

**PENGESAHAN**

**ANALISIS PENGARUH KAPASITOR BANK  
TERHADAP PENYEDIAAN DAYA  
TAMBAHAN PADA TRAFU  
GARDU INDUK 150 KV**

**TUGAS AKHIR**

Oleh :

**WAHYU HOTMAN RIZKI TARIGAN**

**NPM : 20330010**

Lulus Sidang Tugas Akhir tanggal : 27 Agustus 2024

Periode Semester GENAP T.A 2023/2024

Disahkan dan disetujui oleh :

Pembimbing I,



Ir. Jonner Manihuruk, S.T., M.T.,

I.P.M., ASEAN Eng

NIDN : 0122047302

Pembimbing II,



Ir. Lestina Siagian, M.Si

NIDN : 0120125901

Diketahui Oleh :

Ketua Program Studi Teknik Elektro



Ir. Lestina Siagian, M.Si

NIDN : 0120125901



Dekan Fakultas Teknik



Dr. Ir. Bambang Pangaribuan, M.T.

NIDN : 0121026402

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Gardu induk 150 kV merupakan elemen kunci dalam sistem tenaga listrik yang berperan dalam transformasi tegangan dan distribusi daya ke pelanggan/konsumen. Namun, dengan pertumbuhan permintaan energi listrik, kapasitas gardu induk dapat menjadi tidak memadai untuk memenuhi kebutuhan sumber energi listrik. Ketika pada saat terjadi peningkatan beban, gardu induk harus mampu menyediakan daya tambahan untuk memenuhi kebutuhan tersebut. Maka dari itu diperlukan untuk menganalisis peyediaan daya tambahan pada gardu induk.

Dalam konteks gardu induk 150 kV, analisis akan melihat bagaimana penambahan kapacitor bank akan mempengaruhi penyediaan daya tambahan. Beberapa aspek yang perlu dipertimbangkan dalam analisis ini meliputi: seberapa besar kapasitas daya reaktif beban gardu induk dibandingkan dengan daya aktif yang memungkinkan dapat memperburuk faktor daya pada sistem, bagaimana dampak penurunan tegangan akibat kondisi perbandingan daya reaktif dan daya aktif yang sedang dilayani, dan seberapa besar pengaruhnya kepada rugi-rugi daya pada transmisi dan trafo.

Namun, seiring dengan meningkatnya permintaan energi listrik, kapasitas trafo pada gardu induk 150 KV tidak mencukupi untuk memenuhi permintaan beban energi listrik. Hal ini menyebabkan terjadinya permasalahan, seperti: beban melebihi kapasitas trafo yang menyebabkan tegangan disisi keluaran trafo akan mengalami penurunan yang dapat mengganggu pengoperasian peralatan listrik, pada saat kapasitas trafo melebihi batasnya dapat mengakibatkan kerusakan pada trafo.

Dengan terjadinya permasalahan tidak mencukupinya energi listrik untuk memenuhi permintaan beban energi listrik yang diakibatkan oleh kurangnya daya trafo untuk memenuhi permintaan beban maka diperlukan untuk menambah daya tambahan pada trafo. Untuk meminimalisirkan terjadinya kurangnya kapasitas trafo untuk memenuhi permintaan beban energi listrik tersebut, Maka dari itu

perlu dilakukan ANALISIS PENGARUH KAPASITOR BANK TERHADAP PENYEDIAAN DAYA TAMBAHAN PADA TRAFU GARDU INDUK 150 KV.

## **1.2. Rumusan Masalah**

Berdasarkan yang telah diuraikan pada latar belakang, maka rumusan masalah dari penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Perbandingan daya reaktif dan daya aktif tidak boleh membuat faktor daya rendah, yang dapat mengganggu penurunan tegangan dan rugi – rugi daya.
2. Jika digunakan pengurangan daya reaktif yang induktif solusi yang mungkin adalah menggunakan kapasitor bank, maka perlu dikaji bagaimana analisis penggunaan kapasitor bank pada lokasi gardu induk agar dapat meningkatkan penyediaan daya tambahan pada trafo gardu induk 150 kV.

## **1.3. Tujuan Penelitian**

Dengan mengacu pada rumusan masalah yang telah dipaparkan diatas, maka terdapat beberapa tujuan penelitian ini, yakni:

1. Untuk mengurangi daya reaktif induktif yang dapat memaksimalkan daya aktif sehingga dapat menambah kapasitas trafo.
2. Untuk menganalisis dampak Pengurangan daya reaktif terhadap rugi rugi daya pada gardu induk 150 kV.
3. Untuk Mengidentifikasi cara penyambungan kapasitor bank pada gardu induk 150 kV.

#### **1.4. Manfaat Penelitian**

Melalui pelaksanaan penelitian ini, manfaat yang diharapkan yaitu sebagai berikut:

1. Penelitian ini dapat membantu dalam meningkatkan kemampuan gardu induk untuk menyediakan daya tambahan saat diperlukan.
2. Penelitian ini dapat meningkatkan kinerja sistem tenaga listrik secara keseluruhan, termasuk peningkatan keandalan dan efisiensi dalam penyediaan daya kepada konsumen.
3. Penelitian ini dapat membantu menjaga stabilitas tegangan pada gardu induk 150 kV, terutama saat terjadi fluktuasi beban.

#### **1.5. Batasan Masalah**

Batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini hanya membahas variasi kapasitas capacitor bank yang dapat digunakan dalam gardu induk 150 kV.
2. Penelitian ini hanya membahas penambahan daya sebagai salah satu aspek utama dalam penggunaan capacitor bank.

#### **1.6. Metodologi Penulisan**

Metodologi penulisan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Studi literatur

Studi literatur ialah pendekatan penelitian yang dilakukan dengan cara mencari referensi atas landasan teori yang relevan dengan kasus atau permasalahan yang ditemukan. Referensi tersebut bisa dicari dari buku, jurnal, artikel, laporan penelitian dan situs-situs online internet. Output yang dihasilkan dari studi literatur ialah terkoleksinya referensi yang relevan dengan rumusan masalah.

