

Analisis Kinerja Kapasitor Bank Berdasarkan Penempatan dan Rating Pada Pabrik II PT. Petrokimia Gresik

Muhammad Feryan Sundiartiko¹, Tri Wrahatnolo², Achmad Imam Agung³, Joko⁴
^{1,2,3,4}Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya, 60231, Indonesia
(¹muhammadferyan.18032@mhs.unesa.ac.id, ²triwrahatnolo@unesa.ac.id, ³achmadimam@unesa.ac.id, ⁴joko@unesa.ac.id)

Abstrak

Pemasangan kapasitor bank sudah diterapkan banyak industri untuk memperbaiki kualitas daya pada sistem kelistrikannya. Artikel ini membahas tentang kinerja kapasitor bank berdasarkan penempatan dan rating dengan tujuan untuk memperbaiki nilai faktor daya pada sistem melalui kompensasi daya reaktif kapasitor bank. Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan instrumen penelitian yaitu wawancara dan dokumentasi. Hasil dari simulasi yang sudah dilakukan menunjukkan adanya perbaikan nilai faktor daya, berkurangnya losses atau rugi-rugi dan berkurangnya nilai arus pada sistem. Kompensasi daya reaktif pada masing-masing bus, yaitu: 1) bus 11HVS-7 sebesar 1000 kVAr semula nilai faktor dayanya 0,873 menjadi 0,91 dan nilai arus semula 989,5 A menjadi 933,4 A; 2) bus 25HVS-31DE sebesar 700 kVAr semula nilai faktor dayanya 0,843 menjadi 0,891 dan nilai arus semula 846,1 A menjadi 790,5 A; 3) bus HVS-1(2) sebesar 450 kVAr semula nilai faktor dayanya 0,865 menjadi 0,909 dan nilai arus semula 1561,5,4 A menjadi 1463,3 A; 4) bus HVS-21(1) sebesar 1500 kVAr semula nilai faktor dayanya 0,85 dan tetap 0,85 tetapi memberikan suplai daya reaktif pada bus HVS-21(2) yang awalnya 0,85 menjadi 0,915 karena pada bus tersebut saling terhubung dan mendapatkan suplai yang sama dan nilai arus semula 645,8 A menjadi 637,5 A. Nilai losses pada sistem sebelum dilakukan OCP sebesar 793,5 kW dan setelah dilakukan OCP mengalami penurunan menjadi 732,4 kW. Implikasi dari penelitian ini yaitu nilai faktor daya mengalami peningkatan, nilai losses dan nilai arus mengalami penurunan setelah dilakukan kompensasi daya reaktif oleh kapasitor bank.

Kata kunci: Kapasitor Bank, Kompensasi Daya Reaktif, Perbaikan Faktor Daya, ETAP 12.6.0

Abstract

Application of capacitor bank is widely used in industries to correct power factor (pf) in electrical system. This article contains the performance of capacitor bank depending on its placement and rating in order to fix power factor of the system by compensating reactive power of capacitor bank. This research used quantitative method with interview. The simulation results show that there are improvements in the power factor (pf), decrease of losses and current in the system. Compensation of reactive power on each busses namely : 1) bus 11HVS-7 with 1000 kVAr which previously had pf value of 0,873 increases to 0,91 and the current decreases from 989,5 A to 933,7 A; 2) bus 25HVS-31 DE with 700 kVAr, pf increases from 0,843 to 0,891 and the current decreases from 846,1 A to 790,5 A; 3) bus HVS-1(2) with 450 kVAr, pf increases from 0,865 to 0,909 and the current decreases from 1561,5 A to 1463,3 A; 4) bus HVS-21 with 1500 kVAr, the power factor value remains 0,85 but supplies reactive power on bus HVS-21(2) which increases from 0,85 to 0,915 due to bus connection and received same supply. The current decreases from 645,8 A to 637,5 A. The losses before OCP was 793,5 kW and after OCP descended to 732,4 kW. The implication of this research is that the power factor value has increased, the loss value and the value decreased after reactive power compensation has been carried out by the capacitor bank.

Keyword: Capacitor Bank, Reactive Power Compensation, Power Factor Improvement, ETAP 12.6.0

I. PENDAHULUAN

Peningkatan kebutuhan dan konsumsi energi listrik sejalan dengan bertumbuhnya dunia industri yang semakin lama semakin berkembang. Dunia industri menjadi salah satu sektor yang membutuhkan suplai energi listrik

dengan jumlah yang besar dan dengan kualitas daya yang baik. Kualitas daya listrik pada industri bergantung pada karakteristik beban dan penghantar itu sendiri. Untuk memberikan kualitas daya yang baik diperlukan nilai faktor daya diatas 0,85 sesuai dengan standar yang

dikeluarkan oleh PLN (Esye dan Lesmana, 2021).

Beban pada industri kebanyakan bersifat induktif yang berasal dari beban motor, transformator, boiler, conveyor, pendingin ruangan, dll. Beban yang bersifat induktif dalam proses kerjanya membutuhkan daya reaktif. Suplai daya reaktif bergantung pada banyaknya jumlah beban yang bersifat induktif, semakin banyak beban yang bersifat induktif maka jumlah permintaan suplai daya reaktif juga semakin meningkat yang menyebabkan kerugian sistem dan faktor daya rendah. Faktor daya rendah membuat tagihan listrik menjadi lebih mahal karena adanya denda kVAr yang harus dibayarkan.

Upaya dalam memperbaiki faktor daya dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu memasang kapasitor *shunt* dekat dengan beban dan dapat dilakukan dengan menaikkan arus excitasi pada generator pembangkit (Risjayanto, 2019). Dua cara tersebut merupakan upaya yang paling efisien dari segi pelaksanaan dan ekonomi yaitu melakukan pemasangan kapasitor bank yang dapat mengontrol suplai daya reaktif pada beban sehingga nilai faktor daya menjadi lebih baik.

Pemasangan kapasitor bank sudah diterapkan oleh banyak industri untuk memperbaiki kualitas daya pada sistem kelistrikkannya (Billahi, 2021). Manfaat yang didapatkan yaitu tidak ada denda yang harus dibayar kepada PLN karena sistem mendapatkan suplai daya reaktif dari kapasitor bank dan faktor daya pada sistem menjadi lebih baik yang artinya rugi-rugi tegangan pada saluran atau sistem semakin kecil. Penempatan kapasitor di lokasi yang optimal pada sistem dapat mengurangi kerugian atau *losses* dan dapat meningkatkan profil tegangan (Soma, 2021).

