

PENEMPATAN OPTIMAL KAPASITOR UNTUK MEMPERBAIKI PROFIL TEGANGAN MENGGUNAKAN ALGORITMA GENETIKA PADA PENYULANG MANTUIL

Nedi Ivo Saragih (15.12.009)
Abraham Lomi

Irrine Budi Sulistiawati

Program Studi Teknik Elektro S-1, Institut Teknologi Nasional Malang

nediivo37@gmail.com

Abstract— *Meningkatnya perekonomian secara otomatis meningkatkan pertumbuhan pelanggan PLN yang artinya peningkatan beban listrik akan terjadi. Semakin meningkat beban listrik semakin banyak masalah dalam penyaluran listrik misalnya jatuh tegangan dan rugi saluran meningkat. Kondisi ini harus dicegah dengan pemasangan kapasitor bank agar mengurangi jatuh tegangan dan rugi pada saluran. Dalam analisis sistem distribusi 20kV pada penyulang mantuil ini menerapkan optimal capacitor placement pada software ETAP untuk menganalisis sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor bank dan menggunakan metode genetic algoritma untuk menemukan solusi pemecahan masalah agar penempatan kapasitor yang optimal yang diterapkan dalam software ETAP. Setelah pemasangan kapasitor bank profil tegangan pada distribusi penyulang mantuil meningkat hingga diatas batas nilai tegangan yaitu diatas 0,95 – 1,05 pu.*

Kata Kunci : *Kapasitor Bank, Jatuh Tegangan, Rugi saluran, ETAP Power Station, Optimal Capacitor Placement (OCP)*

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Suatu sistem distribusi harus memiliki keandalan agar kualitas dayanya tetap terjaga dan tersalurkan dengan baik. Dalam penyaluran energi listrik ada beberapa masalah yang dihadapi antara lain jatuh tegangan, faktor daya yang rendah dan rugi-rugi daya. Beban pada jaringan distribusi bisa berupa beban kapasitif maupun induktif, namun pada umumnya berupa beban induktif. Apabila beban reaktif induktif semakin tinggi maka menyebabkan memperbesar jatuh tegangan, memperbesar rugi-rugi daya, menurunkan faktor daya dan menurunkan kapasitas penyaluran daya. Namun suatu hal yang sulit untuk mempertahankan tegangan konstan pada sistem distribusi karena jatuh tegangan akan terjadi pada semua bagian sistem dan akan berubah sesuai dengan adanya variasi beban dan perubahan beban.[1]

Meningkatnya perekonomian secara otomatis meningkatkan pertumbuhan pelanggan PLN yang artinya

peningkatan beban listrik akan terjadi. Karena meningkatnya beban listrik semakin besar juga masalah dalam penyaluran listrik akan terjadi seperti jatuh tegangan, faktor daya yang rendah dan rugi-rugi saluran. Maka dalam mencegah atau mengurangi masalah dalam penyaluran dipasang kapasitor *bank* pada jaringan distribusi pada penyulang Mantuil. Arus *leading* yang disediakan oleh kapasitor dapat secara efektif membatalkan arus *lagging* yang diminta oleh komponen beban reaktif. Faktor daya didefinisikan sebagai rasio daya nyata terhadap daya total.[2]

Pada penelitian ini metode yang digunakan untuk mengetahui lokasi penempatan kapasitor yang optimal yaitu Algoritma Genetika untuk memecahkan suatu masalah pada jaringan distribusi. Dalam algoritma genetika secara umum dalam bentuk *binner* yang menjadi sebuah rangkaian (*string*) yang menyusun gen-gen pembentuk kromosom. Kemudian akan mencari solusi dan *fitness* terbaik sesuai dengan fungsi objektif yang digunakan.[3]

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Jatuh Tegangan (*Drop Voltage*)

Jatuh tegangan yaitu besarnya kehilangan tegangan normalnya. Besarnya jatuh tegangan disebabkan dari beberapa faktor misalnya : [5]

- Panjang kabel penghantar
- Tahanan jenis
- Besar arus
- Luas penampang

B. Daya Listrik

Daya listrik dapat diartikan sebagai laju hantaran energi dalam suatu rangkaian listrik.[4]