2. Observasi lapangan

Melakukan observasi lapangan, dengan pengamatan secara langsung ke lapangan analisis data dan kesimpulan data sampai dengan penulisan

mempergunakan aspek pengukuran, perhitungan, rumus, kepastian data numerik.

3. Analisa

Analisa adalah tindakan yang memuat sejumlah kegiatan seperti mengurangi, membedakan, memilah sesuatu untuk digolongkan dan dikelompokan menurut kriteria tertentu kemudian dicari kaitannya dan ditafsirkan untuk mengetahui mutu suatu (ketulenan, kecakapan, dan sebagiannya).

4. Pengujian

Pengujian data merupakan proses menilai keabsahan dan keandalan data. Tujuan pengujian data adalah untuk memastikan bahwa data yang digunakan dalam penelitian itu akurat, dapat dipercaya, dan relevan. Teknik pengujian data yang digunakan tergantung pada jenis data, metode pengumpulan data, dan tujuan penelitian.

## 1.7. **Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

### **BAB I: PENDAHULUAN**

Terdiri dari latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, metodologi penulisan, sistematika penulisan.

### **BAB II: LANDASAN TEORI**

Membahas penjelasan tentang teori - teori yang berkaitan dengan penelitian. Landasan teori berfungsi untuk mendukung argumen peneliti, menjelaskan konsep yang digunakan dalam penelitian dan berbagai referensi yang mendukung serta mempunyai relevansi dengan penelitian ini.

### **BAB III: METODE PENELITIAN:**

Berisikan metode penelitian yang akan digunakan, lokasi, waktu penelitian dan objek penelitian yang akan digunakan untuk mengambil data. Metode penelitian yang dipilih harus sesuai

dengan jenis penelitian, tujuan penelitian, dan pertanyaan penelitian.

#### **BAB IV: ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

Analisis dan pembahasan Berisikan uraian analisis dan pembahasan data yang diperoleh dari hasil penelitian pada lokasi pengambilan data. Bertujuan untuk menafsirkan dan menjelaskan hasil penelitian. Pada bagian ini, peneliti menghubungkan hasil penelitian dengan teori, temuan penelitian lain, dan konteks penelitian. Analisis dan pembahasan harus ditulis secara cermat, logis, dan sistematis.

#### **BAB V: KESIMPULAN DAN SARAN**

Kesimpulan berisi tentang ringkasan temuan penelitian dan jawaban atas pertanyaan penelitian. Kesimpulan harus ditulis secara jelas, ringkas, dan padat. Kesimpulan harus didasarkan pada hasil analisis data dan interpretasi yang telah dilakukan oleh peneliti.

Saran merupakan bagian penting dari skripsi yang berisi rekomendasi untuk penelitian selanjutnya atau penerapan hasil penelitian. Saran harus ditulis secara jelas, terarah, dan praktis. Saran harus didasarkan pada kelemahan penelitian, keterbatasan penelitian, dan potensi penelitian.

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1. Gardu Induk**

Gardu induk merupakan tempat mentransformasikan daya listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya. Gardu induk juga tempat peletakan peralatan sistem tenaga seperti lightning arrester, transformator, saklar pemutus, saklar pemisah, trafo arus, trafo tegangan, saklar pembumian, netral grounding resistansi, circuit breaker rel busbar, konduktor dan isolator.

Gardu Induk sebagai salah satu komponen pada sistem penyaluran tenaga listrik memegang peranan yang sangat penting karena merupakan penghubung pelayanan tenaga listrik ke konsumen. Fungsi Gardu Induk adalah:<sup>1</sup>

1. Menerima dan menyalurkan tenaga listrik sesuai dengan kebutuhan pada tegangan tertentu dengan aman dan dapat diandalkan
2. Penyaluran daya ke gardu induk lainnya dan gardu – gardu distribusi melalui penyulang tegangan menengah.

Gardu Induk menurut pemasangan peralatan terbagi atas 2 jenis yaitu:

- Gardu Induk Konvensional
- Gas Insulated Substation (GIS)

#### **2.2. Transmisi dan Distribusi**

Saluran transmisi merupakan saluran sistem tenaga listrik dari pusat-pusat pembangkitan ke pusat-pusat beban melalui saluran tegangan tinggi 150 kV atau melalui saluran transmisi tegangan ekstra tinggi 500 kV. Trafo penurunan akan merendahkan tegangan ini menjadi tegangan subtransmisi 70 kV yang kemudian di gardu induk diturunkan lagi menjadi tegangan distribusi primer 20 kV. Pada gardu induk distribusi yang tersebar di pusat-pusat beban tegangan diubah oleh trafo distribusi menjadi tegangan rendah 220/380 V. Transmisi tenaga listrik merupakan proses penyaluran tenaga listrik dari tempat pembangkit tenaga listrik (Power Plant) hingga substation distribution sehingga dapat disalurkan sampai

---

<sup>1</sup> Santosa, Julius & Gunawan, Samuel Marco. (2013). *Analisa Perancangan Gardu Induk Sitem Outdoor 150KV di Talasa, kabupaten Takalar, Sulawesi Selatan*. Jurnal dimensi Teknik elektro.

pada konsumen pengguna listrik melalui suatu bahan konduktor (Pramono, 2010).<sup>2</sup>

### 2.3. Transformator

Transformator adalah suatu alat yang dapat memindahkan (menyalurkan) dan mengubah besar daya listrik dari satu rangkaian ke rangkaian listrik yang lain dengan frekuensi yang sama berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik. Panjaitan, R. (1989), menerangkan bahwa tegangan yang diterima dapat dinaikkan atau diturunkan sesuai dengan besar kecilnya arus dalam rangkaian. Daya listrik yang dipindahkan dan diubah tersebut adalah tegangan dan arus bolak-balik (AC). Jenis-jenis transformator sangat bervariasi, tetapi secara umum dapat diklasifikasikan atas tiga jenis, yaitu Transformator Daya, Transformator Distribusi, dan Transformator Pengukuran. Pada umumnya jenis transformator yang dipergunakan sebagai Transformator Daya dan Transformator Distribusi adalah transformator tiga fasa, sebagai penyalur tenaga listrik dari pembangkit ke beban. Transformator tiga fasa terdapat dua hubungan belitan utama yaitu hubungan delta dan hubungan bintang. Hubungan delta-delta ( $\Delta$ - $\Delta$ ) adalah hubungan yang paling efektif digunakan untuk tegangan rendah dengan arus beban yang besar. Hubungan belitan ini juga merupakan hubungan belitan yang paling banyak digunakan, jika dibandingkan dengan berbagai macam hubungan belitan lainnya.<sup>3</sup>