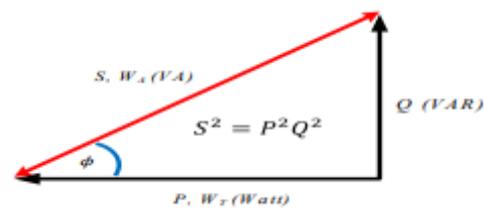
Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja dari kapasitor bank berdasarkan penempatan dan juga rating yang didapatkan dari nilai kompensasi daya reaktif. Nilai kapasitansinya ditentukan melalui perhitungan. Berdasarkan nilai tersebut kita dapat mengetahui kinerja kapasitor bank berdasarkan penempatan dan rating yang sesuai dengan standar produksi pabrik dan kondisi sistem kelistrikan Pabrik II PT. Petrokimia Gresik.

II. KAJIAN TEORI

Sistem tenaga listrik memiliki daya listrik yang terbagi menjadi 3, yaitu daya aktif (P), daya reaktif (Q), dan daya semu (S). Daya aktif atau dapat disebut daya nyata merupakan hasil perkalian dari tegangan dan arus juga koefisien faktor dayanya atau $\cos \phi$ satuannya yaitu (Watt,

kW, MW). Daya reaktif merupakan hasil perkalian dari tegangan, arus, dan $\sin \phi$ satuannya yaitu (VAr, kVAr, MVar). Daya semu merupakan resultan daya antara daya aktif dan daya reaktif atau juga didapat dari perhitungan hasil kali tegangan dan arus (Kusnadi, 2016). satuannya adalah VA, kVA, dan MVA.

Power factor atau biasa disebut $\cos \phi$ merupakan acuan seberapa baik kualitas daya pada sistem. *Power factor* dapat didefinisikan sebagai hasil dari daya nyata dibagi dengan daya semu atau cosinus sudut yang diapit daya aktif dan daya reaktif (Danang, 2020). Segitiga daya yang terlihat pada Gambar 1 merupakan gambaran pembagian daya, sisi miring merepresenasikan daya tampak, sedangkan untuk daya nyata dan daya reaktif saling tegak lurus sehingga terbentuk segitiga (Dani dan Hasanuddin, 2018). Pada segitiga daya juga menggambarkan keadaan beban ketika beban induktif digambarkan keatas atau vertikal karena bertanda positif sedangkan untuk beban kapasitif yang memiliki daya reaktif negatif digambarkan ke bawah (Sitorus, 2017).



Gambar 1. Segitiga Daya
(Sumber: Dani, dan Hasanuddin, 2018)

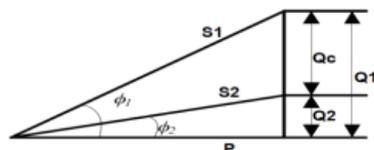
Faktor daya yang ditunjukkan oleh Gambar 1 merupakan hasil dari daya nyata (P) dibagi dengan daya semu (S) atau cosinus sudut yang diapit daya aktif dan daya reaktif didefinisikan :

$$PF = \frac{P}{S} = \cos \phi \quad (1)$$

Kompensasi daya reaktif merupakan suatu cara untuk meminimalkan suplai daya reaktif, karena tidak ada pengaruhnya dalam konsumsi listrik pada beban tetapi daya reaktif berpengaruh untuk proses penyaluran energi listrik pada beban. Semakin banyak peralatan yang bersifat induktif maka semakin menyebabkan pemborosan pada sistem dan faktor daya yang diperoleh sangat kecil (Meyyasa, dkk, 2019).

Perbaikan faktor daya merupakan suatu cara untuk membangkitkan daya reaktif dengan menambahkan komponen yang dapat mensuplai kVAr pada beban yang bersifat induktif. Penambahan komponen tersebut menggunakan

konsep kompensator ideal. Konsep kompensator ideal adalah suatu sistem yang digunakan untuk memperbaiki faktor daya dimana sistem ini dihubungkan secara paralel dengan beban yang bersifat induktif dan memberikan 3 manfaat penting, diantaranya yaitu memperbaiki faktor daya agar mendekati nilai 1, semakin mendekati nilai 1 maka nilai faktor daya semakin baik, mengurangi rugi-rugi tegangan, menyeimbangkan arus beban dan juga tegangan fasa. Salah satu cara meningkatkan nilai faktor daya dapat dilakukan dengan metode kompensasi daya reaktif menggunakan kapasitor bank sebagai pensuplai daya reaktif yang dibutuhkan oleh sistem dengan beban induktif (Fauzyah, 2020). Perbaikan faktor daya dilakukan untuk memperbaiki nilai $\cos \varphi_1$ menjadi nilai $\cos \varphi_2$ seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Perbaikan *Power Factor*
(Sumber: Dani, dan Hasanuddin, 2018)

Untuk menghitung besarnya kapasitansi kapasitor bank yang dibutuhkan oleh sistem perlu dilakukan perhitungan dengan rumus:

Saat keadaan awal ($\cos \varphi_1$), terdapat variabel daya aktif P , daya semu S_1 seperti persamaan 2 dan daya reaktif Q_1 seperti persamaan 3 dapat tuliskan menjadi:

$$S_1 = \sqrt{P^2 + Q_1^2} \quad (2)$$

$$Q_1 = \sqrt{S_1^2 - P^2} \quad (3)$$

Sedangkan untuk nilai faktor daya target ($\cos \varphi_2$), terdapat variabel daya aktif P , daya semu S_2 seperti persamaan 4 dan daya reaktif Q_2 seperti persamaan 5 dapat tuliskan menjadi:

$$S_2 = \frac{P}{\cos \varphi_2} \quad (4)$$

$$Q_2 = \sqrt{S_2^2 - P^2} \quad (5)$$

Nilai kompensasi daya reaktif atau kapasitas kapasitor didapatkan dari rumus seperti persamaan 6:

$$Q_c = Q_1 - Q_2 \quad (6).$$

Penempatan kapasitor bank dan penentuan rating pada sistem berguna agar kualitas tegangan dan suplai daya reaktif dapat terpenuhi dengan bantuan simulasi *software* ETAP (*Electrical Transient Analysis Program*). *Optimal Capacitor Placement* (OCP) dilakukan untuk menentukan lokasi dan ukuran kapasitor bank yang optimal, penempatan pada sistem guna memaksimalkan penghematan ekonomi yang dihasilkan dari pengurangan rugi-rugi daya dan kehilangan energi, dikurangi biaya investasi dan pemasangan kapasitor bank (Mohsin, dkk, 2016).