- Daya Aktif

Adalah daya yang dibutuhkan oleh beban yang satuannya yaitu watt (W).
Persamaan daya aktif pada beban :

$$P = V \times I \times \cos \phi$$

- Daya Reaktif

Adalah daya yang ditimbulkan oleh beban bersifat induktif dan daya yang dibutuhkan dalam pembentukan medan magnet. Persamaan daya reaktif :

$$Q = V \times I \times \sin \phi$$

- Daya Semu

Adalah daya yang dihasilkan dari perkalian arus listrik dan tegangan. Persamaan daya semu :

$$S = V \times I$$

C. Rugi-Rugi Daya

Listrik yang dikirim dan disalurkan dari trafo distribusi ataupun dari GI ke beban mengalami rugi-rugi daya dan rugi-rugi tegangan yang disebabkan karena saluran distribusi memiliki tahanan, kapasitas dan juga induktansi.

Rumus rugi daya yaitu : [6]

- Rugi daya nyata : $\Delta P = I^2 R \frac{L^3}{3}$
- Rugi daya reaktif : $\Delta Q = I^2 \cdot \frac{L^3}{3}$

D. Faktor Daya

Faktor daya yaitu rasio antara daya terhadap arus dan tegangan yang berbeda fase yang disebabkan reaktansi rangkaian yang termasuk alat merupakan beban. Karena sistem perlu dirancang untuk dapat menyalurkan listrik dan memikul rugi-rugi dan turun tegangan, maka harus diketahui nilai-nilai arusnya. Semua sistem berupa kabel, trafo, kawat dan lain-lainnya, semua didasarkan pada nilai-nilai arus yang di alirkan secara aman. [7]

E. Kapasitor Bank

Pada umumnya kapasitor bank berfungsi untuk mengkompensasi daya reaktif, mengurangi rugi-rugi saluran dan meningkatkan profil tegangan. [3]

Untuk pemasangan kapasitor ditempatkan pada jarak dari gardu induk yaitu 1/2 hingga 2/3 dari total panjang saluran agar mendapatkan manfaat maksimum dalam peningkatan tegangan dan pengurangan rugi-rugi salurannya.

- Kapasitor *shunt*

Atau biasa disebut kapasitor paralel adalah kapasitor yang dihubungkan secara paralel pada saluran. Kapasitor ini mengkompensasi beban induktif dan untuk pengaturan tegangan ujung distribusi. Aplikasi kapasitor paralel ini akan memperbaiki faktor daya, mengurangi rugi-rugi saluran dan meningkatkan profil tegangan. [9]

- Kapasitor Seri

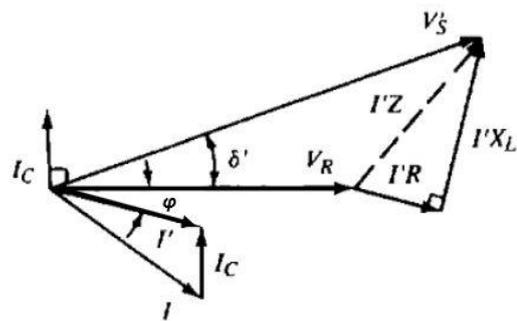
Adalah kapasitor yang dihubungkan secara seri pada impedansi saluran. Pemakaian kapasitor seri pada jaringan distribusi sangat dibatasi karena peralatan pengamannya yang cukup rumit.

G. Pengaruh Kapasitor Bank

Kapasitor terhubung paralel atau *shunt* yang bertujuan mengurangi rugi-rugi saluran dan meningkatkan profil tegangan, karena kapasitor paralel akan menyuplai daya reaktif atau arus untuk menetralkan keluaran antar fasa dari arus yang diperlukan oleh beban induktif. Penurunan tegangan pada penyulang atau *feeder* yang panjang dengan faktor daya yang ketinggalan maka dapat dihitung: [10]

$$VD = I_R R + I_X X_L$$

Pada kurva gambar 2.14 menunjukkan arus yang diinjeksikan oleh kapasitor paralel mampu mengubah vektor arus ke arah leading sehingga voltage drop akibat beban induktif saluran dapat teratasi dan tegangan pada beban tetap terjaga pada kondisi yang diinginkan.



