

PERBAIKAN FAKTOR DAYA MENGGUNAKAN KAPASITOR SEBAGAI KOMPENSATOR DAYA REAKTIF (STUDI KASUS STT SINAR HUSNI)

Ahmad Dani¹, Muhammad Hasanuddin²

^{1,2} Teknik Elektro, Sekolah Tinggi Teknologi Sinar Husni
email:¹ahmad.kartasasmita@gmail.com, ²hasanuddinhasan11@gmail.com

Abstract : Peningkatan beban induktif mengakibatkan meningkatnya penggunaan daya reaktif yang mempengaruhi kualitas daya listrik terutama faktor daya. Pada Sekolah Tinggi Teknologi Sinar Husni terpasang beban listrik sebesar 11,67 kVA dan 9,53 kW. Perbandingan antara daya aktif (W) dan daya tampak (VA) menghasilkan faktor daya ($\cos\phi$) sebesar 0,84 sebagai akibat dari pemakaian beban induktif sehingga menghasilkan daya reaktif sebesar 6,13 kVAR. Besar arus yang mengalir pada beban sebesar 17,3 A pada tegangan 395 V. Kompensasi daya reaktif menggunakan kapasitor bertujuan untuk memperbaiki faktor daya pada sistem tenaga listrik. Daya reaktif kapasitif dari kapasitor dapat mengurangi daya reaktif induktif pada sistem tenaga listrik dari beban listrik. Pemasangan kapasitor bank sebesar 5 kVAR secara terpusat pada sistem tenaga listrik sebagai kompensator daya reaktif memberikan dampak pengurangan daya reaktif sebesar 77,8% dari 6,13 kVAR menjadi 1,36 kVAR. Arus mengalami penurunan dari 17,3 A menjadi 14,2 A, turun sebesar 18%. Dan penurunan daya menjadi 10,1 kVA daya tampak dan 9,86 kW daya aktif. Perbandingan antara daya aktif (W) dan daya tampak (VA) menghasilkan perbaikan faktor daya ($\cos\phi$) menjadi 0,98. Turunnya nilai arus dan daya reaktif menunjukkan penggunaan kapasitor sebagai kompensator daya reaktif dapat mengoptimalkan daya listrik sesuai dengan beban terpasang dan melakukan peningkatan faktor daya.

Kata kunci : Faktor Daya, Kapasitor, Kompensator, Daya Reaktif, Kompensasi.

PENDAHULUAN

Dalam suatu sistem tenaga listrik, menurunnya nilai faktor daya PF ($\cos\phi$) adalah sebuah masalah yang harus di minimalisir. Sebab dengan menurunnya PF , baik konsumen dan pemasok energi listrik akan mengalami kerugian. Bagi konsumen, kerugiannya antara lain tegangan sistem menjadi turun, pasokan daya listrik tidak bisa dimaksimalkan. Faktor yang mempengaruhi turunnya PF adalah pemakaian beban induktif.

Permasalahan yang ada adalah rendahnya kualitas daya yang disebabkan beban induktif. Beban induktif adalah jenis beban yang memiliki unsur lilitan kawat didalamnya. Peningkatan beban induktif mengakibatkan meningkatnya penggunaan daya reaktif yang mempengaruhi kualitas daya listrik terutama faktor daya. Perbandingan antara daya aktif (W) dan daya tampak (VA) akan menghasilkan faktor daya PF ($\cos\phi$) yang rendah sebagai akibat dari pemakaian beban induktif.

Upaya yang dilakukan untuk mengurangi daya reaktif akibat dari penggunaan beban induktif adalah dengan melakukan kompensasi daya reaktif. Kompensasi daya reaktif yang diberikan akan mengurangi besar daya reaktif

pada beban induktif. Kapasitor adalah beban kapasitif yang dapat mengurangi daya reaktif pada beban induktif. Maka penggunaan kapasitor sebagai kompensator daya reaktif dapat memperbaiki faktor daya yang buruk pada beban. Sehingga penggunaan daya listrik terhadap kebutuhan beban lebih sesuai.