Kapasitor bank merupakan gabungan kapasitor yang dihubungkan secara paralel yang memiliki sifat kapasitif. Satuan dari kapasitor bank yaitu kVAr walaupun didalamnya tercantum satuan kapasitansi yaitu *Farad*. Untuk menghilangkan atau mengurangi sifat induktif (*lagging*) pada beban maka diperlukan kapasitor yang mempunyai sifat kapasitif (*leading*) (Eseye dan Lesmana, 2021).

ETAP merupakan *software* yang digunakan untuk membuat permodelan rencana dan pensimulasian sistem jaringan listrik. Keunggulan *software* ETAP yaitu dapat beroperasi dengan cara *offline* maupun *online* untuk mensimulasikan data *real-time* (Anugrah, 2018).

Bersumber dari deskripsi diatas penulis melakukan penelitian dengan judul “Analisis kinerja kapasitor bank berdasarkan penempatan dan rating pada sistem kelistrikan pabrik II PT. Petrokimia Gresik” dengan maksud untuk menganalisa perbaikan *power factor* yang dipengaruhi oleh penempatan kapasitor bank di tempat dan rating yang sesuai.

III. METODE PENELITIAN

Metode pada penelitian ini memakai pendekatan kuantitatif karena mulai dari pengumpulan data, penafsiran terhadap data hingga penampilan hasil dari data berupa angka (Jayusman dan Shavab, 2020). Metode penelitian kuantitatif adalah suatu cara yang dipakai untuk menemukan jawaban dari masalah penelitian yang berkaitan dengan suatu data berupa angka dan program statistik (Wahidmurni, 2017). Kegiatan yang dilakukan oleh peneliti untuk menyelesaikan penelitian menggunakan beberapa tahap sebagai berikut.

A. Instrumen Penelitian

Instrumen penelitian merupakan suatu alat yang digunakan dalam mengumpulkan data penelitian. Secara umum, dalam penelitian kuantitatif alat yang digunakan sebagai pengumpul data/instrumen oleh peneliti

dikembangkan dari penjabaran variabel penelitian yang dikembangkan dari teori-teori yang diuji melalui kegiatan penelitian (Wahidmurni, 2017). Instrumen atau alat yang digunakan oleh peneliti yaitu wawancara.

B. Studi Literatur

Pada tahap ini, dilakukan studi literatur berdasarkan artikel atau jurnal yang sesuai dengan penelitian dan menjadi dasar teori untuk membantu penyelesaian dalam penelitian “Analisis kinerja kapasitor bank berdasarkan penempatan dan *rating* pada pabrik II PT. Petrokimia Gresik.

C. Pengambilan Data

Pada tahap ini, pengambilan data peneliti melakukan wawancara dengan salah satu *staff electrical* yang menjadi pembimbing peneliti ketika melakukan penelitian. Data yang diambil berupa *single line diagram*, tegangan nominal, *rating* bus, *rating* pembangkit, *rating* trafo, dan *rating* beban.

D. Simulasi ETAP

Setelah mendapatkan data, langkah selanjutnya yaitu membuat *single line diagram* pada *software* ETAP dan memasukkan data kapasitas di semua komponen. Kemudian dilakukan simulasi *load flow* untuk mengetahui keadaan pada sistem dan nilai faktor daya sebelum dilakukan OCP (*Optimal Capacitor Placement*). Kemudian dilakukan analisis dari hasil simulasi *load flow* sebagai acuan menentukan *candidate bus* untuk dilakukan simulasi OCP (*Optimal Capacitor Placement*). *Candidate bus* diambil dari bus yang mengalami *drop* tegangan atau *critical alert*. Jika target nilai *power factor* sesuai dengan target maka dilanjutkan ke tahap selanjutnya, jika tidak sesuai maka kembali dilakukan penentuan *candidate bus* dan nilai kapasitor kemudian dilakukan simulasi ulang. Sesudah simulasi dilakukan dan memenuhi target yang ingin dicapai, dari hasil simulasi akhir dilakukan analisis data nilai *losses*, faktor daya, dan tegangan. Kemudian menyusun artikel berupa pembahasan berdasarkan hasil penelitian yang didapatkan dari simulasi dan referensi.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Suplai daya listrik pabrik II PT. Petrokimia Gresik disuplai oleh 8 sumber diantaranya 7 pembangkit dan 1 sumber PLN. Pembangkit yang dimiliki oleh PT. Petrokimia Gresik yaitu pembangkit GTG (*Gas Turbine Generator*) dengan kapasitas 33 MW, pembangkit STG UBB (*Steam Turbine Generator*) dengan

kapasitas 32 MW, pembangkit STG Cogen dengan kapasitas 12,5 MW, pembangkit STG Revamp dengan kapasitas 17,5 MW, pembangkit TG 65 dengan kapasitas 8,5 MW, pembangkit TG 66 dengan kapasitas 11,5 MW, dan pembangkit GGCP PIE dengan kapasitas sebesar 22 MW.

Kontrak daya dengan PLN sebesar 20 MVA dengan tegangan suplai 150 kV yang masuk ke *line* gardu induk untuk diturunkan tegangannya oleh trafo daya *step down* dengan kapasitas 30 MVA menjadi tegangan 20 kV. Pada pembangkit GTG menghasilkan tegangan 11,5 kV dan masuk ke gardu induk untuk di *step up* tegangannya menjadi 20 kV, sama halnya dengan pembangkit lain yaitu UBB, COGEN, TG 65, TG 66, GGCP dan STG masuk ke gardu induk untuk di *step up* tegangannya dari 6 kV menjadi 20 kV. Kemudian tegangan diturunkan kembali menjadi 6 kV setelah itu didistribusikan ke beban dan masuk ke trafo *step down* untuk diturunkan tegangannya menjadi 0,38 kV kemudian didistribusikan ke beban motor. Data yang digunakan untuk proses simulasi menggunakan *software* ETAP yang didapatkan peneliti melalui wawancara kepada *staff electrical* PT. Petrokimia Gresik sebagai berikut.

