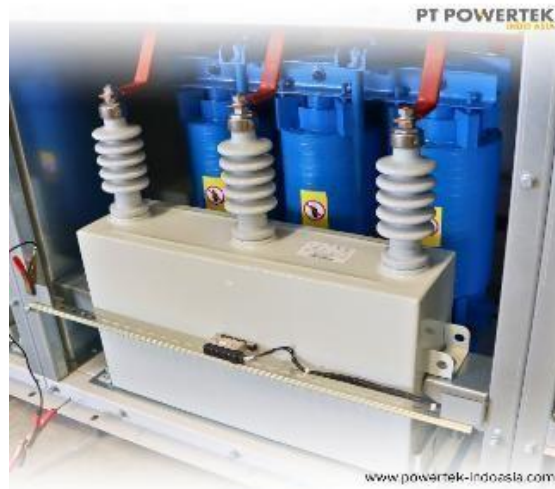
Gambar 10 Push Button

7. Fuse

Fuse atau sekering adalah komponen pelindung listrik yang berfungsi untuk memutus aliran arus listrik secara otomatis ketika terjadi kelebihan beban atau korsleting. Fuse bekerja dengan prinsip melelehnya kawat tipis di dalamnya akibat panas yang timbul dari arus berlebih. Saat kawat tersebut putus, aliran listrik akan terhenti sehingga peralatan dan rangkaian listrik terlindungi dari kerusakan. Fuse umumnya digunakan pada panel distribusi, peralatan elektronik, serta sistem kelistrikan industri dan rumah tangga. Komponen ini sederhana namun sangat efektif sebagai sistem pengaman pertama terhadap gangguan listrik, serta membantu mencegah kebakaran atau kerusakan peralatan. (Yogi Adhiminata, 2024)

8. Kapasitor bank

Bank kapasitor adalah komponen panel listrik yang dihubungkan secara paralel atau sering kali di antara sumber daya listrik. Bank kapasitor terdiri dari beberapa kapasitor dengan spesifikasi yang sama dan nilai kapasitas total dari semua kapasitor. Bank kapasitor dapat meningkatkan nilai faktor daya rendah. (Aisyah Indah Almiral, 2024)



Gambar 11 Kapasitor Bank

2.1.25. *Arrester*

Arrester atau penangkal petir listrik adalah perangkat pelindung sistem tenaga listrik dari lonjakan tegangan tinggi akibat sambaran petir atau gangguan tegangan lainnya. Arrester dipasang pada jaringan listrik, biasanya di dekat trafo, panel distribusi, atau peralatan penting lainnya. Ketika terjadi lonjakan tegangan, arrester akan menyalurkan energi berlebih tersebut langsung ke tanah (grounding) sehingga tidak merusak peralatan listrik. Setelah tegangan kembali normal, arrester akan otomatis berhenti menghantarkan arus dan sistem bekerja seperti semula. Perangkat ini sangat penting untuk menjaga keandalan sistem tenaga listrik serta memperpanjang umur peralatan listrik. Arrester banyak digunakan pada instalasi industri, gardu induk, jaringan distribusi, maupun instalasi rumah tangga yang membutuhkan perlindungan terhadap petir.

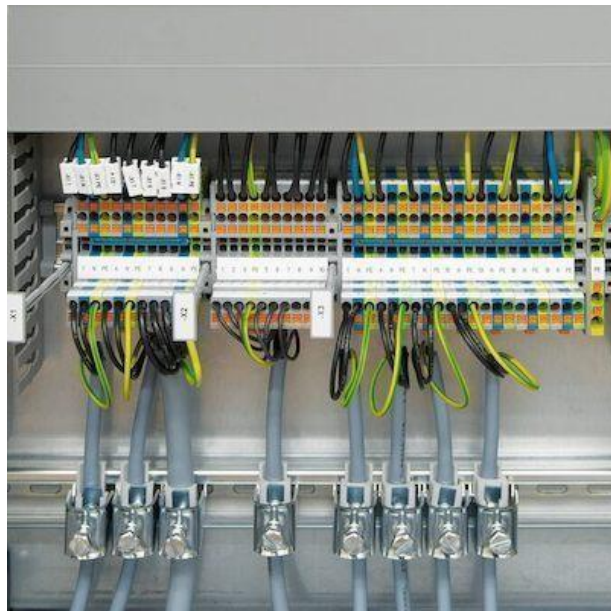
2.1.26. *Current Transformer (CT)*

Transformator arus merupakan jenis transformator pengukuran yang berfungsi bersama alat ukur maupun sistem proteksi. Dalam kondisi operasi normal, arus pada sisi

sekundernya memiliki nilai yang sebanding dengan arus pada sisi primer, dengan perbedaan sudut fase yang sangat kecil atau mendekati nol derajat.