Pada penelitian ini akan melakukan perbaikan faktor daya menggunakan kapasitor sebagai kompensator daya reaktif yang berlokasi di STT Sinar Husni. Tujuan perbaikan faktor daya adalah untuk menghasilkan penggunaan daya listrik yang lebih optimal sesuai kapasitas beban listrik terpasang.

Dasar Teori

1. Daya

Daya adalah sebuah kuantitas yang penting dalam rangkaian-rangkaian praktis. Daya merupakan ukuran disipasi energi dalam sebuah alat. Karena tegangan dan arus dapat berubah sesuai fungsi dari waktu, dapat diperkirakan bahwa nilai sesaat dan nilai rata-rata dapat digunakan untuk menggambarkan disipasi. Berdasarkan definisi, daya sesaat adalah perkalian antara tegangan dan arus sesaat.

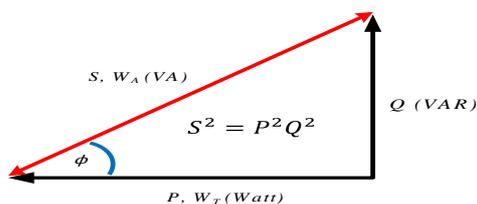
$$p(t) = v(t) \times i(t) \quad (1)$$

2. Daya Kompleks

Daya tampak kompleks didefinisikan sebagai hasil kali tegangan dengan konjugasi kompleks arus,

$$S = V \cdot I^* = |V| \cdot |I| \angle \phi \quad (2)$$

Dan ketiga pengelompokan daya ini dapat dianalogikan dengan menggambarannya dalam bentuk segitiga daya, maka daya tampak S direpresentasikan oleh sisi miring sedangkan daya nyata dan daya reaktif direpresentasikan oleh sisi-sisi segitiga yang saling tegak lurus, seperti ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 1. Diagram Daya

Maka daya nyata atau daya aktif dan daya reaktif dapat diambil saja dari bagian real dan bagian imajiner dari S .

$$\text{Daya nyata } P = |V| \cdot |I| \cos \phi \quad (3)$$

$$\text{Daya Reaktif } Q = |V| \cdot |I| \sin \phi \quad (4)$$

3. Daya Nyata/Aktif W_T (True Power)

Dalam sirkuit yang mengandung komponen reaktif, daya nyata P adalah bagian yang lebih kecil dibandingkan daya tampak S . Daya nyata didefinisikan sebagai hasil perkalian antara tegangan dan arus serta koefisien faktor dayanya.

$$P = V \times I \cos \phi \quad (5)$$

Sedangkan dalam sirkuit yang mengandung resistif murni, daya nyata P sama dengan daya tampak S , karena koefisien faktor daya ($\cos \phi$) adalah 1, sehingga tidak ada daya yang terdisipasi.

4. Daya Reaktif Q (Reactive Power)

Selain daya aktif, dikenal juga daya reaktif Q (*daya kuadratur*) yaitu daya yang terdisipasi akibat sifat reaktansi komponen dalam sirkuit, memiliki satuan VAR (volt-ampere reaktif). Daya reaktif dapat didefinisikan sebagai hasil perkalian antara tegangan dan arus serta nilai $\sin \phi$.

$$Q = V \times I \sin \phi \quad (6)$$

Daya reaktif tidak memiliki dampak positif dalam kerja suatu beban listrik. Dengan kata lain daya reaktif ini tidak berguna dalam konsumsi listrik.

5. Daya Tampak W_T (Apparent Power)

Gabungan antara daya aktif dan reaktif adalah daya tampak S dengan satuan VA atau (volt-ampere). Daya tampak (*daya total*) adalah daya yang masuk ke rangkaian ac atau dengan kata lain daya yang sebenarnya diterima dari pemasok sumber tegangan arus ac, adalah merupakan resultan daya antara daya aktif dan daya reaktif.