A. Spesifikasi Pembangkit

Suplai daya yang didapatkan oleh PT. Petrokimia Gresik juga berasal dari beberapa pembangkitnya sendiri data spesifikasi dari pembangkit seperti pada Tabel 1.

Tabel 1 Data Pembangkit

| Unit | Rating (MW) | Daya Mampu (MW) | V | Rpm | Cos ϕ | FLA (A) |
|--------|-------------|-----------------|------|------|------------|---------|
| UBB | 32 | 23,8 | 6 | 3000 | 0,8 | 3849 |
| GTG | 33 | 16,3 | 11,5 | 3000 | 0,8 | 2071 |
| STG 12 | 12,5 | 11,5 | 6 | 3000 | 0,8 | 1504 |
| STG 17 | 17,5 | 4,7 | 6 | 3000 | 0,8 | 2105 |
| TG 65 | 8,5 | 8 | 6 | 3000 | 0,75 | 1091 |
| TG 66 | 11,5 | 10 | 6 | 3000 | 0,75 | 1475 |
| GGCP | 22 | 20 | 6 | 3000 | 0,8 | 2646 |

B. Sistem Distribusi Pabrik II PT. Petrokimia Gresik

Pada proses penyaluran energi listrik pabrik II PT. Petrokimia Gresik menggunakan level tegangan menengah sebesar 20 kV dan 6 kV melalui beberapa bus seperti pada Tabel 2.

Pada proses penyaluran dengan tegangan yang bervariasi maka transformator untuk menurunkan atau menaikkan tegangan sesuai dengan kebutuhan beban seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 2 Data Busbar

| No | Bus | Rating |
|----|------------|--------|
| 1 | COGEN STG | 20 kV |
| 2 | BUS GTG | 20 kV |
| 3 | BUS UBB | 20 kV |
| 4 | BUS PLN | 20 kV |
| 5 | HVS-00(1) | 20 kV |
| 6 | HVS-00(2) | 20 kV |
| 7 | HVS-00(3) | 20 kV |
| 8 | HVS-00(4) | 20 kV |
| 9 | HVS-00(5) | 20 kV |
| 10 | HVS-01 | 20 kV |
| 11 | 22HVS-29 | 20 kV |
| 12 | 22HVS-30 | 6 kV |
| 13 | HVS-26 | 6 kV |
| 14 | HVS-1(1) | 6 kV |
| 15 | HVS-1(2) | 6 kV |
| 16 | HVS-21(1) | 6 kV |
| 17 | HVS-21(2) | 6 kV |
| 18 | 25HVS-31DE | 6 kV |
| 19 | 25HVS-31 | 6 kV |
| 20 | 11HVS-7 | 6 kV |
| 21 | 06HVS-02 | 6 kV |

Tabel 3 Data Transformator

| No | Transformator | Tegangan (kV) | | Rating (MVA) |
|----|---------------|---------------|----------|--------------|
| | | Primer | Sekunder | |
| 1 | TR – PLN | 150 | 20 | 30 |
| 2 | TR – GTG | 11,5 | 20 | 25 |
| 3 | TR – UBB | 6 | 20 | 35 |
| 4 | TR – COGEN | 6 | 20 | 20 |
| 5 | TR – STG | 6 | 20 | 8 |
| 6 | TR – 11 | 20 | 6 | 9 |
| 7 | TR – 12 | 20 | 6 | 8 |
| 8 | TR – 13 | 20 | 6 | 8 |
| 9 | TR – 14 | 20 | 6 | 8 |
| 10 | TR – 15 | 20 | 6 | 16 |
| 11 | TR – 32 | 20 | 6 | 8 |
| 12 | TR – 101 | 20 | 6 | 5 |
| 13 | 25TR – 31 | 6 | 0,38 | 1 |
| 14 | 32TR – 31 | 6 | 0,38 | 2 |
| 15 | 02TR – 4 | 6 | 0,38 | 2 |
| 16 | 06TR – 6 | 6 | 0,38 | 1 |

C. Kapasitas Beban Pabrik II PT. Petrokimia Gresik

Pemanfaatan energi listrik pabrik II PT. Petrokimia Gresik digunakan untuk beberapa beban. Beban terdiri dari beban *lumped load* dan beban motor. Beban *lumped load* merupakan gabungan antara beban statik dan beban motor. Data beban ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4 Data Beban

| No | Beban | Rating (MW) | Rating (kV) |
|----|---------------------|-------------|-------------|
| 1 | PF – 1 | 2,1 | 6 |
| 2 | TR1 BAGGING | 0,1 | 6 |
| 3 | TR2 PHONSKA | 1,9 | 6 |
| 4 | TR3 02U100-200 | 2 | 6 |
| 5 | TR5 02U900/W.SHOP | 0,45 | 6 |
| 6 | SPARE | 0,5 | 6 |
| 7 | TR32-PHONSKA-2 | 0,95 | 6 |
| 8 | HVS25 NPK 1 – NPK2 | 2,4 | 6 |
| 9 | PHONSKA – 3 | 2 | 6 |
| 10 | HVS 24 | 0,5 | 6 |
| 11 | PF-1TR23 03U100-200 | 0,35 | 6 |
| 12 | M7101 PABRIK 3 | 0,21 | 6 |
| 13 | WORKSHOP | 2 | 6 |
| 14 | LVS26 – SP36 | 0,36 | 6 |
| 15 | 22HVS-300 PHONSKA4 | 2,4 | 6 |
| 16 | PELABUHAN | 1 | 6 |
| 17 | PHONSKA-1 | 2,2 | 6 |
| 18 | D.E | 2 | 6 |
| 19 | 25MC801-A | 0,3 | 6 |
| 20 | 25MC801-B | 0,3 | 6 |
| 21 | 25MC801-C | 0,3 | 6 |
| 22 | 32MC801-A | 0,55 | 6 |
| 23 | 32MC801-B | 0,55 | 6 |
| 24 | 32MC801-C | 0,55 | 6 |
| 25 | 11MC801-A | 0,355 | 6 |
| 26 | 11MC801-B | 0,355 | 6 |
| 27 | 11MC801-C | 0,355 | 6 |
| 28 | 32MC921-C | 0,336 | 6 |
| 29 | 02MC201-PF1 | 0,355 | 6 |
| 30 | TANKYARD 25TR-31 | 0,486 | 0,38 |
| 31 | TANKYARD 32TR-31 | 0,938 | 0,38 |
| 32 | TANKYARD 02TR-4 | 0,935 | 0,38 |
| 33 | TANKYARD 06TR-2 | 0,468 | 0,38 |

