

## PENEMPATAN KAPASITOR BANK OCP UNTUK MENINGKATKAN PROFIL TEGANGAN DI JARINGAN DISTRIBUSI PT. PLN (PERSERO) AREA AMBON RAYON NAMLEA

<sup>1</sup>Sandi Buton, <sup>2</sup>Awan Uji Krismanto

<sup>1,2</sup>Teknik Elektro S1 ITN Malang, Malang Indonesia

<sup>1</sup>sandibuton96@gmail.com, <sup>2</sup>awan\_uji\_krismanto@lecturer.itn.ac.id

**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 peningkatan beban yang ada 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 mengurangi 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 menentukan penempatan dan kapasitas optimal kapasitor pada sistem dengan menerapkan metode algoritma genetika (GA). Untuk menguji metode yang diusulkan sistem Kelistrikan PLN (Persero) Area Kupang Rayon Kalabahi. Dalam Hal ini dapat membuktikan bahwa dengan pemasangan kapasitor yang Optimal pada Bus yang mengalami pelanggaran tegangan maka tegangan akan semakin meningkat dan rugi-rugi tegangan semakin menurun seperti yang terlihat Pada grafik Perbandingan Tegangan dan perbandingan losses pada kondisi sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor.

**Kata Kunci:** Tegangan, Losses, Kapasitor

### I. PENDAHULUAN

Sistem tenaga listrik secara umum terdiri dari beberapa unit pembangkit, saluran transmisi distribusi dengan berkembangnya pertumbuhan penduduk, industry, dan ekonomi menyebabkan kebutuhan energy listrik menjadi meningkat. Peningkatan energy listrik sangat berpengaruh pada kualitas daya listrik. Daya yang terbuang pada bentuk kerugian pada system distribusi itu sekitar 13% dari total daya yang dihasilkan Guna meningkatnya kesadaran masyarakat akan kualitas daya listrik yang baik menjadi alasan perlunya memberi perhatian lebih dalam hal tersebut. Untuk pengeoperasian listrik kembali normal setelah mengalami gangguan drop tegangan maka yang akan dibahas

pada tulisan ini adalah stabilitas tegangan, factor daya dan pengurangan rugi-rugi daya. Hal ini mengingat lokasi yang akan menjadi objek penelitian tulisan ini memiliki profil tegangan yang buruk akibat gangguan dan Jauhnya Jarak Konsumen dari pusat Pelayanan di samping itu juga Banyak Trafo Distribusi yang mengalami Pembebanan lebih sehingga mengakibatkan Jatuh tegangan.

Salah satu untuk memperbaiki tegangan listrik yang baik PT PLN (Persero) Rayon Kalabahi ada beberapa tindakan sebagai solusi atas permasalahan tersebut, salah satunya adalah penggunaan *Kapasitor Bank*. Keuntungan dari penggunaan shunt, kapasitor bank yang optimal adalah untuk meningkatkan profil tegangan, factor daya, pengurangan dan meminimalkan kerugian daya, tingkat keuntungan ini tergantung ke lokasi, ukuran, dan jumlah kapasitor dalam system, dan peningkatan kapasitas tegangan dengan tujuan meningkatkan efisiensi. Efisien dalam pengertian energy yang di produksi dapat digunakan secara maksimal oleh pelanggan atau tidak mengalami kehilangan energy pada jaringan maupun peralatan listrik seperti trafo sehingga akan memberikan keuntungan-keuntungan, misalnya penambahan kapasitas daya listrik, memperbaiki faktor daya akibat berkurangnya rugi-rugi daya.

Pada penelitian ini akan di bahas metode untuk menyelesaikan masalah perbaikan profil tegangan dan kualitas daya yang ada pada system jaringan distribusi 20 kv di PT PLN (Persero) Area Kupang Rayon Kalabahi dengan optimasi penempatan dan pemasangan *Kapasitor Bank* menggunakan *software ETAP Power Station*. Hasil yang dicapai dari analisa ini diharapkan dapat meningkatkan nilai, profil tegangan, factor daya serta mengurangi rugi-rugi daya pada PT PLN (Persero) Area Kupang Rayon Kalabahi Keuntungan dan hasil yang dapat di peroleh dari pemasangan kapasitor antara lain