### 2.4. Faktor Daya (Power Faktor)

Faktor daya yang merupakan rasio daya nyata terhadap daya tampak merupakan faktor indikator penting tentang bagaimana efektifnya sebuah beban melaksanakan fungsinya sehubungan dengan disipasi daya, yang didefinisikan sebagai:

$$PF = \frac{P}{S} \quad (2.1)$$

---

<sup>2</sup> D. Aribowo & Desmira, "Analisis Kerugian Daya Pada Saluran Transmisi Tegangan Ekstra Tinggi 500 Kv Unit Pelayanan Transmisi Cilegon Baru - Cibinong," dkk / Volt - Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Elektro 1 (1) (2016) 29-36

<sup>3</sup> S. pelpinus, "Kajian Unjuk Kerja Beban Tidak Seimbang Pada Trafo Open Delta," Jurnal Simetrik Vol.7, No.1, Juni 2017

Maka faktor daya (PF) adalah perbandingan antara daya nyata P (Watt) dengan daya tampak S (VA). Dalam diagram daya, PF adalah cosinus sudut antara daya aktif dan daya tampak. Faktor daya dapat ditulis menjadi:

$$\begin{aligned} PF &= \frac{P}{S} = \frac{\text{Daya Nyata}}{\text{Daya semu}} \\ &= \frac{P}{S} = \frac{S \cos \varphi}{S} \end{aligned} \quad (2.2)$$

Sehingga didapat persamaan faktor daya ditulis menjadi:

$$PF = \cos \varphi$$

Atau dapat ditulis menjadi:

$$\cos \varphi = \frac{p(\text{daya aktif})}{s(\text{daya semu})} \quad (2.3)$$

sudut  $\varphi$  adalah sudut yang dibentuk antara sisi daya aktif P dan daya tampak S, sedangkan daya reaktif Q tegak lurus terhadap daya aktif P. Efisiensi daya yang lebih adalah ketika P sama atau mendekati S, yaitu ketika  $\cos \varphi = 1$  atau mendekati 1. Faktor daya yang rendah merugikan karena mengakibatkan arus beban tinggi, oleh karena itu dalam perbaikan PF diperlukan keseimbangan antara sifat kapasitif dan induktif dalam rangkaian.<sup>4</sup>

1. Daya Aktif (kW): Merupakan bagian dari daya listrik yang benar-benar diubah menjadi bentuk energi yang berguna, seperti panas, cahaya, atau gerakan mekanis. Daya aktif inilah yang diukur dalam kilowatt (kW). Contohnya, daya aktif digunakan untuk menghasilkan cahaya dari lampu atau menggerakkan motor listrik.

---

<sup>4</sup> Dani, Ahmad dan Hasanuddin, Muhammad. 2018. "Perbaikan Faktor Daya Menggunakan Kapasitor Sebagai Kompensator Daya Reaktif (Studi Kasus Stt Sinar Husni)" STMIK Royal – AMIK Royal: Hal. 673 – 678.

2. Daya Reaktif (kVAR): Merupakan bagian dari daya listrik yang dihasilkan oleh perangkat atau beban induktif dalam sirkuit listrik. Daya reaktif tidak menghasilkan kerja berguna, tetapi diperlukan untuk menghasilkan medan magnetik yang digunakan dalam perangkat seperti motor induksi atau transformator. Daya reaktif diukur dalam kilovolt-ampere reaktif (kVAR).
3. Daya Total (kVA): Adalah jumlah dari daya aktif dan daya reaktif dalam sirkuit listrik. Daya total diukur dalam kilovolt-ampere (kVA). Daya total ini mencerminkan beban sebenarnya yang diterapkan pada sirkuit.

### **2.5. Kapasitor Bank**

Kapasitor Bank merupakan komponen yang berfungsi untuk menghasilkan daya reaktif untuk mengkompensasi kebutuhan daya reaktif pada beban. Dimana peralatan listrik yang sering digunakan dan dijumpai memiliki karakteristik induktif, sehingga untuk menyeimbangkan karakteristik beban tersebut perlu digunakan kapasitor yang berperan sebagai beban kapasitif. Untuk jaringan distribusi yang bebannya berupa industri yang banyak menggunakan motor listrik, maka faktor daya beban menjadi rendah. Bila faktor daya rendah, maka daya semu yang harus dikirim dari sumber untuk melayani daya nyata beban menjadi lebih besar. Hal ini mengakibatkan arus yang mengalir pada jaringan menjadi besar juga. Untuk memperkecil arus jaringan, dapat dilakukan dengan menaikkan faktor daya beban. Menaikkan faktor daya dengan cara menambah Kapasitor Bank pada bus beban. Dengan faktor daya yang lebih tinggi, maka arus yang mengalir pada jaringan untuk melayani daya nyata beban dapat berkurang. Dengan demikian turun tegangan dan rugi daya yang terjadi pada jaringan akan berkurang.

Untuk memperbaiki faktor daya pada umumnya menggunakan kapasitor statik. Kapasitor ini memiliki instalasi pemeliharaan yang terbilang sederhana. Kapasitor ini juga dapat diletakan pada dinding ataupun tiang penyangga apabila tidak tersedia permukaan datar.