Berdasarkan data - data yang sudah dikumpulkan maka langkah selanjutnya yaitu membuat rancangan sistem kelistrikan atau *single line diagram* pada *software* ETAP. Setelah itu dilakukan simulasi aliran daya atau *load flow analysis* untuk mengetahui kondisi faktor daya pada sistem kelistrikan pabrik II PT. Petrokimia Gresik sebelum dilakukan OCP Untuk melihat kondisi faktor daya dapat dilihat pada *report bus loading* yang ada pada *software* ETAP seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5.

Berdasarkan hasil simulasi tersebut kemudian dilakukan analisis dengan melihat nilai faktor daya pada setiap bus yang memiliki nilai faktor daya kurang baik.

Kemudian dilakukan pemilihan bus atau *candidate bus* untuk proses simulasi *Optimal Capacitor Placement* dengan tujuan untuk memperbaiki nilai faktor daya dan rugi-rugi atau *losses* pada sistem kelistrikan pabrik II PT. Petrokimia Gresik.

Simulasi aliran daya akan menunjukkan kondisi keseluruhan pada sistem kelistrikan termasuk pada *report bus loading* yang menunjukkan kondisi bus ketika mensuplai beban, sedangkan pada *report losses* menunjukkan kondisi bus yang mengalami rugi-rugi atau *losses* pada sistem kelistrikan pabrik II.

Tabel 5 menunjukkan data *report bus loading* ketika sebelum dilakukan *Optimal Capacitor Placement*. Data tersebut menunjukkan profil atau keadaan setiap bus pada sistem kelistrikan pabrik II PT. Petrokimia Gresik. Pada profil bus 11HVS-7 memiliki nilai faktor daya sebesar 87,3%, sedangkan pada bus 25HVS-31DE memiliki nilai faktor daya 84,3%, pada bus HVS-1(2) dan HVS-21(1) masing-masing memiliki nilai faktor daya sebesar 86,5% dan 85,0%.

Pada sistem kelistrikan pabrik II PT. Petrokimia Gresik yang terhubung dari beberapa bus menjadi pertimbangan untuk menentukan penempatan kapasitor bank. Berdasarkan simulasi yang sudah dilakukan terdapat 4 bus yang menjadi *candidate bus* untuk penempatan kapasitor bank yaitu: bus 11HVS-7, bus 25HVS-31DE, bus HVS-1(1) dan HVS-21(1).

Candidate bus yang dipilih merupakan bus yang menjadi penyuplai beban untuk sistem, diantaranya 1) bus 25HVS-31DE merupakan *incoming feeder* dari 11HVS-7, 25HVS-31 dan 06HVS-2; 2) bus HVS-21(1) merupakan *outgoing feeder* dari bus HVS-21(2) dan bus HVS-21(2) merupakan *incoming feeder* untuk bus 06HVS-2; 3) bus HVS-1(2) merupakan *incoming feeder* untuk bus HVS-1(1) dan 11HVS-7; 4) bus 11HVS-7 menjadi penyuplai 3 beban motor dan 1 *lumped load*.

D. Perhitungan Kompensasi Daya Reaktif (Qc)

Berdasarkan *report bus loading* yang ditunjukkan pada Tabel 5 maka perlu adanya perhitungan kompensasi daya reaktif untuk *candidate bus* yang sudah dipilih. Hasil dari perhitungan kompensasi daya reaktif untuk mencari nilai Q1 digunakan persamaan 3, untuk

mencari nilai daya semu S2 digunakan persamaan 4, untuk mencari nilai Q2 digunakan persamaan 5 dan untuk mencari nilai Qc digunakan persamaan 6. Hasil perhitungan kompensasi daya reaktif (Qc) ditunjukkan pada Tabel 6.

TABEL 6 *Report Bus Loading* sebelum dilakukan OCP

| BUS | 11HVS-7 | 25HVS-31 DE | HVS-1(2) | HVS-21(1) |
|--------------|----------|-------------|----------|-----------|
| P1 (kW) | 8432 | 6958 | 14170 | 10756 |
| S1 (kVA) | 9642 | 8254 | 16318 | 12655 |
| Q1 (kVAr) | 4676,487 | 4440,129 | 8092,479 | 6667,644 |
| P2 (kW) | 8432 | 6958 | 14170 | 10756 |
| S2 (kVA) | 9265,934 | 7906,818 | 16102,27 | 11951,11 |
| Q2 (kVAr) | 3841,732 | 3755,530 | 7648,155 | 5209,368 |
| Cos ϕ_1 | 0,873 | 0,843 | 0,865 | 0,85 |
| Cos ϕ_2 | 0,91 | 0,88 | 0,88 | 0,9 |
| Qc (kVAr) | 834,755 | 684,599 | 444,323 | 1458,27 |

E. Keadaan Sistem Sebelum Dan Sesudah Dilakukan Pemasangan Kapasitor Bank (OCP)

Setelah dilakukan pemasangan kapasitor bank atau *Optimal Capacitor Placement* (OCP) hasil simulasi dari sistem kelistrikan pabrik II PT. Petrokimia Gresik mengalami peningkatan faktor daya dan pengurangan *losses*. Bus 11HVS-7 memiliki nilai faktor daya awal sebesar 0,873 meningkat setelah dilakukan pemasangan kapasitor bank dengan kapasitansi 834,755 kVAr namun yang berada dipasaran sebesar 1000 kVAr dan setelah dilakukan simulasi nilai faktor daya mengalami peningkatan menjadi 0,91.