Gambar 1. Kurva kompensasi arus kapasitor untuk mereduksi jatuh tegangan

Untuk menunjukkan reduksi tegangan jatuh dengan pemasangan kapasitor *shunt* dapat di cari dengan :

$$VD = I_R R + I_X X_L - I_C X_C$$

Sehingga tegangan yang dinaikkan oleh kapasitor *shunt* dapat ditunjukkan pada rumus :

$$V_{rise} = I_C X_L$$

H. Algoritma Genetika

Algoritma genetika adalah algoritma yang memanfaatkan proses seleksi atau evolusi. Algoritma genetika ini membantu untuk mencari solusi dan *fitness* terbaik sesuai dengan fungsi objekif yang digunakan dalam permasalahan sistem tenaga. [3]

Bagian-bagian algoritma genetika yaitu :

- Gen
Gen merupakan elemen terkecil dalam sistem yang membawa sebuah nilai di dalam individu, nilai yang dimaksud biasa disebut allele. Biasanya gen pada Genetic Algorithm (GA) berbentuk binner, float ataupun string.
- Kromosom
Kromosom adalah kumpulan dari gen-gen yang membentuk satu kesatuan individu tertentu. Sedangkan untuk banyaknya gen di dalam *kromosom* tergantung dari optimasi yang dilakukan dan jumlah kapasitor yang akan dioptimasi.

- Individu
Individu merupakan kesatuan dari *kromosom* yang memiliki satu *fitness*. Individu merupakan representasi dari sebuah *kromosom*
- Populasi
Populasi adalah sekumpulan individu yang memiliki *fitness* masing-masing.
- Generasi
Generasi adalah jumlah keturunan dari proses seleksi alami. Proses ini dimulai dengan satu populasi hingga membentuk populasi baru dengan gen-gen yang berbeda-beda.
- Fungsi objektif
Fungsi *fitness* adalah salah satu bagian yang paling penting dalam algoritma genetika. Merupakan sebuah persamaan fungsi yang memiliki peran untuk menghitung nilai sebuah kromosom.

I. Algoritma Genetika pada *Optimal Capacitor Placement* pada ETAP

Optimal Capacitor placement (OCP) merupakan salah satu *tool* di dalam *software ETAP* yang menggunakan algoritma genetika untuk penempatan kapasitor yang optimal. Algoritma genetika adalah suatu teknik optimasi yang didasarkan pada teori seleksi alam. Sebuah algoritma dimulai dengan generasi solusi dengan keanekaragaman untuk mewakili karakteristik dari ruang pencarian secara keseluruhan. Dengan mutasi dan *crossover* karakteristik yang baik dipilih untuk dibawa ke generasi berikutnya. Solusi optimal dapat dicapai melalui generasi berulang. Metode yang paling umum berdasarkan aturan praktis diikuti dengan menjalankan studi beberapa aliran daya untuk *fine-tuning* ukuran dan lokasi.

Beberapa aliran daya untuk *fine-tuning* ukuran dan lokasi. Penempatan optimal kapasitor pada sistem tenaga listrik memiliki banyak *variable* termasuk kapasitas kapasitor, penempatan optimal, fungsi biaya, tegangan. Dimana dalam menentukan penempatan dan kapasitas optimal, jenis kapasitor dapat disesuaikan berdasarkan kondisi dilapangan. Namun mengingat variabel-variabel tersebut, membuat penempatan optimal menjadi sangat rumit. Sehingga untuk menyederhanakan analisis, jenis kapasitor dapat diasumsikan sebagai berikut:

1. System dalam kondisi seimbang (*balanced*)
2. Semua jenis beban dianggap konstan.

Dalam metode *Genetic Algorithm*, ada sekumpulan individu (populasi) untuk suatu permasalahan, dalam hal ini dapat diperhitungkan aliran daya dinyatakan dalam bentuk bilangan real yang menyusun gen-gen pembentuk kromosom.

