

Analysis of Capacitor Bank Implementation in PT MSM System Using ETAP Simulation

Analisa Implementasi Kapasitor Bank pada Sistem PT MSM Menggunakan Simulasi ETAP

Reynaldy R Maniku, Lily Stiowati Patras, Meita Rumbayan,

Dept. of Electrical Engineering, Sam Ratulangi University Manado, Kampus Bahu St., 95115, Indonesia

e-mails : reynaldymaniku023@student.unsrat.ac.id, lily_spatras@unsrat.ac.id

meitarumbayan@unsrat.ac.id

Received: [date]; Revised: [date]; Accepted: [date]

Abstract — Stable and reliable electricity supply is an absolute necessity in the mining industry, considering that the entire production process is highly dependent on the continuity and quality of electricity supply. Electrical disturbances, such as voltage disturbances, can have a direct impact on equipment performance and reduce operational efficiency. One of the problems faced at PT Meares Soputan Mining (PT MSM) is the occurrence of significant voltages during the startup process of mill motors, such as SAG Mill and Ball Mill, which have the potential to accelerate equipment damage and cause system instability. To overcome this, the application of capacitor banks is an effective solution. Capacitor banks function to compensate for reactive power and improve the power factor, so that they can stabilize the voltage when the inductive load increases. In this study, the effectiveness of the implementation of capacitor banks was analyzed through simulations using ETAP (Electrical Transient Analyzer Program) software. Simulations were carried out to compare system conditions before and after the installation of capacitor banks, with a focus on improving voltage and increasing the efficiency of the electrical system. Based on the simulation results, the installation of capacitor banks led to a notable improvement in the electrical system, with voltage increasing from 10.31 kV to 10.91 kV and the power factor improving from 0.91 to 0.99. These results demonstrate that capacitor banks are effective in stabilizing voltage and enhancing the efficiency of the power system in industrial environments. This research confirms that capacitor bank implementation is a technically sound solution to improve power quality and operational reliability of electrical systems.

Keywords: Voltage fluctuation, capacitor banks, ETAP, System Efficiency

Abstrak — Penyediaan listrik yang stabil dan andal merupakan kebutuhan mutlak dalam industri pertambangan, mengingat seluruh proses produksi sangat bergantung pada kontinuitas dan kualitas pasokan listrik. Gangguan kelistrikan, seperti fluktuasi tegangan, dapat berdampak langsung terhadap kinerja peralatan dan menurunkan efisiensi operasional. Salah satu permasalahan yang dihadapi di PT Meares Soputan Mining (PT MSM) adalah terjadinya fluktuasi tegangan yang signifikan saat proses startup motor-motor mill, seperti SAG Mill dan Ball

Mill, yang berpotensi mempercepat kerusakan peralatan serta menimbulkan ketidakstabilan sistem. Untuk mengatasi hal ini, penerapan kapasitor bank menjadi solusi yang efektif. Kapasitor bank berfungsi untuk mengompensasi daya reaktif dan memperbaiki faktor daya, sehingga dapat menstabilkan tegangan pada saat beban induktif meningkat. Dalam penelitian ini, efektivitas implementasi kapasitor bank dianalisis melalui simulasi menggunakan perangkat lunak ETAP (Electrical Transient Analyzer Program). Simulasi dilakukan untuk membandingkan kondisi sistem sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor bank, dengan fokus pada perbaikan tegangan dan peningkatan efisiensi sistem kelistrikan. Berdasarkan hasil simulasi, terjadi peningkatan signifikan pada sistem kelistrikan setelah pemasangan kapasitor bank, di mana tegangan meningkat dari 10,31 kV menjadi 10,91 kV dan faktor daya membaik dari 0,91 menjadi 0,99. Hasil ini menunjukkan bahwa kapasitor bank efektif dalam menstabilkan tegangan dan memperbaiki efisiensi sistem tenaga listrik di lingkungan industri. Penelitian ini membuktikan bahwa pemasangan kapasitor bank dapat menjadi solusi teknis yang tepat dalam peningkatan kualitas pasokan daya dan keandalan operasional sistem kelistrikan.

Kata kunci : Fluktuasi tegangan, kapasitor bank , ETAP, Efisiensi Sistem

I PENDAHULUAN

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa implementasi kapasitor bank dalam mengatasi permasalahan fluktuasi tegangan. Fluktuasi tegangan yang terjadi, khususnya saat proses startup motor-motor mill, menjadi perhatian karena dapat berdampak negatif terhadap kinerja dan umur peralatan listrik serta mengganggu kestabilan sistem secara keseluruhan. Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan pada penerapan kapasitor bank sebagai solusi teknis untuk meningkatkan faktor daya dan menstabilkan tegangan pada sistem kelistrikan. Untuk mendukung analisis, dilakukan simulasi menggunakan perangkat lunak ETAP (Electrical Transient Analyzer Program) guna membandingkan kondisi sistem sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor bank. Melalui pendekatan ini, diharapkan diperoleh data dan informasi yang valid mengenai sejauh mana kapasitor bank mampu memperbaiki kualitas pasokan listrik serta meningkatkan efisiensi operasional sistem tenaga listrik di lingkungan industri pertambangan. Berdasarkan permasalahan

tersebut, penulis mengangkat judul "*Analisa Implementasi Kapasitor Bank pada Sistem PT MSM Menggunakan Simulasi ETAP*" karena kapasitor bank dikenal sebagai salah satu solusi efektif untuk mengatasi fluktuasi tegangan dan memperbaiki faktor daya pada sistem kelistrikan. Dengan menambahkan kapasitor bank, aliran daya reaktif dapat dikompensasi, tegangan menjadi lebih stabil, dan sistem dapat beroperasi lebih efisien.