Bus 25 HVS-31DE dengan nilai faktor daya awal 0,843 mengalami peningkatan dengan nilai kapasitansi dari kapasitor sebesar 684,599 kVAr tetapi yang berada dipasaran sebesar 700 kVAr dan setelah dilakukan simulasi nilai faktor daya meningkat menjadi 0,891 yang target awal hanya 0,88. Begitu juga pada bus HVS-1(2) dan HVS-21 (1) mengalami peningkatan nilai faktor daya dengan nilai kapasitansi kapasitor masing-masing sebesar 444,323 kVAr dan 1458,27 kVAr tetapi yang berada dipasaran sebesar 450 kVAr dan 1500 kVAr, setelah dilakukan simulasi nilai faktor daya mengalami

Tabel 5 Report Bus Loading Sebelum dilakukan OCP

| Bus | | Directly Connected Load | | | | | | Total Bus Load | | |
|------------|------|-------------------------|--------|------------|-------|------------|------|----------------|------|--------|
| | | Constant kVA | | Constant Z | | Constant I | | | | |
| ID | kV | MW | MVAr | MW | MVAr | MW | Mvar | MVA | %PF | Amp |
| 06HVS-2 | 6 | 0,451 | 0,191 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5,411 | 83,9 | 552,5 |
| 11HVS-7 | 6 | 1,429 | 0,606 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9,690 | 87,3 | 989,5 |
| 22HVS-29 | 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12,338 | 83,0 | 368,5 |
| 22HVS-30 | 6 | 3,399 | 2,107 | 0,802 | 0,497 | 0 | 0 | 4,942 | 85,0 | 489,6 |
| 22HVS-31 | 6 | 3,416 | 1,440 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6,942 | 86,2 | 708,9 |
| 25HVS31-DE | 6 | 2,000 | 1,240 | 0,444 | 0,275 | 0 | 0 | 8,286 | 84,3 | 846,1 |
| Bus1 | 150 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 42,557 | 86,6 | 163,8 |
| Bus GTG | 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 23,465 | 68,9 | 700,8 |
| Bus PLN | 20 | 16,499 | 10,225 | 3,853 | 2,388 | 0 | 0 | 39,173 | 93,6 | 1170,0 |
| Bus UBB | 20 | 21,000 | 13,015 | 4,904 | 3,039 | 0 | 0 | 39,211 | 79,8 | 1171,2 |
| Bus 1 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 26,711 | 74,9 | 2589,5 |
| Bus 2 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Bus 3 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Bus 22 | 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 14,441 | 79,2 | 431,3 |
| Bus 23 | 11,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 25,492 | 63,9 | 1279,8 |
| Bus 24 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Bus 25 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15,228 | 75,5 | 1437,7 |
| Bus 26 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Bus 27 | 6 | 2,750 | 1,704 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3,235 | 85,0 | 324,8 |
| Bus 28 | 0,38 | 0,425 | 0,263 | 0,094 | 0,058 | 0 | 0 | 0,611 | 85,0 | 986,4 |
| Bus 29 | 0,38 | 0,850 | 0,527 | 0,187 | 0,116 | 0 | 0 | 1,220 | 85,0 | 1977,2 |
| Bus 30 | 0,38 | 0,850 | 0,527 | 0,187 | 0,116 | 0 | 0 | 1,220 | 85,0 | 1977,2 |
| Bus 31 | 0,38 | 0,425 | 0,263 | 0,079 | 0,058 | 0 | 0 | 0,611 | 85,0 | 986,4 |
| HVS-00(1) | 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 14,596 | 82,7 | 436,0 |
| HVS-00(2) | 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 23,465 | 68,9 | 700,8 |
| HVS-00(3) | 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 16,432 | 99,4 | 490,8 |
| HVS-00(4) | 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12,735 | 80,4 | 380,4 |
| HVS-00(5) | 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12,338 | 83,0 | 368,5 |
| HVS-01 | 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20,211 | 66,3 | 603,6 |
| HVS-1(1) | 6 | 4,096 | 2,539 | 0,909 | 0,564 | 0 | 0 | 6,942 | 86,2 | 708,9 |
| HVS-1(2) | 6 | 3,899 | 2,416 | 0,566 | 0,536 | 0 | 0 | 15,292 | 86,5 | 1561,5 |
| HVS-21(1) | 6 | 4,399 | 2,726 | 0,976 | 0,605 | 0 | 0 | 6,324 | 85,0 | 645,8 |
| HVS-21(2) | 6 | 3,419 | 2,119 | 0,759 | 0,470 | 0 | 0 | 11,239 | 85,0 | 1147,6 |
| HVS-26 | 6 | 0,477 | 0,204 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7,810 | 86,2 | 797,5 |

peningkatan pada bus HVS-1(2) menjadi 0,909 yang target awal hanya 0,88, sedangkan pada HVS-21(1) nilai faktor dayanya sama dengan awal sebesar 0,85 tetapi memberikan suplai daya reaktif ke bus HVS-21(2) sehingga nilai faktor dayanya meningkat menjadi 0,915 yang semula hanya 0,85 seperti terlihat pada Tabel 8.

Meningkatnya nilai faktor daya pada sistem mempengaruhi nilai *losses*, nilai arus, dan tegangan pada setiap bus. Saat terjadi perbaikan nilai arus, tentunya juga mempengaruhi nilai *losses* pada sistem karena nilai *losses* berbanding lurus dengan kondisi arus yang mengalir pada sistem.

Bus 11HVS-7 sebelum dilakukan OCP nilai arusnya sebesar 989,5 A setelah dilakukan OCP nilainya mengalami penurunan menjadi 933,7 A. Untuk bus 25HVS-31 DE nilai arus sebelum dilakukan OCP sebesar 846,1A setelah dilakukan OCP mengalami penurunan menjadi 790,5 A, sedangkan untuk bus HVS-1(2) dan HVS-21(1) juga mengalami penurunan nilai arus yang semula nilai arus masing-masingnya sebesar 1561,5 A dan 645,8A menjadi 1463,3 A dan 637,5A seperti yang terlihat pada Tabel 8.

Setiap transformator memiliki profil rugi-rugi daya yang menurun setelah dilakukan *Optimal Capacitor Placement* (OCP). Nilai *losses* dari setiap bus dapat dilihat sesuai tabel 7.