Populasi dibentuk dari pembangkitan secara acak dan selanjutnya dipilih melalui prosedur operasi genetika yang terdiri dari seleksi *crossover*, dan mutasi. Hasil dari mutasi dievaluasi menggunakan fungsi *fitness*

untuk menentukan kromosom mana yang terpilih dilakukan proses perulangan sehingga mencapai nilai tertentu pada suatu kriteria berhenti yang telah ditetapkan sebelumnya (dapat berupa suatu nilai tertentu pada generasi tertentu).

a. Pengkodean

Pada proses *Genetic Algorithm* mengasumsikan sebuah populasi untuk sebuah persoalan dimungkinkan dengan mewakili satu set parameter. Parameter-parameter ini dinamakan gen nilai-nilai (representasi) yang bersatu membentuk *string (kromosom)*. Selanjutnya beberapa *kromosom* sejenis berkumpul membentuk populasi. Dari sebuah populasi tersebut, *Genetic Algorithm* mulai melakukan pencarian. Ilustrasi pengkodean dapat dilihat pada gambar berikut:

Kromosom

1	0	0	1	0	1	1	0	1
---	---	---	---	---	---	---	---	---

a. Pengkodean biner

Kromosom

1	2	5	6	3	8	4	9	7
---	---	---	---	---	---	---	---	---

b. Pengkodean permutasi

Gambar 2. Pengkodean dalam algoritma genetika

Satu hal mendasar *Genetic Algorithm* bekerja pada daerah pengkodean dan solusi. Operasi genetika (pindah silang dan mutasi) bekerja pada daerah pengkodean, sedangkan proses evaluasi dan proses seleksi bekerja pada daerah solusi. Setiap konfigurasi yang memungkinkan (lokasi dan nilai) kapasitor mewakili suatu individu secara umum *genetic algorithm* dibentuk oleh serangkaian kromosom yang ditandai dengan X_i ($i = 1, 2, 3, \dots, N$). Setiap elemen dalam kromosom adalah variabel, string disebut gen berisi *allele*. Variabel ini dinyatakan dalam bentuk bilangan biner, real atau abjad. Pengkodean string biner merupakan pendekatan klasik yang digunakan dalam penelitian *genetic algorithm* sederhana.[11]

b. Nilai *Fitness*

Nilai *fitness* menyatakan seberapa baik nilai dari suatu individu atau solusi yang didapatkan. Di dalam evolusi alam, individu yang bernilai *fitness* tinggi yang akan bertahan hidup. Sedangkan individu yang bernilai *fitness* rendah akan mati. Dalam masalah optimasi, jika solusi yang dicari adalah memaksimalkan sebuah fungsi h (dikenal dengan masalah maksimal), maka nilai *fitness* yang digunakan adalah nilai fungsi h tersebut, yakni $f=h$ (di mana f adalah nilai *fitness*). Tetapi jika masalahnya adalah meminimalkan fungsi h (masalah minimasi), maka fungsi h tidak bisa digunakan secara langsung dikarenakan adanya aturan bahwa individu yang bernilai *fitness* tinggi akan mampu bertahan hidup pada generasi berikutnya.

c. Reproduksi

Reproduksi adalah proses pemilihan individu untuk berpindah menuju generasi baru menurut nilai *fitness*nya. Metode seleksi alam yang

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menganalisis penempatan optimal kapasitor untuk mengurangi rugi saluran dan meningkatkan nilai profil tegangan pada penyulang mantuil Banjarmasin menggunakan *software* ETAP 12.6.

B. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di teknik elektro, fakultas teknik industri, Institut Teknologi Nasional Malang yang berlangsung pada ajaran semester genap tahun 2018/2019.

