

PERBAIKAN KUALITAS DAYA MENGGUNAKAN *OPTIMAL CAPACITOR PLACEMENT (OCP)* PADA SISTEM KELISTRIKAN PT. FMC AGRICULTURAL MANUFACTURING

Navynda Kurnia Sari, Istiyo Winarno, Daeng Rahmatullah, Iradiratu Diah, P, K.

Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Ilmu Kelautan

Universitas Hang Tuah Surabaya, Indonesia

Jl. Arif Rahman Hakim, Keputih, Kec. Sukolilo, Kota Surabaya, Jawa Timur 60111

e-mail : navynkurnia@gmail.com

ABSTRACT

Kualitas daya dalam sistem tenaga merupakan hal yang sangat penting dan harus diperhatikan untuk menjaga stabilitas dan kontinuitas sistem tenaga listrik dalam suatu industri. Diantara permasalahan kualitas daya yang timbul salah satunya adalah penurunan nilai faktor daya (power faktor) yang menyebabkan konsumsi daya menjadi berlebih. Seperti pada industri-industri besar pada umumnya. PT. FMC Agricultural Manufacturing juga memiliki permasalahan kualitas daya pada sistem kelistrikannya, disebabkan karena mempunyai banyak motor-motor berkapasitas besar untuk proses produksinya yang dapat menyebabkan rugi-rugi daya semakin meningkat. Untuk mengantisipasi hal tersebut perlu dilakukan pengontrolan daya reaktif salah satunya dapat dilakukan dengan pemasangan kapasitor yang optimal untuk memperbaiki dan meningkatkan faktor daya sehingga dapat memaksimalkan kapasitas penyaluran daya sistem. Pada penelitian ini dibahas studi kasus perbaikan kondisi faktor daya pada sistem kelistrikan PT. FMC Agricultural Manufacturing. Perbaikan faktor daya dilakukan dengan metode Optimal Capacitor Placement (OCP) untuk memperbaiki kondisi faktor daya dan mereduksi rugi-rugi daya pada saluran. Dari hasil penelitian, diketahui lokasi pemasangan kapasitor yang tepat untuk memperbaiki nilai faktor daya pada sistem berdasarkan hasil analisis aliran daya pada software ETAP 12.6.0 yaitu pada bus 3 dengan nilai kompensasi daya reaktif adalah sebesar 91.51 kVAR dan arus 115.06 A.

Keywords: Kualitas Daya, Kapasitor Bank, Faktor Daya, *Optimal Capacitor Placement*, ETAP 12.6

1. PENDAHULUAN

Kualitas penyaluran daya listrik pada sistem kelistrikan dipengaruhi oleh spesifikasi saluran dan karakteristik beban.

Beban listrik pada setiap tahunnya mengalami peningkatan. Peningkatan beban diiringi dengan meningkatnya permintaan suplai daya listrik. Dalam hal

ini beban induktif menjadi perhatian karena beban induktif membutuhkan daya reaktif dalam proses kerjanya. Bertambahnya beban pada sistem yang bersifat induktif mengakibatkan peningkatan permintaan suplai daya reaktif. Daya reaktif paling banyak dikonsumsi oleh peralatan listrik seperti transformator dan motor listrik. Sistem jaringan yang tidak memiliki sumber daya reaktif di daerah sekitar beban menyebabkan kebutuhan daya reaktif beban sepenuhnya diproduksi oleh generator. Sehingga mengalir arus reaktif pada jaringan yang mengakibatkan menurunnya kondisi faktor daya, menurunnya nilai tegangan pada ujung jaringan dan memperbesar nilai arus pada saluran serta mengakibatkan rugi-rugi daya yang besar pada saluran (Risjayanto, 2018)

Upaya untuk menjaga kebutuhan suplai daya reaktif beban pada sistem dapat dilakukan dengan dua cara yaitu dengan menambah arus eksitasi pada generator pembangkit dan pemasangan kapasitor pada daerah beban (Marsudi, 2006). Dari dua cara tersebut, pemasangan kapasitor adalah cara yang paling efisien. Pemasangan kapasitor juga terbilang mudah dilakukan dan memiliki ekonomis yang rendah. (Saini dkk, 2016).