Daya tampak W_A didefinisikan serbagai hasil perkalian dari tegangan dan arus dalam rangkaian ac tanpa memperhatikan selisih sudut fase arus dan tegangan.

$$S = V \times I \quad (7)$$

Sama halnya seperti defenisi dari daya disipasi dalam rangkain dc. Oleh karena itu daya tampak sering dinyatakan dengan satuan volt-ampere (VA).

6. Faktor Daya $\cos \phi$ (Power Factor)

Faktor daya PF 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:

$$PF = \frac{P}{S} \quad (8)$$

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 (Gambar 1).

Dari persamaan (7) dan (8) maka Faktor daya dapat ditulis menjadi:

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

sehingga dapat ditulis menjadi:

$$PF = \cos \phi \quad (11)$$

$$P = S \times PF = V \times I \times PF \quad (12)$$

Dalam diagram daya (gambar 1), sudut ϕ adalah sudut yang dibentuk antara sisi daya aktif P dan daya tampak S , sedangkan daya reaktif Q tegak lurus terhadap daya aktif P .

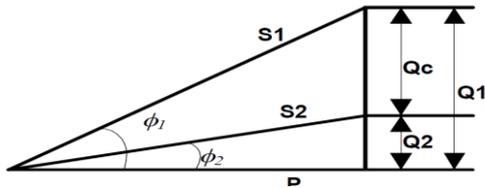
Efisiensi daya yang lebih adalah ketika P sama atau mendekati S , yaitu ketika $\cos \phi = 1$ atau mendekati 1. Faktor daya yang rendah merugikan karena mengakibatkan arus beban tinggi, oleh karena itu dalam perbaikan PF diperlukan keseimbangan antara sifat kapasitif dan induktif dalam rangkaian.

7. Kapasitor Bank

Kapasitor bank adalah peralatan listrik yang mempunyai sifat kapasitif yang akan

berfungsi sebagai penyeimbang sifat induktif. Kapasitas kapasitor diproduksi dalam berbagai kapasitas mulai dari ukuran 5 kVAR sampai 60 kVAR dengan interval tegangan kerja 230 V sampai 525 Volt tergantung nilai kapasitansi yang diperlukan.

8. Perbaikan Faktor Daya



Gambar 2. Prinsip Perbaikan Faktor Daya

Dalam menentukan kapasitansi kapasitor bank dilakukan terlebih dahulu perhitungan daya reaktif kompensator (Q_c). Pada prinsipnya, dalam perbaikan PF agar nilai $PF \approx 1$, sebuah kapasitor daya ac (kapasitor bank) harus mempunyai nilai daya reaktif kompensator Q_c yang sama dengan nilai daya reaktif Q dari sistem yang akan diperbaiki faktor daya nya, atau dapat ditulis dengan:

$$Q_c = \frac{V^2}{X_c} \quad (13)$$

Untuk menghitung daya reaktif kompensator yang dibutuhkan terhadap perubahan daya reaktif yang diinginkan, digunakan persamaan:

$$Q_c = Q_1 - Q_2 \quad (14)$$

Besarnya nilai daya Q_c kapasitor bank yang diperlukan untuk mengubah faktor daya dari $\cos \phi_1$ menjadi $\cos \phi_2$ dapat ditentukan dengan:

$$Q_c = P(\tan \phi_1 - \tan \phi_2) \quad (15)$$

METODOLOGI

Pendekatan Penelitian

listrik pada saat sekarang terutama masalah faktor daya listrik sangat dibutuhkan, karena berdampak terhadap biaya tagihan listrik. Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan pendekatan secara kuantitatif. Efisiensi pemakaian sumber tenaga

Lokasi Penelitian.

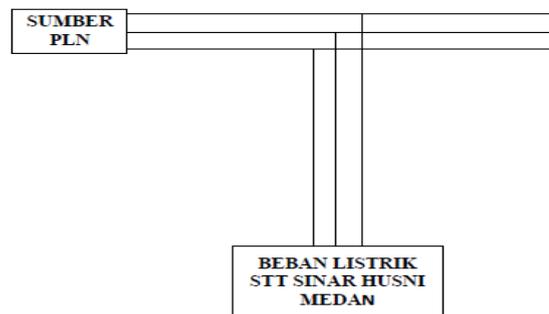
Pada penelitian ini seluruhnya dilakukan di kompleks Pendidikan Sinar Husni, yang mana untuk pengukuran nilai faktor daya dilakukan di STT Sinar Husni. Pemasangan panel kapasitor bank akan di pasang di STT Sinar Husni.