C. Teknik Analisis Data

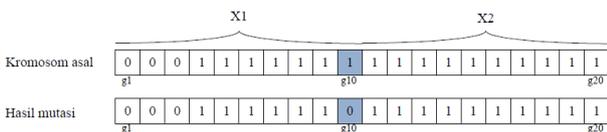
digunakan adalah *roulette wheel*. Sesuai dengan namanya, metode ini menirukan permainan *roulletwheel* dimana masing-masing kromosom menempati potongan lingkaran pada roda roulette secara proporsional yang memiliki nilai fitness yang lebih besar menempati potongan lingkaran yang lebih besar dibandingkan dengan kromosom bernilai fitness rendah. Untuk mencegah terjadinya konvergensi pada optimum lokal, maka dilakukan penskalaan fitness, sehingga fitness berada pada [fmax-fmin] sebagai berikut.

d. Crossover

Crossover (kawin silang) merupakan proses mengkombinasikan dua individu untuk memperoleh individu-individu baru yang diharapkan mempunyai fitness lebih baik. Titik *crossover* ditentukan secara random. Gen baru yang lebih panjang dipertahankan sebagai bagian dari individu baru, sedangkan sisanya dipertukarkan.

e. Mutasi

Mutasi dilakukan pada semua gen yang ada, jika bilangan random yang dibangkitkan kurang dari probabilitas mutasi P_{mut} yang ditentukan maka gen tersebut dirubah menjadi nilai kebalikannya (dalam *binary encoding*, 0 diubah menjadi 1, dan 1 menjadi 0).



Gambar 3. Proses mutasi pada algoritma genetika

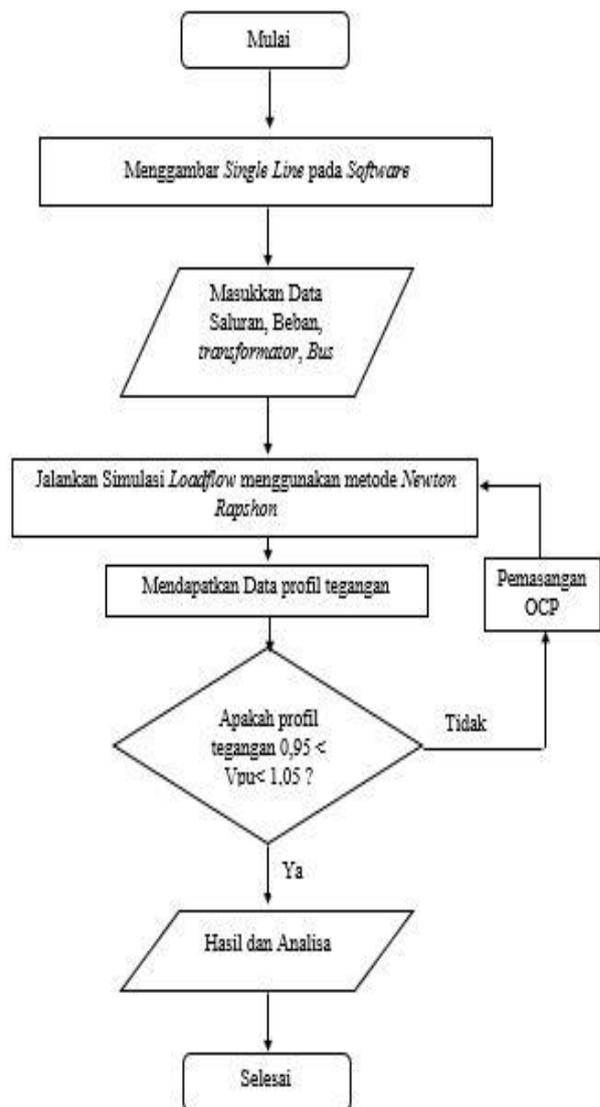
f. Fungsi Objektif

Tujuan dari permasalahan penempatan kapasitor adalah untuk meningkatkan profil tegangan dan mengurangi total rugi-rugi daya pada sistem tenaga yang terpasang. Fungsi objektif didapatkan dari dua istilah. [9] Yang pertama adalah penempatan kapasitor dan yang kedua adalah total rugi-rugi daya. Fungsi objektif yang terkait dengan penempatan kapasitor terdiri dari total rugi-rugi daya dan kapasitas kapasitor.[11]