II DASAR TEORI

A. Sistem Tenaga Listrik

Sebuah sistem terdiri atas sejumlah komponen atau elemen yang saling terhubung dan bekerja bersama untuk mendukung kelancaran aliran energi, materi, maupun informasi demi mencapai tujuan tertentu. Setiap sistem pasti memiliki bagian-bagian yang saling berinteraksi secara terstruktur, memungkinkan tiap komponen menjalankan fungsi utamanya. Dalam sistem kelistrikan, aliran tenaga akan terbentuk saat semua elemen bekerja dalam keterpaduan. Unsur-unsur penting dalam sistem ini mencakup unit pembangkitan, jaringan transmisi, gardu induk, dan distribusi listrik. Seluruhnya dirancang untuk saling terintegrasi dalam rangka memenuhi kebutuhan energi listrik konsumen secara efisien [19].

B. Komponen Sistem tenaga listrik

Secara garis besar masing-masing komponen sistem tenaga listrik adalah sebagai berikut :

1. Unit pembangkitan

Unit pembangkitan tenaga listrik adalah bagian dari sistem tenaga listrik yang berfungsi untuk menghasilkan energi listrik dari berbagai sumber energi. Proses ini mengubah energi primer seperti energi panas (dari batu bara, gas, atau nuklir), energi air (PLTA), energi angin (PLTB), atau energi surya (PLTS) menjadi energi listrik. Unit ini biasanya terdiri dari turbin, generator, dan sistem kontrol, serta menjadi titik awal dari aliran tenaga listrik sebelum disalurkan melalui sistem transmisi dan distribusi ke konsumen.

2. Saluran transmisi

Transmisi menyalurkan tenaga listrik dari pembangkit tenaga listrik (Power Plant) ke saluran distribusi (substation distribution) untuk didistribusikan ke pelanggan yang membutuhkannya [20].

3. Gardu induk

Salah satu bagian sistem tenaga, yang biasanya terdiri dari trafo stepdown dan peralatan pemutus-penghubung, terletak antara saluran distribusi dan jaringan transmisi. Fungsi utama gardu induk adalah mengatur aliran tenaga listrik dan menyesuaikan level tegangan sistem sesuai dengan kebutuhan [16].

4. Jaringan distribusi

merupakan penghantar yang diberikan kepada konsumen dari gardu induk. Salah satu fungsi utama jaringan distribusi adalah mengirimkan energi listrik ke lokasi konsumen atau pelanggan dari gardu induk [17].

C. Gangguan gangguan

1. Gangguan Hubung Singkat (Short Circuit)

Gangguan hubung singkat (short circuit) adalah kondisi abnormal dalam sistem tenaga listrik yang terjadi ketika dua

titik dengan perbedaan tegangan tinggi saling terhubung secara langsung melalui penghantar dengan impedansi sangat rendah. Akibatnya, arus listrik yang sangat besar mengalir secara tiba-tiba melebihi kapasitas normal sistem, yang dapat menyebabkan kerusakan serius pada peralatan listrik, melelehnya konduktor, bahkan kebakaran. Gangguan ini juga menyebabkan penurunan tegangan drastis di sekitar titik gangguan serta dapat mengganggu stabilitas sistem secara keseluruhan [13].

2. Gangguan Beban Lebih (Overload)

Overload merupakan suatu kondisi dimana beban melebihi kapasitas yang tersedia pada suatu rangkaian. ini juga sering mengakibatkan kabel meleleh, peralatan seperti motor menjadi panas [9].

3. Fluktuasi Tegangan (Over/Under Voltage)

Fluktuasi tegangan adalah variasi pada tegangan listrik yang dapat memengaruhi kinerja peralatan listrik. Tegangan listrik seharusnya berada dalam rentang yang stabil untuk memastikan peralatan listrik dapat beroperasi dengan baik. Namun, dalam kenyataannya, tegangan bisa naik dan bisa turun dari nilai nominalnya karena berbagai faktor [12].

D. Kapasitor Bank

Kapasitor bank adalah sekumpulan kapasitor yang dihubungkan secara paralel atau seri, digunakan dalam sistem tenaga listrik untuk meningkatkan faktor daya, menstabilkan tegangan, dan mengurangi kerugian energi. Dengan memasang kapasitor bank, beban induktif dapat dikompensasi, sehingga aliran daya reaktif berkurang dan efisiensi sistem meningkat [7].

Rumus Kebutuhan Kapasitor Bank sebagai berikut :

$$Q_c = P(\tan \theta_1 - \tan \theta_2) \quad (1)$$

Dimana : P = Daya Beban

θ_1 = Daya Reaktif sebelum perbaikan

θ_2 = Daya Reaktif yang ingin dicapai

Q_c = Perbaikan Faktor Daya Menentukan Nilai Kapasitor

Untuk menghitung nilai kapasitansi dari bank kapasitor, langkah pertama adalah menghitung daya reaktif kompensator (Q_c). Umumnya, untuk meningkatkan faktor daya agar mendekati angka 1, Nilai daya reaktif kompensator Q_c kapasitor AC (bank kapasitor) harus sebanding dengan nilai daya reaktif Q sistem yang perlu diperbaiki faktor dayanya [5], atau dapat dinyatakan dengan:

$$X_c = \frac{V^2}{Q_c} \quad (2)$$

Selain itu, persamaan berikut dapat digunakan untuk menghitung daya reaktif kompensator yang diperlukan untuk mengimbangi perubahan daya reaktif:

$$Q_c = Q_1 - Q_2$$

Nilai kapasitor pada simulasi dapat dihitung dengan persamaan

$$C = \frac{1}{2\pi f X_c}$$

Keterangan :

