

Pemeriksaan Penurunan Tegangan dan Faktor Daya pada Pasokan Energi Listrik di Gedung “MBM”

Andi Rosano¹, Djadjat Sudaradjat²

^{1,2}Universitas Bina Sarana Informatika
e-mail: 1andi.aox@bsi.ac.id, 2djadjat.dsj@bsi.ac.id

Abstrak - Hasil pemeriksaan penurunan tegangan dan faktor daya bisa ditindaklanjuti dengan melakukan optimasi terhadap instalasi terpasang. Dalam penelitian ini adalah dengan melakukan pemasangan kapasitor bank sebesar 718,58 kVAR (sesuai rekomendasi program ETAP 12.6) saat kondisi beban tertinggi yang tercapai yakni sebesar 2500 kVA, terbukti bisa mengoreksi penurunan tegangan dan faktor daya menjadi lebih baik. Dari kondisi semula dengan penurunan tegangan menjadi 92,5 % (370 Volt dari tegangan yang diinginkan yaitu 400 Volt). Setelah pemasangan kapasitor bank, tegangan dapat diperbaiki menjadi 394,8 Volt atau 98,7% (penurunan tegangan 1,3% dari besar tegangan yang diinginkan). Faktor daya juga meningkat lebih baik dari 0,85 menjadi 0,95.

Kata Kunci: faktor daya, kapasitor bank, penurunan tegangan

PENDAHULUAN

Ketersediaan pasokan kebutuhan tenaga listrik merupakan faktor sangat penting dan harus direncanakan dengan baik serta diperhitungkan sebaik mungkin sebelum diterapkan pada pembangunan gedung bertingkat.

Gedung bertingkat merupakan suatu unit bangunan yang membutuhkan energi listrik besar. Perkembangan teknologi dan penggunaan peralatan-peralatan yang cukup pesat memicu bertambahnya kebutuhan energi yang diperlukan. Untuk mempertahankan kualitas dan ketersediaan energi listrik untuk gedung ini, perlu kiranya dibuat penelitian berkaitan dengan kualitas energi listrik yang tersedia.

Dalam laporan penelitian ini akan dibahas tentang hasil penelitian terhadap sistem kelistrikan gedung bertingkat terkait dengan kemungkinan penurunan faktor daya dan penurunan tegangan, yang dapat berdampak pada resiko terjadinya kerusakan pada peralatan-peralatan penting yang terpasang. Penelitian ini menggunakan perangkat lunak ETAP (*Electrical Transient Analyzer Program*) versi 12.6 untuk mengetahui permasalahan penurunan daya dan penurunan tegangan dan mendapatkan rekomendasi beberapa hal dan tindakan yang perlu dilakukan.

1. Tujuan Penelitian

Tujuan dari kegiatan penelitian energi listrik yang dilakukan di gedung “MBM” ini yang pertama adalah mengetahui dan mengevaluasi seberapa besar terjadi penurunan daya dan tegangan listrik yang dipasok ke gedung tersebut. Kedua adalah mengetahui dan menganalisa kemungkinan tindakan apa yang

harus dilakukan untuk mendapatkan kualitas energi listrik seperti yang diharapkan.

Dengan demikian dapat diharapkan pasokan energi listrik untuk tenant dan pengguna gedung “MBM” dapat dipenuhi dengan kualitas yang sesuai harapan dan mengurangi resiko kerusakan peralatan-peralatan listrik yang dipergunakan.

2. Tinjauan Pustaka

2.1. Analisis Aliran Daya

Pada umumnya dalam analisa sebuah rangkaian listrik, suatu sumber tegangan disebut sumber tegangan ideal atau sumber arus ideal, sedangkan beban disebut sebagai impedansi. Sumber tegangan ideal memasok daya ke rangkaian pada tegangan tertentu, berapapun besar arus yang diperlukan rangkaian. Oleh karena itu bila rangkaian adalah linier, maka terdapat hubungan linier antara tegangan, arus dan impedansi, sehingga dalam analisa, kita memperoleh persamaan linier (Sudirham, 2012).

Untuk sistem tenaga situasinya berbeda. Sumber, adalah sumber daya yang boleh beroperasi hanya pada batas daya dan tegangan tertentu. Sedangkan beban adalah besar daya yang diminta/dibutuhkan, pada tegangan yang juga ditentukan. Dengan demikian permintaan daya hanya bisa dilayani selama tidak melewati batas daya yang bisa disediakan oleh sumber (Nurfritri, 2016).

