

## Efisiensi Energi Listrik Dalam Upaya Meningkatkan *Power Quality* dan Penghematan Energi Listrik di Gedung Universitas Ciputra (UC) Apartment Surabaya

**Ardhin Najadiya Setya**

Teknik Elektro, Teknik, Universitas Negeri Surabaya  
e-mail : Ardhin.setya@gmail.com

**Achmad Imam Agung**

Teknik Elektro, Teknik, Universitas Negeri Surabaya  
e-mail : imamagung@yahoo.com

### Abstrak

Masalah kelistrikan timbul akibat kebutuhan energi listrik yang meningkat lebih pesat dibandingkan kemampuan PT. PLN (Persero) untuk memenuhi pasokan listrik yang dibutuhkan. Maka perlu dilakukan penelitian yang mengkaji tentang upaya meningkatkan *power quality* dan penghematan energi listrik. Penelitian ini dilakukan di gedung Universitas Ciputra (UC) Apartment Surabaya. Analisis data dilakukan dengan cara perhitungan menggunakan program software ETAP (*Electrical Transient Analysis Program*). Penelitian efisiensi energi listrik dalam upaya meningkatkan *power quality* dan penghematan energi listrik di gedung Universitas Ciputra (UC) Apartment Surabaya yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa setelah dilakukan perbaikan faktor daya sistem dengan menggunakan kapasitor bank di bus utama trafo 2000 kVA, maka *power quality* sistem mengalami peningkatan hingga 0,93. Kondisi *undervoltage* pada beberapa bus sistem dapat teratasi, dan mengalami peningkatan hingga 0,9%, Besarnya rugi-rugi daya sistem dapat diturunkan yang awalnya bernilai 57 kW dan 21 kVAR berkurang menjadi 56 kW dan 17 kVAR. Besarnya pemakaian daya reaktif (kVAR) total berkurang, sehingga pemakaian daya total (kVA) juga berkurang. Oleh karena itu masih dapat melakukan penambahan beban maksimal sebesar 132 kVA. Penghematan yang diperoleh setelah dilakukan perbaikan faktor daya adalah besarnya pemakaian kVARh total menurun dari 220.084 kVARh menjadi 102.100 kVARh. Untuk tiga bulan pertama pemasangan, gedung UC Apartment sudah melakukan penghematan sebesar Rp 37.302.123,30. Dan untuk bulan-bulan selanjutnya, besarnya penghematan adalah Rp 40.524.041,10. Hasil dari pengaturan beban penerangan dan pendingin ruangan adalah sebesar 2.716,2 kWh dan jika dirupiahkan adalah sebesar Rp 2.058.302,01.

**Kata Kunci:** Efisiensi Energi, *Power Quality*, Penghematan Energi Listrik

### Abstract

Electrical problems arise due to the need for electrical energy increased more rapidly than the ability of PT. PLN (Persero) to meet the required electricity supply. It is necessary to do research that examines the efforts to improve power quality and energy saving electricity. This research was conducted at Universitas Ciputra (UC) Apartment Surabaya. Data analysis is done by calculation using ETAP software program (*Electrical Transient Analysis Program*). Research on electrical energy efficiency in an effort to improve power quality and electrical energy savings at Ciputra University Building (UC) Apartment Surabaya that has been done, it can be seen that after the system power factor improvement by using the capacitor bank in the main bus 2000 kVA transformer, the power quality system Increased to 0.93. Undervoltage conditions on some system buses can be overcome, and increase up to 0.9%, The amount of loss of system power can be derived which initially is worth 57 kW and 21 kVAR is reduced to 56 kW and 17 kVAR. The amount of total reactive power (kVAR) is reduced, so total power consumption (kVA) is also reduced. Therefore, it is still possible to add maximum load of 132 kVA. The savings obtained after power factor improvement is the total usage of total kVARh decreased from 220,084 kVARh to 102,100 kVARh. For the first three months of installation, the UC Apartment building has saved Rp 37.302.123,30. And for the next months, the amount of savings is Rp 40,524,041,10. The result of lighting and air conditioning load setting is 2,716.2 kWh and if in rupiah is Rp 2,058,302,01.

**Keywords:** Energy Efficiency, Power Quality, Electric Energy Saving

### PENDAHULUAN

Seiring dengan peningkatan konsumsi energi listrik oleh masyarakat, maka pihak penyedia energi listrik, dalam hal ini Perusahaan Listrik Negara (PLN), harus meningkatkan pasokan energi listrik atau kapasitas

pembangkitannya. Hal ini dimaksudkan agar jumlah daya listrik yang tersedia dapat memenuhi permintaan konsumen akan energi listrik.

Masalah kelistrikan timbul akibat kebutuhan energi listrik yang meningkat lebih pesat dibandingkan

kemampuan PT. PLN (Persero) untuk memenuhi pasokan listrik yang dibutuhkan. Akibatnya, terjadi gangguan, pemadaman bergilir dimana-mana dan masih terdapat beberapa daerah di Indonesia yang belum mendapatkan kesempatan untuk dialiri listrik. Penghematan energi listrik merupakan langkah nyata dalam upaya mengatasi masalah tersebut.

Proses penghematan energi adalah efisiensi energi. Seperti halnya konsumsi energi listrik di gedung Universitas Ciputra (UC) Apartment Surabaya, dianggap mempunyai kontribusi yang cukup besar dalam pembayaran tagihan listrik dikawasan Universitas Ciputra, efisiensi energi merupakan langkah yang tepat untuk dilaksanakan.

Menurut Ulfa (2007: 19) *Power quality* atau kualitas daya listrik adalah tingkat dari jaringan listrik dan tingkat efisiensi dari penggunaan energi. Alasan mengapa kualitas daya listrik (*power quality*) dari suatu sistem perlu mendapatkan perhatian khusus karena peduli *power quality* sama halnya dengan peduli terhadap pengamatan uang.