Nilai Besaran Yang Diukur

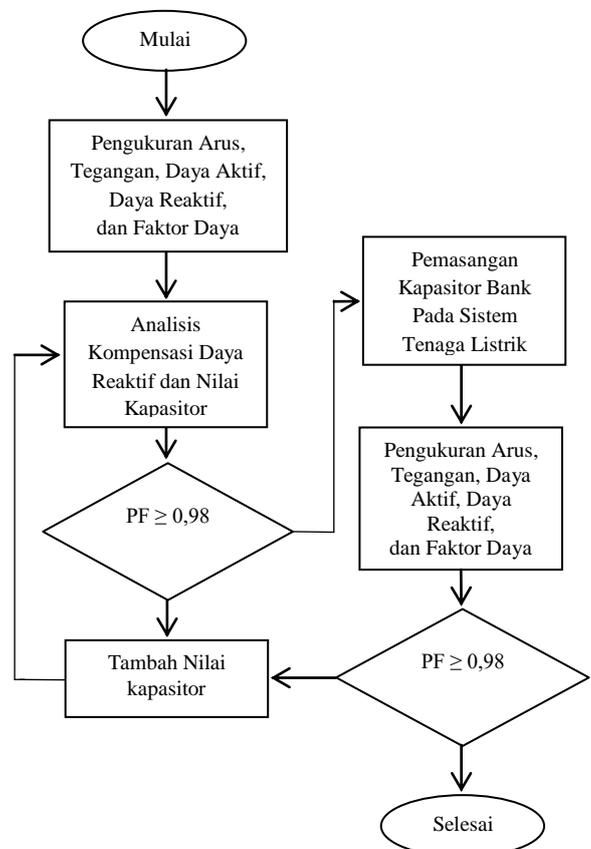
Adapun peubah yang diamati/diukur dalam penelitian ini adalah peubah – peubah yang mempengaruhi besar faktor daya diantaranya Arus listrik (Amper), Tegangan listrik (Volt), Daya aktif (Watt), Daya reaktif (VAR), Faktor daya ($\cos \phi$).

Model Yang Digunakan

Penelitian ini adalah studi kasus yang dilaksanakan di STT Sinar Husni, maka model yang digunakan adalah model sistem tenaga listrik pada STT Sinar Husni. Pengambilan data sampel dilakukan dengan pengukuran faktor daya secara terpusat pada gedung utama.



Gambar 3. Model Sistem Tenaga Listrik



Gambar 4. Flowchart perbaikan faktor daya

Rancangan Penelitian

Untuk mendapatkan hasil penelitian yang optimal maka peneliti menggunakan tahapan-tahapan dalam bentuk diagram seperti pada gambar 4. Tahapan penelitian diuraikan menjadi beberapa point dibawah ini :

1. Pengukuran dan analisis perhitungan kompensasi daya reaktif.

Pengukuran dilakukan untk mendapatkan data awal sebelum perbaikan faktor daya. Kemudian dilakukan analisis perhitungan besar nilai kompensasi daya reaktif yang dibutuhkan dan besar nilai kapasitor sebagai kompensator daya reaktif.