Kita tahu bahwa meskipun rangkaian tetap rangkaian linier, namun relasi daya antara sumber dan beban tidak linier. Oleh sebab itu jika kita merumuskan persamaan rangkaian dengan daya sebagai parameter, maka persamaan yang akan diperoleh merupakan persamaan nonlinier. Untuk memecahkan persamaan

nonlinier ini diperlukan cara yang khusus (Sudirham, 2012).

Dalam analisis aliran daya, memiliki ketentuan-ketentuan sebagai berikut:

1. Sistem dalam keadaan seimbang; dengan demikian kita dapat melakukan perhitungan dengan menggunakan model satu-fasa.

2. Semua besaran adalah dalam per-unit; sehingga berbagai tingkat tegangan pada sistem akibat dari pemakaian transformator, tidaklah menjadi persoalan. Bus-bus dalam rangkaian sistem energi adalah simpul-simpul rangkaian yang sering kita kenal dalam analisa rangkaian listrik. Bus-bus ini dapat dibagi dalam beberapa jenis:

a. Bus-generator (generator bus), adalah bus dimana generator dihubungkan melalui transformator. Daya masuk dari generator ke bus-generator ke-i (bus nomer i) adalah :

$$S_{Gi} = P_{Gi} + jQ_{Gi}$$

Dari bus ke-i ini mengalir daya ke dua jurusan; yang pertama adalah aliran daya langsung ke beban yang terhubung ke bus ini dan yang kedua adalah aliran daya menuju saluran transmisi. Daya yang langsung menuju beban adalah:

$$S_{Bi} = P_{Bi} + jQ_{Bi}$$

Dan daya yang menuju saluran transmisi menjadi :

$$S_i = P_i + jQ_i = S_{Gi} - S_{Bi}$$

b. Bus yang tidak terhubung ke generator tetapi terhubung hanya ke beban, disebut bus-beban (load bus). Dari bus-beban ke-j (nomor bus j) mengalir daya kearah beban sebesar S_{Bj} atau bisa dikatakan daya mengalir kearah saluran transmisi sebesar :

$$S_j = - S_{Bj}$$

c. Jika hanya diperhatikan daya sumber dan daya beban, maka teorema Tellegen tidak mungkin terpenuhi karena akan selalu ada daya yang keluar dari rangkaian yang tidak diketahui, yaitu daya yang diserap oleh saluran dan transformator. Oleh karena itu, untuk keperluan analisa, bila tegangan semua bus-beban diketahui (baik melalui dugaan maupun ditetapkan), maka tegangan bus-generator seharusnya dapat ditetapkan, kecuali satu diantaranya yang dibiarkan mengambang. Bus mengambang inilah yang disebut slack bus. Jadi Slack bus seolah berfungsi sebagai simpul sumber tegangan bebas dalam analisis rangkaian listrik yang biasa kita kenal. Dengan cara ini maka teorema Tellegen akan bisa dipenuhi.

2.2. Metode Newton-Raphson

Metode ini paling sering digunakan untuk

menyelesaikan persamaan aljabar nonlinear simultan. Dengan memakai pendekatan suksesif (yakni menggunakan satu titik awal dan mendekatinya berdasarkan slope atau gradien pada titik tersebut) dari nilai perkiraan awal yang tidak diketahui serta menggunakan perluasan deret Taylor. Kelebihan metode ini adalah mempunyai laju konvergensi kuadratik, sehingga lebih cepat untuk konvergen mencapai akar pendekatan dibanding dengan metode lain yang memiliki laju konvergensi linear (Djalal, 2014).

Pada dasarnya algoritma yang digunakan adalah untuk mendapatkan akar suatu fungsi $f(x)$ dimulai dengan menentukan nilai awal iterasi dulu, misalkan $x=a$. Pada setiap iterasi, metode ini akan mencari suatu nilai, katakanlah b yang berada pada sumbu x . Nilai b ini diperoleh dengan menarik garis singgung (gradien/slope) fungsi $f(x)$ di titik $x = a$ ke sumbu x (Djalal, 2014).

2.3. ETAP (Electrical Transient Analysis Program)

ETAP (Electrical Transient Analysis Program), adalah piranti lunak untuk analisa grafik transient kelistrikan yang bisa dijalankan pada Microsoft® Windows® 2000, XP, Vista, 7, dan 8. ETAP merupakan program analisa yang komprehensif untuk perancangan dan testing power sistem (Lesnanto, 2013). ETAP dikembangkan oleh Operation Technology, Inc (OTI) sejak 1983. ETAP versi 12.6 adalah salah satu produk OTI. Pengembangan ETAP 12.6 sebenarnya adalah untuk melakukan perhitungan dan analisa sistem tenaga pada suatu sistem yang besar (Pandapotan, 2015).