2.1.27. Terminal Block

Terminal block adalah komponen listrik yang berfungsi sebagai penghubung dan pengatur kabel dalam suatu sistem kelistrikan. Komponen ini memungkinkan penyambungan kabel secara rapi, aman, dan mudah untuk perawatan atau penggantian. Terminal block biasanya terbuat dari bahan isolator dengan konduktor logam di dalamnya untuk memastikan sambungan yang baik. Alat ini sering digunakan pada panel kontrol, panel distribusi, dan sistem otomasi industri untuk menghubungkan berbagai rangkaian listrik. Dengan terminal block, instalasi menjadi lebih tertata, mengurangi risiko korsleting, serta mempermudah proses troubleshooting atau perluasan jaringan kelistrikan.



Gambar 12 Terminal Block

2.1.28. Kabel *Duct*

Kabel *duct* adalah komponen instalasi listrik berupa saluran atau wadah tertutup yang berfungsi untuk melindungi, merapikan, dan menyalurkan kabel listrik atau kabel kontrol dalam suatu sistem instalasi. Kabel duct biasanya terbuat dari bahan PVC atau logam yang kuat, tahan panas, serta mudah dipasang. Penggunaan kabel duct sangat umum pada

panel distribusi, panel kontrol, dan instalasi industri agar jalur kabel tersusun rapi, aman, serta terlindung dari gangguan mekanis maupun lingkungan. Selain itu, kabel duct juga mempermudah proses pemeliharaan, identifikasi, dan penambahan kabel baru tanpa mengganggu instalasi yang sudah ada, sehingga sistem kelistrikan menjadi lebih efisien dan tertata.



Gambar 13 Kabel Duct

2.1.29. *Automatic Power Factor Controller*

Automatic power factor controller adalah perangkat pengendali otomatis yang berfungsi mengatur pengoperasian kapasitor bank secara bertahap untuk menjaga faktor daya sistem listrik tetap berada pada nilai yang diinginkan. APFC bekerja dengan memantau nilai arus dan tegangan sistem melalui current transformer (CT) dan voltage input, kemudian menentukan jumlah kapasitor yang perlu dihubungkan atau dilepaskan sesuai kondisi beban. (Safrizal, 2015)

1. Fungsi APFC
 - a. Menjaga faktor daya tetap stabil pada nilai optimal (umumnya 0,95–0,99 lagging).
 - b. Menghindari kondisi underkompensasi dan overkompensasi daya reaktif.
 - c. Mengurangi arus sistem dan rugi-rugi daya pada jaringan distribusi.
 - d. Meningkatkan efisiensi energi dan keandalan sistem kelistrikan.

Keunggulan Penggunaan APFC Penggunaan APFC memungkinkan sistem kelistrikan industri beradaptasi terhadap beban yang bersifat fluktuatif. Dengan pengaturan otomatis,

faktor daya dapat dipertahankan dalam kondisi optimal tanpa intervensi manual, sehingga meningkatkan efisiensi operasional dan memperpanjang umur peralatan listrik.

2.1.30. Standar Pemasangan Panel Distribusi

Berdasarkan hasil pengamatan, panel distribusi yang telah terpasang dapat beroperasi dengan baik dan sesuai dengan kondisi lingkungan sekitarnya. Hal ini menunjukkan bahwa pemasangan panel telah memenuhi standar yang berlaku. Standar yang dijadikan acuan dalam pemasangan panel distribusi tersebut antara lain *Electrical Installation Guide* dan *Schneider Medium Voltage Guide* yang diterbitkan oleh Schneider Electric, serta mengacu pada standar operasional pemasangan panel distribusi yang berlaku. (ARDI RIZKY PRADITO, 2020)

Berikut ini merupakan standar kondisi operasi panel distribusi yang ditinjau dari batas temperatur sesuai dengan standar ANSI dan IEC. Acuan tersebut merujuk pada pedoman yang tercantum dalam *Schneider Medium Voltage Guide* yang dipublikasikan oleh Schneider Electric. Standar ini dapat dijadikan referensi untuk mengetahui batas temperatur yang aman selama panel distribusi beroperasi.