Kapasitor bank adalah peralatan yang digunakan untuk memperbaiki

kualitas pasokan energi listrik antara lain meningkatkan faktor daya dan mengurangi rugi-rugi daya (Adif, 2014). Pemasangan kapasitor bank dapat mengurangi penyerapan daya reaktif oleh beban sehingga dapat meningkatkan nilai faktor daya.. Tingkat keuntungan ini tergantung pada lokasi, ukuran dan jumlah kapasitor dalam sistem serta peningkatan kapasitas tegangan dengan tujuan meningkatkan efisiensi.

Banyak perusahaan yang bergerak dibidang industri untuk kegiatan operasionalnya menggunakan motor listrik yang berkapasitas besar. Penggunaan motor listrik yang berkapasitas besar ini akan mempengaruhi besarnya faktor daya pada sistem kelistrikan di perusahaan tersebut. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bermaksud untuk melakukan perbaikan kualitas daya pada sistem kelistrikan *PT. FMC Agricultural Manufacturing*. Perbaikan faktor daya dilakukan dengan metode *Optimal Capacitor Placement* dengan bantuan software ETAP untuk menentukan lokasi pemasangan kapasitor bank. Dengan melakukan *Optimal Capacitor Placement* pada sistem diharapkan dapat memperbaiki kondisi faktor daya dan mereduksi rugi-rugi daya.

2. TINJAUAN PUSTAKA

A. Daya Listrik

Daya listrik adalah hantaran energi yang melaju di dalam rangkaian listrik. Energi yang mengalir mengakibatkan adanya arus yang mengalir pada rangkaian ditambah dengan adanya hambatan yang menyebabkan kerjakondisi sistem seperti sediaan diperlukan pelepasan beban tertentu Daya listrik dibagi menjadi tiga yaitu daya aktif (P), daya reaktif (Q), dan daya semu (S).

$$P = V \times I \times \cos \theta \tag{1}$$

$$P = \sqrt{3} \times VL \times IL \times \cos \theta \tag{2}$$

$$Q = V \times I \times \sin \theta \tag{3}$$

$$Q = \sqrt{3} \times VL \times IL \times \sin \theta \tag{4}$$

$$S = V \times I \tag{5}$$

$$S = \sqrt{3} \times V \times I \tag{6}$$

Keterangan:

P : Daya Aktif (Watt)

V : Tegangan (Volt)

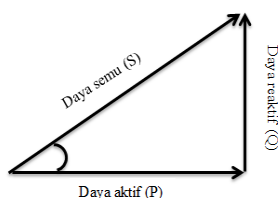
I : Arus (Ampere)

$\cos \theta$: Faktor Daya

VL : Tegangan Jaringan (Volt)

IL : Arus Jaringan (Ampere)

Hubungan dari ketiga daya tersebut disebut sistem segitiga daya yang ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Diagram segitiga daya

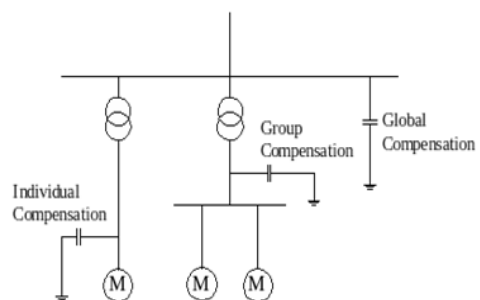
B. Faktor Daya (Power Factor)

Faktor daya merupakan salah satu indikator baik buruknya kualitas daya listrik. Faktor daya disimbolkan sebagai $\cos \theta$. Faktor daya adalah perbandingan antara daya aktif (watt) dengan daya semu (VA).

$$\cos \theta = \frac{P}{S} \tag{1}$$

C. Kapasitor Bank

Kapasitor bank adalah komponen listrik yang dapat menghasilkan daya reaktif pada jaringan dimana kapasitor tersebut ditempatkan. Besaran parameter yang sering dipakai adalah *volt ampere reaktif* (VAR). Kapasitor bank ini juga sering disebut dengan kapasitor daya karena penggunaannya pada daya yang besar untuk memperbaiki faktor daya pada sistem peralatan listrik. Secara sederhana kapasitor terdiri dari dua plat logam yang dipisahkan oleh suatu bahan di elektrik dan kapasitor ini mempunyai sifat menyimpan muatan listrik. Metode pemasangan kapasitor dibagi menjadi tiga, yaitu *individual compensation*, *group compensation*, dan *global compensation*.