Salah satu upaya nyata proses peningkatan *power quality* dan penghematan energi listrik adalah dengan melakukan pemasangan kapasitor bank. Kapasitor bank adalah rangkaian yang terdiri dari beberapa kapasitor. Stevenson (1993: 200) mengemukakan insinyur sistem tenaga biasanya menganggap sebuah kapasitor sebagai generator daya reaktif positif, dan bukannya sebagai suatu beban yang memerlukan daya reaktif negatif. Konsep ini sangat masuk akal, karena sebuah kapasitor yang menarik daya reaktif negatif dan terpasang paralel dengan sebuah beban induktif akan mengurangi daya reaktif yang seharusnya disupply seluruhnya oleh sistem kepada beban induktif. Oleh Karena itu kapasitor bank sangat diperlukan untuk meningkatkan *power quality* dan penghematan energi listrik.

Efisiensi energi di gedung UC Apartment Surabaya bisa ditingkatkan jika semua rekomendasi peluang peningkatan efisiensi yang diperoleh dari hasil pengaturan energi dilaksanakan dan diawasi secara menyeluruh dan teliti. Dengan dilaksanakannya efisiensi energi ini bisa meningkatkan *power quality* dan menurunkan biaya tagihan listrik ditahun berikutnya.

## KAJIAN PUSTAKA

### Efisiensi Energi

Efisiensi energi merupakan kegiatan di suatu perusahaan yang teroganisir dengan menggunakan prinsip-prinsip manajemen, dengan tujuan agar dapat dilakukan konservasi energi, sehingga biaya energi sebagai salah satu komponen biaya produksi dapat ditekan serendah-rendahnya.

### Konsevasi Energi Listrik

konservasi energi merupakan suatu upaya efisiensi pemakaian energi untuk suatu kebutuhan agar pemborosan energi dapat dihindarkan. Kebutuhan atas konservasi energi tersebut sebagai upaya penghematan energi akhir-akhir ini juga sering dibicarakan. Hal ini terkait dengan ketersediaan sumber energi yang terbatas dan adanya peningkatan biaya pembelian energi.

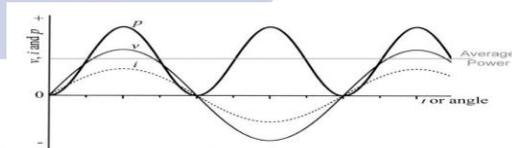
### Sistem Dasar Distribusi dan Instalasi

Sistem distribusi tenaga listrik dapat diartikan sebagai sistem penyampaian tenaga listrik dari sumber ke pusat beban. Sementara untuk sistem instalasi adalah cara pemasangan penyalur tenaga listrik atau peralatan listrik untuk semua barang yang memerlukan tenaga listrik, dimana pemasangannya harus sesuai dengan peraturan yang telah ditetapkan di dalam Persyaratan Umum Instalasi Listrik.

### Karakteristik Beban Listrik

#### 1. Beban Resistif (R)

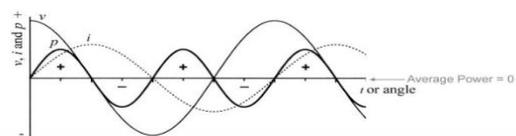
Beban resistif (R) dihasilkan oleh alat-alat listrik yang bersifat murni tahanan (resistor) seperti pada elemen pemanas dan lampu pijar. Beban resistif ini memiliki sifat yang "pasif", dimana beban resistif tidak mampu memproduksi energi listrik, dan justru menjadi konsumen energi listrik. Gambar 1 merupakan gelombang sinusoidal beban resistif (R) listrik AC.



Gambar 1. Gelombang Sinusoidal Beban Resistif (R) Listrik AC.

#### 2. Beban induktif (L)

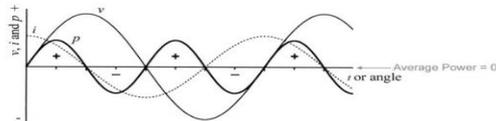
Beban induktif (L) diciptakan oleh lilitan kawat (kumparan) yang terdapat di berbagai alat-alat listrik seperti motor, trafo, dan relay. Kumparan dibutuhkan oleh alat-alat listrik tersebut untuk menciptakan medan magnet sebagai komponen kerjanya. Gambar 2 merupakan gelombang sinusoidal beban induktif (L) listrik AC.



Gambar 2. Gelombang Sinusoidal Beban Induktif (L) Listrik AC.

### 3. Beban kapasitif (C)

Beban kapasitif (C) merupakan kebalikan dari beban induktif. Jika beban induktif menghalangi terjadinya perubahan nilai arus listrik AC, maka beban kapasitif bersifat menghalangi terjadinya perubahan nilai tegangan listrik. Sifat ini menunjukkan bahwa kapasitor bersifat seakan-akan menyimpan tegangan listrik sesaat. Gambar 3 merupakan gelombang sinusoidal beban kapasitif (C) listrik AC.



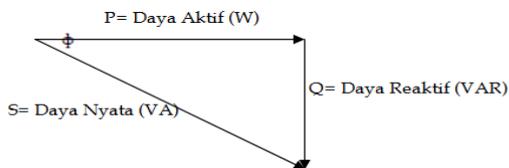
Gambar 3. Gelombang Sinusoidal Beban Kapasitif (C) Listrik AC.

#### Aspek-aspek yang Terkait dengan *Power Quality*

Arti dari pada kualitas daya listrik (*power quality*) adalah tingkat dari jaringan listrik dan tingkat efisiensi dari penggunaan energi. Alasan mengapa kualitas daya listrik (*power quality*) dari suatu sistem perlu mendapatkan perhatian khusus adalah karena peduli *power quality* sama halnya dengan peduli terhadap penghematan uang.

##### 1. Faktor Daya

Faktor daya adalah perbandingan antara daya aktif (P) dan daya nyata (S). Pergeseran faktor daya merupakan kosinus sudut antara tegangan dan arus. Gambar 4 merupakan segitiga daya.



