

# Optimasi Penempatan Kapasitor Untuk Memperbaiki Profil Tegangan dan Mereduksi Rugi-Rugi Daya pada Jaringan Distribusi 20kV Penyulang Lambitu, Kalampa, dan Karumbu di PT.PLN (Persero) Area Bima

Alfian Nandar Rosihan  
NIM 13.12.007  
alfiannandarrosihan@gmail.com

Prof. Dr. Eng. Ir. I Made Wartana, MT.  
Pembimbing I

Dr. Irrine Budi Sulistiawati, ST., MT.  
Pembimbing II

*Abstrak*—Penurunan profil tegangan dan peningkatan rugi-rugi daya dalam penyaluran energi listrik merupakan masalah yang sering terjadi pada sistem distribusi baik pada jaringan tegangan menengah maupun jaringan tegangan rendah akibat panjang saluran serta bertambahnya jumlah beban pada sistem. Untuk mengantisipasi hal tersebut perlu dilakukan pengontrolan daya reaktif salah satunya dapat dilakukan dengan penempatan kapasitor yang optimal untuk meningkatkan profil tegangan dan mereduksi rugi-rugi daya sehingga dapat memaksimalkan kapasitas penyaluran daya sistem.

Penelitian ini akan menerapkan *Optimal Capacitor Placement* (OCP) yang merupakan salah satu *tool* dalam *software ETAP* untuk penempatan dan kapasitas optimal kapasitor pada sistem dengan menerapkan metode algoritma genetika (GA). Untuk menguji metode yang digunakan maka simulasi awal menggunakan sistem distribusi 20 kV, penyulang Lambitu, Kalampa, dan Karumbu di PT PLN (Persero) Area Bima, dengan total bus 125. Dari hasil analisis didapat beberapa bus untuk penempatan dan kapasitas kapasitor optimal yaitu pada bus 100 dan bus 106 dengan total kapasitas sebesar 722,58 kVar dan 361,28 kVar dapat meningkatkan profil tegangan serta mereduksi rugi-rugi daya dari 209,3 kW dan 263,6 kVar menjadi 185,9 kW dan 253,0 kVar.

**Kata Kunci**—Kapasitor, Optimal Penempatan Kapasitor, Profil Tegangan, Rugi-Rugi Daya.

## I. PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Sistem tenaga listrik secara umum ada beberapa unit pembangkit, saluran transmisi, distribusi dan beban. Seiring dengan kemajuan masyarakat, industri dan perekonomian, kebutuhan akan energi listrik pun semakin meningkat. Kualitas daya listrik sangat dipengaruhi oleh peningkatan energi listrik. Daya yang terbuang pada bentuk kerugian pada sistem distribusi itu sekitar 13% dari total daya yang dihasilkan [1]. Guna meningkatkan pengetahuan masyarakat akan kualitas daya listrik yang baik sebagai alasan perlunya memberi reaksi lebih dalam hal itu. Untuk pengoperasian energi listrik kembali normal setelah mengalami gangguan drop tegangan maka yang akan dibahas pada skripsi ini adalah profil tegangan, factor daya dan pengurangan rugi-rugi daya. Hal ini mengingat lokasi yang akan menjadi

target penelitian memiliki profil tegangan yang buruk akibat gangguan dan jauhnya jarak konsumen dari pusat pelayanan sehingga mengakibatkan jatuh tegangan.

Penggunaan kapasitor bank adalah salah satu dari banyak langkah yang dapat diambil untuk mengatasi masalah ini dan meningkatkan kualitas tegangan listrik normal. Keuntungan menggunakan shunt atau bank kapasitor yang optimal termasuk memperbaiki profil tegangan, faktor daya, mengurangi rugi daya (besarnya keuntungan ini bervariasi tergantung pada lokasi sistem, ukuran, dan jumlah kapasitor) dan meningkatkan kapasitas tegangan untuk meningkatkan efisiensi. Efisien dalam pengertian energi yang diproduksi dapat digunakan secara maksimal oleh pelanggan atau tidak mengalami kehilangan energi pada jaringan maupun peralatan listrik seperti trafo sehingga akan memberikan keuntungan-keuntungan, misalnya penambahan kapasitas daya listrik akibat berkurangnya rugi-rugi daya.

Adapun berapa metode yang digunakan dalam penempatan kapasitor optimal seperti metode *Optimal Capacitor Placement* (OCP), *Genetik Algorithm* (GA), *Fuzzy logic*, *Accelerated Particle Swarm Optimization* (ASPO), dan *Real-Coded Genetic Algorithm* (RGA), setiap metode yang digunakan dalam menyelesaikan penempatan kapasitor yang optimal memiliki kelebihan dan kekurangan tersendiri.

Pada jurnal ini akan menggunakan metode *Optimal Capacitor Placement* (OCP) dalam penempatan kapasitor guna menyelesaikan masalah perbaikan profil tegangan dan mereduksi rugi-rugi daya pada sistem jaringan distribusi 20 kV Penyulang Lambitu, Kalampa, dan Karumbu di PT.PLN (Persero) Area Bima. Hasil yang dicapai diharapkan dapat mengurangi kerugian daya serta meningkatkan nilai dan profil tegangan.

### B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, maka rumusan masalah pada skripsi ini sebagai berikut:

1. Bagaimana cara menentukan lokasi dan kapasitas kapasitor yang optimal pada jaringan distribusi 20 kV Penyulang Lambitu, Kalampa, dan Karumbu di PT.PLN (Persero) Area Bima?
2. Berapa peningkatan profil tegangan setelah penempatan kapasitor yang optimal pada sistem tersebut?
3. Berapa rugi-rugi daya yang dapat direduksi setelah penempatan kapasitor yang optimal?

### C. Tujuan

Adapun tujuan penelitian ini adalah :

1. Menentukan lokasi dan kapasitas kapasitor yang optimal pada jaringan distribusi 20 kV Penyulang Lambitu, Kalampa, dan Karumbu di PT . PLN (Persero) Area Bima.
2. Meningkatkan profil tegangan pada jaringan distribusi 20 kV penyulang Lambitu, Kalampa, dan Karumbu di PT.PLN (Persero) Area Bima.
3. Menentukan besar rugi-rugi daya yang dapat direduksi setelah penempatan kapasitor yang optimal.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Tinjauan Umum

Dalam kebanyakan kasus, pemasangan bank kapasitor pada gardu induk disisi sekunder transformator dan kapasitor dipenyulang distribusi dapat digunakan untuk memberikan kompensasi daya reaktif pada tingkat tegangan menengah. Alokasi kapasitor yang optimal pada tingkat distribusi, serta penempatan dan pengendalian daya reaktif yang disuplai oleh kapasitor, dapat dimaksimalkan dengan sistem pendekatan. [3]. Saat ini, pengendalian daya reaktif yang responsif merupakan pertimbangan penting dalam rencana eksploitasi sistem [4]. Rugi-rugi daya akan meningkat seiring dengan meningkatnya konsumsi energi, sehingga memerlukan teknik yang dapat menjaga tegangan sistem dalam batas yang diijinkan dan mengurangi rugi-rugi daya pada sistem distribusi. Penurunan tegangan pada sistem distribusi disebabkan oleh pemuaian sistem distribusi, dimensi yang besar, dan perpindahan daya melalui saluran yang panjang. Kontrol daya reseptif adalah salah satu teknik hebat untuk mencapai kualitas daya yang lebih baik. Hal ini bisa dilakukan dengan cara injeksi daya reaktif memakai kapasitor bank, cara ini sangat baik kompensasi daya reaktif pada sistem distribusi yang mana pemilihan tempat pemasangan kapasitor dapat meningkatkan profil tegangan [3],[4].