2. Menentukan Nilai Kapasitor

Menentukan nilai kapasitor dilakukan dengan cara berikut :

- a. Menghitung faktor daya ($\cos \phi_1$) awal

Menghitung faktor daya ($\cos \phi$) awal dilakukan dengan membandingkan daya aktif (P) dengan daya tampak (S), dapat dilihat pada persamaan berikut :

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

- b. Menghitung nilai kapasitor untuk faktor daya ($\cos \phi_2$) 0,98

Untuk menghitung nilai kapasitor dilakukan dengan menghitung dengan persamaan berikut :

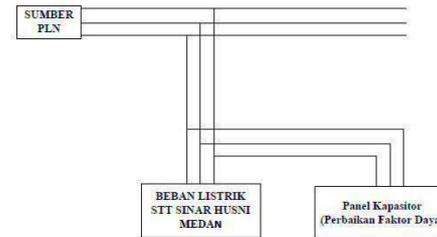
- Menghitung daya tampak S (kVA) menggunakan persamaan (2)
- Menghitung daya aktif P (kW) pada faktor daya ($\cos \phi_1$) dengan persamaan (5).
- Menghitung daya aktif P (kW) pada faktor daya ($\cos \phi_2$) dengan persamaan (5) untuk mengetahui daya aktif setelah perbaikan faktor daya.
- Menghitung daya reaktif (kVAR) pada faktor daya ($\cos \phi_1$) dengan persamaan (6)
- Menghitung daya reaktif (kVAR) pada faktor daya ($\cos \phi_2$) dengan persamaan (6) untuk mengetahui daya reaktif setelah perbaikan faktor daya.
- Menghitung kVAR kapasitor yang diperlukan untuk perbaikan faktor daya menggunakan persamaan (15).

3. Desain dan pembuatan panel kapasitor bank.

Desain rangkaian panel kapasitor dibutuhkan sebagai dalam pembuatan panel kapsitor menggunakan sistem manual Direct On Line (DOL).

4. Metode pemasangan panel kapasitor bank dan pengukuran faktor daya.

Metode yang digunakan adalah *Global Compensation*. Dengan metode ini kapasitor bank dipasang secara paralel dengan beban listrik pada induk panel. Pengukuran faktor daya dilakukan untuk melihat perubahan faktor daya setelah pemasangan panel kapasitor bank. Pada rancangan penelitian ini adalah perbaikan faktor daya pada sistem tenaga listrik yang ada di STT Sinar Husni. Rancangan perbaikan faktor daya menggunakan kapasitor dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Model Perbaikan Faktor Daya

Teknik Pengumpulan Dan Analisis Data

Teknik pengumpulan data menggunakan instrumen alat ukur Intelligent Digital Power Meter yang digunakan untuk pengukuran besaran listrik meliputi Arus, tegangan, daya aktif, daya reaktif, dan faktor daya.

Pengukuran dilakukan pada saat beban maksimum, dan dilakukan dalam dua tahap. Tahap pertama sebelum perbaikan faktor daya. Tahap kedua setelah perbaikan faktor daya. Analisis data dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran sebelum dan sesudah penambahan kapasitor. Sehingga diketahui besar perbaikan yang telah dilakukan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Faktor Daya Sebelum Kompensasi Daya Reaktif

Pengukuran dilakukan pada system tenaga listrik untuk melihat keadaan awal nilai dari parameter ukur. Hasil pengukuran dapat di lihat pada table 1.

Pada keadaan awal ini terlihat arus sebesar 17,3 A adalah besar arus yang mengalir kebeban dalam keadaan faktor daya 0,84. Besarnya daya reaktif yang di hasilkan beban sebesar 6,4 kVAR adalah daya reaktif beban dalam keadaan faktor daya 0,84.

Tabel 1. Hasil pengukuran awal

No	Hasil Pengukuran	
1	Tegangan (V)	395
2	Arus (A)	17,3
3	Daya Aktif (W)	9,53
4	Daya Reaktif (KVAR)	6,13
5	Daya Tampak (kVA)	11,67
6	Faktor Daya (Cosphi)	0,84

Pengurangan daya reaktif pada beban listrik dapat mempengaruhi besar nilai arus yang mengalir ke beban. Maka tujuan dari kompensasi daya reaktif dengan menggunakan kapasitor sebagai kompensator daya reaktif, dapat mengurangi besar arus yang mengalir ke beban. Sehingga penggunaan daya listrik dapat menjadi lebih optimal.