Gambar 4. Segitiga Daya.

##### 2. *Undervoltage*

*Undervoltage* dihasilkan dari efek jangka panjang dari masalah awal, yaitu *voltage sag*. Periode *brownout* sudah menjadi permasalahan umum yang terjadi dan diperbesar oleh kondisi *undervoltage*.

##### 3. Perbaiki Faktor Daya

Salah satu tindakan yang harus dilakukan untuk memperbaiki kualitas daya listrik adalah memperbaiki faktor daya sistem kelistrikan. Hal tersebut dapat dilakukan dengan memasang kompensator berupa kapasitor bank disalah satu lokasi sistem kelistrikan.

#### Audit Energi

Audit energi adalah kegiatan untuk mengidentifikasi dimana dan berapa energi yang digunakan serta langkah-langkah apa yang dapat dilakukan dalam rangka konservasi energi pada suatu fasilitas pengguna energi. Kegiatan audit energi dimulai dari survey data sederhana hingga pengujian data yang sudah ada secara rinci, kita dapat memperoleh potret penggunaan energi pada sebuah gedung yaitu gambaran mengenai jenis, jumlah penggunaan energi, peralatan energi, intensitas energi, maupun data-data lainnya.

#### Komponen Pengaman Instalasi Listrik

Salah satu faktor teknis yang perlu diperhatikan dalam penyediaan dan penyaluran daya listrik adalah kualitas daya itu sendiri. Faktor kualitas daya ini meliputi stabilitas tegangan, kontinuitas pelayanan, keandalan pengaman, kapasitas daya yang memenuhi (sesuai) kebutuhan dan sebagainya.

##### 1. Pengaman Lebur (*Fuse*)

Pengaman lebur berfungsi untuk mengamankan sistem instalasi dari kemungkinan terjadinya hubung singkat atau beban lebih. Bekerja berdasarkan besar arus yang melewatinya,

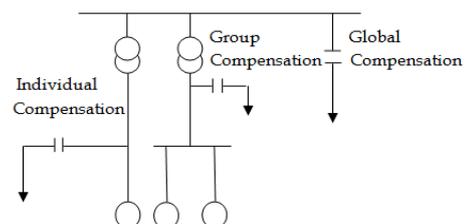
##### 2. *Circuit Breaker* (CB)

Fungsi dari komponen ini adalah untuk memutuskan atau menghubungkan rangkaian pada saat berbeban atau tidak berbeban serta akan membuka dalam keadaan terjadi gangguan arus lebih atau arus hubung singkat.

#### Kapasitor Bank

Stevenson (1993: 200) mengemukakan insinyur sistem tenaga biasanya menganggap sebuah kapasitor sebagai generator daya reaktif positif, dan bukannya sebagai suatu beban yang memerlukan daya reaktif negatif.

Lokasi pemasangan instalasi kapasitor bank cara pemasangan instalasi kapasitor bank dapat dibagi menjadi 3 bagian yaitu: global compensation, individual compensation dan group compensation. Gambar 5 merupakan metode lokasi pemasangan instalasi kapasitor bank.



Gambar 5. Metode Lokasi Pemasangan Instalasi Kapasitor Bank

### **Electrical Transient Analysis Program (ETAP)**

*Electrical Transient Analysis Program* (ETAP) adalah *software* untuk power sistem yang bekerja berdasarkan perencanaan *plant* atau *project*, yang mampu bekerja dalam keadaan *offline* untuk simulasi tenaga listrik, *online* untuk pengolahan data *real-time*.

### **METODE**

#### **Pendekatan Penelitian**

Pendekatan penelitian ini dilakukan dengan pendekatan kuantitatif. Pendekatan kuantitatif adalah pengukuran data dan statistik objektif melalui analisis yang berasal dari teori perhitungan atau pengumpulan referensi dan juga analisis kajian.

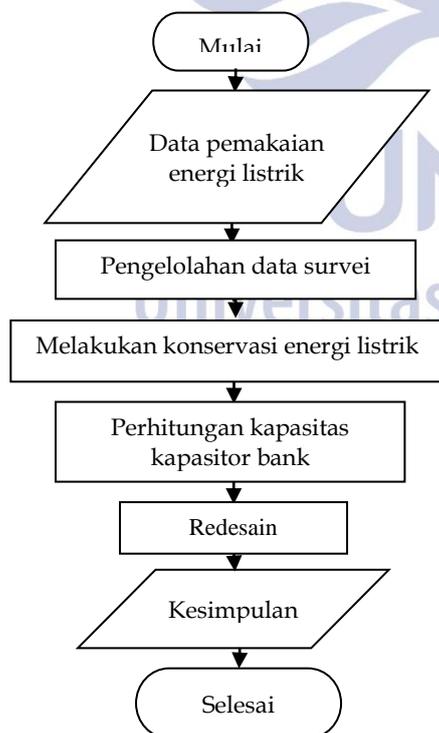
#### **Tempat dan Waktu Penelitian**

Penelitian ini dilakukan di gedung UC Apartment Surabaya yang berada di kawasan Citraland lebih tepatnya di UC Boulevard, Kelurahan Made, Kecamatan Sambikerep kota Surabaya. Waktu penelitian dimulai tanggal 12 November 2016.

#### **Teknik Analisis Data**

Teknik analisa data efisiensi energi listrik dalam upaya meningkatkan *power quality* dan penghematan energi listrik pada gedung UC Apartment Surabaya mengarah pada perhitungan menggunakan *software* ETAP.