C adalah kapasitor

V adalah tegangan (kV)

Q_c adalah koreksi factor daya

X_c adalah nilai simulasi kapasitor

F adalah frekuensi (HZ)

2. Jenis Jenis Kapasitor Bank

Berdasarkan Bahan dielektriknya Kapasitor Bank terbagi menjadi 3 yaitu :

1. Kapasitor Elektrostatik

Kapasitor elektrostatik (kapasitor statis) merupakan jenis kapasitor yang dibuat menggunakan bahan dielektrik seperti keramik, film, kertas, dan mika. Keramik, kertas, dan mika adalah material yang umum digunakan dan terjangkau untuk memproduksi kapasitor dengan nilai kapasitansi yang rendah.

2. Kapasitor Electrolytic

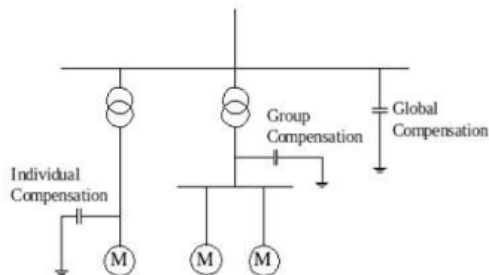
Kelompok kapasitor elektrolitik, yang sering disebut sebagai kapasitor elektrolit, terbuat dari bahan dengan dielektrik berupa lapisan metal-oksidasi. Kapasitor dalam kategori ini umumnya merupakan kapasitor polar (dua kutub) yang memiliki tanda + dan - pada bagian luar.

3. Kapasitor Electrochemical

Salah satu variasi dari kapasitor adalah kapasitor elektro-kimia. Di dalam kategori ini termasuk baterai dan akumulator. Sebenarnya, baterai dan akumulator merupakan kapasitor yang sangat efisien, karena mereka memiliki kapasitas yang tinggi dan arus bocor yang sangat minim [21].

3. Metode Pemasangan Kapasitor Bank

Instalasi kapasitor bank dibagi menjadi 3 (tiga) bagian yaitu *global compensation*, *group compensation*, dan *individual compensation* [11].



Gambar 1 : Instalasi Kapasitor bank

(3) 1. Global Compensation

Dimana kapasitor bank dipasang di panel distribusi utama (Main Distribution Panel). Tujuan utamanya adalah mengkompensasi daya reaktif secara keseluruhan pada sistem, sehingga arus dari jaringan utama dapat dikurangi. Metode ini sederhana dan efisien untuk beban yang beroperasi secara bersamaan.

(4) 2. Group Compensation

Metode ini dilakukan dengan memasang kapasitor bank yang dipasang di panel distribusi sekunder yang melayani kelompok beban tertentu. Metode ini cocok diterapkan pada sistem industri yang memiliki beberapa area produksi dengan beban besar dan terpisah, karena mampu mengurangi rugi-rugi daya pada jalur distribusi antar panel.

3. Individual Compensation

Kompensasi Individu merupakan metode yang paling spesifik dan efisien, di mana kapasitor bank dipasang langsung pada peralatan atau beban induktif seperti motor-motor besar. Keuntungan utamanya adalah kompensasi terjadi tepat di titik penggunaan, sehingga aliran daya reaktif tidak menyebar ke jaringan distribusi [14].

E. Daya dan Faktor Daya

2.5.1 Daya Listrik

Daya merupakan besaran yang menunjukkan jumlah energi yang digunakan dalam kurun waktu tertentu. Dalam konteks sistem, daya menggambarkan total energi listrik yang dibutuhkan untuk melaksanakan suatu pekerjaan. Umumnya, satuan daya adalah watt (W).

Macam-macam Jenis Daya Listrik

1) Daya Aktif

Daya aktif merujuk pada daya yang betul-betul digunakan atau diterima oleh peralatan. Contoh dari daya nyata meliputi energi termal, energi gerak, dan cahaya. Satuan untuk daya nyata adalah watt (W) [2].

Di bawah ini adalah rumus untuk daya aktif.

$$P = V \cdot I \cdot \cos \phi \text{ (1 phasa)} \quad (5)$$

$$P = 3 \cdot V_L \cdot I_L \cdot \cos \phi \text{ (3 phasa)} \quad (6)$$

Dimana :

P = Daya aktif (watt)

V = Tegangan (volt)

I = Arus (ampere)

$\cos \phi$ = Faktor daya

V_L = Tegangan jaringan (volt)

I_L = arus jaringan (ampere)

2) Daya Reaktif

Daya reaktif adalah bentuk energi yang berperan dalam pembentukan medan. Salah satu hasil dari pembentukan medan magnet ini adalah munculnya fluks magnetik. Beberapa perangkat yang berkontribusi dalam menghasilkan daya reaktif antara lain transformator, motor induksi, kompresor, dan sejenisnya. Satuan yang digunakan untuk mengukur daya reaktif adalah volt-ampere reaktif (VAR)[3]

$$Q = V \cdot I \cdot \sin \phi \text{ (1phasa)} \quad (7)$$

$$Q = 3 \cdot V_L \cdot I_L \cdot \sin \phi \text{ (3phasa)} \quad (8)$$

3) Daya Semu

Daya semu merupakan nilai total yang dihasilkan dari interaksi antara arus dan tegangan dalam suatu sistem kelistrikan, atau dapat pula dipahami sebagai gabungan secara trigonometri antara daya aktif dan daya reaktif. Daya ini menunjukkan total energi yang dibangkitkan oleh sumber arus bolak-balik (AC) atau yang diserap oleh beban dalam sistem. Satuan daya semu adalah volt-ampere (VA). Berikut adalah bentuk matematis dari daya semu:

$$S = V \cdot I \quad (9)$$

Hubungan ketiganya diatas disebut sistem segitiga daya.