Tabel 2. 1 Standar Temperatur Panel Distribusi

Standar	0°C Lingkungan Sekitar	Instalasi Dalam Ruangan	Instalasi Luar Ruangan
IEC	Minimal	- 50°C	- 25°C
	Maksimal	+ 40°C	+ 40°C
	Rata rata maksimum harian	35°C	35°C
ANSI	Minimanl	- 30°C	-
	Maksimal	+ 40°C	-

2.2 Penelitian Terkait

Dalam penelitian skripsi ini, diperlukan terdapatnya beberapa rujukan mula seperti riset lebih dahulu, yang bisa menjadi acuan penulis buat melaksanakan riset yang terpaut, tinjauan Pustaka terpaut merupakan :

Tabel 2. 2 *State of The Art*

No.	Judul/Tema & Penulis	Fokus Utama	Kelemahan	Kebaruan Penelitian Ini
1	Pengaruh Pemasangan Kapasitor Bank terhadap Faktor Daya (Siregar, 2019)	Analisis peningkatan faktor daya setelah pemasangan kapasitor bank pada sistem industri.	Tidak membahas penurunan rugi daya dan efisiensi energi secara kuantitatif.	Penelitian ini menganalisis peningkatan faktor daya sekaligus penurunan rugi daya dan peningkatan efisiensi energi.
2	Analisis Perbaikan Faktor Daya pada Sistem Distribusi Industri (Putra, 2020)	Evaluasi nilai faktor daya sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor tetap.	Menggunakan kapasitor tetap tanpa mempertimbangkan perubahan beban.	Penelitian ini menggunakan kapasitor bank yang disesuaikan dengan kondisi beban aktual.
3	Studi Pengaruh Kapasitor Bank terhadap Penghematan Energi Listrik (Rahman, 2021)	Analisis penghematan energi akibat kompensasi daya reaktif.	Tidak menganalisis penurunan arus dan rugi daya pada penghantar.	Penelitian ini menganalisis penurunan arus, rugi daya, dan efisiensi energi secara terintegrasi.
4	Evaluasi Faktor Daya pada Panel Distribusi Tegangan Rendah (Hidayat, 2022)	Evaluasi kualitas daya pada panel distribusi industri.	Tidak dilakukan simulasi atau perhitungan kapasitas kapasitor optimal.	Penelitian ini menghitung kapasitas kapasitor bank optimal berdasarkan data beban aktual.

Untuk memperkuat pemahaman terhadap *state of the art* yang ditampilkan pada Tabel 2.1, bagian ini menyajikan uraian ringkas mengenai setiap jurnal yang digunakan sebagai acuan dalam penelitian.

1. pada penelitian Aisyah Indah Almira¹, Toto Tohir Supriyanto (Juli 2024) dengan judul **Analisa Pengaruh Kapasitor Bank Terhadap Faktor Daya dan Penghematan**

Biaya Listrik Berbasis Simulasi *Software* ETAP 20 : Kapasitor bank berfungsi sebagai alat kompensasi daya reaktif untuk meningkatkan faktor daya, menurunkan arus dan menghemat biaya listrik dan pada perbaikan faktor daya tidak hanya meningkatkan efisiensi energi, namun menekan nilai rugi-rugi daya dan memperpanjang umur peralatan Listrik, dengan simulasi Etap membantu menganalisis secara kuantitatif pengaruh pemasangan kapasitor bank.

2. Pada penelitian Ridho Arvan Dedzky, Fauzan Atabiq (Agustus 2020) dengan judul **Perbaikan Factor Daya Pada Peralatan Listrik Rumah Tangga** : penelitian ini membahas penggunaan kapasitor sebagai kompensator daya reaktif untuk memperbaiki faktor daya pada beban rumah tangga, seperti kulkas dan pompa air metode yang digunakan Adalah individual compensation, yaitu kapasitor langsung pada setiap beban induktif, yang hasilnya penelitian menunjukkan bahwa faktor daya meningkat signifikan dari 0,73-0,82 menjadi 0,99-1,00, sedangkan arus beban menurun sekitar 12-30%, peningkatan faktor daya ini menyebabkan penurunan daya semu hingga 14-32% yang berarti sistem menjadi efisien dalam penggunaan energi.
3. Pada penelitian Danang Aji Basudewa dkk. (2020) dengan judul **Analisa Penggunaan Kapasitor Bank terhadap Faktor Daya pada Gedung Laboratorium Unesa**”. H: Hasilnya menunjukkan bahwa pemasangan kapasitor bank sebesar 400 kVAR berhasil menaikkan faktor daya dari 0,78 menjadi 0,96, serta menurunkan rugi-rugi daya dan jatuh tegangan pada jaringan distribusi.

2.3 Kerangka pemikiran