### B. Sistem Distribusi

Sistem tenaga listrik merupakan kumpulan peralatan mesin listrik seperti generator, transformator, saluran transmisi, saluran distribusi dan beban yang merupakan satu kesatuan sehingga membentuk suatu sistem sehingga disebut sistem distribusi tenaga listrik yang berfungsi untuk mensuplai tenaga dan mengalirkan listrik dari sumber

tenaga listrik (pembangkit, gardu induk, dan gardu distribusi) ke beban atau konsumen [4],[9]. Dalam sistem distribusi terdapat beberapa bentuk jaringan yang umum digunakan dalam menyalurkan dan mendistribusikan tenaga listrik yaitu :

1. Sistem jaringan radial.
2. Sistem jaringan tertutup (loop).
3. Sistem jaringan spindel.

### C. Aliran Daya Listrik (Load Flow)

Studi tentang aliran daya, disebut juga load flow, dilakukan untuk mempelajari aliran daya atau tegangan sistem pada kondisi operasi keadaan tunak. (*steady state*). Studi aliran daya juga memberikan data untuk menilai pelaksanaan sistem daya dan menganalisis usia dan kondisi pembangkit. Selain itu, informasi aliran listrik pada kondisi normal dan darurat (*critical*) juga diperlukan untuk analisa..

Kajian aliran tenaga listrik merupakan fokus utama dalam perencanaan dan pengembangan kerangka tenaga listrik beserta penentuan prosedur yang baik di jaringan yang ada. Perencanaan dan pengembangan sistem di masa depan akan sangat bergantung pada studi aliran daya. Karena seiring dengan meningkatnya minat konsumen terhadap daya listrik, akan terus terjadi perubahan beban, perubahan unit pembangkit, dan perubahan saluran transmisi. Didalam studi aliran daya, bus-bus terbagi menjadi 3 bagian yaitu :

#### 1. Bus referensi (*Slack bus*)

Pada bus ini daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) dihitung, sedangkan rating tegangan (v) dan sudut fasa tegangan  $\delta$  telah ditentukan. Karena fasor tegangan dari bus yang digunakan sebagai acuan, biasanya nilai  $|v|$  adalah 1 pu dan sudut fasa tegangan adalah nol.

#### 2. Bus generator (*Voltage controller bus*)

Pada bus ini hanya ada daya pembangkitan dimana  $|v|$  dikontrol menggunakan pengontrol tegangan (AVR) dan P diarahkan menggunakan governor. Oleh karena itu, P dan V untuk bus ini ada. Sementara itu, diperoleh daya responsif (Q) dan stage point ( $\delta$ ) dari hasil perhitungan.

#### 3. Bus beban (*Load bus*)

Pada bus ini hanya ada pembangkitan tenaga dimana  $|v|$  dikontrol menggunakan pengontrol tegangan (AVR) dan P diarahkan menggunakan governor. Oleh karena itu, P dan v untuk bus ini ada. Sementara itu, diperoleh daya responsif (Q) dan stage point ( $\delta$ ) dari hasil komputasi.

### D. Kapasitor Bank

Kapasitor *bank* ialah komponen listrik yang dapat menghasilkan daya reaktif jika pasangannya di jaringan listrik. Pada dasarnya kapasitor terdapat dua plat logam yang terpisah oleh suatu bahan dielektrik dan kapasitor mempunyai sifat yang dapat menyimpan muatan listrik. Kapasitor *bank* digunakan pada sistem distribusi guna memperbaiki faktor daya serta dapat mengatur tegangan feeder. Selain itu kapasitor bank bisa mengkompensasi daya reaktif dan memastikan tegangan terjaga pada saat beban penuh disalurkan

transmisi. Beban induktif dapat menyerap daya reaktif, yang menyebabkan jatuh tegangan pada sisi penerima sehingga pemasangan kapasitor *bank* pada sisi beban salah satu langkah menyuplai daya reaktif. Kompensasi yang dilakukan menggunakan kapasitor *bank* akan mengurangi penyerapan daya reaktif pada sistem oleh beban dan demikian mengurangkan jatuh tegangan [4][5].

#### E. Pengaruh Bank Kapasitor

Kapasitor dipasang secara berjajar pada jaringan atau langsung ke beban, bertujuan untuk mengembangkan faktor daya lebih lanjut, sebagai pengontrol tegangan atau untuk mengurangi rugi daya dan meningkatkan profil tegangan pada jaringan.

Kapasitor shunt mensuplai daya reaktif atau arus untuk menetralkan komponen keluaran antar fasa dari arus yang diperlukan oleh beban induktif [4]. Penurunan tegangan pada penyulang, atau pada saluran transmisi yang pendek dengan faktor daya yang ketinggalan dapat dihitung seperti dirumus (3) berikut :

$$VD = I_R R + I_X X_L \dots\dots\dots(3)$$

dengan

- VD = Penurunan tegangan (V)
- R = Resistansi total pada penyulang (ohm)
- X<sub>L</sub> = Reaktansi induktif total pada penyulang (ohm)
- I<sub>R</sub> = Komponen daya nyata dari arus (A)
- I<sub>X</sub> = Komponen reaktif arus tertinggal (A)

Ketika kapasitor ditempatkan pada akhir saluran, resultan drop tegangannya dapat dihitung dirumus (4) sebagai berikut :

$$VD = I_R R + I_X X_L - I_C X_L \dots\dots\dots(4)$$

dimana I<sub>C</sub> = komponen reaktif dari arus yang mendahului.

#### F. Fungsi Kapasitor

Setiap peralatan elektronik mempunyai fungsi masing-masing, demikian juga dengan fungsi kapasitor. Berikut ini merupakan fungsi kapasitor yang terdapat dalam rangkaian elektronik [7]:

1. Sebagai kopling antara rangkaian yang satu dengan rangkaian yang lain (*power supli*).
2. Sebagai filter penyaringan dalam rangkaian (*power supli*).
3. Sebagai frekuensi dalam rangkaian antena.
4. Untuk menghemat daya listrik pada lampu neon.
5. Mengilangkan loncatan api (*bouncing*) bila dipasang pada saklar untuk menyimpan arus atau tegangan listrik.
6. Untuk arus DC berfungsi sebagai isolator atau menahan arus, sedangkan untuk arus AC berfungsi sebagai konduktor atau melewatkan arus listrik
7. Perata tegangan DC pada pengubah AC to DC. Pembangkit gelombang AC atau oscilator, dan sebagainya.

#### G. Rugi-Rugi Pada Sistem Tenaga Listrik

Akibat rugi-rugi daya pada saluran dan trafo yang digunakan, sering terjadi rugi-rugi yang cukup besar pada sistem tenaga listrik selama proses distribusi..