Daya reaktif merupakan jenis daya yang tidak berkontribusi langsung terhadap kerja nyata dan umumnya muncul akibat adanya elemen reaktif seperti induktor dalam rangkaian. Sementara itu, daya aktif atau daya nyata adalah energi listrik yang benar-benar digunakan oleh beban untuk melakukan kerja yang sesungguhnya.

2.5.2 Faktor Daya

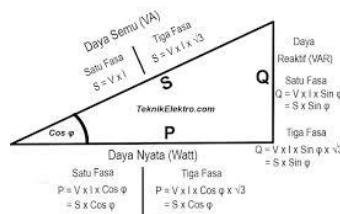
Faktor daya merupakan ukuran yang membandingkan daya nyata (watt) dengan daya total atau semu (VA), dan juga bisa diwakili oleh sudut fasa antara kedua jenis daya tersebut. Perangkat listrik akan bekerja lebih efisien apabila nilai faktor dayanya semakin mendekati satu, sedangkan semakin kecil nilai faktor daya bisa berpengaruh terhadap rendahnya efisiensi perangkat listrik. Untuk menentukan faktor daya, dapat digunakan rumus berikut.

$$\cos \phi = \frac{P}{S} \quad (10)$$

$\cos \phi$ adalah Faktor daya

P adalah daya aktif

S adalah daya semu



Gambar 2 : Segitiga Daya

Daya sangat memengaruhi kualitas penyediaan energi listrik dan kinerja perangkat listrik. Sudut faktor daya lebih lebar jika nilai KVARH lebih tinggi. Jika nilai faktor daya lebih tinggi, itu berarti nilai faktor daya lebih rendah, yang berarti lebih sedikit daya yang digunakan, dan lebih sedikit kemampuan operasional daya dari catu daya yang berfungsi secara efektif. Jika nilai faktor daya lebih rendah, seperti 0,99 atau 0,86, itu akan menurunkan efektivitas kinerja perangkat listrik. Daya kerja (KW) tidak dapat beroperasi secara maksimal atau sebanding dengan daya yang tersedia [14].

2.5.3 Hukum Ohm

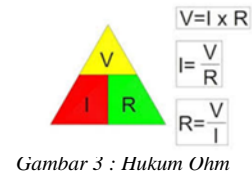
Hukum Ohm menyatakan bahwa kuat arus listrik yang mengalir dalam suatu konduktor akan meningkat seiring dengan bertambahnya tegangan yang diberikan, dan akan menurun jika hambatan (resistansi) dalam rangkaian meningkat. [15]. Dalam bentuk matematika, hukum Ohm dapat dinyatakan dalam persamaan:

Dimana :

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

R = Tahanan (Ohm)



Gambar 3 : Hukum Ohm

F. Motor Listrik

Motor listrik adalah perangkat yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Prinsip kerjanya berdasarkan gaya magnet yang muncul saat arus listrik mengalir melalui kumparan di medan magnet[8].

Motor listrik terdiri dari dua komponen utama yaitu stator dan rotor dan dapat mengubah melalui putaran motor [10].

Jenis motor ac terbagi dua, yaitu :

1) Motor Induksi

Karena harganya yang murah dan desain yang mudah, motor induksi adalah jenis motor AC yang paling banyak digunakan. Karena rotor motor induksi tidak membutuhkan sumber tegangan luar, motor ini dapat dibuat dalam dua versi: satu-fase dan tiga-fase. Sebaliknya, arus AC melalui celah udara dan lilitan rotor, menghasilkan arus pada rotor dan medan magnet [6].

Rotor pada motor induksi tidak beroperasi pada kecepatan sinkron, melainkan sedikit lebih lambat. Sebagai contoh, motor induksi dengan kecepatan sinkron 1800 rpm biasanya akan beroperasi pada kecepatan sekitar 1750 rpm saat menggunakan tenaga kuda (Horse Power) untuk penggunaannya. Perbedaan kecepatan ini biasanya diukur dalam bentuk presentase dari kecepatan sinkron, yang dikenal dengan istilah Slip.