Beberapa kemampuan ETAP antara lain adalah mampu menghitung analisa untuk :

1. Load Flow Analysis.
2. Short Circuil Analysis.
3. Harmonic Analysis.
4. Transient Stability Analysis.
5. Relay Coordination.
6. Oplimal Power Flow Analysis.
7. Reliabilily Analysis.

ETAP memberikan fasilitas penggunaanya agar mudah dalam membuat dan merubah Single Line Diagram (SLD) pada suatu sistem instalasi energi listrik, sistem kabel bawah tanah, sistem kabel tiga dimensi, serta grounding grid tiga dimensi. Piranti ini dirancang dengan tiga konsep utama, yaitu:

1. VRO (Virtual Reality Operation), yakni pengoperasiannya mirip dan mendekati sistem energi listrik yang nyata. Misalnya saat menutup atau membuka CB, meletakkan elemen yang rusak, menukar status operasi motor, dan sebagainya.

2. TID (Total Integration Data), yaitu menggabungkan rancangan elektrik, mekanikal, dan

elemen lain yang terkait dengan listrik pada sistem dari sumber data yang sama. Contoh: pada sebuah kabel, tidak cuma terdiri dari data peralatan listrik beserta dimensi fisik, namun termasuk informasi tentang jalur yang dilalui. Dengan tergabungnya data-data ini maka ETAP secara konsistensi menjaga data keseluruhan dan menghapus data yang sama untuk elemen yang sama.

3. SDE (Simplicity in Data Entry), ETAP menjaga data secara rinci untuk setiap peralatan listrik bila hanya perlu perubahan satu jenis data. Hal ini sangat mempercepat proses pemasukan data, cukup dengan masukan data minimum untuk suatu job tertentu.

Single line diagram pada ETAP mengandung sejumlah fitur yang memudahkan dalam membangun jaringan yang kompleks dan rumit. Contoh : setiap elemen dapat memiliki orientasi, ukuran, serta simbol yang tampil sesuai standar yang berbeda-beda dengan masukan data-data peralatan seperti power grid, trafo, bus, kabel, motor induksi, dan komponen teknis penunjang lainnya. Semakin tepat data yang dimasukkan dengan spesifikasi peralatan dan kondisi aktual, maka hasil simulasi akan semakin lengkap dan valid (Aribowo, 2018).

METODE PENELITIAN

3.1. Pengecekan Spesifikasi Peralatan.

Proses diawali dengan pemeriksaan dan penyamaan spesifikasi peralatan yang dioperasikan pada instalasi energi listrik di gedung "MBM" apakah sesuai data pada gambar rencana awal. Dimulai dengan mengecek panel tegangan menengah/kubikel, Trafo, sampai air circuit breaker (ACB) utama, apakah rating dan spesifikasi sama dengan rencana yang terdapat pada gambar rencana awal gedung.

3.2. Pengambilan Data.

Pada tahap ini dilakukan pemeriksaan Tegangan, Arus dan Beban selama bulan Januari 2021 secara rutin, dengan interval waktu tertentu, besar dan rendahnya tegangan berdasarkan alat ukur / power meter (Sepam Serie 20) yang terpasang pada panel Tegangan Menengah. Interval waktu pemeriksaan dibagi menjadi dua berdasarkan WBP (Waktu Beban Puncak) yang terjadi antara pukul 09:00 hingga 15:00 WIB setiap hari. Waktu ini menjadi waktu tersibuk karena gedung "MBM" merupakan perkantoran, dimana pemakai gedung sedang aktif bekerja. Sedangkan LWBP (Lewat Waktu Beban Puncak) terjadi diluar jam WBP. Data-data yang didapat kemudian dirangkum kedalam sebuah Tabel dan Grafik.