Tahapan pelaksanaan penelitian dapat digambarkan pada Gambar 6 diagram alir penelitian (*flow chart*) berikut ini:



Gambar 6. Diagram Alir Penelitian

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **Sistem Kelistrikan Gedung UC Apartment**

Sistem kelistrikan gedung UC Apartment mendapatkan suplai daya listrik dari PLN dengan sistem tegangan 20kV, yang kemudian diturunkan menjadi 380/220 V, sebelum digunakan untuk beban-beban yang ada dalam gedung. Suplai ini digunakan untuk memikul beban pada kondisi normal, artinya suplai dari PLN sebagai suplai utama. Namun jika suplai utama tersebut padam maka gedung UC Apartment akan mendapatkan energi listrik dari sumber genset dengan kapasitas 500 kVA.

Sistem kelistrikan gedung UC Apartment (terlampir) telah disimulasikan dengan menggunakan *software* ETAP. Sebelum dilakukan simulasi, diperlukan beberapa parameter beban yang digunakan untuk proses simulasi, untuk mendapatkan data-data tersebut dapat dilakukan dengan cara melakukan survei data (*data book*, *name plate*), dan pengukuran. Parameter yang diperlukan antara lain: kapasitas daya, tegangan, arus, reaktansi, faktor daya.

#### **Efisiensi Energi Listrik di Gedung UC Apartment**

Pelaksanaan efisiensi energi listrik pada gedung UC Apartment bertujuan untuk mengetahui besarnya pemakaian energi listrik, kebiasaan pemakaian dari penggunaan listrik, kondisi peralatan yang beroperasi, juga intensitas pemeliharaan yang dilakukan pada peralatan-peralatan tersebut.

#### **Pemakaian Energi Listrik Beban**

Beban yang ada di gedung UC Apartment merupakan beban yang terdiri dari beban penerangan dan beban daya. Sedangkan besarnya pemakaian daya untuk beban penerangan adalah 10% dari total pemakaian beban seluruhnya. Untuk penggunaan beban daya, meliputi beban motor-motor, elevator, pendingin, serta peralatan rumah tangga lainnya.

Sebelum melakukan simulasi menggunakan kapasitor bank, terlebih dahulu menghitung beban yang ada di UC Apartment seperti perincian dan perhitungan terlampir. Dari perhitungan terlampir besarnya daya listrik pada transformator utama, yaitu trafo 2000 kVA dapat dilihat pada Tabel 1 berdasarkan kondisi beban puncak, luar jam aktivitas, AC off, lampu off, dengan keterangan dibawah ini.

Berdasarkan Tabel 1, dapat dibuat tabel data penggunaan energi listrik dalam satu hari sesuai dengan kebutuhan gedung UC Apartment, seperti yang tertera pada Tabel 2. Nilai dari pemakaian energi dapat dihitung berdasarkan besarnya daya listrik dari hasil simulasi aliran daya yang dikalikan dengan lama waktu pemakaian beban. Perhitungan waktu pemakaian pada analisis ini

dibuat berdasarkan survei lapangan langsung pada gedung UC Apartment.

Tabel 1. Aliran Daya Sistem Sebelum Efisiensi Energi listrik

Beban Puncak (pukul 17.00 - 22.00)					
Lokasi	kW	kVAR	kVA	Cos $\phi$	Ampere
Trafo	579	464	742	0,78	1038,3
2000 kVA					
Luar Aktivitas (pukul 22.00 - 06.00)					
Lokasi	kW	kVAR	kVA	Cos $\phi$	Ampere
Trafo	461	345	576	0,80	818,9
2000 kVA					
AC Off (pukul 06.00 - 09.00)					
Lokasi	kW	kVAR	kVA	Cos $\phi$	Ampere
Trafo	234	162	285	0,82	421,1
2000 kVA					
Lampu Off (pukul 09.00 - 17.00)					
Lokasi	kW	kVAR	kVA	Cos $\phi$	Ampere
Trafo	532	412	673	0,79	949,9
2000 kVA					

Penyusunan Tabel 2, dibagi menjadi dua, yaitu waktu beban puncak (WBP) dan lewat waktu beban puncak (LWBP), karena pada pembahasan pengeluaran beban listrik, harga per kWh ditentukan oleh PLN tidak sama.

Tabel 2. Pemakaian Energi Listrik (kWh) di Gedung UC Apartment Sebelum Efisiensi Energi Listrik

Uraian	Daya (kW)	Waktu	Durasi (jam)	kWh	Jumlah hari	kWh total (sebulan)
WBP						
Beban Puncak	579	17.00 – 22.00	5	2.895	22	63.690
LWBP						
Luar Jam Aktivitas	461	22.00 – 06.00	8	3.688	22	81.136
AC Off	234	06.00	3	702	22	15.444
Lampu Off	532	09.00 – 17.00	8	4.256	22	93.632
WBP						
Hari Libur	289	17.00 – 22.00	5	1.445	8	11.560
LWBP						
Hari Libur	204	22.00 – 17.00	19	3.876	8	31.008
Total						296.470

### Pencatatan Pengoperasian Peralatan Listrik

Tahapan efisiensi energi listrik berikutnya adalah pencatatan operasional dari peralatan-peralatan listrik. Hal tersebut meliputi, daya yang diperlukan peralatan tersebut untuk sekali pengoperasian, efisiensi motor pada periode yang ditentukan, rugi-rugi peralatan, dan lain sebagainya.

### Sebelum Tindakan Efisiensi Energi Listrik

Kondisi kelistrikan pada gedung UC Apartment sebelum dilakukan tindakan efisiensi energi listrik menunjukkan tingkat *power quality* yang masih rendah. Hal ini ditunjukkan dengan masih rendahnya nilai faktor daya ( $\cos \phi$ ), rugi-rugi daya dan arus yang cukup besar (Tabel 1), masih adanya kondisi *undervoltage* pada beberapa bus.

Dari hasil data, seperti pada Tabel 3, menunjukkan bahwa masih banyak bus yang mengalami kondisi *undervoltage*, dan sebagian besar dari bus-bus tersebut mengalami penurunan tegangan dibawah 7%, ada bus beban yang termasuk dalam batas kritis, yaitu bus 15 dengan tegangan 366 V adalah bus beban dari *Air Conditioner* untuk kondisi puncak.