2) Motor Sinkron

Motor Sinkron adalah motor arus bolak-balik (AC) yang berputar dalam kecepatan tetap yang sama (sinkron) dengan frekuensi sumber arus listriknya. Artinya, kecepatan rotor motor sinkron selalu sebanding dengan kecepatan medan magnet yang dihasilkan oleh stator dan tidak berubah meskipun beban motor berubah. Prinsip kerja motor ini didasarkan pada medan magnet yang berputar di stator yang menarik medan magnet rotor, yang biasanya dibentuk oleh arus searah (DC) melalui kumparan atau magnet permanen. Agar rotor dapat mengikuti medan putar stator, motor sinkron memerlukan proses awal untuk membawa rotor mendekati kecepatan sinkron (biasanya dengan bantuan panel eksitasi)

G. ETAP

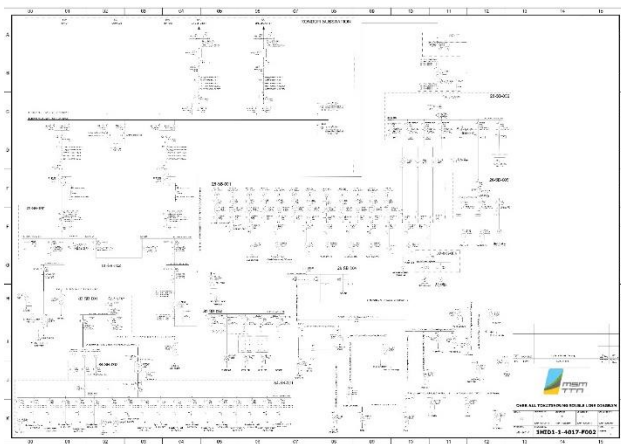
Program perangkat lunak yang disebut ETAP (Electrical Transient Analysis Program) membantu dalam pengoperasian sistem kelistrikan. Aplikasi ini dapat digunakan untuk menyusun proyek sistem kelistrikan dalam format diagram satu garis dan jalur sistem pentanahan untuk berbagai jenis analisis, seperti analisis aliran daya, analisis hubung singkat, analisis arc flash, pengoperasian motor, analisis stabilitas transien, koordinasi proteksi relay, sistem harmonisa, dan sebagainya[1].

III DATA DAN PERHITUNGAN

Data-data berikut ini antara lain data sistem kelistrikan PT MSM beserta komponen-komponennya dan variable-variabel lainnya untuk keperluan pemodelan di software ETAP, dan juga mengenai kondisi kelistrikan saat terjadi kondisi-kondisi tertentu, juga terdapat perhitungan kebutuhan kapasitor bank

A. Data Sistem Kelistrikan PT MSM

Sistem kelistrikan Toka Tindung, diawali dari jaringan transmisi PLN 70 kV dari 2 Line (Line Likupang & Line Bitung), daya kemudian masuk ke Gardu Induk Rondor yang berfungsi sebagai titik distribusi utama, dimana ada 2 Trafo daya yang berfungsi untuk menurunkan tegangan dari 70 ke 11 kV. 2 Trafo ini yang 1 menyalurkan daya ke area *mining* dan yang 1 menyalurkan daya ke area *process plant*.



Gambar 4 : Sistem Kelistrikan Toka Tindung

B. Komponen Sistem Toka Tindung

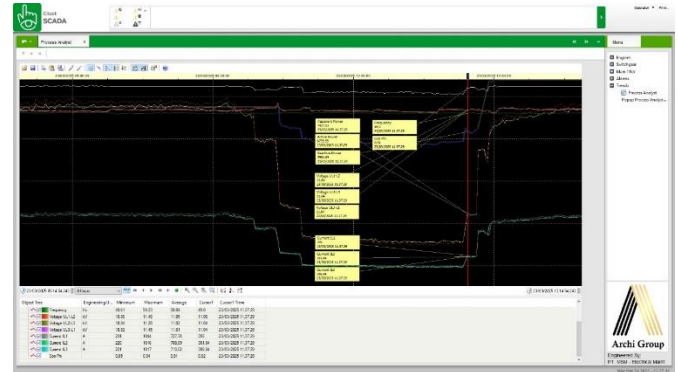
Berikut ini adalah komponen yang merupakan beban utama pada sistem

Table 1 : Unit-unit Motor Mill

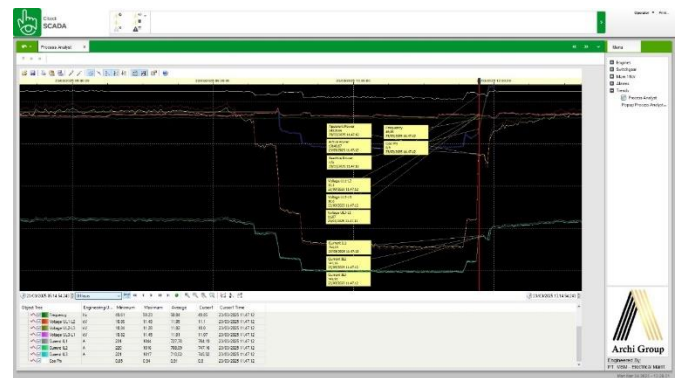
Kode Equipment	Daya	Tegangan Operasional
SAGmill	4100 kW	3 kV
Ballmill 1	2680 kW	3 kV
Ball mill 2	6750 kW	11 kV

C. Parameter Kelistrikan dalam berbagai kondisi operasi

Berikut ini adalah trending scada pada sistem kelistrikan di PT MSM. Trending ini memperlihatkan bagaimana sistem bereaksi terhadap kondisi saat startup mill