- a. Perbaikan factor daya
- b. Penambahan kapasitas aluran daya

- c. Pengurangan rugi-rugi daya
- d. Penurunan Jatuh Tegangan

Mengingat pentingnya penyaluran sistem tenaga listrik maka dapat dirumuskan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana stabilitas tegangan dan rugi-rugi pada sistem di PT PLN (Persero) Area Kupang Rayon Kalabahi sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor
2. Bagaimana pemasangan kapasitor bank untuk meningkatkan stabilitas tegangan dan meminimalkan rugi-rugi pada sistem di PT.PLN (Persero) Rayon Kalabahi

Adapun tujuan yang akan dicapai pada penelitian ini adalah :

1. Evaluasi stabilitas tegangan dan rugi-rugi pada sistem di PT.PLN (Persero) Rayon Kalabahi
2. Menentukan kualitas tegangan pada sistem setelah pemasangan kapasitor bank di PT PLN (Persero) Rayon Kalabahi
3. Meningkatkan stabilitas tegangan dan meminimalkan rugi-rugi pada sistem PT.PLN (Persero) Area Kupang Rayon Kalabahi

## II. KAJIAN PUSTAKA

### A. Tinjauan Umum

Dalam Kasus Umum, Kompensasi Daya Reaktif pada tingkat pada tingkat Tegangan menengah dapat di sajikan dalam kombinasi dari Gardu kapasitor *bank* pada sisi sekunder Transformator dengan kapasitor pada *feeder* Distribusi. System pendekatan untuk alokasi kapasitor yang optimal pada tingkat Distribusi, penempatan dan pengontrolan daya reaktif yang di suplai dari kapasitor memaksimalkan system tersebut terhadap biaya pengoperasian system distribusi.Saat ini pengontrolan daya reaktif merupakan salah satu factor penting dalam desain,penggunaan dan eksploitasi system tenaga. Pertumbuhan konsumsi energy menyebabkan rugi-rugi daya pada sistem meningkat. Sehingga membutuhkan metode yang dapat menjaga tegangan system dalam batas yang diizinkan dan dapat mengurangi rugi-rugi daya dalam system distribusi pengontrolan daya reaktif biasanya dilakukan di Jaringan distribusi. Ekspansi dan dimensi besar Jaringan Distribusi dan transfer daya melalui saluran panjang penyebab drop tegangan di aliran distribusi. Juga dengan semakin meningkat kualitas daya dari aplikasi perangkat elektronik di titik beban yang semakin meningkat pengontrolan daya reaktif adalah salah satu metode terbaik untuk mencapai kualitas daya yang terbaik hal ini dapat di lakukan dengan injeksi daya reaktif dengan kapasitor bank di jaringan distribusi dari gardu transmisi sub pendekatan sangat Mempertahankan Integritas Spesifikasi efektif untuk optimalisasi daya reaktif pada system distribusi adalah penempatan kapasitor optimal dan nilai kapasitor penyebab profil tegangan digardu dapat meningkatka di karenakan adanya kompensasi daya reaktif.

### B. Kapasitor Bank

Kapasitor bank adalah komponen listrik yang dapat menghasilkan daya reaktif pada jaringan dimana kapasitor

tersebut di tempatkan. Secara sederhana kapasitor terdiri dari dua plat logam yang dipisahkan oleh suatu bahan di elektrik dan kapasitor ini mempunyai sifat menyimpan muatan listrik. Kapasitor bank di gunakan secara luas pada system distribusi untuk perbaikan factor daya dan pengaturan tegangan feeder. Pada saluran transmisi kapasitor bank berguna untuk mengkompensasi daya reaktif dan memastikan tegangan terjaga pada levelnya pada saat beban penuh. Beban yang bersifat induktif akan menyerap daya reaktif, yang kemudian dapat menimbulkan jatuh tegangan pada sisi penerima. Dengan melakukan pemasangan kapasitor *bank* pada beban akan mendapat suplai daya reaktif. Kompensasi yang dilakukan oleh Kapasitor bank akan dapat mengurangi penyerapan daya reaktif system oleh beban. Dengan demikian jatuh tegangan yang terjadi dapat di kurangi.



Gambar 1 : Kapasitor *bank*

### C. Fungsi Kapasitor

Setiap komponen elektronika memiliki fungsi sendiri-sendiri, demikian pula dengan fungsi kapasitor. Berikut ini adalah fungsi kapasitor yang terdapat dalam sebuah rangkaian atau sistem elektronika.