3.3. Pelaksanaan Simulasi Aliran Daya Menggunakan ETAP

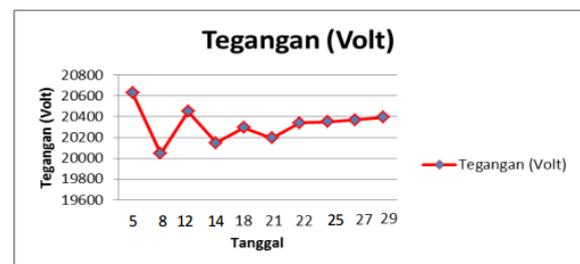
Data yang ada dari pemeriksaan sebelumnya dijadikan sebagai masukan dengan nilai yang dapat dipertanggung jawabkan, karena sesuai dengan yang akan dilakukan pada penelitian ini, dimana data tersebut benar sesuai dengan nilai yang ditampilkan pada alat ukur (yang terpasang pada panel kontrol) pada instalasi sistem energi listrik di gedung "MBM". Proses dibagi menjadi tiga proses utama yaitu:

1. Pembuatan Single Line Diagram
2. Pengisian Data Peralatan
3. Melakukan Simulasi Aliran Daya (Load Flow Analysis).

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisa Data

Hasil pemeriksaan dan pencatatan nilai tegangan, arus dan total beban selama Oktober 2021 dibuat tabel dan grafik seperti dibawah.

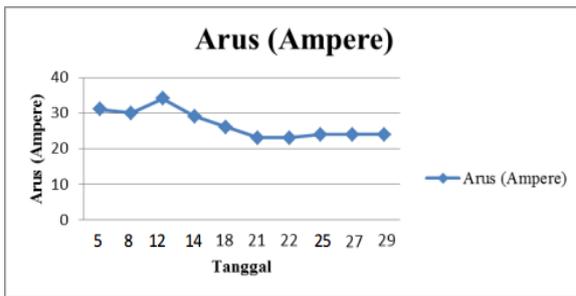


Sumber : Hasil Penelitian

Gambar 1

Data yang terkumpul selama pemeriksaan kemudian dirangkum menjadi 10 data primer. Dari 10 data primer tersebut didapat 5 data dengan nilai terendah dan 5 data dengan nilai tertinggi selama bulan pemeriksaan. Nilai tertinggi tersebut terjadi pada jam 12.00, dimana pada kurun waktu tersebut merupakan Waktu Beban Puncak dengan nilai beban tertinggi. Dari grafik tabel tegangan yang didapatkan terlihat bahwa nilai tegangan puncak adalah pada hari Selasa tanggal 5 Oktober 2021 tercatat nilai tegangan sebesar 20630 volt. Sedangkan nilai tegangan terendah terjadi pada hari Jumat tanggal 8 Oktober 2021 pada kurun waktu sama yaitu jam 12:00.

Namun kondisi itu ternyata hanya berlaku untuk nilai tegangan, karena setelah didapatkan grafik nilai arus dibawah ini,

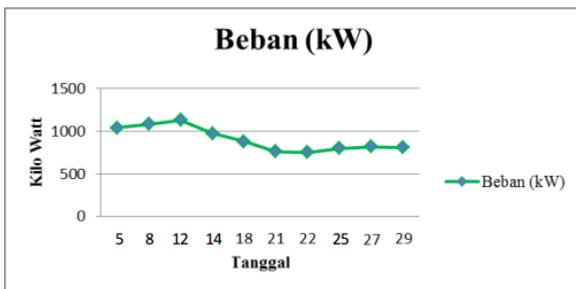


Sumber : Hasil Penelitian

Gambar 2

Diketahui bahwa nilai arus paling tinggi terjadi pada hari Selasa tanggal 12 Oktober 2021 sebesar 34 ampere dan terendah pada hari Kamis dan Jumat tanggal 21 serta 22 Oktober 2021 yaitu sebesar 23 ampere.

Seperti terlihat pada tabel dan grafik untuk tegangan dan arus yang terjadi sepanjang Oktober 2021, dapat disimpulkan bahwa arus yang tinggi tidak berbanding lurus dengan tegangan. Karena berdasarkan data untuk tegangan selama sebulan diketahui tegangan tertinggi terjadi 5 Oktober 2021, namun arus tertinggi terjadi pada 12 Oktober 2021. Sehingga acuan penelitian diambil dari nilai tertinggi beban atau daya yang terjadi pada tanggal 12 Oktober 2021 sebesar 1128 kilo watt. Nilai beban tertinggi tersebut yang dijadikan acuan sebagai daya yang mengalir dari daya terpasang yaitu sebesar 2770 kVA pada gedung "MBM" dimana sumber tegangan sebesar sebesar 20000 volt.