Gambar 5 : Trend Mill 2 Startup



Gambar 6 : Trend Mill 3 Startup



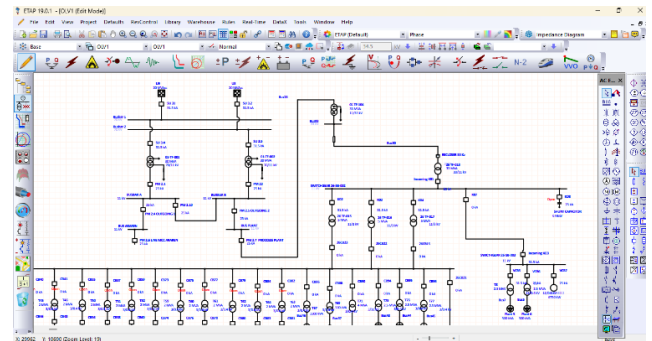
Gambar 7 : Trend Mill 1 Startup

I. PEMODELAN DAN SIMULASI

A. Pemodelan

Table 2 : Tabel Parameter Kelistrikan

Kondisi	Daya	Tegangan Operasional
Ballmill 1 Running	S : 7427 kVA P : 6739 kW Q : 2904 kVAR	UL1-L2: 11.06 kV UL2-L3: 11.04 kV UL3-L1: 11.04 kV
SAGmill Running	S : 14310 kVA P : 13140 kW Q : n/a	UL1-L2: 11.1 kV UL2-L3: 10.0 kV UL3-L1: 11.07 kV
Ball mill 2 Running	S : 16927 kVA P : 15894 kW Q : 5952 kVA	UL1-L2: 10.87 kV UL2-L3: 10.84 kV UL3-L1: 10.83 kV



Gambar 8 : Model Sistem Kelistrikan Toka Tinding

Pemodelan dilakukan berdasarkan data-data peralatan yang diambil dan dibuat sesuai dengan sistem kelistrikan di toka tinding. Setelah selesai pemodelan, kemudian dilakukan simulasi dengan metode *load flow analysis* (Analisis Aliran Daya) untuk mengetahui kondisi sistem saat implementasi kapasitor bank.

D. Perhitungan kebutuhan kapasitor bank

$$Q_c = P(\tan \theta_1 - \tan \theta_2)$$

$$= 15.894 (\cos^{-1} 0.88 - \cos^{-1} 0.98)$$

$$= 15.894 (\tan 28.36 - \tan 11.47)$$

$$\tan 28.36 = 0.539$$

$$\tan 11.47 = 0.203$$

$$Q_1 = 5952 \text{ kVAR}$$

$$Q_2 = V \cdot I \cdot \sin \phi$$

$$Q_2 = 11.000 \cdot 800 \cdot \sin 11.47$$

$$Q_2 = 1.750 \text{ kVAR}$$

$$Q_1 - Q_2 = 5952 - 1750$$

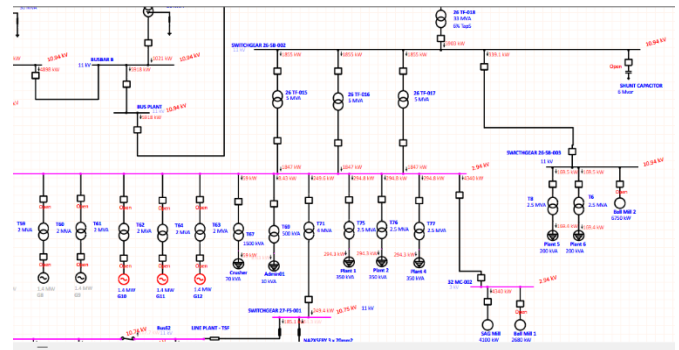
$$Q_c = 4202 \text{ kVAR}$$

Nilai kapasitor pada simulasi dapat dihitung dengan persamaan

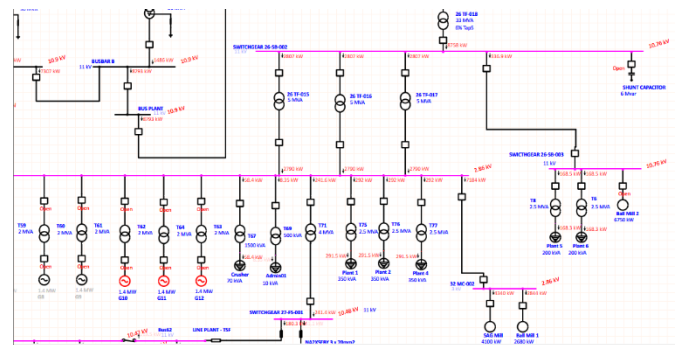
$$X_c = \frac{V^2}{Q_c} = \frac{11.000^2}{4.202.000} = 28.79 \Omega$$

$$C = \frac{1}{2\pi f X_c} = \frac{1}{2 \cdot 3.14 \cdot 50 \cdot 28,79} = 100 \mu F$$

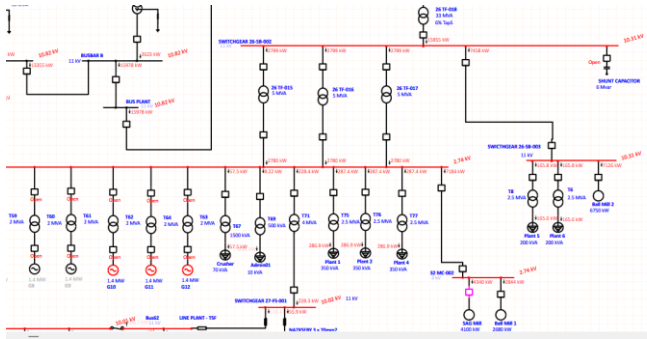
B. Simulasi Tanpa Kapasitor Bank



Gambar 9 : Running Mill 1 Tanpa Kapasitor Bank



Gambar 10 : Running Mill 2 Tanpa Kapasitor Bank



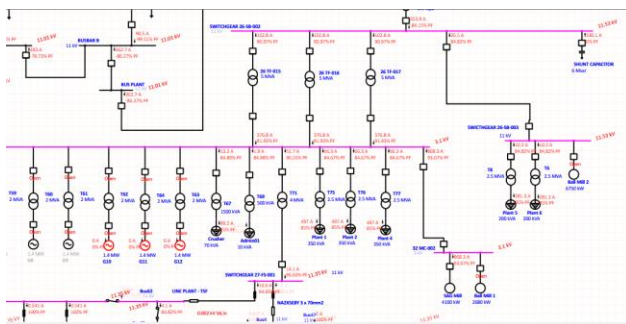
Gambar 11 : Running Mill 3 Tanpa Kapasitor Bank