Menentukan Nilai Kompensasi Daya Reaktif

Dari data pengukuran awal pada table 4.1 Hasil pengukuran awal, besarnya faktor daya pada system tenaga listrik sebesar 0,84. Peningkatan faktor daya yang akan dicapai diusahakan agar mencapai nilai 1.

Maka nilai VAR kompensator kapasitor dapat dihitung sebagai berikut :

Tegangan pada system adalah tegangan rendah 395 Volt, dengan besar arus 17,2 Ampere, dan faktor daya sebesar 0,84. Maka besar kVAR kapasitor yang di butuhkan untuk menaikkan faktor daya menjadi 0,98 ditentukan dengan perhitungan di bawah ini:

1. Daya tampak (kVA)

$$S = \frac{\sqrt{3} \cdot V \cdot I}{1000} = \frac{1,732 \times 395 \times 17,3}{1000} = 11,83 \text{ kVA}$$

2. Daya aktif (kW) pada faktor daya 84% adalah

$$P = \frac{\sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos\phi}{1000} = \frac{1,732 \times 395 \times 17,2 \times 0,84}{1000} = 9,88 \text{ kW}$$

3. Daya aktif (kW) setelah faktor daya dinaikkan menjadi 98%

$$P = \frac{\sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos\phi}{1000}$$

$$= \frac{1,732 \times 395 \times 17,3 \times 0,98}{1000} = 11,59 \text{ kW}$$

4. Daya reaktif (kVAR) faktor daya 84%
 $\cos\phi 0,84 = \arccos 0,84 = 32,86^\circ$
 $kVAR = kVA \sin\phi$
 $kVAR = 11,83 \times 0,5425 = 6,41 \text{ kVAR}$
5. Daya reaktif (kVAR) faktor daya 98%
 $\cos\phi 0,98 = \arccos 0,98 = 11,47^\circ$
 $kVAR = kVA \sin\phi$
 $kVAR = 11,83 \times 0,1988 = 2,35 \text{ kVAR}$
6. Kapasitas Kapasitor yang diperlukan adalah :
 $Q_c = P(\tan\phi_1 - \tan\phi_2)$
 $kVARc = P(\tan\phi_1 - \tan\phi_2)$
 $kVARc = 9,88(0,645 - 0,202)$
 $= 4,37 \text{ kVAR}$

Dari hasil perhitungan diketahui bahwa diperlukan kapasitor dengan kapasitas 4,37 kVAR untuk dapat memperbaiki faktor daya pada system tenaga listrik dari 0,84 menjadi 0,98. Dalam hal ini pemasangan kapasitor berukuran 4,37 kVAR tidak terdapat di pasaran. Ukuran yang ada dipasaran adalah ukuran kapasitor 5 kVAR, maka dalam perbaikan faktor daya ini kapasitor yang digunakan adalah 5 kVAR lebih besar dari nilai yang dibutuhkan untuk mencapai nilai faktor daya 98%.

Faktor Daya Setelah Kompensasi Daya Reaktif

Pengukuran kembali dilakukan setelah penambahan kapasitor sebagai kompensasi daya reaktif. Dari penambahan kapasitor sebesar 5 kVAR sebagai kompensasi daya reaktif di dapat hasil pengukuran sebagai berikut.

Table 2. Hasil pengukuran akhir

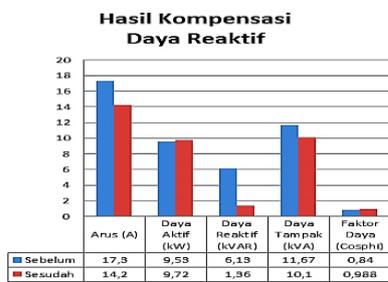
No	Hasil Pengukuran	
1	Tegangan (V)	395
2	Arus (A)	14,2
3	Daya Aktif (W)	9,86
4	Daya Reaktif (KVAR)	1,36
5	Daya Tampak (kVA)	10,1
6	Faktor Daya (Cosphi)	0,98

Dari hasil pengukuran diatas terlihat bahwa telah terjadi penurunan penggunaan arus listrik, disertai penurunan daya reaktif, daya tampak, dan terlihat hasil perbaikan faktor daya meningkat dari 84% menjadi 98%.