**Gambar 2.1.** Kapasitor Bank 150 KV

Berikut ini adalah beberapa kegunaan dari kapasitor bank:

- 1) Memperbaiki Power Factor (faktor daya) PF
- 2) Menyuply daya reaktif sehingga mamaksimalkan penggunaan daya komplek (KVA)
- 3) Mengurangi jatuh tegangan (Voltage drop)
- 4) Menghindari kelebihan beban transformer
- 5) Memberikan tambahan daya tersedia
- 6) Menghindari kenaikan arus/suhu pada kabel
- 7) Menghemat daya / efesiensi
- 8) Mengawetkan instalasi & Peralatan Listrik
- 9) Kapasitor bank juga mengurangi rugi-rugi lainnya pada instalasi listrik.<sup>5</sup>

---

<sup>5</sup> Permadi, Y., & Santoso, D. B. (2023). Analisis Penggunaan Kapasitor Bank Untuk Meningkatkan Faktor Daya Pada Ruangan MCC di PT. X Purwakarta. Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan, Desember 2023, 9 (25), 906

### 2.5.1. Jenis Kapasitor Bank

Beberapa jenis kapasitor bank yang digunakan pada sistem tenaga listrik dapat kita lihat dibawah ini sebagai berikut:

#### 1. Kapasitor daya frekuensi 50 atau 60 Hz.

Kapasitor ini terbagi menjadi tiga yaitu: Kapasitor shunt, seri, dan penyadap.

- a. **Kapasitor shunt** digunakan sebagai kompensasi beban induktif dan untuk pengaturan tegangan ujung transmisi.
- b. **Kapasitor seri** digunakan pada transmisi daya yang sangat panjang untuk mengkompensasi reaktansi induktif transmisi.
- c. **Kapasitor penyadap** digunakan untuk menyadap daya dari jaringan tegangan tinggi untuk keperluan daya yang tidak begitu besar.

#### 2. Kapasitor gandeng

Kapasitor yang digunakan untuk membawa sinyal komunikasi antar gardu induk atau antar pusat pembangkit.

#### 3. Kapasitor pembagi tegangan

Kapasitor yang digunakan untuk pengukuran tegangan transmisi dan rel daya

#### 4. Kapasitor filter

Kapasitor yang digunakan untuk converter, terutama pada sistem transmisi arus searah.

#### 5. Kapasitor perata

Kapasitor yang digunakan untuk meratakan distribusi tegangan pada peralatan tegangan tinggi seperti pada pemutus daya.<sup>6</sup>

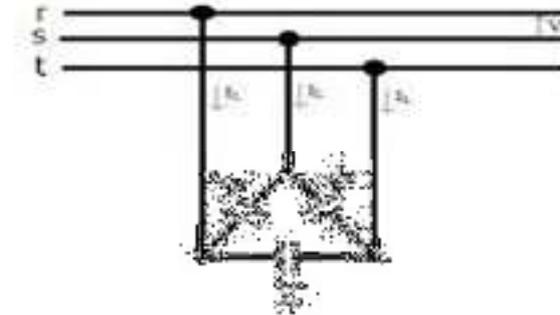
---

<sup>6</sup> Alihamdan.id (2022, 5 Agustus) Kapasitor Bank: Pengertian, Fungsi, dan Cara kerjanya. Diakses pada 1 Februari 2024, dari : <https://alihamdan.id/kapasitor-bank/>

### 2.5.2. Penyambungan Kapasitor Bank

Pada sistem tiga fasa, rangkaian hubung kapasitor bank dapat berupa hubung delta dan star. Berikut penyambungan delta dan star pada kapasitor bank:

#### 1. Hubung Delta



**Gambar 2.2.** Rangkaian Hubung Delta

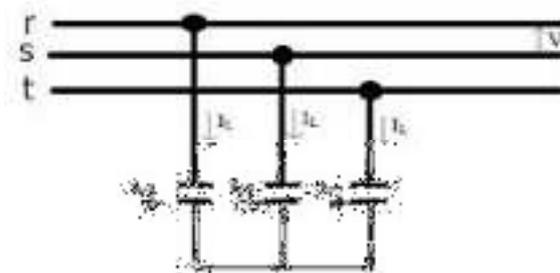
Pada rangkaian delta :

$$V_C = V_L \quad (2.4)$$

$$I_c = V_C / X_C \quad (2.5)$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi f c} \quad (2.6)$$

#### 2. Hubung Star



**Gambar 2.3.** Rangkaian Hubung Star

Pada rangkaian star :

$$O_C = \sqrt{3} \times I_C \times V_C \quad (2.7)$$

$$I_C = \frac{V_C}{X_C} = \frac{V_L / \sqrt{3}}{X_C} \quad (2.8)$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi f c} \quad (2.9)$$

### 2.5.3. Kapasitas Kapasitor Bank

Kapasitor bank harus memiliki tegangan kerja yang lebih tinggi dari tegangan sistem. Tegangan kapasitor bank 150 kV, 25 MVAR dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut dibawah ini.

#### 1. Daya reaktif per kapasitor (Q1):

$$Q1 = Q / n \quad (2.10)$$

Keterangan:

Q1: Daya reaktif per kapasitor (MVAR)

Q : Daya reaktif total (MVAR)

n : Jumlah kapasitor

#### 2. Kapasitas kapasitor (C):

$$Qc = \frac{Vc^2}{1/(2 \times \pi \times f \times C)} = 2\pi fcVc^2$$
$$C = \frac{Qc}{2\pi fVc^2} \quad (2.11)$$

Keterangan:

F : Frekuensi (Hz)

C : Kapasitas kapasitor ( $\mu$ F)

#### 3. Pemulihan Akibat Pemilihan Kapasitor

$$P = \sqrt{S^2 - Qn^2} \quad (2.12)$$

Keterangan:

P : Daya aktif

S : Daya semu

Qn : Daya reaktif total

### 2.5.4. Prinsip Kerja Kapasitor Bank

Kapasitor bank bekerja dengan cara menambahkan kapasitansi ke dalam sistem listrik dan meningkatkan faktor daya dalam rangkaian listrik. Faktor daya adalah rasio antara daya aktif dan daya total yang dikonsumsi oleh suatu beban listrik. Ketika kapasitor bank dihubungkan ke sistem listrik, kapasitor mulai

mengisi muatan hingga mencapai kapasitas. Setelah sumber tegangan dilepas, maka kapasitor bank akan melepas muatannya melalui sirkuit yang terhubung.<sup>7</sup>

Kapasitor bank bekerja untuk mengurangi arus reaktif pada sistem listrik dan meningkatkan daya aktif yang dapat digunakan oleh beban. Arus reaktif adalah arus yang terjadi karena kapasitansi atau induktansi pada suatu beban listrik, yang menyebabkan hilangnya energi listrik dan penurunan efisiensi sistem. Dengan menambahkan kapasitansi melalui kapasitor bank, arus reaktif dapat dikurangi sehingga daya aktif yang berguna dapat lebih banyak digunakan oleh beban. Kapasitor bank juga membantu meningkatkan voltase di sistem listrik, karena mengurangi jatuh tegangan yang terjadi akibat arus reaktif yang berlebihan. Dengan demikian, kapasitor bank membantu meningkatkan efisiensi sistem listrik dan mencegah kerusakan pada peralatan listrik akibat tegangan yang tidak stabil.

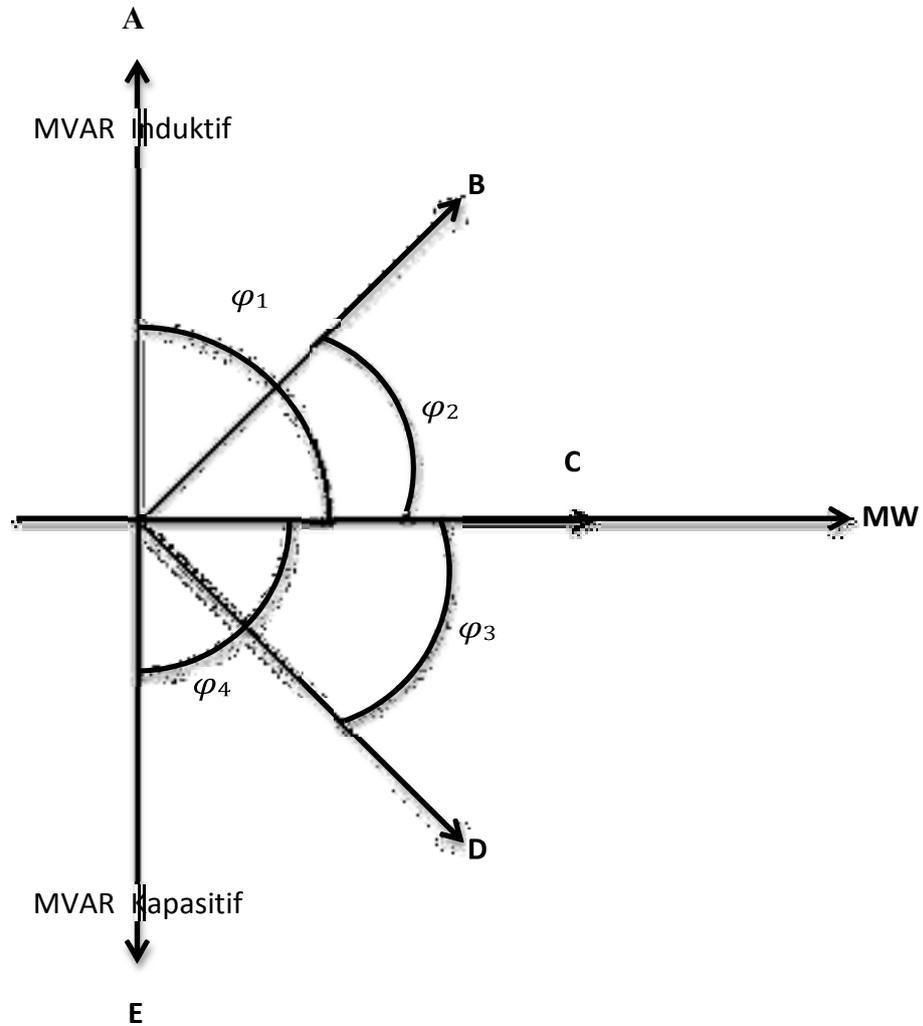
Untuk memaksimalkan kinerja kapasitor bank, biasanya dipasang perangkat kontrol otomatis yang dapat mengaktifkan atau menonaktifkan kapasitor bank secara otomatis sesuai dengan kebutuhan beban listrik. Hal ini memastikan bahwa kapasitor bank hanya bekerja saat diperlukan untuk memperbaiki faktor daya dan mencegah kerusakan pada sistem listrik akibat kapasitor bank yang berlebihan.

---

<sup>7</sup> Randra Agustio Efryansah (Mar 23, 2024) Kapasitor: Pengertian, Fungsi, Cara Kerja, Dan Jenisnya. Diakses pada 1 juni 2024, dari <https://kelasteknisi.com/2023/10/kapasitor.html>

## 2.6. Perubahan Rugi – Rugi Daya

Efisiensi dan keandalan sistem tenaga listrik sangat bergantung pada upaya meminimalisir rugi-rugi daya. Rugi-rugi timbul akibat adanya hambatan pada konduktor, transformator, dan peralatan lainnya, yang berakibat pada hilangnya sebagian energi listrik dalam bentuk panas.