Tabel 3. Kondisi Bus-bus yang mengalami *Undervoltage* Sebelum Efisiensi Energi Listrik

Beban Puncak		
Lokasi	Tegangan (V)	Magnitude (%)
Bus 15	366	96,4
Bus 16	367	96,7
Bus 17	366	96,2
Bus 18	369	97,1
Bus 19	370	97,3
Bus 20	371	97,5
Luar Jam Aktivitas		
Lokasi	Tegangan (V)	Magnitude (%)
Bus 15	367	96,7
Bus 17	367	96,6
Bus 18	370	97,4
AC Off		
Lokasi	Tegangan (V)	Magnitude (%)
Bus 16	370	97,4
Bus 17	369	97,0
Bus 18	372	97,8
Lampu Off		
Lokasi	Tegangan (V)	Magnitude (%)
Bus 15	366	96,5
Bus 16	368	96,8

Lampu Off		
Lokasi	Tegangan (V)	Magnitude (%)
Bus 17	366	96,4
Bus 19	370	97,5
Bus 20	371	97,7

Terjadinya *undervoltage* pada bus-bus tersebut disebabkan oleh kebutuhan daya beban melebihi kapasitas suplai daya listrik yang ada. Sehingga, sebagian besar bus beban yang terhubung pada bus 4 atau CB 550 kVA, juga mengalami *undervoltage*.

Hal lain yang perlu diketahui dari hasil simulasi adalah rugi-rugi yang dialami oleh sistem, baik rugi-rugi pada percabangan ataupun rugi daya beban total pada sistem. Pada Tabel 4, dapat diketahui besarnya rugi-rugi daya yang dialami sistem sebelum pemasangan kapasitor bank.

Tabel 4. Rugi-rugi Daya Sistem Kelistrikan sebelum Efisiensi Energi Listrik

Beban Puncak			
Branch losses		Apparent losses	
kW	kVAR	kW	kVAR
2,3	13,7	57	21
Luar Jam Aktivitas			
Branch losses		Apparent losses	
kW	kVAR	kW	kVAR
1,4	8,4	54	15
AC Off			
Branch losses		Apparent losses	
kW	kVAR	kW	kVAR
0,4	2,4	6	3
Lampu Off			
Branch losses		Apparent losses	
kW	kVAR	kW	kVAR
1,9	11,4	56	18

Karena faktor daya pada sistem masih rendah, maka konsumsi daya reaktif sistem terbilang cukup besar. Sehingga, energi listrik (kVARh) yang dikonsumsi gedung UC Apartment juga semakin besar. Besarnya penggunaan energi listrik (kVARh) yang berupa daya reaktif adalah sebesar 220.084 kVARh.

Daya reaktif akan dikenakan biaya, jika besar nilai kVARh total lebih besar dari nilai 62% kWh total pemakaian dalam sebulan. Atau, faktor daya sistem di bawah 0,62. Jika tidak, maka gedung UC Apartment tidak akan dikenakan tarif biaya pemakaian daya reaktif.

### Tindakan Efisiensi Energi

Efisiensi energi listrik dapat dilakukan dengan memperbaiki sistem kelistrikan gedung UC Apartment guna melakukan penghematan dan meningkatkan *power quality* sistem. Tindakan efisiensi ini dapat dibedakan

menjadi dua macam, yakni perbaikan tanpa biaya dan dengan biaya. Sedangkan perbaikan dengan biaya dibedakan menjadi tiga sesuai dengan biaya yang dikeluarkan untuk investasi awal tambahan peralatan yang akan dipasang pada sistem. Yaitu, perbaikan dengan biaya rendah, menengah dan tinggi.

### Perbaikan Tanpa Biaya

Perbaikan tanpa biaya ialah perlakuan manajemen energi listrik pada gedung UC Apartment tanpa menambahkan peralatan baru yang membutuhkan biaya pengeluaran. Seperti, pengelolaan pemakaian beban yang ada di gedung, baik beban penerangan maupun beban daya.

### Perbaikan dengan Biaya

Dari hasil simulasi sistem kelistrikan di gedung UC Apartment sebelum dilakukan tindakan manajemen energi, menunjukkan penggunaan energi listrik pada gedung UC Apartment masih tinggi dan tingkat *power quality* pada sistem masih rendah. Oleh karena itu, perlu dipasang kapasitor bank pada sistem kelistrikan di gedung UC Apartment.

Metode peletakan kapasitor yang dipilih adalah *group compensation*, dengan alasan agar biaya pemasangan rendah, kapasitor dapat dimanfaatkan sepenuhnya, dan biaya pemeliharaan yang rendah. Kemudian, letak pemasangan kompensator pada sistem ditempatkan pada trafo utama yaitu pada bus 2. Kompensator diletakan pada bus trafo 2000 kVA, dengan kapasitas maksimal 250 kVAR. Besarnya kapasitor yang diperlukan berdasarkan keadaan sistem yang paling jelek, ditinjau dari *factor* daya trafo utama yaitu bus 2.

### Perbaikan Faktor Daya

Berdasarkan analisis aliran daya sistem menunjukkan bahwa tingkat kualitas daya sistem masih rendah. Maka, untuk memperbaiki kualitas daya listrik sistem, perlu dipasang kompensator berupa kapasitor bank.