I. Perhitungan Daya Reaktif yang Dibutuhkan Dalam Pemasangan Kapasitor Bank.

J. Optimal Capacitor Placement (OCP)

Optimal capacitor placement pada *software* ini menggunakan algoritma genetika dalam penempatan kapasitor yang optimal. Solusi ini dapat membantu memecahkan masalah melalui simulasi *optimal capacitor placement*, sehingga dapat memperbaiki level tegangan pada sistem dengan menambahkan kapasitor pada bus yang mengalami *critical*. [3]



Gambar.4 Flowchart Pengerjaan

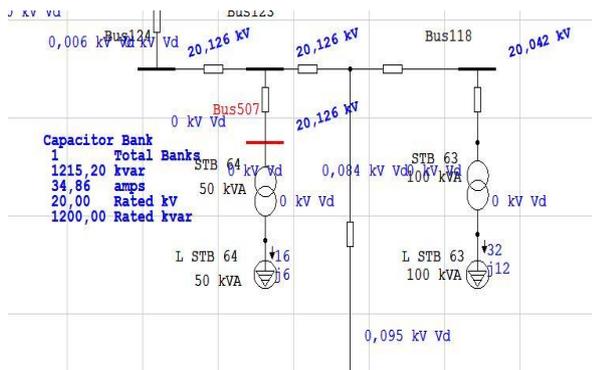
IV. Hasil Simulasi dan Analisa

A. Kondisi Sistem Penyulang Mantuil Sebelum Pemasangan Kapasitor.

Dari hasil simulasi analisa 31 bus mempunyai nilai tegangan yang dibawah 0,95, sedangkan nilai tegangan yang diharapkan yaitu antara 0,95 pu - 1,05 pu. Nilai tegangan yang dibawah dari 0,95 pu – 1,05 pu berarti dalam kondisi kritis yang harus di perbaiki agar tidak mengganggu sistem kelistrikan.

B. Penentuan Bus Kandidat

Pada penyulang mantuil ini bus kandidat nya yaitu bus 123, 124, 125, 128, 131, 134, 507, 514, 517,518, 566.



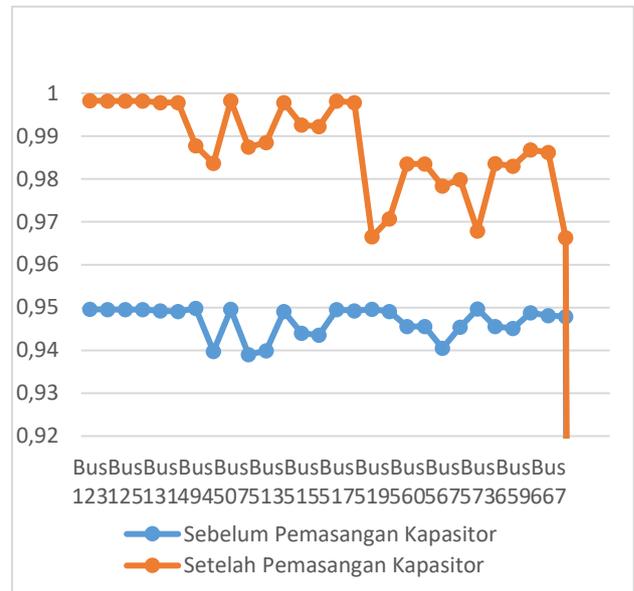
Gambar 5. Penampilan Kapasitas Kapasitor