**Gambar 2.4.** (a) Prinsip perubahan rugi daya

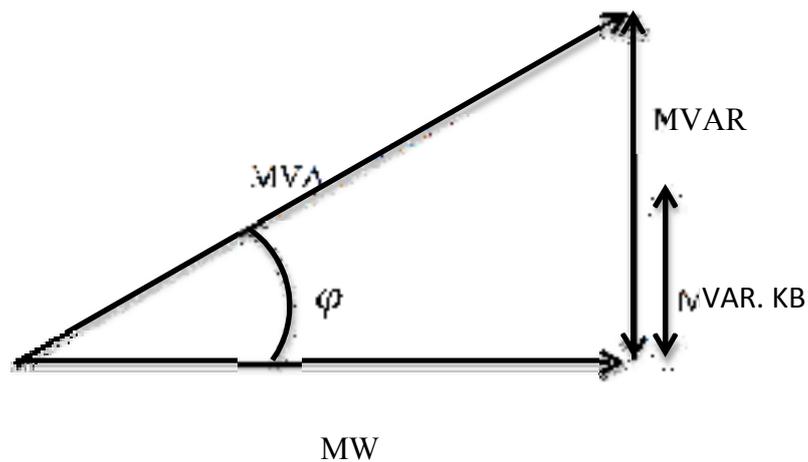
A, B, C, D, E = MVA

A = Murni induktif = MVA =  $MVAR_i$

E = Murni kapasitif = MVA =  $MVAR_k$

= Murni resistif = MVA = MW

B, D = Lagging, Leading =  $MVA^2 = MW^2 + MVAR^2$



**Gambar 2.5.** (b) Prinsip perubahan rugi daya

## 2.7. Perbaikan Faktor Daya

Faktor daya yang baik adalah ketika daya reaktif dalam sistem relatif rendah dibandingkan dengan daya aktif. Faktor daya idealnya adalah 1, yang berarti semua energi yang disalurkan ke sistem digunakan secara efisien tanpa pemborosan. Namun, dalam banyak kasus, faktor daya seringkali kurang dari 1 karena adanya beban induktif.

Konsekuensi dari faktor daya rendah dapat meliputi pemborosan energi, peningkatan arus yang mengalir dalam sistem listrik, peningkatan rugi-rugi daya, dan penurunan kapasitas sistem. Oleh karena itu, perbaikan faktor daya sering kali menjadi prioritas dalam sistem distribusi tenaga listrik. Salah satu cara untuk meningkatkan faktor daya adalah dengan menggunakan kapasitor bank, yang bekerja untuk mengkompensasi daya reaktif dan meningkatkan efisiensi penggunaan energi dalam sistem listrik.

Perbaikan faktor daya dengan kapasitor bank dilakukan dengan menentukan kapasitas kapasitor yang dibutuhkan untuk memperbaiki faktor daya beban. Kapasitas kapasitor bank dapat dihitung dengan persamaan berikut:<sup>8</sup>

$$Q_c = (Q_1 - Q_2) \tag{2.13}$$

<sup>8</sup> Anto & Azriyenni Azhari Zakri, Analisis Kebutuhan Kapasitor Bank Untuk Memperbaiki Faktor Daya Pada Gardu Induk Garuda Sakti 150 Kv. Jom FTEKNIK Volume 8 Edisi 2 Juli s/d Desember 2021

Dimana:

$Q_c$  = Daya reaktif kapasitor bank yang dibutuhkan

$Q_1$  = Daya reaktif sebelum perbaikan

$Q_2$  = Daya reaktif sesudah perbaikan

## 2.8. Tegangan Jatuh

Jika Anda mengukur tegangan di ujung transmisi dan mengurangnya dengan tegangan di ujung penerima, Anda akan mendapatkan nilai penurunan tegangan. Beberapa faktor yang menyebabkan penurunan tegangan ini antara lain kelebihan beban, panjang jaringan, dan faktor daya. Kapasitor daya terdiri dari pelat logam yang dipisahkan satu sama lain dan dari bahan isolasi yang berfungsi sebagai komponen konduktif. Meskipun tidak ada bagian mekanis yang bergerak, terdapat gaya yang sebanding dengan intensitas medan listrik.

Daya reaktif induktif yang dapat menyebabkan penurunan tegangan dan kerugian daya pada saluran distribusi meningkat sebanding dengan panjang saluran dan jumlah motor yang digunakan. Dengan menggunakan bank kapasitor yang memiliki beban dan kapasitas yang sesuai, sumber daya reaktif kapasitif dapat digunakan untuk memperbaiki penurunan tegangan pada jalur distribusi utama.

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

$$\Delta V = \frac{V_S - V_R}{V_S} \times 100\% \quad (2.14)$$

Keterangan:

$(\Delta V)$  : Nilai Jatuh Tegangan (%)

$V_S$  : Tegangan Pada Sisi Kirim (Volt)

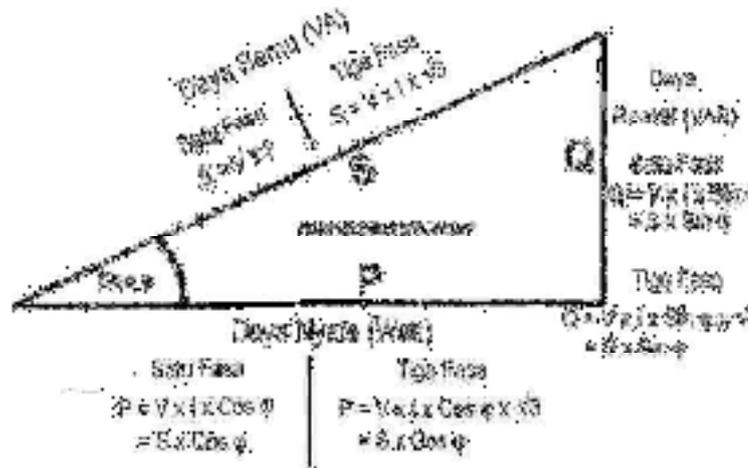
$V_R$  : Tegangan Pada Sisi Terima (Volt)<sup>9</sup>

---

<sup>9</sup> Ferdinansah, B. Margiantono, A. Ahmad, F. 2023. Analisis Pengaruh Kapasitor Bank Terhadap Nilai Faktor Daya dan Nilai Jatuh Tegangan. *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 5 (2): 236

## 2.9. Segi Tiga Daya

Segitiga Daya adalah sebuah segitiga siku-siku (trigonometri) yang digunakan untuk memudahkan dalam menghitung daya aktif, daya semu dan daya reaktif.