Table 3 : Hasil Simulasi Tanpa Kapasitor Bank

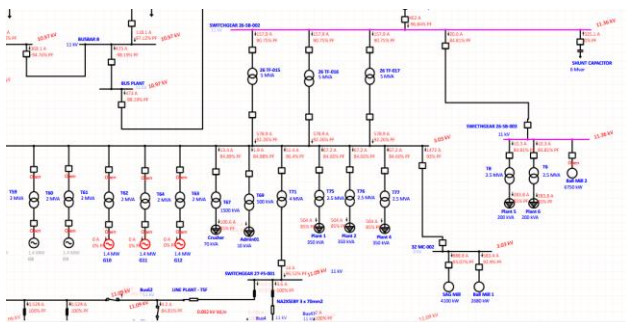
Kode Equipment	Tegangan	Cos ϕ
SAGmill	10.96 kV	0.90
Ballmill 1	10.81 kV	0.90
Ball mill 2	10.31 kV	0.91

Dari hasil simulasi tanpa penggunaan kapasitor bank didapatkan hasil seperti yang terlihat dalam tabel. Dari hasil tersebut diketahui bahwa nilai power factor berada pada rentang 0.91 dan tegangan sudah berada jauh dibawah standar operasionalnya yaitu 11 kV dan jauh dari batas toleransi tegangan operasional.

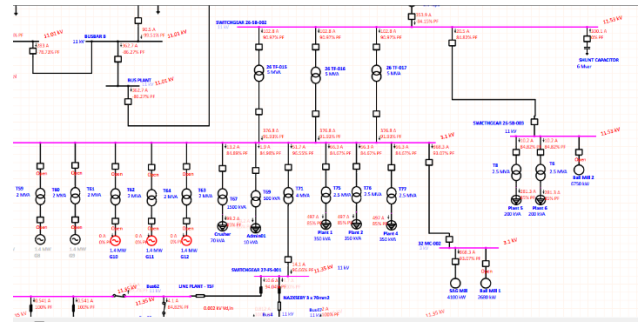
C. Simulasi dengan kapasitor Bank



Gambar 12 : Running Mill 1 dengan kapasitor bank



Gambar 13 : Running Mill 2 dengan kapasitor bank



Gambar 14 : Running Mill 3 Menggunakan kapasitor bank

Table 4 : Hasil simulasi dengan kapasitor bank

Kode Equipment	Tegangan	Cos ϕ
SAGmill	11.39 kV	0.93
Ballmill 1	11.25 kV	0.99
Ball mill 2	10.96 kV	0.99

Dari hasil simulasi dengan kapasitor bank didapati hasil tegangan dan power factor seperti yang ditunjukkan pada table. Dari hasil tersebut dapat dilihat saat semua mill running tegangan berada di dalam batas toleransi dan mendekati tegangan operasionalnya yaitu 11 kV. Cos phi juga menunjukkan angka yang hampir maksimal menunjukkan bahwa sistem bekerja dalam efisiensi tinggi akibat dari pengimplementasian kapasitor bank

IV KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan data dari hasil simulasi dapat disimpulkan bahwa :

1. Kapasitor Bank terbukti dapat mengatasi fluktuasi tegangan dan juga meningkatkan efisiensi sistem
2. Dari hasil simulasi pemasangan kapasitor bank pada sistem yaitu terjadi perubahan signifikan pada sistem dari tegangan = 10.31 kV dan Cos phi = 0.91 saat semua mill running tanpa kapasitor bank, menjadi tegangan = 10.96 kV dan Cos phi = 0.99 saat semua mill running menggunakan kapasitor bank. Ini juga diatas data real time yang diambil dimana tegangan 10.87 kV dan Cos phi = 0.93

B. Saran

Saran yang dapat diberikan dalam penelitian ini antara lain :

1. Kiranya dapat dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai dampak dari Implementasi kapasitor bank pada industri serupa
2. Penelitian ini dapat menjadi acuan dalam penelitian selanjutnya mengenai Implementasi kapasitor bank