Tabel 8 Report Bus Loading Setelah dilakukan OCP

| Bus | | Directly Connected Load | | | | | | Total Bus Load | | |
|------------|------|-------------------------|--------|------------|--------|------------|------|----------------|------|--------|
| | | Constant kVA | | Constant Z | | Constant I | | MVA | %PF | Amp |
| ID | kV | MW | MVAr | MW | MVAr | MW | Mvar | | | |
| 06HVS-2 | 6 | 0,451 | 0,191 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5,021 | 91,2 | 502,3 |
| 11HVS-7 | 6 | 1,429 | 0,606 | 0 | -1,156 | 0 | 0 | 9,333 | 91,1 | 933,7 |
| 22HVS-29 | 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11,915 | 86,3 | 325,5 |
| 22HVS-30 | 6 | 3,399 | 2,107 | 0,818 | 0,507 | 0 | 0 | 4,961 | 85,0 | 486,7 |
| 22HVS-31 | 6 | 3,416 | 1,440 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6,606 | 91,2 | 660,9 |
| 25HVS31-DE | 6 | 2,000 | 1,240 | 0,463 | -0,523 | 0 | 0 | 7,902 | 89,1 | 790,5 |
| Bus1 | 150 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 41,829 | 88,8 | 161,0 |
| Bus GTG | 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 22,155 | 73,1 | 655,5 |
| Bus PLN | 20 | 16,499 | 10,225 | 3,927 | 2,434 | 0 | 0 | 39,108 | 94,6 | 1157,0 |
| Bus UBB | 20 | 21,000 | 13,015 | 4,998 | 3,098 | 0 | 0 | 38,808 | 80,7 | 1148,1 |
| Bus 1 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 26,568 | 75,3 | 2556,5 |
| Bus 2 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Bus 3 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Bus 22 | 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 14,119 | 81,1 | 417,7 |
| Bus 23 | 11,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 23,841 | 68,4 | 1196,9 |
| Bus 24 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Bus 25 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 14,832 | 77,5 | 1427,2 |
| Bus 26 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Bus 27 | 6 | 2,750 | 1,704 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3,235 | 85,0 | 321,5 |
| Bus 28 | 0,38 | 0,425 | 0,263 | 0,098 | 0,061 | 0 | 0 | 0,615 | 85,0 | 973,2 |
| Bus 29 | 0,38 | 0,850 | 0,527 | 0,195 | 0,121 | 0 | 0 | 1,229 | 85,0 | 1950,3 |
| Bus 30 | 0,38 | 0,850 | 0,527 | 0,195 | 0,121 | 0 | 0 | 1,229 | 85,0 | 1950,3 |
| Bus 31 | 0,38 | 0,425 | 0,263 | 0,098 | 0,061 | 0 | 0 | 0,615 | 85,0 | 973,2 |
| HVS-00(1) | 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 13,738 | 88,3 | 406,5 |
| HVS-00(2) | 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 22,155 | 73,1 | 655,5 |
| HVS-00(3) | 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 16,596 | 99,9 | 491,0 |
| HVS-00(4) | 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12,346 | 83,3 | 365,2 |
| HVS-00(5) | 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11,915 | 86,3 | 352,5 |
| HVS-01 | 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18,862 | 71,1 | 558,0 |
| HVS-1(1) | 6 | 4,096 | 2,539 | 0,947 | 0,587 | 0 | 0 | 6,786 | 88,8 | 678,9 |
| HVS-1(2) | 6 | 3,899 | 2,416 | 0,902 | 0,038 | 0 | 0 | 14,627 | 90,9 | 1463,3 |
| HVS-21(1) | 6 | 4,399 | 2,726 | 1,017 | -1,104 | 0 | 0 | 6,372 | 85,0 | 637,5 |
| HVS-21(2) | 6 | 3,419 | 2,119 | 0,791 | 0,490 | 0 | 0 | 10,514 | 91,5 | 1051,9 |
| HVS-26 | 6 | 0,477 | 0,204 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7,432 | 91,2 | 743,5 |

Tabel 7 Rugi-rugi Daya Transformator

| No | Trafo | Sebelum | Sesudah |
|-------|----------|----------|----------|
| 1 | 06TR-2 | 6,1 kW | 5,9 kW |
| 2 | 02TR-4 | 9,1 kW | 8,9 kW |
| 3 | TR-15 | 8,5 kW | 8,4 kW |
| 4 | TR-32 | 45,6 kW | 39,7 kW |
| 5 | 25TR-31 | 6,1 kW | 5,9 kW |
| 6 | 32TR-31 | 9,1 kW | 8,9 kW |
| 7 | TR-PLN | 167,7 kW | 162,0 kW |
| 8 | TR-GTG | 129,8 kW | 113,5 kW |
| 9 | T1 | 144,7 kW | 141,0 kW |
| 11 | TR-COGEN | 58,6 kW | 54,9 kW |
| 12 | TR-101 | 20,0 kW | 19,6 kW |
| 13 | TR-12 | 45,6kW | 39,7 kW |
| 14 | TR-14 | 45,6 kW | 39,7 kW |
| 15 | TR-11 | 53,3 kW | 44,6 kW |
| 16 | TR-13 | 45,6 kW | 39,7 kW |
| TOTAL | | 793,5 kW | 732,4 kW |

V. SIMPULAN

Bersumber dari hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan dapat disimpulkan, bahwa:

Pada sistem kelistrikan pabrik II PT. Petrokimia Gresik mengalami peningkatan nilai faktor daya dan menurunnya nilai rugi-rugi daya pada sistem karena adanya kompensasi daya reaktif yang didapatkan dari kapasitor bank sesuai dengan penempatan dan rating yang tepat. Nilai *losses* pada sistem sebelum dilakukan OCP sebesar 793,5 kW dan setelah dilakukan OCP mengalami penurunan menjadi 732,4 kW.

Penempatan kapasitor bank didapatkan dari hasil analisis aliran daya menggunakan *software* ETAP 12.6.0 sesuai dengan bus yang

mengalami *critical report* dan mensuplai beban paling banyak, yaitu bus 11HVS-7, bus 25HVS-31 DE, bus HVS-21(1), dan bus HVS-1(2).