Gambar 2.6. Segitiga daya

Rumus Segitiga Daya:

Pada listrik satu fasa

$$P = V \times I \times \cos \phi \quad (2.15)$$

$$S = V \times I \quad (2.16)$$

$$Q = V \times I \times \sin \phi \quad (2.17)$$

Pada listrik tiga fasa

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \phi \quad (2.18)$$

$$S = V \times I \times \sqrt{3} \quad (2.19)$$

$$Q = V \times I \times \sin \phi \times \sqrt{3} \quad (2.20)$$

Ke tiga daya ini terdapat pada listrik satu fasa maupun listrik tiga fasa dan saling berkaitan atau berhubungan satu sama lain. Nilai dari ketiga daya ini juga sangat dipengaruhi oleh cos phi ( $\cos \phi$ ). Pada dasarnya daya listrik dibagi menjadi tiga yaitu:

### 1. Daya Aktif atau Daya Nyata W ( WATT)

Daya aktif adalah suatu daya yang sesungguhnya terpakai untuk melakukan kerja terhadap beban atau merupakan daya yang sesungguhnya dibutuhkan beban. Daya ini digunakan untuk mengubah suatu energi listrik menjadi bentuk energi lain. Misalkan pada sebuah

lampu dimana ada konversi energi listrik menjadi energi cahaya. Satuan dari daya aktif adalah Watt dan daya aktif ini bisa terjadi pada beban induktif maupun beban resistif.

## **2. Daya Semu VA(Volt Ampere)**

Merupakan keseluruhan kapasitas daya yang belum terpakai. Kapasitas daya ini yang disediakan oleh PLN dengan satuan VA (Volt Ampere). Pada persamaan segitiga daya bisa dilihat bahwa daya semu ini tidak terdapat  $\cos \phi$  ( $\cos \phi$ ).

## **3. Daya Reaktif VAR (Volt Ampere Reaktif)**

Daya reaktif adalah sebuah daya yang terserap untuk pembentukan medan magnet. Daya ini ditimbulkan oleh beban induktif seperti transformator, motor, dan lain lain. Beban induktif disebabkan oleh lilitan kawat atau kumparan yang digunakan untuk membangkitkan medan magnet agar peralatan listrik dapat bekerja dengan baik. Satuan dari Daya Reaktif ini adalah VAR (Volt Ampere Reaktif).<sup>10</sup>

---

<sup>10</sup> Kurniawan, A. (2020, 30 Juni) Memahami Segitiga Daya. Diakses pada 1 Februari 2024, dari: <https://www.teknikelektro.com/2020/06/memahami-segitiga-daya.html>

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

Metode penelitian merupakan rangkaian langkah atau teknik yang digunakan untuk mengumpulkan dan menganalisis data dengan tujuan menjawab pertanyaan penelitian atau menyelesaikan masalah tertentu. Penelitian yang dilakukan termasuk jenis penelitian deskriptif kuantitatif. Penelitian ini bertujuan untuk menjelaskan atau mendeskripsikan suatu kondisi secara faktual dan menarik kesimpulan berdasarkan fenomena yang dapat diukur dengan angka. Secara umum, penelitian deskriptif mengumpulkan data mengenai keadaan suatu fenomena pada saat penelitian berlangsung (Kalsum & Sulastri, 2023).

#### **3.1. Tempat Dan Waktu Penelitian**

Penelitian ini dilaksanakan di Gardu induk Titikuning yang berada di Jl. Suka Tirta No.54, Suka Maju, Kec. Medan Johor, Kota Medan, Sumatera Utara. Waktu Penelitian dilaksanakan pada bulan April 2024, dari jam 08.00 – 16.00 dengan selang waktu setiap 4 jam sekali.

Alasan peneliti memilih lokasi penelitian di Gardu Induk Titikuning karena pada lokasi tersebut terdapat kapasitor bank sesuai dengan judul tugas akhir peneliti dan juga untuk mengoptimalkan waktu peneliti kelokasi penelitian.

#### **3.2. Daya Tambahan**

Penyediaan daya tambahan pada gardu induk dengan menggunakan kapasitor bank adalah sebagai salah satu cara untuk meningkatkan faktor daya, kapasitor dapat meningkatkan daya tambahan pada trafo untuk dapat mensuplai lebih banyak daya aktif ataupun daya semu tanpa harus melebihi kapasitasnya. Untuk penyediaan daya tambahan terhadap gardu induk dapat dilihat dari kondisi awal trafo yaitu 60 MVA. Setelah diketahui kondisi awal MVA, peneliti juga harus mengetahui kondisi daya aktif (MW, bagaimana kondisi daya aktif) pada saat rendah dan bagaimana kondisi daya aktif (MW) pada saat tertinggi. Bagaimana data awal dan apa yang terjadi dengan data yg diperoleh. Maka daya tambahan dapat diperoleh dengan menggunakan rumus – rumus sebagai berikut:

$$P = S \times \cos \varphi$$

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$$

$$Q_c = Q_1 - Q_2$$

Daya tambahan:

$$P = P_2 - P_1$$

### 3.3. Pengurangan Daya Reaktif

Pengurangan daya reaktif dapat dilakukan dengan cara menambahkan komponen kapasitif kedalam sistem. Komponen kapasitif akan menghasilkan daya reaktif kapasitif yang berlawanan dengan fasa daya reaktif induktif dari beban. Dengan demikian daya reaktif dalam sistem dapat berkurang. Maka pengurangan daya reaktif dapat dilihat dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$P = S \cos \varphi$$

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}$$

$$\varphi = S \times \tan(\arccos \varphi)$$

$$Q_c = (Q_1 - Q_2)$$

### 3.4. Penambahan Daya Akibat Perbaikan Faktor Daya

Memperbaiki faktor daya atau dengan kata lain bisa disebut mengurangi MVAR induktif. Sifat beban induktif menghasilkan daya reaktif yang tidak menghasilkan kerja nyata, tetapi hanya bolak balik antara sumber dan beban, sehingga menyebabkan terjadinya pengurangan kapasitas kabel dan trafo, dan dapat menyebabkan turunnya tegangan. Maka untuk mengurangi beban induktif dengan kapasitor bank. Kapasitor bank bekerja untuk mengurangi arus reaktif pada sistem listrik dan meningkatkan daya aktif yang dapat digunakan oleh beban.