V REFERENSI

- [1] A. Firmansyah “Modul Pelatihan ETAP”. 2014. Politeknik Negeri Sriwijaya
- [2] Ahmad Rofii , Rijon Ferdinand. 2018. ANALISA PENGGUNAAN KAPASITOR BANK DALAM UPAYA PERBAIKAN FAKTOR DAYA Program Studi Teknik Elektro, Universitas 17 Agustus 1945 Jakarta
- [3] Akbar Abadi, S. (2015). Analisa Perbaikan Profil Tegangan Sistem Tenaga Listrik Sumbar Menggunakan Kapasitor Bank Dan Tap Transformator. Jurnal Nasional Teknik Elektro, 158-164.
- [4] Basri, Hasan. “Sistem Distribusi Daya Listrik”. 1997. Jakarta : ISTN
- [5] Darusman, Marzuki . 2014 “Analisa Kelayakan Pemasangan Kapasitor Bank Pada Gardu Distribusi Untuk Kemampuan Layanan di PT.EPI (Energi Pelabuhan Indonesia) Cabang Pontianak”. J.Tek.Ling,Edisi Khusus :Hal 36-43 2006
- [6] Denny Pattiapon, Jacob J.Rikumahu, Marselin Jamlaay (2019) “Penggunaan Motor Sinkron Tiga Phase Tipe Salient Pole Sebagai Generator Sinkron” Teknik Elektro, Politeknik Negeri Ambon.
- [7] D. Almanda, N. Majid. 2019 “Studi Analisa Penyebab Kerusakan Kapasitor Bank Sub Station Welding di PT Astra Daihatsu Motor”. Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Jakarta.
- [8] Faikul Umam, Hairil Budianto & Ach.David. 2017 Motor Listrik. Fakultas Teknik Universitas Trunojoyo
- [9] Firhan Akbar, Tri Wrahatnolo, 2023. “Dampak Gangguan Beban Lebih terhadap Overload Shedding Gardu Induk 150 kV Sukolilo, Surabaya”, Prodi Teknik Elektro Universitas Negeri Surabaya.
- [10] Hendra Martha Yudha. 2020 “Penggunaan Motor Listrik” Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik UTP
- [11] Ibnu Hajar , Suninda Megi Rahayuni. 2020, Analisis Perbaikan Faktor Daya Menggunakan Kapasitor Bank Di Plant 6 PT. Indocement Tunggul Prakarsa Tbk. Unit Citeureup. Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Ketenagalistrikan dan Energi Terbarukan, Institut Teknologi PLN, Jakarta.
- [12] I.Refaldi, Y.Basir, Dyah.U.Y.Wardhani. 2022, Analisis Fluktuasi Beban Terhadap Efisiensi Generator Sinkron di PT. Pembangkit Listrik Palembang Jaya. Fakultas Teknik, Universitas Tridnanti Palembang
- [13] N. Hasanah, A.B. Muljono, I Made.B.Suksmadana,2018. PENENTUAN LOKASI GANGGUAN HUBUNG SINGKAT PADA SALURAN TRANSMISI 150 KV BERBASIS TRANSFORMASI WAVELET, Fakultas Teknik Universitas Mataram
- [14] Putri, Maharani, and Faisal Irsan Pasaribu. "Analisis Kualitas Daya Akibat Beban Reaktansi Induktif (XL) di Industri." JET (Journal Of Electrical Technology) 3.2 (2018): 81-85.
- [15] Ratna Mustika Yasu, Charis Fathul Hadi.2021. PENGARUH TEGANGAN TERHADAP BESAR KUAT ARUS LISTRIK PADA PERSAMAAN HUKUM OHM. Teknik Elektro, Universitas PGRI Banyuwangi, Banyuwangi
- [16] Samuel Marco Gunawan, Julius Santosa,2013. Analisa Perancangan Gardu Induk Sistem Outdoor 150 kV di Tallasa, Kabupaten Takalar, Sulawesi Selatan, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Kristen Petra
- [17] Sari Nuzullina Rahmadhani. 2018. EVALUASI EFEKTIVITAS PENGENDALIAN INTERNAL AKUNTANSI ATAS JARINGAN DISTRIBUSI LISTRIK OLEH PT PLN (PERSERO) : STUDI KASUS DI SUMATERA UTARA. Fakultas Ekonomi dan Bisnis, Universitas Medan Area
- [18] Setya, N. Ardhin dan Agung, Achmad, Imam.2017. “Effisiensi Energi Listrik Dalam Meningkatkan Power Quality dan Penghematan Energi Listrik di Gedung Universitas Ciputra(UC) Apartemen Surabaya”.Jurnal Teknik Elektro.Vol 6 (03) : Hal 193-202
- [19] Slamet Suropto,2018. Sistem Tenaga Listrik, Yogyakarta : Penerbit LP3M UMY
- [20] S. Sudaryatno, “Analisis Sistem Tenaga,” 2012
- [21] Syamsudin Noor, Noor Saputera. 2014 , EFISIENSI PEMAKAIAN DAYA LISTRIK MENGGUNAKAN KAPASITOR BANK. Teknik Elektro Politeknik Negeri Banjarmasin.

TENTANG PENULIS



Reynaldy Rusfer Maniku, penulis adalah anak pertama dari dua bersaudara, lahir di Kota Bitung Sulawesi Utara, pada tanggal 14 Januari 2004. Penulis menempuh Pendidikan pertama di sekolah dasar gereja pantekosta Berea dari tahun 2009, setelah itu pada tahun 2015 melanjutkan Pendidikan di Sekolah Menengah Pertama Katolik Don Bosco Bitung sampai lulus tahun 2018. Kemudian Penulis melanjutkan Pada tahun 2021 penulis memulai Pendidikan di Universitas Sam Ratulangi, Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Elektro dengan mengambil konsentrasi minat Teknik Tenaga Listrik pada tahun 2022. Dalam menempuh Pendidikan, penulis telah melaksanakan Kerja Praktek di PT Meares Sopotan Mining yang berlokasi di Likupang, Minahasa Utara dari bulan Juli sampai November 2024. Kemudian pada bulan Februari sampai Maret tahun 2024 melakukan penelitian dan pengambilan data di PT Meares Sopotan Mining. Penulis juga merupakan Ketua Dewan Perwakilan Anggota Himpunan Mahasiswa Elektro Universitas Sam Ratulangi periode tahun 2023/2024.