Gambar 2. Metode Pemasangan Instalasi Kapasitor Bank (Sumber: Setya, 2012)

Menghitung kompensasi daya reaktif dapat dicari menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$Q_c = P (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) \quad (2)$$

Keterangan:

Q_c : Kapasitas Kapasitor Total (kVAr)

P : Daya Aktif (kW)

D. *Optimal Capacitor Placement* (OCP)

Optimal Capacitor Placement (OCP) merupakan penyelesaian untuk menentukan lokasi yang optimal dan nilai kapasitor yang akan dipasang pada sistem tenaga listrik. Fungsi objektif pada penempatan optimal kapasitor adalah untuk memperbaiki faktor daya, serta mereduksi *losses energy* dan memperbaiki tegangan sistem (Chopade dkk, 2011). Pada penelitian ini OCP dilakukan dengan bantuan *software* ETAP 12.6.0, sehingga dapat ditentukan lokasi yang terbaik dan ukuran besarnya kapasitor sebagai kompensasi daya reaktif.

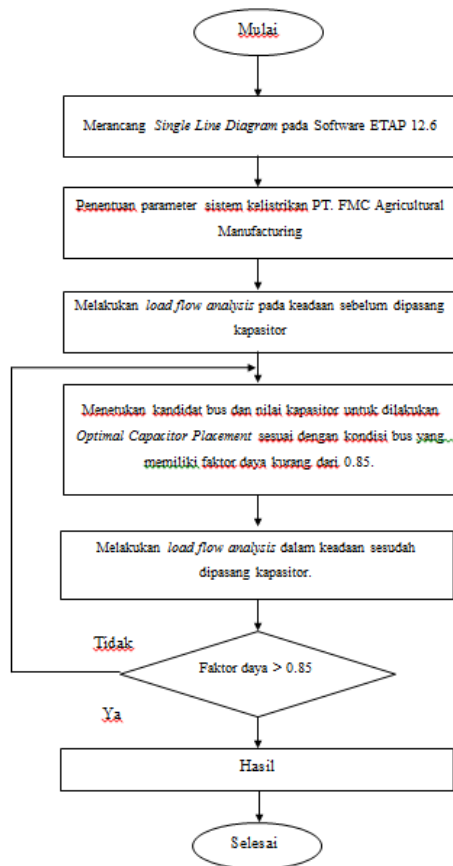
3. METODE PENELITIAN

A. Proses Penelitian

Pada penelitian ini terdapat beberapa tahapan penelitian untuk melakukan perbaikan kualitas daya menggunakan *Optimal Capacitor Placement* pada PT. FMC Agricultural Manufacturing. Langkah yang akan dilakukan antara lain yaitu menggunakan simulasi pada ETAP. Adapun uraian

proses penelitian menggunakan *software* ETAP 12.6 antara lain:

- a. Membuat pemodelan *single line diagram* sistem kelistrikan PT. FMC Agricultural Manufacturing menggunakan *software* ETAP 12.6.0.
- b. Melakukan *input* data berupa data bus, data spesifikasi transformator terpasang, data parameter saluran dan data operasi beban.
- c. Melakukan analisis aliran daya pada *diagram* sistem kelistrikan PT. FMC Agricultural Manufacturing pada keadaan sebelum dilakukan kapasitor.
- d. Menentukan kandidat bus dan nilai kapasitor untuk melakukan *Optimal Capacitor Placement* sesuai dengan kondisi bus yang memiliki faktor daya rendah atau kurang dari 0.85.
- e. Melakukan analisis aliran daya pada sistem sistem kelistrikan PT. FMC Agricultural Manufacturing pada keadaan sesudah dipasang kapasitor dan dilakukan *Optimal Capacitor Placement*.
- f. Mengidentifikasi kondisi faktor daya sesudah dipasang kapasitor dan dilakukan *Optimal Capacitor Placement*