Sumber : Hasil Penelitian

Gambar 3

4.2. Simulasi Aliran Daya Menggunakan ETAP

Beberapa langkah perlu dilakukan sebelum simulasi aliran daya dilakukan menggunakan ETAP. Pertama membuat single line diagram, lalu mengisi data peralatan. Single line diagram yang dibuat menyerupai gambar realitas instalasi utama sistem energi listrik yang ada, dengan data peralatan yang digunakan gedung "MBM", serta nilai beban maksimal yang didapat sebelumnya dari analisa data selama bulan Oktober 2021.

Pada single line yang dibuat menggunakan

ETAP, dimasukkan data peralatan yang digunakan, yaitu Power Grid Utama dari PLN KB320, 20kV, 2770kVA, 500 MVASc dengan pengaman pada tegangan menengah menggunakan Vacum Circuit Breaker (VCB) 630A, 24kV yang menyuplai transformator penurun tegangan berkapasitas 2000kVA, impedansi 7%, tegangan primer 20kV, tegangan sekunder 0,4kV dan pengaman serta pembatas arus berupa Air Circuit Breaker (ACB) 3200A yang terbagi menjadi beberapa grup dengan beban Total 1128kW (nilai beban tertinggi yang terjadi ketika penelitian) pada gedung yang diteliti.

Setelah membuat single line serta memasukan data peralatan secara lengkap dan benar, langkah selanjutnya adalah melakukan simulasi aliran daya menggunakan ETAP untuk mengetahui kemungkinan aliran daya yang terjadi. Saat proses simulasi berlangsung muncul nilai-nilai tegangan dan arus pada masing-masing cabang. Pada ETAP tegangan, arus serta beban yang melewati masing-masing bus/rel akan terlihat, dimana nilai yang tampil berbeda. Besar atau kecilnya nilai tersebut tergantung pada beban yang terpasang.

Hasil Simulasi diatas menunjukkan bahwa Bus 2, 3, 4 dan 5 mengalami penurunan tegangan lebih dari 5%. Hal tersebut digambarkan dengan warna merah pada garis bus, dimana hal ini menunjukkan bahwa bus tersebut dalam kondisi kritis dan perlu dievaluasi untuk dilakukan tindakan. Selain penampilan dalam bentuk Single Line Diagram, ETAP juga memberikan hasil penurunan tegangan yang terjadi berupa laporan. Pada gambar dan tabel diatas nilai tegangan pada masing-masing bus hanya 92,5% dan 92,7%. Ini menunjukkan bahwa perlu dilakukan perbaikan pada tegangan agar penurunan tidak melebihi angka toleransi (nilai margin) sebesar 5% dari angka tegangan yang diinginkan yaitu 400V.

4.3. Perbaikan Penurunan Tegangan

Untuk mengoreksi penurunan tegangan yang terjadi, akan dilakukan analisa untuk keperluan penambahan kapasitor yang diharapkan bisa mengurangi penurunan tegangan tersebut. Besarnya kapasitor yang diperlukan dapat diketahui dengan bantuan perangkat lunak ETAP, yang menyediakan menu Optimal Capacitor Placement. Pada menu ini ETAP bisa menentukan besarnya kapasitor yang harus dipasang untuk memperbaiki penurunan tegangan yang terjadi. Terlihat adanya keperluan untuk menambahkan beberapa kapasitor dengan nilai tertentu pada bus 2, 3, 4 dan 5 seperti terlihat pada data berikut :

Tabel 1 Kapasitor Bus

Bus	Kapasitor (kVAR)
2	190,75
3	193,56
4	140,61
5	193,66
Total	718,58

Sumber : Hasil Penelitian

4.4. Analisa Perhitungan Keperluan Kapasitor

Nilai kapasitor yang dibutuhkan dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$Q_c = Q_1 - Q_2$$

Dimana :

Q_c = Nilai kVAR yang harus dipasang
 Q_1 = Nilai kVAR ketika Faktor Daya Standar 0,85
 Q_2 = Nilai kVAR Faktor Daya yang diharapkan

Mencari nilai arus total dengan persamaan

$$S = \sqrt{3} V I$$

Sehingga,

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

Dimana :

S = Daya Semu (VA)
 V = Tegangan (Volt)
 I = Arus (Ampere)
 Maka nilai Arus Total = I

$$I = \frac{2500000}{\sqrt{3} \cdot 400}$$

$$I = 3.612,17$$

Menentukan nilai Daya Nyata : $P_1 =$

$$P_1 = \sqrt{3} V I \cos \varphi_1$$

Dimana :