Analisis Kompensasi Daya Reaktif

Dari hasil pengukuran sebelum dan sesudah kompensasi daya reaktif menggunakan kapasitor seperti yang di sajikan pada grafik diatas, maka didapat hasil sebagai berikut:

1. Pemasangan kapasitor sebagai kompensator daya reaktif sebesar 5 kVAR memberikan pengaruh terhadap arus pemakaian, arus mengalami penurunan dari 17,3 Ampere sebelum kompensasi daya reaktif terpasang menjadi 14,2 Ampere setelah pemasangan kapasitor sebagai kompensator daya reaktif.



Gambar 3. Grafik Perbandingan sebelum dan sesudah kompensasi daya reaktif

2. Daya aktif tidak menunjukkan perubahan yang signifikan, karena perubahan nilai yang terjadi pada daya aktif dalam pengukuran adalah fluktuasi beban terpasang. Penambahan dan pengurangan dari variasi beban listrik selalu terjadi sehingga mengakibatkan sedikit pergeseran nilai ukur.
3. Pemasangan kapasitor sebagai kompensator daya reaktif (VAR) sebesar 5 kVAR memberikan pengaruh terhadap

berkurangnya nilai daya reaktif yang bersifat induktif sebesar kompensasi yang di pasang. Pemasangan kapasitor sebagai kompensator daya reaktif mampu mengurangi daya reaktif dari 6,13 kVAR menjadi 1,36 kVAR.

4. Pemasangan kapasitor sebagai kompensator daya reaktif sebesar 5 kVAR memberikan pengaruh terhadap berkurangnya nilai daya tampak (VA). Pemasangan kapasitor sebagai kompensator sebesar 5 kVAR mampu mengurangi daya tampak (VA) dari 11,67 kVA menjadi 10,1 kVA.
5. Dari hasil Pemasangan kapasitor sebagai kompensator daya reaktif sebesar 5 kVAR memberikan peningkatan faktor daya dari 0,84 menjadi 0,98. Ini menunjukkan penggunaan daya listrik menjadi lebih optimal.

SIMPULAN

Dari hasil perbaikan faktor daya dengan melakukan kompensasi daya reaktif menggunakan kapasitor sebagai kompensator menghasilkan penurunan penggunaan daya listrik. Ini terlihat dari menurunnya nilai besar arus yang mengalir ke beban listrik.

Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan daya listrik lebih optimal dan telah terjadi penghematan penggunaan daya listrik, sehingga penghematan ini akan berdampak pada penurunan biaya. Penggunaan kapasitor dengan nilai yang sesuai dengan perhitungan untuk mengurangi daya reaktif pada beban ternyata mampu melakukan perbaikan faktor daya dan penggunaan daya listrik menjadi lebih optimal sesuai dengan kapasitas beban listrik terpasang.

DAFTAR PUSTAKA

Alland, K. (2013). Perancangan Kebutuhan Kapasitor Bank Untuk Perbaikan Faktor Daya Pada Line Mess I Di PT. Bumi Lamongan Sejati (WBL). *Jurnal Teknik Elektro*, 2(1).

Darmawan, A. F., Wati, F. A. R., & Muhaimin, N. (2014). Rancang Bangun Alat Perbaikan Faktor Daya untuk AC (Air Conditioner) secara Otomatis. *Program Kreativitas Mahasiswa-Karsa Cipta*.

Nuwolo, A., & Kusmantoro, A. (2015). unakan Bank Kapasitor. Rancang Bangun Kapasitor Bank Pada Jaringan Listrik Gedung Universitas PGRI Semarang. *Prosiding SNST Fakultas Teknik*, 1(1).

Noor, S., & Saputera, N. (2014). Efisiensi Pemakaian Daya Listrik Menggunakan Kapasitor Bank. *Jurnal Poros Teknik*, 6(2), 73-79

Nisworo, S. (2013). Analisis Kompensasi Faktor Daya Transformator Las Listrik 3Fasa.