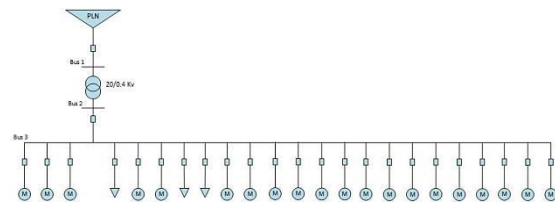


Gambar 3. FlowChart Proses Penelitian

B. Single Line Diagram

Single line pada penelitian ini menggunakan plan Single Line Diagram sistem kelistrikan PT. FMC Agricultural Manufacturing. Sistem pendistribusian tenaga listrik yang digunakan adalah sistem distribusi radial. Tegangan listrik didistribusikan ke seluruh beban melalui satu unit transformator *step-down* 20/0.4 kV. Pemodelan dilakukan dengan cara membuat single line diagram pada software electric transient analysis program 12.6.0. Dalam memodelkan single line diagram dibutuhkan beberapa data parameter, yaitu data transformator,

data saluran, data bus, dan data keseluruhan beban.



Gambar 4. Single Line Diagram

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dijelaskan hasil dari simulasi perbaikan faktor daya dengan melakukan *optimal capacitor placement* (OCP). Penentuan lokasi kapasitas kapasitor dalam melakukan OCP dilakukan berdasarkan pada nilai faktor daya hasil simulasi aliran daya (*load flow*) pada software ETAP 12.6.0. Penentuan lokasi dan kapasitas kapasitor pada sistem akan diawali dari analisis bus yang memiliki faktor daya rendah atau dibawah 0.85 yang lokasinya paling jauh dari *Power Grid*, lalu dianalisis dengan menghitung berapa besar nilai kapasitor yang diperlukan untuk memenuhi faktor daya dengan nilai lebih dari nol koma delapan lima kurang dari sama dengan satu.

Dengan melakukan kompensasi daya reaktif pada lokasi yang tepat diharapkan dapat mengurangi aliran daya reaktif pada saluran, sehingga dapat memperbaiki kondisi tegangan, faktor daya, mereduksi arus pada saluran dan mengurangi rugi-rugi daya pada saluran.

Penentuan lokasi dan besarnya nilai kompensasi daya reaktif dilakukan dengan bantuan *load flow* pada *software* ETAP 12.6.0 untuk mengetahui kondisi faktor daya pada aliran daya sistem. Dari gambar 4.1 yang telah didesain di ETAP 12.6, untuk mengetahui keadaan sistem tersebut telah baik atau belum maka dilakukan terlebih dahulu simulasi aliran daya pada keadaan normal.

Sesudah dilakukan simulasi terlihat bahwa sistem jaringan listrik tersebut mengalami beberapa gangguan. Yang pertama adalah pada trafo yang berwarna merah muda yang berarti trafo tersebut mengalami *overload* atau kelebihan beban. Bus berwarna hitam artinya level tegangan bus itu bagus (sesuai standar). Bus 2 dan bus 3 terlihat berwarna merah muda yang artinya level tegangan mengalami *undervoltage* atau dalam batas marginal. Sesuai dengan setting batas kritis dan marginal tegangan pada sistem sesuai standart yang dapat ditoleransi yaitu sebesar 5%.

Dari hasil pengujian dengan *Optimal Capacitor Placement* terlihat bahwa kandidat bus yang mengalami gangguan adalah bus 3. Juga terdapat keterangan rekomendasi kapasitor bank yang disarankan dengan rincian total bank adalah satu unit dengan rating kVAR ialah 100 kVAR. Daya yang dikompensasi

dengan hasil OCP ini sebesar 91.51 kVAR dan arus 115.06 A.

A. Perbandingan Kondisi Sistem Sebelum Dan Sesudah Dilakukan *Optimal Capacitor Placement (OCP)*

Perbandingan kondisi sistem sebelum dan sesudah dilakukan pemasangan kapasitor ini bertujuan untuk mengetahui kondisi perbaikan sistem. Selanjutnya akan dilakukan perhitungan secara spesifik dari kedua hasil tersebut untuk mengetahui kondisi perubahan sistem secara rinci. Berikut perbandingan uraian hasil *load flow* dalam kondisi sebelum dan sesudah dilakukan OCP yang meliputi kondisi faktor daya, daya aktif, tegangan bus, dan daya reaktif pada masing-masing bus.