1. Sebagai kopleng antara rangkaian yang satu dengan rangkaian yang lain (pada *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. Menghilangkan *bouncing* (loncatan api) bila dipasang pada saklar untuk menyimpan arus/tegangan listrik.
6. Untuk arus DC yang berfungsi sebagai isolator atau penahan arus, sedangkan untuk arus AC berfungsi sebagai konduktor atau melawatkan arus listrik.

Peralatan atau menstabilkan tegangan DC pada pengubah AC to DC. Pembangkit gelombang AC atau oscilator, dan sebagainya

### D. Rugi-Rugi Pada Sistem Tenaga Litrik

Dalam proses menyalurkan tenaga listrik sering kali mengalami rugi-rugi pada sisitem tenaga listrik yang cukup besar yang diakibatkan oleh rugi-rugi pada saluran dan rugi-rugi pada tarfo yang digunakan. Kedua jenis rugi-rugi ini memberikan pengaruh yang besar terhadap kualitas daya serta tegangan yang dikirim kepada sisi beban (konsumen). Nilai tegangan yang melebihi batas toleransi dapat menyebabkan tidak optimalnya kerja dari peralatan disisi konsumen. Secara umum besar rugi-rugi daya pada sistem

tenaga listrik dapat dituliskan dalam persamaan sebagai berikut:

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

Dimana :

K = bagian yang berbeda

Nsc = jumlah bagian

#### E. 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. Dalam sistem distribusi terdapat beberapa bentuk jaringan yang umum digunakan mendistribusikan tenaga listrik yaitu:

1. Sistem Jaringan Distribusi Radial
2. Sistem Jaringan distribusi Rangkaian Tertutup ( loop)
3. Sistem Jaringan Distribusi Spindel

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

Jatuh tegangan voltage merupakan besarnya tegangan yang hilang pada suatu pengantar. Jatuh tegangan pada saluran tenaga listrik secara umum berbanding lurus dengan panjang saluran dan beban, serta berbanding terbalik dengan luas penampang pengantar. 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 pada pengantar semakin besar jika arus di dalam pengantar semakin besar dan jika arus 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 beba. Akibatnya hingga berada di bawah tegangan nominal yang dibutuhkan. Atas dasar hal tersebut maka tegangan jatuh yang diijinkan adalah 5% dari tegangan nominalnya.

#### G. Kapasitor Untuk Regulasi Tegangan

Kapasitor dapat digunakan dan dimanfaatkan untuk pengaturan tegangan baik dari gardu induk, saluran transmisi ataupun pada pembangkit. Regulasi tegangan erat kaitannya dengan *voltage drop* atau jatuh tegangan. *Voltage drop* merupakan besarnya tegangan yang Hilang pada suatu pengantar. Jatuh tegangan pada saluran tenaga listrik secara umum berbanding lurus dengan panjang saluran dan beban. Serta berbanding terbalik dengan luas penampang pengantar. Untuk sistem satu arah besarnya jatuh tegangan sama dengan arus dikalikan resistansi hantaran tersebut, sedangkan pada saluran bolak balik besarnya susut tegangan.

Fungsi dari arus beban dan cosinus sudut impedansi dari beban. Berbagai factor bisa menyebabkan susut tegangan. Efektivitas kerja yang diinginkan dari sebuah saluran adalah jika tersebut mempunyai dan memiliki kontinuitas dalam menyalurkan daya listrik dan punya tingkat keandalan yang

tinggi, rugi daya dan jatuh tegangan yang rendah. Untuk memenuhi kriteria tersebut harus diperhatikan beberapa penyebab jatuh tegangan dan rugi daya pada saluran distribusi tersebut antara lain adalah tegangan sistem, frekuensi, factor daya, keandalan dan factor beban.

Dalam sistem penyaluran tenaga listrik berbagai upaya dilakukan untuk memperkecil nilai jatuh tegangan dan rugi daya yang terjadi pada saluran transmisi. Hal tersebut mutlak dilakukan karena merugikan perusahaan penyedia tenaga listrik dan pelanggan atau konsumen dari listrik itu sendiri. Beberapa langkah untuk mengatasi hal tersebut dengan memasang voltage regulator. Memasang voltage regulator, kapasitor seri maupun shunt pada *feeder* ataupun langsung pada beban. Akibat dari jatuh tegangan adalah besarnya nilai tegangan suatu titik pada ujung terima akan lebih kecil dari pada tegangan ujung kirim. *Regulator* yang di pasang pada masing-masing *feeder incoming* ataupun *out going* akan memperbaiki tegangan kearah beban.