Sebelum pemasangan kapasitor bank, perlu dilakukan perhitungan kapasitas kapasitor bank yang akan dipasang. Tujuannya adalah agar sistem tidak mengalami kompensasi berlebihan (*overcompensating*). Kemudian, untuk perhitungan daya reaktif yang diberikan oleh kapasitor sesuai dengan formulasi, dengan  $Q_{cap}$  adalah kapasitas kapasitor (kVAR),  $P$  adalah daya nyata awal (kW), dan  $\phi_1$  adalah kondisi awal, dan  $\phi_2$  adalah target yang diinginkan.

$$Q_{cap} = P(\tan \phi_1 - \tan \phi_2) \quad (1)$$

Nilai kapasitor bank yang dimasukkan dalam simulasi, disesuaikan dengan nilai *factor* daya yang

mendekati atau sebenarnya pada gedung UC Apartment. Besarnya nilai kompensasi secara rinci dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Nilai Kapasitor Bank yang Terpasang saat Simulasi

Kondisi	Bus 2 (Trafo 2000 kVA)
Beban Puncak	250 kVAR/ 5,511 Farad
Luar Jam Aktivitas	200 kVAR/ 4,409 Farad
AC Off	100 kVAR/ 2,204 Farad
Lampu Off	200 kVAR/ 4,409 Farad

### 1. Penggunaan daya listrik

Pada Tabel 6. dapat dilihat analisis aliran daya sistem setelah dipasang kompensator pada trafo 2000 kVA, dan untuk besarnya daya total yang masih bisa digunakan (*available power*) ditunjukkan oleh Tabel 7.

Tabel 6. Aliran Daya Sistem Sesudah manajemen Energi Listrik

Beban Puncak (pukul 17.00 - 22.00)					
Lokasi	kW	kVAR	kVA	Cos $\phi$	Ampere
Trafo 2000 kVA	579	227	622	0,93	936,1
Luar Aktivitas (pukul 22.00 - 06.00)					
Lokasi	kW	kVAR	kVA	Cos $\phi$	Ampere
Trafo 2000 kVA	461	150	485	0,95	722,3
AC Off (pukul 06.00 - 09.00)					
Lokasi	kW	kVAR	kVA	Cos $\phi$	Ampere
Trafo 2000 kVA	235	57	242	0,97	385,5
Lampu Off (pukul 09.00 - 17.00)					
Lokasi	kW	kVAR	kVA	Cos $\phi$	Ampere
Trafo 2000 kVA	532	190	565	0,94	851,6

Dengan menggunakan Tabel 6, didapatkan kesesuaian nilai *factor* daya dari simulasi aliran daya pada ETAP.

Tabel 7. Daya total pada Sistem Sesudah dan sebelum Efisiensi Energi Listrik

Beban Puncak			
Lokasi	kVA		Sav (hasil simulasi)
	S1	S2	
Trafo 1	742	610	132 kVA
Luar Jam Aktivitas			
Lokasi	kVA		Sav (hasil Simulasi)
	S1	S2	
Trafo 1	586	473	113 kVA
AC Off			
Lokasi	kVA		Sav (Hasil Simulasi)
	S1	S2	
Trafo 1	300	253	47 kVA
Lampu Off			
Lokasi	kVA		Sav (Hasil Simulasi)
	S1	S2	
Trafo 1	679	556	123 A

### 2. Pemakaian Energi Listrik

Perhitungan energi listrik yang terpakai akan dihitung dalam bentuk kWh, yaitu pada Tabel 8.

Tabel 8. Pemakaian Energi Listrik (kWh) di gedung UC Apartment sesudah Efisiensi Energi Listrik

Uraian	Daya (kW)	Waktu	Durasi (jam)	kWh	Jumlah hari	kWh total (sebulan)
WBP						
Beban Puncak	579	17.00 – 22.00	5	2.895	22	63.690
LWBP						
Luar Jam Aktivitas	461	22.00 – 06.00	8	3.688	22	81.136
AC Off	235	06.00	3	705	22	15.510
Lampu Off	532	09.00 – 17.00	8	4.256	22	93.632
WBP						
Hari Libur	289	17.00 – 22.00	5	1.445	8	11.560
LWBP						
Hari Libur	203	22.00 – 17.00	19	3.857	8	30.856
Total						296.384

Untuk perhitungan energi listrik yang terpakai dalam bentuk kVARh setelah pemasangan kapasitor bank adalah sebesar 102.100 kVARh.

Agar dapat menentukan besarnya dua kali kVAR lebih besar atau lebih kecil dari kWh, juga perlu dihitung pemakaian kVARh setelah sistem dipasang kapasitor bank. Dengan menggunakan hasil kWh dan kVRh, maka dapat dihitung bahwa nilai kVARh (102.100) < 62% kWh<sub>total</sub> (183.758). Sehingga, gedung UC Apartment tidak akan dikenakan biaya pengeluaran daya raktif.

### 3. Kualitas Tegangan

Setelah kapasitor bank terpasang pada bus 2 tepatnya pada trafo 2000 kVA, maka kompensasi yang diberikan ke sistem juga dapat memperbaiki kualitas tegangan pada bus-bus yang sebelumnya mengalami *undervoltage*.

Tabel 10 menunjukkan bahwa beberapa bus sudah mengalami perbaikan dan sebagian yang masih mengalami *undervoltage*.

Tabel 10. Kondisi Bus-bus yang Mengalami *Undervoltage* Sesudah Perbaikan Sistem

Beban Puncak		
Lokasi	Tegangan (V)	Magnitude (%)
Bus 15	369	97,3
Bus 16	370	97,4
Bus 17	369	97,0
Bus 18	372	97,9

Luar Jam Aktivitas		
Lokasi	Tegangan (V)	Magnitude (%)
Bus 15	371	97,6
Bus 17	370	97,3

AC Off		
Lokasi	Tegangan (V)	Magnitude (%)
Bus 17	372	97,8

Lampu Off		
Lokasi	Tegangan (V)	Magnitude (%)
Bus 15	370	97,4
Bus 16	371	97,6
Bus 17	369	97,2

#### 4. Rugi-rugi Daya Listrik

Analisis lainnya dari aliran daya sistem adalah menurunnya besarnya rugi-rugi daya listrik setelah dilakukan kompensasi pada sistem, seperti yang tercantum pada Tabel 11.