Dua jenis kerugian ini berpengaruh sangat besar terhadap kuantitas daya beserta tegangan yang dikirim kepada beban (konsumen). Nilai tegangan yang melebihi batas maksimal dapat menyebabkan peralatan disisi konsumen tidak berfungsi dengan baik. Secara umum besar rugi-rugi daya pada sistem tenaga listrik dapat dituliskan dalam persamaan (5) sebagai berikut :

$$\text{Minimalisasi } P_{Tloss} = \sum_{k=1}^{Nsc} loss \dots\dots\dots (5)$$

dimana :

- k = bagian yang berbeda
- Nsc = jumlah bagian

#### H. Jatuh Tegangan( Voltage Drop)

Penurunan tegangan adalah seberapa besar tegangan yang hilang pada suatu saluran. Jatuh tegangan pada jaringan tenaga listrik sebagian besar berbanding lurus dengan panjang saluran dan beban, dan sebaliknya relatif terhadap luas penampang pengangkut. Besarnya batas atas dan bawah ditentukan oleh kebijaksanaan perusahaan kelistrikan. Perhitungan jatuh tegangan praktis pada batas-batas tertentu dengan hanya menghitung besarnya tahanan masih dapat dipertimbangkan, namun pada sistem jaringan khususnya pada sistem tegangan tinggi masalah induktansi dan kapasitansinya diperhitungkan karena nilainya cukup berarti. Tegangan jatuh secara umum adalah tegangan yang digunakan pada beban.

Tegangan jatuh ditimbulkan oleh arus yang mengalir melalui tahanan kawat. Tegangan jatuh V pada pengantar semakin besar jika arus I di dalam pengantar semakin R besar dan jika arus I di dalam pengantar semakin besar dan jika tahanan pengantar semakin besar pula. Tegangan jatuh merupakan penanggung jawab terjadinya kerugian pada pengantar karena dapat menurunkan tegangan pada beban. Akibatnya hingga berada dibawah tegangan nominal yang dibutuhkan. Atas dasar hal tersebut maka tegangan jatuh yang diijinkan adalah 5% dari tegangan nominalnya [11].

#### I. Algoritma Genetika pada Optimal Capasitor Plecement (OCP) Etap Power Station

OCP merupakan salah satu *tool* didalam *software* Etap terdapat algoritma genetika yang bekerja mencari tempat untuk penempatan kapasitor pada titik yang optimal. Algoritma genetika ialah suatu cara optimasi didasarkan dengan teori seleksi alam. Perhitungan dimulai dengan usia pengaturan dengan variasi untuk mengatasi kualitas ruang pengejaran umum. Dengan mutasi dan *crossover* karakteristik yang dicari yang baik untuk dipilih dibawa kegenerasi selanjutnya. Langka optimal harus dicapai menggunakan generasi berulang. Metode umum yang dianjurkan berdasarkan aturan praktis dapat diikuti dengan cara menjalankan studi beberapa aliran daya untuk *fine-tuning* ukuran dan lokasi [9].

#### J. Fungsi Objektif

Tujuan dari penempatan kapasitor adalah untuk mengurangi rugi-rugi daya total pada sistem tenaga

terpasang dan memperbaiki profil tegangan. Dari dua istilah fungsi tujuan dapat diturunkan.[9]. Penempatan kapasitor di urutan pertama, dan total rugi-rugi daya di urutan kedua. Total rugi-rugi daya dan kapasitas kapasitor merupakan fungsi tujuan yang terkait dengan penempatan kapasitor. Secara umum, persamaan tersebut dapat digunakan untuk mengungkapkan masalah lokasi dan kapasitas terbaik untuk kapasitor. (6), (7) dan (8) berikut :

$$\min = P_{Loss} + \sum_{j=1}^J Q_j^c \dots\dots\dots (6)$$

Subject to :

$$V_{min} \leq |V_j| \leq V_{max} \dots\dots\dots(7)$$

$$Q_0^c \leq Q_j^c \leq Q_{max}^c \dots\dots\dots(8)$$

dimana :

$P_{loss}$  = Total rugi-rugi daya

J = Jumlah Bus

$Q_j^c$  = Penempatan kapasitas kapasitor pada bus j

$V_j$  = Tegangan rms pada bus j

$V_{min}$  = Tegangan minimum yang diizinkan (p.u.)

$V_{max}$  = Tegangan maksimum yang diizinkan (p.u.)

$Q_{max}^c$  = Kapasitas maksimum kapasitor yang diizinkan

$Q_0^c$  = Kapasitas minimum kapasitor bank

### K. Kendala Operasional

Tegangan pada feder (bus) diharapkan tetap berada dalam batas yang telah ditentukan. setelah kapasitor dipasang pada feeder (bus). Namun, batas maksimum dan minimum besarnya dapat digunakan untuk memperhitungkan masalah terkait [9] . Batasan yang perlu dilihat saat *optimal capacitor placemen* : Profil tegangan seperti pada (9).

$$V_i^{min} \leq V_i \leq V_i^{max}, i \in NB \dots\dots\dots(9)$$

$$\text{Batasan daya reaktif generator seperti pada } Q_{gi}^{min} \leq Q_{gi} \leq Q_{gi}^{max}, i \in Ng \dots\dots\dots(10)$$

$$\text{Batasan daya reaktif pada kapasitor bank seperti pada } Q_{ci}^{min} \leq Q_{ci} \leq Q_{ci}^{max}, i \in Nc \dots\dots\dots(11)$$

Batasan diatas yaitu batas kondisi system. Tegangan pada feder generator ( $V_i$ ), daya reaktif yang dihasilkan oleh kompensator, misalnya bank kapasitor ( $Q_{ci}$ ), pengaturan tap transformator ( $a_i$ ), merupakan faktor kontrol yang sangat dibatasi. Nilai fungsi tujuan ditentukan oleh batasan seperti tegangan pada bus ( $V_i$ ) dan daya reaktif generator ( $Q_{gi}$ ).

## III. METODE PENELITIAN

Implementasi dan proses kerja skripsi ini didasarkan pada standar IEEE. Data hasil survei menjadi dasar pengujian dan penelitian ini. Data hasil survey di PT. PLN (PERSERO) Wilayah Bima menjadi data pendukung untuk dapat disimulasikan pada *software ETAP Power Station*.