C. Kondisi Sistem Penyulang Mantuil Sesudah Pemasangan Kapasitor.

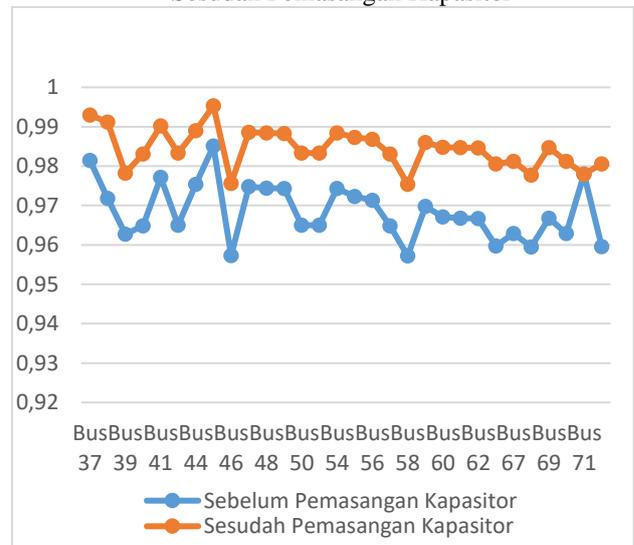
Dari analisa sistem yang dilakukan saat sebelum pemasangan kapasitor, maka dalam memperbaiki nilai tegangan yang dibawah 0,95 perlu dipasang kapasitor bank untuk meningkatkan nilai tegangan pada bus-bus yang masih nilai tegangannya dibawah 0,95. Tetapi tidak harus dipasang kapasitor pada setiap bus-bus yang mengalami, melainkan menentukan letak kapasitor bank yang optimal sehingga dapat menginjeksikan daya reaktif secara optimal ke sistem agar meningkatkan nilai tegangan pada bus-bus yang memiliki nilai tegangan masih dibawah 0,95.

Hasil dari load flow setelah pemasangan kapasitor, nilai tegangan pada bus yang mengalami under voltage sudah menjadi normal sehingga nilai tegangannya tidak ada yang dibawah 0,95. Tidak hanya nilai tegangan yang menjadi bus kandidat yang hanya mengalami kenaikan nilai tegangan, tetapi hampir semua bus di sistem mengalami kenaikan nilai tegangannya.

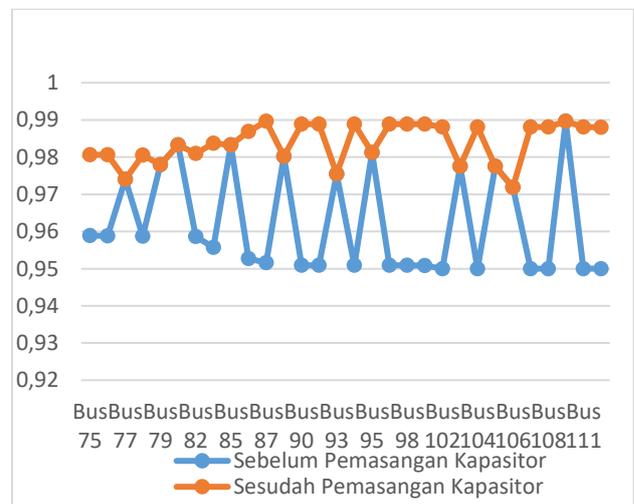
D. Perbandingan Nilai Tegangan Sebelum Pemasangan dan Sesudah Pemasangan Kapasitor



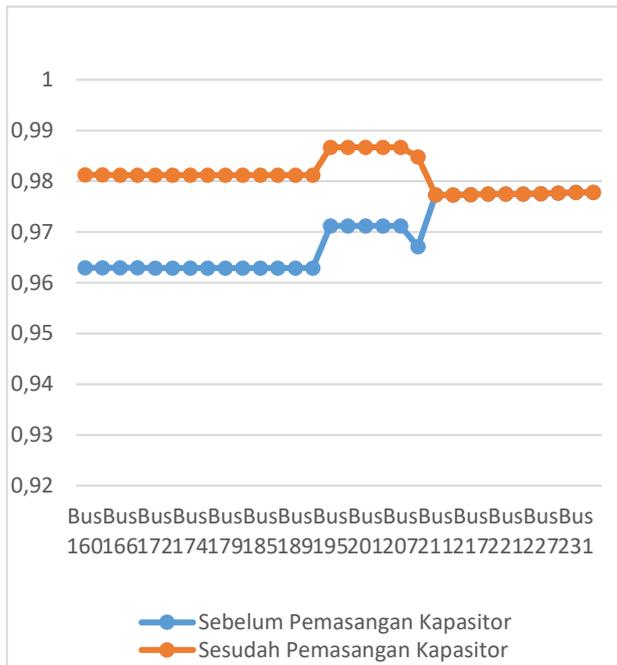
Gambar 6. Perbandingan Nilai Tegangan Sebelum dan Sesudah Pemasangan Kapasitor