Tabel 11. Rugi-rugi Daya pada Sistem Kelistrikan Setelah Dikomsumsi

Beban Puncak			
Branch losses		Apparent losses	
kW	kVAR	kW	kVAR
1,7	10,4	56	17

Luar Jam Aktivitas			
Branch losses		Apparent losses	
kW	kVAR	kW	kVAR
1	6,3	52	13

AC Off			
Branch losses		Apparent losses	
kW	kVAR	kW	kVAR
0,3	2,1	6	3

Lampu Off			
Branch losses		Apparent losses	
kW	kVAR	kW	kVAR
1,4	8,6	54	15

Dari Tabel 7 hingga 11, menunjukkan bahwa pemasangan kapasitor bank sebagai kompensator memiliki dampak yang positif terhadap aliran daya sistem. Baik dalam hal perbaikan faktor daya, *undervoltage* memperkecil rugi-rugi daya, yang semuanya sudah sesuai dengan tujuan awal, yaitu memperbaiki *power quality* sistem.

#### Analisis Ekonomi

Analisis ekonomi dilakukan untuk mengetahui seberapa besar biaya yang dikeluarkan untuk pemasangan peralatan baru (kapasitor bank), sehingga akan diketahui juga keuntungan dan penghematan yang diperoleh, serta

waktu yang diperlukan untuk mengembalikan modal pemasangan peralatan baru.

#### 1. Perhitungan Biaya Listrik

Dengan menggunakan data Tabel 1 dan 2, maka kita dapat menghitung besarnya pemakaian tarif listrik selama satu bulan. Berdasarkan tarif PLN tahun 2017 pada golongan (B-3) yaitu batas daya diatas 200 kVA, maka tarif per kWh adalah Rp 1.035,78/kWh pada saat LWBP (Lewat Waktu Beban Puncak) dan (Rp 1.035,78 x 2)/kWh pada saat WBP (Waktu Beban Puncak). Sedangkan tarif kVARh adalah Rp 1.114,74/kVARh.

##### a. Sebelum Perbaikan Sistem

Besarnya total energi yang terpakai pada saat sistem belum dipasang kapasitor bank adalah 296.470 kWh dan 220.084 kVARh. Sehingga perhitungan biaya pengeluaran listrik adalah Rp 425.455.105,62 karena besarnya pemakaian  $kVARh_{total} > 62\% kWh_{total}$ , maka gedung UC Apartment juga dikenakan biaya penggunaan kVARh.

##### b. Sesudah Perbaikan Sistem

Berdasarkan analisis pada sub bab aliran daya, bahwa setelah dipasang kapasitor bank, gedung UC Apartment tidak dikenakan biaya kVARh, karena nilai  $kVARh_{total} < 62\% kWh_{total}$ . Maka, tarif listrik yang harus dibayar adalah Rp 384.931.064,52.

#### 2. Penghematan yang Dilakukan

Dengan membandingkan hasil perhitungan tersebut, diperoleh selisih biaya pemakaian listrik sebelum kompensasi dan sesudah kompensasi selama satu bulan sebesar Rp 40.524.041,10.

Dengan pemasangan kapasitor bank pada sistem, dapat prakiraan besarnya investasi yang telah dilakukan adalah sebesar Rp 84.270.000,00. Jika beban pada gedung UC Apartment tetap, untuk menutupi biaya pemasangan peralatan baru, membutuhkan waktu tiga bulan setelah pemasangan peralatan tersebut sesuai dengan penghematan yang diperoleh tiap bulannya yaitu Rp 40.524.041,10.

Untuk tiga bulan pertama saja, gedung UC Apartment masih memiliki keuntungan sebesar Rp 37.302.123,30. Sehingga, untuk satu tahunnya, gedung UC Apartment sudah dapat melakukan penghematan biaya listrik sebesar Rp 402.018.493,20.

#### Teknik Pengaturan Beban

Tindakan pengaturan energi listrik yang termasuk penting adalah teknik pengaturan beban pada gedung, agar penghematan dapat dilakukan dari segi perilaku pengguna listrik.

1. Pengaturan Beban Penerangan

Lokasi penerangan yang dapat diatur penggunaannya adalah lampu-lampu TL yang berdaya 15W, yang penggunaannya kurang maksimal. Seharusnya, pengoperasian lampu pada pagi hingga siang hari tidak diperlukan selama intensitas cahaya matahari masih cukup sebagai penerangan salah satu ruangan.

Sesuai dengan kondisi lapangan, jumlah lampu dan lokasi lampu yang masih dapat dihemat adalah seperti pada Tabel 12.

Tabel 12. Perhitungan Penghematan Daya Lampu

Lokasi	Peralatan	Jumlah	Daya	kWh (1 bulan)	Rupiah (1 bulan)
Lobby Lift (Lt.1-24)	Lampu TL	5x24 lt	15 W	324	335.592,72
Toilet Umum (Lt.1)	Lampu TL	6x5 tu	15 W	13,5	13.983,03
Toilet Kantor (Lt.1)	Lampu TL	6x2 tk	15 W	5,4	5.593,212
Total				342,9	355.168,962

2. Pengaturan Beban Pendingin Ruangan (AC)

Pemakaian AC di lobby lift masih bisa diatur dari segi penggunaannya. Hal tersebut dilakukan dengan mematikan AC di lobby lift pada saat jam-jam tertentu, seperti jam malam karena hanya sedikit penghuni yang menggunakannya. Perhitungan penghematan daya pendingin ruangan dapat dilihat pada Tabel 13.