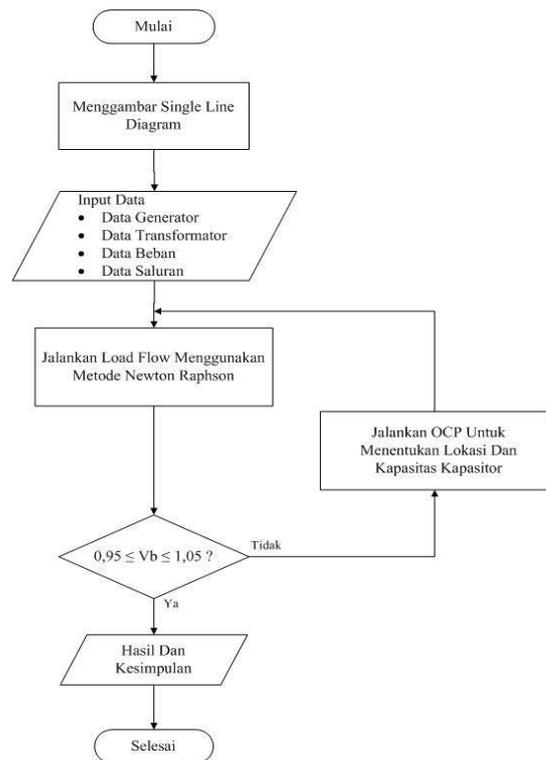
Profil tegangan, daya aktif, daya reaktif, dan rugi-rugi pada sistem 20 kV dapat dihitung menggunakan simulasi aliran daya atau *load flow*. Setelah dilakukan *studi load flow* maka bisa mengetahui kondisi-kondisi bus yang mengalami penurunan tegangan (*under voltage*). Dan bila terdapat kondisi-kondisi bus yang mengalami penurunan tegangan pada batas yang diijinkan ( $0,95 < V_{pu} < 1,05$ ) maka bisa melakukan perbaikan profil tegangan dengan cara menentukan

penempatan dan kapasitas optimal kapasitor menggunakan *tool OCP* [12].

### A. Optimal Capacitor Plecemen (OCP) pada Software ETAP Power Station

OCP pada pemrograman ETAP menerapkan perhitungan turun temurun untuk menentukan penempatan kapasitor yang optimal. Salah satu metode optimasi berbasis seleksi alam adalah teknik pada metode algoritma genetika. Penciptaan beragam solusi untuk mewakili karakteristik ruang pencarian secara keseluruhan adalah langkah pertama dalam suatu metode algoritma genetik. Sifat-sifat baik dipilih untuk diwariskan kepada generasi berikutnya melalui mutasi dan persilangan. Penempatan yang optimal dapat dicapai melalui proses yang berulang-ulang

### B. Flowchart Penelitian



Gambar 1. Flowchart untuk penyelesaian masalah

### Alur Penelitian

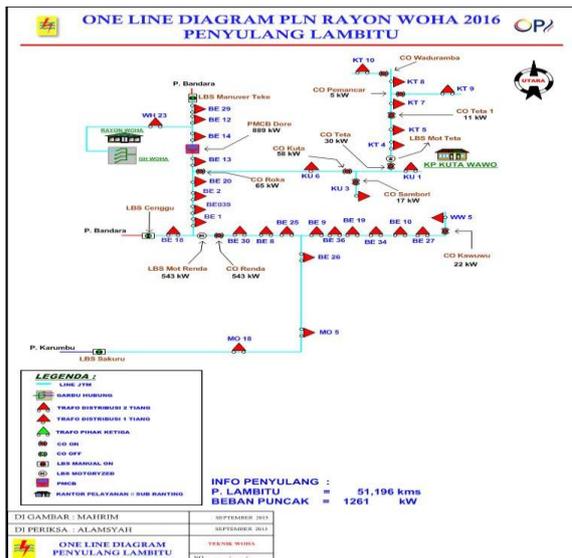
1. Mulai
2. Menggambar Single Line Diagram
3. Input Data
  - Data Generator
  - Data Transformator
  - Data Beban
  - Data Saluran
4. Menjalankan *Load Flow* menggunakan metode *Newthon Rhapson*
5. Mengecek hasil parameter apakah Tegangan pada setiap bus ( $V_b$ ) : ( $0.95 \leq V_b \leq 1.05$ ) Jika "Tidak" jalankan proses (OCP) untuk menentukan jumlah, lokasi dan kapasitas (kVar) kapasitor kembali ke posisi 4.

6. Jika "YA" langsung ke no 7
7. Hasil dan Analisis Hasil
8. Selesai

#### IV. HASIL DAN ANALISIS HASIL

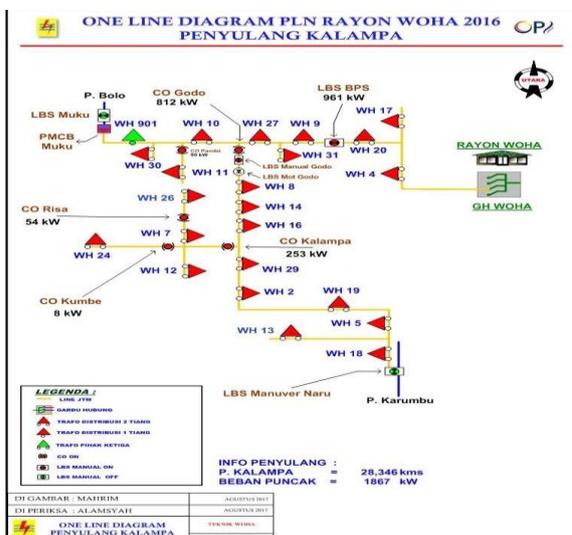
##### A. Data Penyulang Lambitu, Kalampa, dan Karumbu

Sebelum melakukan simulasi, terlebih dahulu diperlukan pemodelan sistem kelistrikan Penyulang Lambitu, Kalampa, dan Karumbu berdasar data yang didapat saat survei seperti yang terlihat pada Gambar (2), (3), dan (4). Dalam Gambar tersebut terdapat simbol peralatan listrik yang nantinya akan menjadi rujukan dalam pemodelan *single line* pada *Software ETAP Power Station*.



Gambar 2. *Single Line Diagram* Penyulang Lambitu

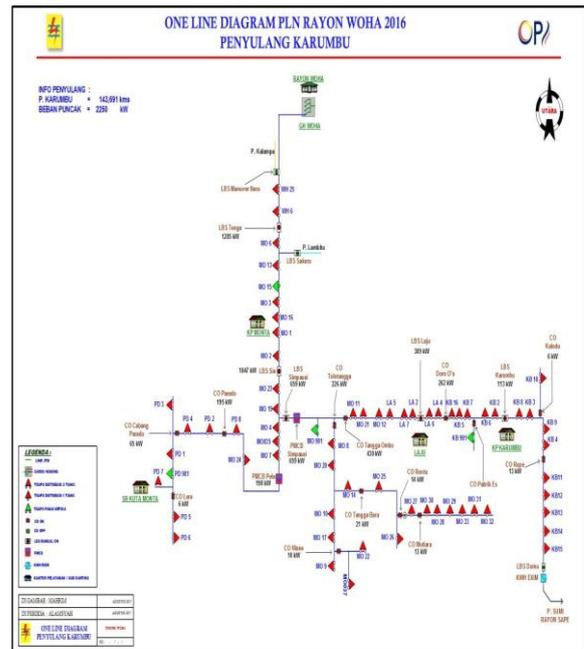
Pada Gambar 2 menunjukkan terdapat 32 Trafo Distribusi dan panjang saluran Penyulang Lambitu 51,196 KMS, yang nantinya akan dimodelkan pada *Software ETAP Power Station* seperti pada Gambar 6.



Gambar 3. *Single Line Diagram* Penyulang Kalampa

Begitupun pada Gambar 3 memperlihatkan bahwa terdapat 23 Trafo Distribusi dan panjang saluran Penyulang Kalampa 28,346 KMS, pada Penyulang ini

memiliki Trafo Distribusi yang sedikit dan saluran yang pendek dibandingkan dengan Penyulang lainnya. Gambar 3 yang akan dimodelkan pada *Software ETAP Power Station*, seperti pada Gambar 7.