Nilai kompensasi daya reaktif pada masing-masing bus, yaitu: 1) bus 11HVS-7 sebesar 1000 kVAr memiliki nilai faktor daya awal sebesar 0,873 menjadi 0,91; 2) bus 25HVS-31DE sebesar 700 kVAr memiliki nilai faktor daya awal 0,843 menjadi 0,891; 3) bus HVS-1(2) sebesar 450 kVAr yang semula memiliki nilai faktor daya 0,865 menjadi 0,909; 4) bus HVS-21(1) sebesar 1500 kVAr memiliki nilai faktor daya awal 0,85 dan tetap 0,85 tetapi memberikan suplai daya reaktif pada bus HVS-21(2) yang awalnya 0,85 menjadi 0,915 karena pada bus tersebut saling terhubung dan mendapatkan suplai yang sama.

Meningkatnya nilai faktor daya dan menurunnya *losses* pada sistem, maka berbanding lurus dengan nilai arus yang mengalami penurunan. Pada bus 11HVS-7 sebelum dilakukan OCP nilai arusnya sebesar 989,5A setelah dilakukan OCP nilainya mengalami penurunan menjadi 933,7 A. Bus 25HVS-31 DE nilai arus sebelum dilakukan OCP sebesar 846,1 A setelah dilakukan OCP mengalami penurunan menjadi 790,5 A. Sedangkan untuk bus HVS-1(2) dan HVS-21(1) juga mengalami penurunan nilai arus yang semula nilai arus masing-masingnya sebesar 1561,5 A dan 645,8 A menjadi 1463,1 A dan 637,5 A.

Implikasi dari penelitian ini yaitu nilai faktor daya mengalami peningkatan, nilai *losses* dan nilai arus mengalami penurunan setelah dilakukan kompensasi daya reaktif oleh kapasitor bank.

Saran

Bersumber dari percobaan yang telah dilakukan oleh peneliti, maka terdapat beberapa saran yang dapat digunakan untuk pengembangan pada penelitian selanjutnya. Pertama disarankan untuk penelitian selanjutnya menggunakan *software* versi terbaru agar mendapatkan hasil pensimulasian yang lebih spesifik. Kemudian data beban dan parameter dari setiap komponen yang akan dilakukan simulasi disarankan untuk lebih spesifik seperti nilai impedansi dll agar hasil yang didapatkan lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Anugerah. Haren Puja. 2019. *Analisis Kebutuhan Kapasitor Bank Pada Bus Beban Untuk Perbaikan Faktor Daya Dan Drop Tegangan Menggunakan Simulasi Optimal Capasitor Placement ETAP 12.6*. Thesis. Universitas Muhammadiyah Malang. Malang.
- Basudewa. Danang Aji dan Aribowo. Widi. 2020. *Analisa Penggunaan Kapasitor Bank Terhadap Faktor Daya Pada Gedung IDB Laboratory Unesa*. Jurnal Teknik Elektro Universitas Negeri Surabaya, Vol. 9(3), Hal. 697-707.
- Billahi. WA. 2021. *Analisis Perubahan Nilai Faktor Daya Terhadap Pemasangan Kapasitor Bank Pada Unit Boiler Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia Minyak Dan Gas Bumi Cepu*. Jurnal Teknik Elektro Universitas Negeri Surabaya, Vol. 10(2), Hal. 497-505.
- Dani, Ahmad dan Hasanuddin. Muhammad. 2018. *Perbaikan Faktor Daya Menggunakan Kapasitor Sebagai Kompensator Daya Reaktif (Studi Kasus STT Sinar Husni)*. STMIK Royal – AMIK Royal, 3 September 2018. Hal. 673-678.
- Meyyasa. I Putu., Hartati. Sari Rukmi., dan Manuaba. I.B Gede. 2019. *Analisa Kualitas Daya Listrik Instalasi Wing Amerta RSUP Sanglah Depansar*. Majalah Ilmiah Teknologi Elektro Universitas Udayana, Vol. 18(2), Mei – Agustus 2019. Hal. 249 – 257.
- Mohsin. Qasim Kamil, Lin. Xiangning, Flaih. Firas F.M, Dawoud. Samir M, dan Kdair. Mohammed. 2016. *Optimal Placement and Capacity of Capasitor in radial distribution system*. Energy Efficient Technologies for Sustainability, 2016 International Conference, Hal. 416 – 423. IEEE
- Fauzyah. Nazifah Salsabila. 2020. *Analisa Perhitungan Pemasangan Kapasitor Bank Guna Memperbaiki Faktor Daya Pada Pelanggan 20 kV 3010 kVA PT. Yamaha Music MFG Indonesia*. Tugas Akhir. Institut Teknologi PLN. Jakarta.
- Esye. Yendi dan Lesmana. Sigit. 2021. *Analisa Perbaikan Faktor Daya Sistem Kelistrikan*. Jurnal Sains & Teknologi Fakultas Teknik, Vol. 11(2). Hal 103 – 113.
- Jayusman, Iyus dan Shavab. Oka Agus Kurniawan. 2020. *Studi Dekriptif Kuantitatif Menggunakan Media Pembelajaran Edmodo*

Dalam Pembelajaran Sejarah. Jurnal Artefak Universitas Galuh, Vol.7(1). Hal. 13-20.

Kusnadi dan Aji. Anicetus Damar 2016. *Kualitas Daya Pada Instalasi Listrik Dengan Beban Non Linier (Studi Kasus di Gedung Bengkel Listrik Politeknik Negeri Jakarta)*. Politeknologi Vol.15(2). Hal. 195-200.

Risjayanto. Baktiyar Freda. 2019. *Optimal Capacitor Placement Pada Sistem Jaringan Distribusi 20 KV Menggunakan ETAP*. Jurnal Teknik Elektro Universitas Negeri Surabaya, Vol. 8(1). Hal. 1-9.

Sitorus. Imam Riki Hamdanu 2017. *Analisis Jaringan Distribusi Tegangan Rendah Pada PLTMH Bintang Asih Setelah Kapasitas Pembangkit Ditingkatkan*. Skripsi. Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Medan.

Soma. Gian Giuseppe. 2021. *Optimal Sizing and Placement of Capacitor Bank in Distribution Network Using aa Genetic Algorithm*. Electricity, 2021, Vol. 2, Hal. 187-204.

Wahidmurni. 2017. *Pemaparan Metode Penelitian Kuantitatif*. Fakultas Ilmu Tarbiyah dan Keguruan Universitas Islam Negeri Malik Ibrahim Malang. Hal 1-16.