P_1 = Daya Nyata (Watt)
 V = Tegangan (Volt)
 I = Arus (Ampere)

$\cos \varphi_1$ = Faktor Daya Standar (0,85)

Sehingga nilai P_1 didapatkan :

$$P_1 = \sqrt{3} \times 400 \times 3612,17 \times 0,85$$

$$P_1 = 2125000 \text{ Watt}$$

Menentukan nilai Daya Nyata P_2 :

$$P_2 = \sqrt{3} V I \cos \varphi_2$$

Dimana :

P_2 = Daya Nyata (Watt)
 V = Tegangan (Volt)
 I = Arus (Ampere)

$\cos \varphi_1$ = Faktor Daya yang diinginkan (0,95)

Sehingga nilai P_2 ialah :

$$P_2 = \sqrt{3} \times 400 \times 3612,17 \times 0,95$$

$$P_2 = 2375000 \text{ Watt}$$

Maka nilai Daya Reaktif total yang

dibutuhkan ialah :

$$Q_c = 1316,95 - 780,62$$

$$Q_c = 536,33 \text{ kVAR}$$

Kemudian didapatkan nilai total daya reaktif yang harus ditambahkan yaitu 536,33 kVAR untuk koreksi penurunan tegangan dan faktor daya yang terjadi sebelumnya. Setelah itu ditentukan besarnya angka Mikro Farad untuk kapasitor yang akan ditambahkan yaitu :

$$C = \frac{Q_c}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot V^2}$$

Dimana :

C = Capasitor (μ)
 Q_c = Total Daya Reaktif (VAR)
 f = Frekuensi (Hz)
 V = Tegangan (Volt)

Maka nilai kapasitor yang sesuai dengan Daya reaktif total yang telah ditentukan ialah :

$$C = \frac{536,33 \times 1000}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 400^2} = 0,010675358 \text{ Farad} = 10675,35 \mu F$$

KESIMPULAN

1. Instalasi sistem energi listrik dan rating peralatan yang terpasang di gedung "MBM" masih dalam kondisi baik, dimana total daya terpasang adalah 2770 kVA dengan sumber tegangan sebesar 20kV. Adapun rating peralatan yang dipakai pada instalasi sistem energi listrik tersebut, berada pada batas aman dan masih memenuhi standar perancangan awal saat gedung tersebut direncanakan.
2. Hasil pemeriksaan aliran daya bisa menjadi dasar untuk mengoptimalkan instalasi terpasang. Upaya dalam penelitian ini adalah dengan memasang kapasitor bank sebesar 718,58 kVAR (hasil rekomendasi penggunaan software ETAP 12.6) pada saat beban maksimal yaitu 2500 kVA dapat dibuktikan dapat meningkatkan faktor daya dan penurunan tegangan yang terjadi. Sebelum pemasangan kapasitor bank, penurunan tegangan yang terjadi adalah 370 Volt atau 92,5%, artinya sebesar 7,5% dari nominal yang seharusnya. Setelah dilakukan pemasangan kapasitor bank, penurunan tegangan terkoreksi menjadi 394,8 Volt atau 98,7%, artinya hanya 1,3% dari tegangan seharusnya yaitu 40 bih aik yaitu 0,95 dimana sebelumnya adalah 0,85 volt. Sedangkan faktor daya juga lebih baik yaitu 0,95 dimana sebelumnya adalah 0,85.

REFERENSI

- Aribowo, B. T. (2018). Simulasi Dan Analisis Load Flow Sistem Interkoneksi Kalimantan Timur Menggunakan Software ETAP 12.6. *Ciastech*.
- Djalal, M. R. (2014). Penyelesaian Aliran Daya 37 Bus Dengan Metode Newton Raphson (Studi Kasus Sistem Interkoneksi 150 KV Sulawesi Selatan). *Jurnal Sinergi*, 12(1).
- Lesnanto, M. (2013). *Modul Pelatihan ETAP*. Jurusan Teknik Elektro Dan Teknologi Informasi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Nurfitri. (2016). Studi Perancangan Instalasi Listrik Pada Gedung Bertingkat ONIH Bogor. *JOM Bidang Teknik Elektro*, 1(1).
- Pandapotan, S. (2015). Penggunaan ETAP 12.6 Sebagai Software Analisis Power Quality. *Jurnal Poli-Teknologi*, 16(3).
- Sudirham, S. (2012). *Analisis Sistem Tenaga*. Darpublic.