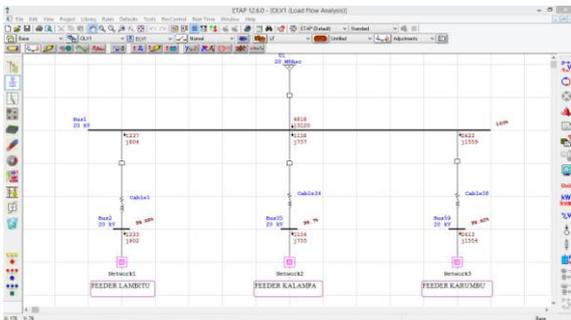
Gambar 4. *Single Line Diagram* Penyulang Karumbu

Pada Gambar 4 memperlihatkan bahwa terdapat 66 Trafo Distribusi dan panjang saluran Penyulang Karumbu 143,691 KMS. Dari Gambar 4 dapat dikatakan bahwa Penyulang Karumbu adalah Penyulang yang terbanyak Trafo Distribusi dan saluran yang terpanjang dari Penyulang lainnya. Gambar 4 akan dimodelkan pada *Software ETAP Power Station*, seperti yang terlihat pada Gambar (8) (8-1), dan (8-2).

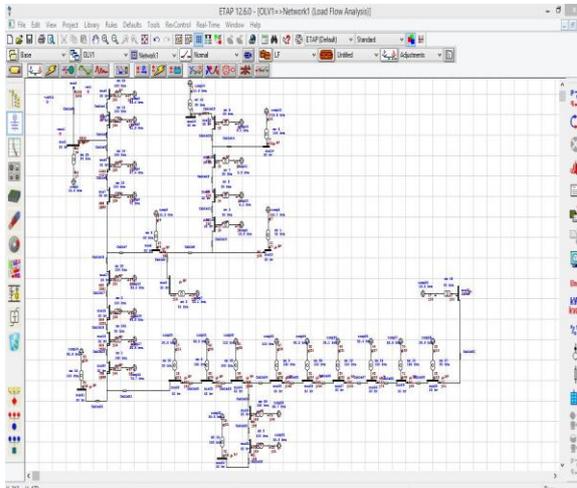
Selain data yang berbentuk Gambar *Single Line Diagram* ada data yang lain seperti data Transformator Distribusi yaitu tegangan (kV) sisi primer maupun sisi sekunder dan daya Aktif (kW), daya Reaktif (kVar) yang diserap oleh beban atau konsumen, tidak lupa pula nama Trafo Distribusi yang mana nanti akan menjadi penanda dalam Gambar *single line diagram* dan yang akan memudahkan memasukan data yang berbentuk angka. Data yang dibahas diatas akan membantu analisis kondisi sistem yang dianalisis. Untuk data yang dibahas diatas akan lampirkan pada halaman lampiran

##### B. Simulasi Load Flow Menggunakan Software ETAP Power Station pada Kondisi Base Case

Malakukan simulasi *load flow* bertujuan mencari kondisi awal pada sistem, mengetahui nilai rating pada tegangan disetiap bus, mengetahui daya yang mengalir pada tiap-tiap saluran dan mendapatkan nilai daya aktif serta daya reaktif pada tiap-tiap bus. Simulasi *load flow* ini menggunakan metode *Newthton Rhapson*.

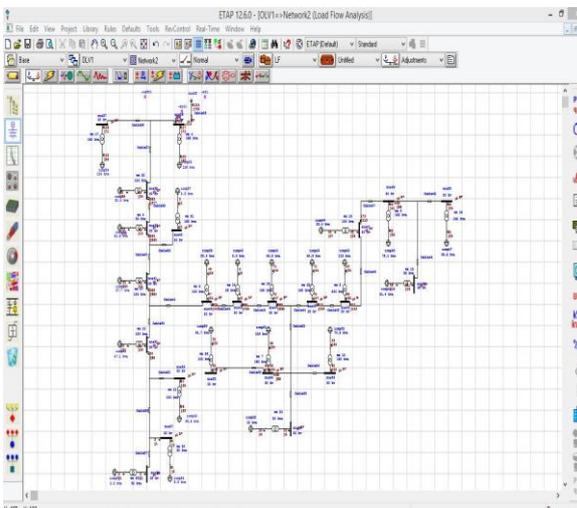


Gambar 5. Tampilan awal *single line diagram* Penyulang Lambitu, Kalampa, dan Karumbu



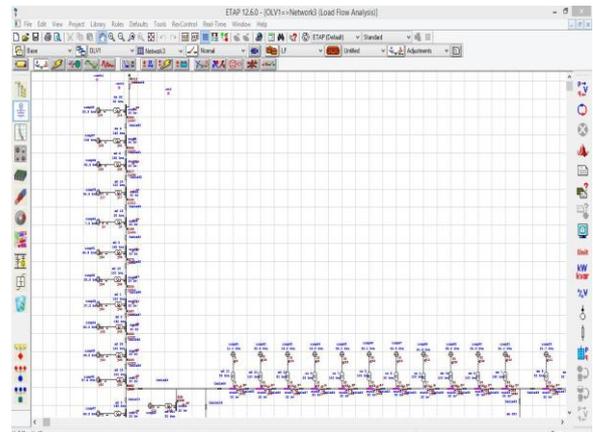
Gambar 6. Pemodelan *Single Line Diagram* Sistem Kelistrikan Penyulang Lambitu pada *Software ETAP Power Station* kondisi *Base Case*.

Pada Gambar 6 menunjukkan terdapat jumlah bus sebanyak 33, disamping itu terlihat rating tegangan pada bus tidak melewati batas yang diijinkan. Untuk lebih detailnya bisa dilihat pada Tabel 1.

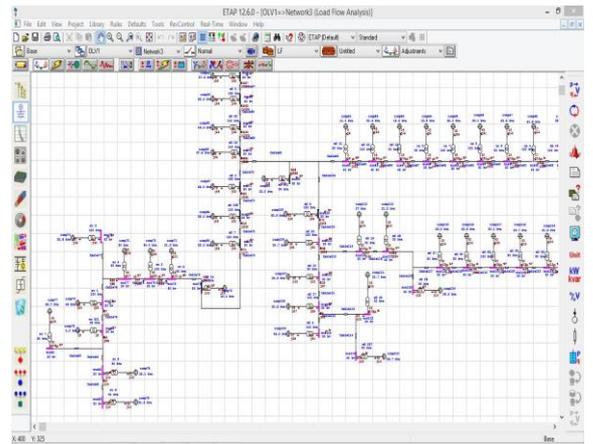


Gambar 7. Pemodelan *Single Line Diagram* Sistem Kelistrikan Penyulang Kalampa pada *Software ETAP Power Station* kondisi *Base Case*.