Gambar 7. Perbandingan Nilai Tegangan Sebelum dan Sesudah Pemasangan Kapasitor



Gambar 8. Perbandingan Nilai Tegangan Sebelum dan Sesudah Pemasangan Kapasitor



Gambar 9. Perbandingan Nilai Tegangan Sebelum dan Sesudah Pemasangan Kapasitor

V. Kesimpulan

Setelah melakukan pemasangan kapasitor pada penyulang mantuil Banjarmasin pada analisis ini menggunakan ETAP 12.6 nilai tegangan yang sebelumnya mengalami *critical* atau di bawah standar yang terdapat pada bus 114, 123, 124, 125, 128, 131, 134, 494, 506, 507, 509, 513, 514, 515, 516, 517, 518, 519, 547, 557, 560, 565, 567, 601, 659, 663, 667 dan 671 dapat di naikkan atau di tingkatkan hingga mencapai standar nilai tegangan yaitu 0.95 pu – 1,05 pu.

Metode yang diterapkan dengan menggunakan program *optimal capacitor placement* (OCP) dapat menentukan lokasi dan kapasitas optimal kapasitor di sistem kelistrikan penyulang mantuil Banjarmasin sehingga nilai profil tegangan yang *critical* atau di bawah standar bisa meningkat hingga di atas standar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bandri S, Danial T, 2014. Studi Analisa Pemasangan Kapasitor Pada Jaringan Udara Tegangan Menengah 20 KV Terhadap Drop Tegangan (Aplikasi Pada Feeder 7 Pinang GI Muaro Bungo), Institut Teknologi Padang.
- [2] Chopade P, Bikdash M, 2011. Minimizing Cost and Power Loss by Optimal Placement of Capacitor Using ETAP, Computational Science and Engineering Dapertement, Dapertement of Electrical and Computer Engineering North Carolina A & T State University Greensboro, USA.
- [3] Bagus A, Penangsang O, Aryani Ni K 2006. Optimalisasi Penempatan Kapasitor Bank untuk

Memperbaiki Kualitas Daya pada Sistem Kelistrikan PT. Semen Indonesia Menggunakan Metode *Genetic Algorithm* (GA), Institut Teknologi Sepuluh November Vol.5, No.2.

- [4] Darusman Marzuki. Analisa Kelayakan Pemasangan Kapasitor Bank Pada Gardu Distribusi Untuk Kemampuan Layanan Di PT. EPI (Energi Pelabuhan Indonesia) Cabang Pontianak, Universitas Tanjungpura
- [5] Suprianto, Analisa Tegangan Jatuh Pada Jaringan Distribusi 20 KV PT.PLN Area Rantau Prapat Rayon Aek Kota Batu, Politeknik Negeri Medan Vol. 3, No. 2, 2018.
- [6] Albaroka G, Widodo G, 2017. Analisis rugi daya pada jaringan distribusi penyulang Barata Jaya Area Surabaya Selatan, Surabaya.
- [7] Kadir, Abdul. Distribusi dan Utilisasi Tenaga Listrik, Jakarta : Penerbit Universitas Indonesia (UI-Press), 2000
- [8] Chopade P, Dr.Bikdash M 2011. Minimazin Cost and Power Loss by Optimal Placement of Capacitor using ETAP, Dapertement of Electrical and Computer Engineering North Carolina A & T State University Greensboro, USA.
- [9] Buku Pedoman Pemeliharaan Kapasitor PT. PLN (persero) No. 0520-2.K/DIR/2014 No. Dokumen : PDM/PGI/04:2014
- [10] Deshpande, 1990 Pengaruh Bank Kapasitor
- [11] Sundharajan, S and Pahwa A., Optimal Selection of Capacitors for Radial Distribution System using A genetic Algoritmh, IEEE Transactions on Power Systems, Vol.9, No. 3, August 1994,pp. 1499-1507.