Tabel 1. Kondisi Faktor Daya Sistem

Kode Bus	Faktor Daya (%)	
	Sebelum OCP	Sesudah OCP
1	82.6	98.3
2	82.6	98.3
3	85.1	98.6

Dari tabel 1. diketahui perbandingan faktor daya pada kondisi sebelum dan sesudah dilakukan pemasangan kapasitor. Pada bus 1 kondisi faktor daya sebelum dilakukan pemasangan kapasitor yaitu 82.6% dan sesudah dilakukan pemasangan kapasitor menjadi 98.3% yang artinya mengalami

perbaikan kondisi faktor daya sebesar 15.7%. Pada bus 2 kondisi faktor daya sebelum dilakukan pemasangan kapasitor yaitu 82.6% dan sesudah dilakukan pemasangan kapasitor menjadi 98.3% yang artinya mengalami perbaikan kondisi faktor daya sebesar 15.7%. Pada bus 3 kondisi faktor daya sebelum dilakukan pemasangan kapasitor yaitu 85.1% dan sesudah dilakukan pemasangan kapasitor menjadi 98.6% yang artinya mengalami perbaikan kondisi faktor daya sebesar 13.5%.

Tabel 2. Kondisi Daya Reaktif Sistem

Kode Bus	Daya Reaktif (kVAR)	
	Sebelum OCP	Sesudah OCP
1	122	23
2	122	23
3	107	13

Tabel 2 diketahui perbedaan pada keadaan daya reaktif sebelum dan sesudah penambahan kapasitor. Pada bus 1 di mana sebelum penambahan kapasitor mempunyai daya reaktif 122 kVAR setelah pemasangan kapasitor daya reaktif menurun drastis menjadi 23 kVAR. Pada bus 2 di mana sebelum penambahan kapasitor mempunyai daya reaktif 122 kVAR setelah pemasangan kapasitor daya reaktif menurun drastis menjadi 23 kVAR. Pada bus 3 yang sebelum pemasangan kapasitor memiliki daya reaktif 107 kVAR menurun menjadi 13 kVAR.

Tabel 3. Profil Tegangan Sebelum Dipasang Kapasitor

Kode Bus	Nominal kV	Tegangan (%)	Arus (A)
1	20	100	6.3
2	0.48	94.23	6.3
3	0.48	93.9	261.4

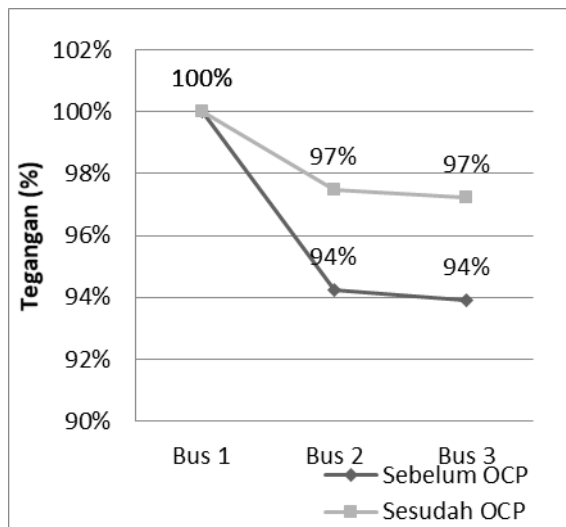
Tabel 3 adalah profil tegangan sebelum dipasang kapasitor. Pada bus 1 yang merupakan bus pusat tegangan nominal awal 20 kV beroperasi 100 % dengan arus 6.3 A. Bus 2 merupakan bus beban memiliki tegangan nominal 0.48 kV beroperasi sekitar 94.23% dengan arus sebesar 6.3 A. Bus 3 merupakan bus beban memiliki tegangan nominal 0.48 kV beroperasi sekitar 93.9% dengan arus sebesar 261.4 A.