Ketika kapasitor bank dihubungkan ke sistem listrik, kapasitor bank akan menyerap arus yang mengalir di sistem listrik dan menyimpan energi listriknya dalam bentuk medan listrik di dalam kapasitor. Kemudian, saat tegangan pada sistem listrik turun, kapasitor bank akan membebaskan energi listriknya ke dalam

sistem dan memperbaiki faktor daya. Maka untuk memperbaiki faktor daya dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan dibawah ini:

1. Daya aktif pada saat  $\cos \varphi = 0,85$  dan  $\cos = 0,99$

$$P = S \times \cos \varphi$$

2. Kapasitas kapasitor yang diperlukan untuk menaikkan faktor daya dari 85% atau  $\cos 0,85$  menjadi 99% atau  $\cos 0,99$  adalah sebagai berikut:

$$Q_c = Q_1 - Q_2$$

Dimana :

$Q_c$  = Daya reaktif kapasitor bank yang dibutuhkan

$Q_1$  = Daya reaktif sebelum perbaikan

$Q_2$  = Daya reaktif sesudah perbaikan

### 3.5. Kapasitas Kapasitor Bank

Kapasitas kapasitor bank dapat dihitung Jika diketahui; Tegangan per kapasitor ( $V_1$ ), Jumlah kapasitor ( $n$ ), Frekuensi ( $f$ ) dan Daya reaktif total ( $Q$ ).

Maka untuk menghitung kapasitas kapasitor dapat menggunakan persamaan berikut:

1. Daya reaktif per kapasitor ( $Q_1$ ):

$$Q_1 = Q / n$$

2. Kapasitas kapasitor ( $C$ ):

$$Q_c = \frac{Vc^2}{1/(2 \times \pi \times f \times C)} = 2\pi fcVc^2$$

$$C = \frac{Q}{2\pi fVc^2}$$

3. Pemulihan Akibat Pemilihan Kapasitor

$$P = \sqrt{S^2 - Qn^2}$$

### 3.6. Perhitungan Pengukuran Kapasitor Bank

Dari hasil pengamatan dan pengukuran kapasitor bank pada GI 150 KV pada April 2024, penulis melakukan pengamatan dan pengukuran terjun langsung kelapangan. Pada awalnya penulis melakukan pengamatan dan pengukuran setiap 4 jam sekali untuk dapat memperoleh data pada tabel 4.1 sampai dengan tabel

4.10. Dari hasil pengukuran penulis dapat melakukan perhitungan dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

1. Daya aktif

$$P = \frac{V \times I \times \cos \varphi \times \sqrt{3}}{1000}$$

2. Daya semu

$$S = \frac{V \times I \times \sqrt{3}}{1000}$$

3. Daya reaktif

$$Q = \frac{V \times I \times \sin \varphi \times \sqrt{3}}{1000}$$

### 3.7. Pengambilan Data Lapangan

Pada tahap ini dilakukan pengambilan data secara langsung di lapangan. Pengambilan data yang diambil meliputi Pembacaan tegangan, arus, daya semu, daya aktif, daya reaktif, faktor daya dan pengukuran kapasitor bank dari pagi, siang, dan sore dilakukan bersamaan dengan pengukuran lainnya untuk mengambilkkan data-data yang diperlukan. Adapun alat yang digunakann dalam pengambilan data tersebut ialah:

1. Multimeter Ardetem Peca 3000

Multimeter Ardetem Peca 3000 merupakan alat analisa jaringan yang dirancang khusus untuk pengukuran, pemantauan, dan pengendalian semua parameter dalam jaringan Listrik.

2. Handphone

Sebagai alat dokumentasi penelitian untuk mengumpulkan foto tegangan masuk ataupun keluar (*in or output*) selama penelitian berlangsung.

### 3.8. Prosedur Penelitian

Sebelum peneliti terjun langsung kelapangan, terlebih dahulu peneliti membuat langkah-langkah kegiatan yang akan mempermudah terlaksananya penelitian ini. Adapun langkah-langkah penelitian dalam Tugas Akhir ini ialah sebagai berikut:

## 1. Studi Literatur

Pada tahap ini, peneliti mencari referensi yang relevan dengan rumusan masalah penelitian ini dari berbagai sumber misalnya: jurnal, artikel, buku dll, untuk menjadi panduan peneliti pada saat pelaksanaan dan penulisan Tugas Akhir.

## 2. Pengamatan Dan Pengambilan Data

Pada tahap pengamatan dan pengambilan data, peneliti melakukan pencatatan sistematis yang dapat digunakan untuk mengambil data dilapangan saat penelitian berlangsung.

## 3. Perhitungan Data Lapangan

Pada tahap ini, peneliti menghitung data lapangan secara manual. Adapun rumus yang digunakan pada tahap ini terdapat pada landasan teori.

## 4. Kesimpulan

Pada tahap ini, peneliti menyimpulkan hasil dari perhitungan data harian untuk melihat bagaimana pengaruh tegangan pada gardu induk. Bila tegangan turun

### **3.9. Analisa Hasil Perhitungan**

Setelah semua perhitungan data dihasilkan, maka selanjutnya data perhitungan dianalisa, apakah dalam melakukan pembacaan tegangan, arus, daya semu, daya aktif, daya reaktif, faktor daya, dan pengukuran kapasitor bank dari pagi, siang, dan sore. Analisa ini bertujuan untuk mengetahui apakah sudah efisien terhadap penggunaan kapasitor bank.

### **3.10. Tahapan Kesimpulan**

Tahap terakhir adalah memberikan kesimpulan dan saran berdasarkan dari hasil data analisa yang dilakukan pada penelitian pengaruh penggunaan kapasitor bank terhadap daya tambahan pada gardu induk 150 KV.