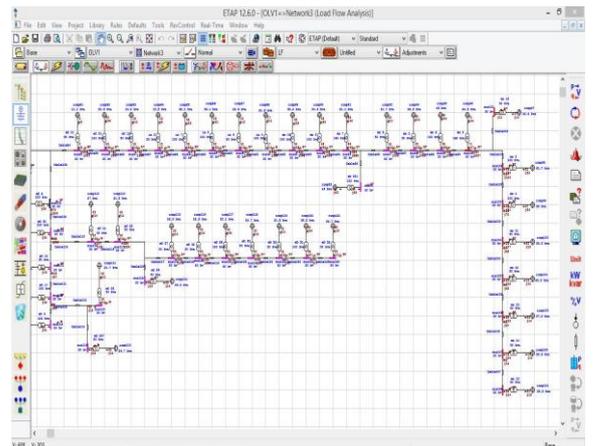
Pada Gambar 7 memperlihatkan terdapat jumlah bus sebanyak 24, dan untuk rating tegangan pada bus masih dalam batas yang diijinkan. Untuk lebih detail akan diperlihatkan pada Tabel 2.



Gambar 8. Pemodelan *Single Line Diagram* Sistem Kelistrikan Penyulang Karumbu pada *Software ETAP Power Station* kondisi *Base Case*.



Gambar 8-1. Pemodelan *Single Line Diagram* Sistem Kelistrikan Penyulang Karumbu pada *Software ETAP Power Station* kondisi *Base Case*.



Gambar 8-2. Pemodelan *Single Line Diagram* Sistem Kelistrikan Penyulang Karumbu pada *Software ETAP Power Station* kondisi *Base Case*.

Pada Gambar 8, 8-1, dan 8-2 penyulang Karumbu memperlihatkan terdapat 66 bus, dapat disimpulkan bahwa Penyulang Karumbu adalah penyulang yang terbanyak bus. Dan pada analisis sistem kelistrikan Penyulang Karumbu terlihat ada dari bus-bus yang mengalami *critical* atau melewati batas yang diijinkan, selain terdapat bus-bus yang *critical* adapun bus-bus yang *marginal* atau pada batas minimal profil tegangan diijinkan. Untuk lebih jelasnya akan diperlihatkan pada Tabel 3.

Pada Tabel (1), (2), dan (3) memperlihatkan rating tegangan bus setiap penyulang dalam kondisi *Base Case*.

TABEL 1  
PROFIL TEGANGAN PENYULANG LAMBITU PADA KONDISI *BASE CASE*

Bus ID	Tegangan (p.u)		
Bus 2	0.9968	Bus 19	0.9908
Bus 3	0.9955	Bus 20	0.9899
Bus 4	0.9954	Bus 21	0.9899
Bus 5	0.9954	Bus 22	0.9892
Bus 6	0.9943	Bus 23	0.9885
Bus 7	0.9933	Bus 24	0.9879
Bus 8	0.9932	Bus 25	0.9875
Bus 9	0.9932	Bus 26	0.9873
Bus 10	0.9932	Bus 27	0.9871
Bus 11	0.9931	Bus 28	0.987
Bus 12	0.9931	Bus 29	0.9869
Bus 13	0.9931	Bus 30	0.9869
Bus 14	0.9931	Bus 31	0.9869
Bus 15	0.9931	Bus 32	0.9877
Bus 16	0.9931	Bus 33	0.9877
Bus 17	0.9924	Bus 34	0.9876
Bus 18	0.9916		

TABEL 2  
PROFIL TEGANGAN PENYULANG KALAMPA PADA KONDISI *BASE CASE*

Bus ID	Tegangan (p.u)	Bus ID	Tegangan (p.u)
Bus 35	0.997	Bus 47	0.9987
Bus 36	0.9952	Bus 48	0.9886
Bus 37	0.9951	Bus 49	0.9885
Bus 38	0.9942	Bus 50	0.9885
Bus 39	0.9934	Bus 51	0.9925
Bus 40	0.9934	Bus 52	0.9924
Bus 41	0.9926	Bus 53	0.9894
Bus 42	0.9918	Bus 54	0.9895
Bus 43	0.9911	Bus 55	0.9894
Bus 44	0.9897	Bus 56	0.9894
Bus 45	0.9893	Bus 57	0.9924
Bus 46	0.989	Bus 58	0.9924

TABEL 3  
PROFIL TEGANGAN PENYULANG KARUMBU PADA KONDISI *BASE CASE*

Bus ID	Tegangan (p.u)	Bus ID	Tegangan (p.u)
Bus 59	0.9962	Bus 83	0.9615
Bus 60	0.9930	Bus 84	0.9628
Bus 61	0.9902	Bus 85	0.9617
Bus 62	0.9874	Bus 86	0.9607
Bus 63	0.9841	Bus 87	0.9597
Bus 64	0.9813	Bus 88	0.9581
Bus 65	0.9781	Bus 89	0.9569
Bus 66	0.9750	Bus 90	0.9556
Bus 67	0.9724	Bus 91	0.9549
Bus 68	0.9693	Bus 92	0.9540
Bus 69	0.9664	Bus 93	0.9532
Bus 70	0.9642	Bus 94	0.9526
Bus 71	0.9636	Bus 95	0.9518
Bus 72	0.9631	Bus 96	0.9518
Bus 73	0.9628	Bus 97	0.9513
Bus 74	0.9624	Bus 98	0.9508
Bus 75	0.9622	Bus 99	0.9503
Bus 76	0.9619	Bus 100	0.9499
Bus 77	0.9617	Bus 101	0.9498
Bus 78	0.9617	Bus 102	0.9495
Bus 79	0.9616	Bus 103	0.9493
Bus 80	0.9616	Bus 104	0.9491
Bus 81	0.9615	Bus 105	0.9490
Bus 82	0.9615	Bus 106	0.9489

Bus 107	0.9489	Bus 117	0.9612
Bus 108	0.9488	Bus 118	0.9612
Bus 109	0.9622	Bus 119	0.9610
Bus 110	0.9617	Bus 120	0.9608
Bus 111	0.9615	Bus 121	0.9606
Bus 112	0.9613	Bus 122	0.9605
Bus 113	0.9612	Bus 123	0.9604
Bus 114	0.9612	Bus 124	0.9602
Bus 115	0.9612	Bus 125	0.9602
Bus 116	0.9615		

Pada bus 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108 dibutuhkan suplai daya reaktif (kVar) untuk memperbaiki rating tegangan pada setiap bus. Dengan cara menggunakan *tool* OCP pada *software* ETAP bisa mengoptimalkan penempatan kapasitor supaya tegangan setiap bus kembali beroperasi pada standart yang ditentukan yaitu *IEEE* ( $0,95 \text{ pu} \leq V_b \leq 1,05 \text{ pu}$ ).

### C. Penempatan Kapasitor Optimal Menggunakan Program OCP pada Software ETAP

Pengaplikasian OCP bertujuan untuk mencari lokasi dan kapasitas kapasitor yang optimal dengan teknik Genetika Algoritma. Dengan mutasi dan *crossover* karakteristik yang baik dipilih untuk dibawa ke generasi berikutnya. Solusi optimal dapat dicapai melalui generasi berulang. Sebelum menggunakan OCP dilakukan pemilihan bus kandidat untuk lokasi penempatan kapasitor.