Tabel 13. Perhitungan Penghematan Daya Pendingin Ruangan dan Exhaust Fan

Lokasi	Peralatan	Jumlah	Daya	kWh (1bulan)	Rupiah (1bulan)
Lobby Lift (Lt.1-24)	AC	1x24 lt	400 W	1.728	1.789.827,84
Toilet Umum (Lt.1)	Exhaust Fan	2x5 tu	30 W	9	9.322,02
Toilet Kantor (Lt.1)	Exhaust Fan	2x2 tk	30 W	3,6	3.728,808
Total				1.740,6	1.802.878,668

Jika di gedung UC Apartment diterapkan perlakuan hemat energi melalui perbaikan perilaku penggunaan energi listriknya, maka penghematan yang dapat dilakukan oleh gedung UC Apartment

adalah sebesar 2.716,2 kWh dan jumlah rupiahnya adalah Rp 2.058.302,01 setiap bulannya.

Rekomendasi Lainnya

Efisiensi energi listrik tidak hanya meliputi hal teknis, namun juga beberapa perubahan kebiasaan yang bisa menyebabkan energi listrik yang dipakai tidak efisien, termasuk perlakuan penghematan juga pemeliharaan peralatan yang ada di gedung UC Apartment.

PENUTUP

Simpulan

Setelah dilakukan perbaikan faktor daya sistem dengan menggunakan kapasitor bank di bus utama trafo 2000 kVA, maka *power quality* sistem mengalami peningkatan, yaitu faktor daya pada bus utama sistem pada semua kondisi mengalami kenaikan hingga 0,93. Kondisi *undervoltage* pada beberapa bus sistem dapat teratasi, dan kondisi *undervoltage* bus yang belum teratasi mengalami peningkatan hingga 0,9%. Besarnya rugi-rugi daya sistem dapat diturunkan dikarenakan arus total pada sistem berkurang. Untuk rugi-rugi daya aktif dan reaktif pada kondisi beban puncak yang awalnya bernilai 57 kW dan 21 kVAR berkurang menjadi 56 kW dan 17 kVAR. Besarnya pemakaian daya reaktif (kVAR) total pada sistem berkurang, sehingga besarnya pemakaian daya total (kVA) juga berkurang. Oleh karena itu, gedung UC Apartment masih dapat melakukan penambahan beban maksimal sebesar 132 kVA.

Penghematan yang diperoleh setelah dilakukan perbaikan faktor daya adalah besarnya pemakaian kVARh total menurun dari 220.084kVARh menjadi 102.100 kVARh. Sehingga, besarnya nilai kVARh total lebih kecil dari 62% kWh total. Oleh karena itu gedung UC Apartment tidak dikenakan biaya daya reaktif. Untuk tigabulan pertama pemasangan, gedung UC Apartment sudah melakukan penghematan sebesar Rp 37.302.123,30. Dan untuk bulan-bulan selanjutnya, besarnya penghematan adalah Rp 40.524.041,10 dengan asumsi beban yang digunakan adalah tetap. Hasil dari pengaturan beban penerangan dan pendingin ruangan yang masih dapat dilakukan adalah penghematan sebesar 2.716,2 kWh dan jika dirupiahkan adalah sebesar Rp 2.058.302,01.

Saran

Efisiensi energi yang dilakukan belum memperhatikan beban yang ada pada gedung UC Apartment secara rinci, namun hanya pemakaian energi listrik secara garis besar. Maka, masih dapat dilakukan efisiensi energi yang meliputi sistem keandalan pada gedung UC Apartment berkaitan dengan pengoperasian GENSET dan pengaman pada sistem kelistrikan gedung

akibat adanya pemadaman dari suplai energi listrik utama PLN. Pengecekan penggunaan energi listrik pada peralatan yang ada di gedung UC Apartment dalam hal pemeliharaan ataupun efisiensi alat yang terjadi pada sistem.

#### DAFTAR PUSTAKA

Alland, Khadafi. 2010. *Perancangan Kebutuhan Kapasitor Bank untuk Perbaikan Faktor Daya pada Line Mess 1 di PT. Bumi Lamongan Sejati (WBL)*. Jurusan Teknik Elektro. Surabaya: Universitas Negeri Surabaya

Apriyanto, Hary. 2011. *Audit Energi dan Analisis Pemilihan Alternatif Manajemen Energi Hotel Dengan Pendekatanj Metode MCDM – Promethee (Studi Kasus: Surabaya Plaza Hotel)*. Jurusan Teknik Industri. Surabaya: ITS

Ardian, Affan. 2009. *Sistem suplai daya instalasi listrik tenaga*. Jurusan Teknik Elektro. Jakarta: Universitas Indonesia

Barus, D.R, Kasim, Surya Tarmizi. 2015. *Analisis Audit Energi Sebagai Upaya Peningkatan Efisiensi Penggunaan Energi Listrik*. Jurusan Teknik Elektro. Sumatra Utara: Universitas Sumatra Utara

Brunello, Gustavo. 2003. *Shunt Capacitor Bank Fundamental and Protection*, Conference for Protective Relay Engineers, Texas A&M University

Hermawan, I.P.A.D, Suheta, Titiek. 2012. *Pemasangan Kapasitor Bank di Pabrik PT. Eratex Djaja TBK Probolinggo*. Jurusan Teknik Elektro. Surabaya: Institut Teknologi Adhi Tama

Purwanto. 2015-2016. *Data Laporan Kantor Engineering*. UC Apartment. Surabaya

Onny. 2017. *Artikel-Teknologi, Pengertian Beban Resistif, Induktif, dan Kapasitif pada Jaringan Listrik AC*. (Online), (<http://artikel-teknologi.com/pengertian-beban-resistif-induktif-dan-kapasitif-pada-jaringan-listrik-ac/2/html>), diakses 17 juli 2017).

Stevenson Jr, W.D Terjemahan Idris, Kamal, 1993, "*Analisis Sistem Tenaga Listrik*", Erlangga, Jakarta.

Ulfa, Mardiana. 2007. *Studi Manajemen Energi Listrik Dalam Upaya Meningkatkan Power Quality dan Penghematan Energi Listrik di Gedung Bedah Terpadu (GBPT) RSUD DR. Soetomo Surabaya*. Jurusan Teknik Elektro. Surabaya: ITS