Tabel 4. Profil Tegangan Sesudah Dipasang Kapasitor

Kode Bus	Nominal kV	Tegangan (%)	Arus (A)
1	20	100	5.2
2	0.468	97.46	5.2
3	0.467	97.22	214.9

Pada bus 1 yang merupakan bus pusat tegangan nominal awal 20 kV beroperasi 100% dengan arus 5.2 A. Bus 2 yang merupakan bus beban memiliki tegangan nominal 0.468 kV beroperasi sekitar 97.46% dengan arus sebesar 5.2A. Bus 3 yang juga merupakan bus beban memiliki tegangan nominal 0.467 kV beroperasi

sekitar 97.22% dengan arus sebesar 214.9A.



Gambar 5. Grafik Perbandingan Tegangan Sebelum dan Sesudah Pemasangan Kapasitor

Dari grafik gambar 5 dapat diketahui kondisi yang terjadi pada sistem terhadap profil tegangan saat sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor. Saat sebelum pemasangan kapasitor, profil tegangan lebih kecil dari setelah pemasangan. Hal ini dipengaruhi juga oleh faktor daya sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor. Dimana faktor daya yang kecil $\leq 0,85$ dapat berpengaruh pada profil tegangan pada bus akibat arus tertinggal oleh tegangan. Sedangkan faktor daya yang bernilai $\geq 0,85$ sampai dengan 1 dapat mengubah profil tegangan pada bus sehingga jatuh tegangan dapat berkurang akibat arus mendahului tegangan.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi dan analisa dari penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan:

1. Dari hasil simulasi yang diperoleh, sistem mengalami perbaikan setelah dilakukan *optimal capacitor placement* (OCP) diantaranya: perbaikan nilai faktor daya pada bus 1 dan bus 2 dari 0.82 menjadi 98.3, pada bus 3 dari 85.1 menjadi 98.6. Sistem mengalami perbaikan nilai tegangan sebesar 0.0255 kV.
2. Lokasi pemasangan kapasitor yang tepat untuk memperbaiki nilai faktor daya pada sistem berdasarkan hasil analisis aliran daya pada *software* ETAP 12.6.0 yaitu pada bus 3 dengan nilai kompensasi daya reaktif adalah sebesar 91.51 kVAR dan arus 115.06 A.

DAFTAR PUSTAKA

- Adif, Mohammad. 2014. Analisis Arus *Inrush* Saat *Switching* Kapasitor Bank Di Gardu Induk (GI) Manisrejo Madiun. Malang; Universitas Brawijaya.
- Anugrah, Haren Puja. 2018. Analisis Kebutuhan Kapasitor Bank Pada Bus Beban Untuk Perbaikan Faktor Daya Dan Drop Tegangan Menggunakan Simulasi *Optimal Capacitor Placement* Etap 12.6.

- Malang; Universitas Muhammadiyah Malang.
- Chopade, Pravin & Marwan Bikdash. 2011. *“Minimizing Cost and Power losses by Optimal Placement of Capacitor using ETAP”*. Computational Science and Engineering Department, Department of Electrical and Computer Engineering North Carolina A & T State University Greensboro, USA. IEEE 9781-4244-9593-1, 2011.
- Risjayanto, Baktiyar Freda. 2018. *Optimal Capacitor Placement (OCP) Pada Sistem Jaringan Distribusi 20 Kv Menggunakan ETAP*. *Jurnal Teknik Elektro*, 8(1).
- Saini, Satish dkk. 2016 *“A Case Study for Loss Reduction in Distribution Networks using Shunt Capacitors”*. Poorima University, RRVPNL, EEE Dept. Arya College of Engg., & LT., Jaipur, India. IEEE 978-1-4673-8587, 2016.
- Widodo, Ridho. 2018. *Analisa Optimalisasi Penempatan Kapasitor Bank Pada Jalur Distribusi Chf 3 PT. Bukit Asam (Persero) Tbk. Yogyakarta; Universitas Islam Indonesia*.
- Wijanarko, Eko. 2011. *Optimasi Penempatan Kapasitor Shunt Untuk Perbaikan Daya Reaktif Pada*
- Penyulang Distribusi Primer Radial Dengan Algoritma Genetik. Semarang : Universitas Diponegoro.