### D. Penentuan Bus Kandidat

a) Penentuan kandidat bus yang akan ditempatkan kapasitor

Dalam menentukan kandidat bus sebagai lokasi penempatan kapasitor seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4, bus dengan nilai dibawah standar operasi atau bus yang mengalami *critical* pada program simulasi OCP dapat ditentukan sendiri tetapi sebaiknya mengacu pada indek rugi-rugi daya. Pemilihan kandidat bus tergantung pada tujuan yang akan dicapai, penentuan kandidat bus hanya dilakukan jika terdapat drop tegangan pada bus tersebut.

TABEL 4  
PENENTUAN KANDIDAT BUS YANG AKAN DIPILIH UNTUK DITEMPATKAN KAPASITOR

ID Bus	Tegangan (kV)
Bus 100	20
Bus 101	20
Bus 102	20
Bus 103	20
Bus 104	20
Bus 105	20
Bus 106	20
Bus 107	20
Bus 108	20

Pada saat program OCP dijalankan akan memilih kandidat Bus yang tersedia pada Tabel 4 dan akan menyeleksi lokasi paling optimal yang akan ditempatkan kapasitor beserta kapasitas kapasitor yang optimal.

b) Penentuan lokasi dan kapasitas optimal kapasitor  
Secara otomatis OCP akan mengkalkulasikan kapasitas kapasitor minimal yang dibutuhkan dan lokasi optimal untuk memperbaiki profil tegangan sistem. Setelah dijalankan menggunakan program OCP program menampilkan lokasi dan kapasitas kapasitor yang optimal yang akan dipasang pada bus yang telah ditentukan.

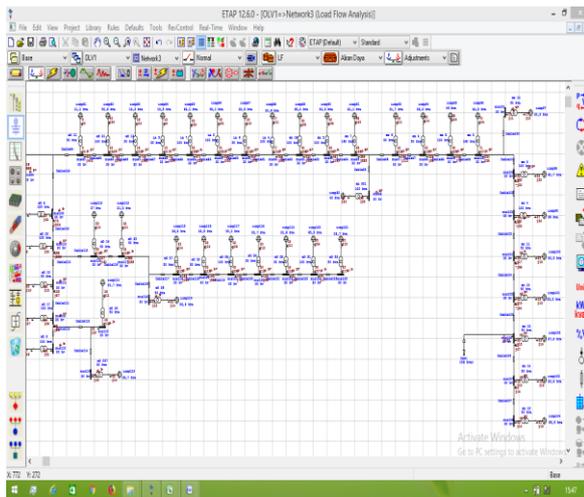
c) Lokasi dan kapasitas kapasitor  
Dengan menggunakan *tool* OCP pada *software* ETAP dapat dioptimalkan penempatan kapasitor dengan tepat untuk memperbaiki rating tegangan tersebut. Dengan hasil yang didapat adalah :

TABEL 5  
HASIL LOKASI DAN KAPASITAS KAPASITOR DENGAN OPTIMAL CAPASITOR PLECEMENT (OCP)

Bus ID	Tegangan (kV)	Jumlah Kapasitor	Total (kVar)
Bus 106	20	1	135,68

Setelah menambahkan kandidat bus yang memiliki jatuh tegangan diluar batas  $\pm 5\%$  (standar toleransi tegangan AC PLN) ditemukan jumlah dan lokasi kapasitor berada pada bus seperti yang ada pada Tabel 5.

Setelah penempatan kapasitor pada Penyulang Karumbu sesuai dengan lokasi dan kapasitas kapasitor hasil dari kalkulasi *Software* ETAP seperti pada Gambar dibawah ini.



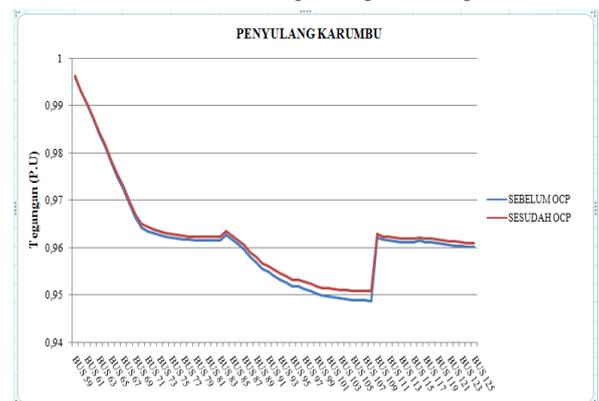
Gambar 9. Hasil load flow setelah penempatan kapasitor pada penyulang karumbu

Setelah penempatan kapasitor optimal dapat diketahui bahwa rating tegangan pada bus-bus yang mengalami *critical* atau melewati batas yang diijikan menjadi normal sesuai dengan batas yang diijinkan, dikarenakan injeksi daya reaktif (kVar) dari kapasitor yang terpasang. Penempatan kapasitor optimal menggunakan *Software* ETAP tidak hanya memperbaiki bus-bus yang *critical* melainkan juga dapat meningkatkan profil tegangan pada bus-bus yang *marginal*. Untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada Tabel 6. rating tegangan sesudah pemasangan kapasitor.

TABEL 6  
PROFIL TEGANGAN DALAM KONDISI SETELAH PENEMPATAN KAPASITOR

Bus ID	Tegangan (p.u)	Bus ID	Tegangan (p.u)
Bus 59	0,9963	Bus 93	0,9546
Bus 60	0,9931	Bus 94	0,9540
Bus 61	0,9904	Bus 95	0,9533
Bus 62	0,9876	Bus 96	0,9532
Bus 63	0,9844	Bus 97	0,9528
Bus 64	0,9817	Bus 98	0,9524
Bus 65	0,9785	Bus 99	0,9519
Bus 66	0,9755	Bus 100	0,9515
Bus 67	0,9730	Bus 101	0,9515
Bus 68	0,9699	Bus 102	0,9513
Bus 69	0,9671	Bus 103	0,9511
Bus 70	0,9650	Bus 104	0,9510
Bus 71	0,9644	Bus 105	0,9509
Bus 72	0,9639	Bus 106	0,9509
Bus 73	0,9635	Bus 107	0,9508
Bus 74	0,9632	Bus 108	0,9508
Bus 75	0,9630	Bus 109	0,9630
Bus 76	0,9627	Bus 110	0,9624
Bus 77	0,9625	Bus 111	0,9623
Bus 78	0,9624	Bus 112	0,9621
Bus 79	0,9624	Bus 113	0,9620
Bus 80	0,9623	Bus 114	0,9620
Bus 81	0,9623	Bus 115	0,9620
Bus 82	0,9623	Bus 116	0,9622
Bus 83	0,9623	Bus 117	0,9620
Bus 84	0,9636	Bus 118	0,9620
Bus 85	0,9626	Bus 119	0,9618
Bus 86	0,9616	Bus 120	0,9616
Bus 87	0,9606	Bus 121	0,9614
Bus 88	0,9591	Bus 122	0,9613
Bus 89	0,9580	Bus 123	0,9612
Bus 90	0,9568	Bus 124	0,9610
Bus 91	0,9562	Bus 125	0,9610
Bus 92	0,9553		

E. Grafik Perbandingan Profil Tegangan kondisi Base Case dan setelah penempatan Kapasitor



Gambar 10. Grafik Perbandingan Profil Tegangan kondisi Base Case dan setelah penempatan Kapasitor

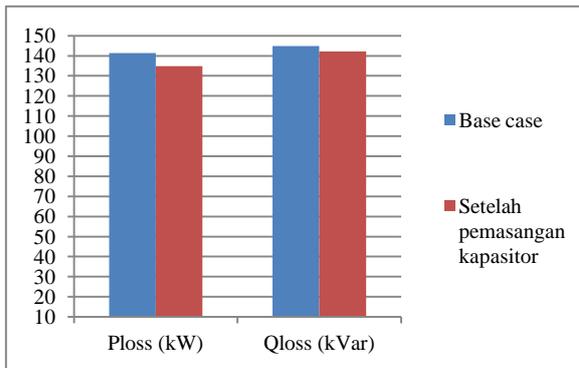
Perbandingan Profil Tegangan kondisi *base case* dan setelah penempatan kapasitor optimal pada Gambar 10 menunjukkan bahwa rating tegangan khususnya pada bus-bus yang mengalami *critical* menjadi normal kembali yaitu dalam standart IEEE ( $0,95 pu \leq V_b \leq 1,05 pu$ ), kenaikan terjadi pula pada beberapa bus yang mengalami *marginal*, namun kenaikan ini berdampak lebih baik pada rating tegangan bus tersebut.

F. Hasil Perbandingan Total  $P_{loss}$  (kW) dan  $Q_{loss}$  (kVar) kondisi Base Case dan setelah penempatan Kapasitor.

Pada Tabel dibawah ini hasil dari analisa aliran daya kondisi *base case* dan setelah penempatan kapasitor optimal, didapatlah nilai rugi daya Aktif (kW) dan Reaktif (kVar) seperti yang tercantum pada Tabel 7

TABEL 7  
PERBANDINGAN  $P_{loss}$  DAN  $Q_{loss}$  KONDISI BASE CASE DAN SETELAH PENEMPATAN KAPASITOR

Kondisi	$P_{loss}$ (kW)	$Q_{loss}$ (kVar)
Base case	141.3	144,9
Setelah pemasangan kapasitor	134.9	142,1



Gambar 11. Grafik perbandingan  $P_{loss}$  (kW) dan  $Q_{loss}$  (kVar) kondisi *Base Case* dan setelah penempatan kapasitor.

Gambar 11 Grafik Perbandingan  $P_{loss}$  (kW) dan  $Q_{loss}$  (kVar) kondisi *base case* dan setelah penempatan kapasitor optimal menunjukkan bahwa pemasangan kapasitor dapat mereduksi rugi daya Aktif dan Reaktif masing-masing dari 141.3 kW dan 144,9 kVar menjadi 134.9 kW dan 142,1 kVar. Bisa diasumsikan bahwa optimasi penempatan kapasitor pada penyulang karumbu membawa dampak baik terhadap rugi daya pada saluran.

## V. KESIMPULAN

Setelah melakukan simulasi dan analisis penempatan kapasitor pada penyulang Lambitu, Kalampa, dan Karumbu di PT.PLN (Persero) Area Bima dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Metode yang diterapkan pada makalah ini dengan menggunakan program *Optimal Capacitor Placement* (OCP) dapat menentukan lokasi dan kapasitas optimal kapasitor disistem distribusi 20 kV PT.PLN Area Bima masing-masing pada, bus 100 dengan kapasitas 722.58 kVar, dan bus 106 dengan kapasitas 361.28 kVar sehingga profil tegangan sistem meningkat sesuai batas yang diijinkan.

2. Sebelum pemasangan kapasitor optimal menggunakan metode OCP, profil tegangan yang terdapat pada bus 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106,107, dan 108 yang mengalami *critical*, dan setelah penempatan kapasitas kapasitor optimal seluruh bus tersebut dapat ditingkatkan pada batas yang diijinkan yaitu ( $0,95 < V_{pu} < 1,05$ ), dan pada bus yang *marginal* mengalami peningkatan.
3. Sedangkan rugi-rugi daya yang dapat direduksi setelah pemasangan kapasitor optimal menggunakan program OCP dari 209.3 (kW) menjadi 185.9 (kW) dan dari 263.6 (kVar) menjadi 253.0 (kVar)

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Qasim Kamil Mohsin Xiangning Lin Firas F.M Flaih Samir M. Dawoud Mohammed Kdair State Key Laboratory Electromagnetic Engineering , Huashong University of Science J. Clerk Maxwell, A Treatise on Electricity and Magnetism, 3rd ed., vol. 2. Oxford: Clarendon, 1892, pp.68-73. and Technology, Wuhan 430074. Hubei Province. China. Optimal Placement and Capacity of Capacitor Bank in Radial Distribution System
- [2] G.Hingorani. Power Electronic in Electrical Utilities : role of *Power electronics in Uture Power Systems*, in Proc. 1988 IEEE, Vol. 76 No. 4 April 1998,pp. 481-482.1988.
- [3] N.P.Padehly,M.A.A. Moamen, *Power Flow and Solution With Multiple and Multi Type FACTS Devices*, Electric Power Systems, Research 74, 2005,pp.341-351 2005..
- [4] Wijanarko,Eko.2011, *Optimasi Penempatan Kapasitor Shunt Untuk Perbaikan Daya Reaktif Pada Penyulang Distribusi Primer Radial Dengan Algoritmah Genetik*.Semarang : Universitas Diponegoro.Y. Yorozu, M. Hirano, K. Oka, and Y. Tagawa, "Electron spectroscopy studies on magneto-optical media and plastic substrate interface," IEEE Transl. J. Magn. Japan, vol. 2, pp. 740-741, August 1987 [Digests 9th Annual Conf. Magnetics Japan, p. 301, 1982].
- [5] D.William,andJr. Stevenson,1990, *Analisa Systems Tenaga Listrik*, Jakarta Erlangga.
- [6] deshpande, 1990 Pengaruh Bank Kapasitor
- [7] Ari Hasyim, Vol. 3. NO2 Macam Macam Kapasitor Dan kegunaannya
- [8] Sundharajan, S and Pahwa A., Optimal Selection of Capacitors for Radial Distribution System using A genetic Algorithmh, IEEE Transactions on Power Systems, Vol.9, No. 3, August 1994,pp. 1499-1507.
- [9] PeterM. Hogan, John D. Rettkowski, and Jua L. Bala, Jr., Optimal Capacitor Placement Using Branch and Bound, Power Symposium Proceedings of the 37 th Annual North American on 25 mey 2005.
- [10] K. Sravan Kumar Reddy, Prof.M. Damodar Reddy, Optimal Placement of Capacitor n Distribution Network Using Fuzzy and SFLA, Electrical, Electronics, Signa ls Communication and Optimization (EESCO) International Conference on 24-25 Jan.2015. K. Sravan Kumar Reddy, Prof.M. Damodar Reddy, Optimal Placement of Capacitor n Distribution Network Using Fuzzy and SFLA, Electrical, Electronics, Signa ls Communication and Optimization (EESCO) International Conference on 24-25 Jan.2015.
- [11] Marsudi D.2006 Operasi System Tenaga Listrik, Edii kedua Graha Ilmu, Yogyakarta
- [12] Operating technokogy.Inc.etap."Manual Book ETAP Power Station