Peralatan pengatur tegangan dirancang untuk menjaga secara otomatis suatu nilai tegangan tertentu yang akan bervariasi terhadap perubahan beban yang ada. Pada saat beban bertambah peralatan pengatur tegangan akan memperbesar tegangan keluaran pada gerdu induk untuk mengkompensasi bertambahnya jatuh tegangan. Pemasangan kapasitor akan membuat sumber daya reaktif yang dapat membangkitkan maupun menyerap daya reaktif diluar batas toleransi.

Daya reaktif adalah daya yang tidak menghasilkan kerja dan selalu tersimpan dalam sistem yaitu dalam bentuk energy magnetis. Memasang kapasitor secara seri juga dapat digunakan untuk memperbaiki tegangan pada jaringan tenaga listrik dengan cara berusaha mengurangi dan meminimalkan susut tegangan dengan mengkompensasi komponen induktif yang terjadi pada jaringan tersebut. Susut tegangan akibat impedansi jaringan.

#### H. Slack Bus ( Bus referensi)

Pada slack bus ini, ranting tegangan dan sudut fasa tegangan  $\delta$  sudah ditentukan besarnya sementara daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) di dapatkan dari perhitungan. Biasanya nilai adalah 1 pu, sedangkan sudut fasa tegangan bernilai nol, karena faktor tegangan dari bus dipakai sebagai referensi.

#### I. Voltage Controller Bus ( Bus generator)

Pada bus ini hanya terdapat daya pembangkit dan dimana diatur menggunakan regulator tegangan (AVR) dan daya aktif (P) diatur dengan governor. Sehingga untuk bus ini diketahui, Sementara daya reaktif (Q) dan sudut fasa  $\delta$  didapatkan dari hasil perhitungan.

#### J. Load Bus ( Bus beban)

Pada bus ini hanya terdapat kebutuhan daya untuk memenuhi kebutuhan beban yang mana daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) sudah diketahui, sementara nilai tegangan

(v) dan sudut fasa ( $\delta$ ) berubah-ubah menurut kebutuhan beban. Oleh karena itu, nilai tegangan dan sudut fasa ( $\delta$ ) harus ditentukan berdasarkan hasil perhitungan.

#### K. Aliran Daya Dengan Metode Newton- Raphson

Dalam metode Newton-Raphson jumlah iterasi yang digunakan untuk melakukan perhitungan ditentukan berdasarkan ukuran sistem. Yang mana dalam metode ini persamaan aliran daya dirumuskan dalam bentuk polar. arus yang memasuki bus  $i$  [12]. Persamaan tersebut dapat ditulis ulang menjadi :

$$I_i \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j \quad (2)$$

Dengan bentuk polar, yaitu :

$$I_i = \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| < \theta_{ij} \delta_j \quad (3)$$

#### L. Algoritma Genetika Pada Optimal Capacitor Placement (OCP) 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.

#### M. 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. 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. Secara umum permasalahan penempatan dan kapasitas optimal kapasitor dapat dituliskan dalam persamaan sebagai berikut :

$$\min = P_{Loss} + \sum_{j=1}^J Q_j^c \quad (4)$$

Subject to :

$$V_{min} \leq |V_j| \leq V_{max} \quad (5)$$

$$Q_0^c \leq Q_j^c \leq Q_{max}^c \quad (6)$$

Dimana :

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

$J$  = Jumlah Bus

$Q_j^c$  = Penempatan kapasitas kapasitor pada bus

$V_j$  = Tegangan rms pada bus

$V_{min}$  = 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

#### N. Kendala Operasional

Tegangan pada feeder atau bus diminta untuk tetap berada pada batasan yang ditentukan. Setelah penambahan kapasitor pada feeder atau bus. Tetapi kendala pada tegangan dapat diperhitungkan dengan menentukan batas atas dan batas bawah dari besarnya tegangan. Batasan yang harus dilihat saat optimal capacitor placement:

Profil tegangan

$$V_{i^{min}} \leq V_i \leq V_i; i \in NB \quad (7)$$

Batasan daya reaktif generator :

$$Q_{gi}^{min} \leq Q_{gi} \leq ; \in Ng \quad (8)$$

Batasan daya reaktif pada kapasitor bank:

$$Q_{ci}^{min} \leq Q_{ci} \leq ; \in Nc \quad (9)$$

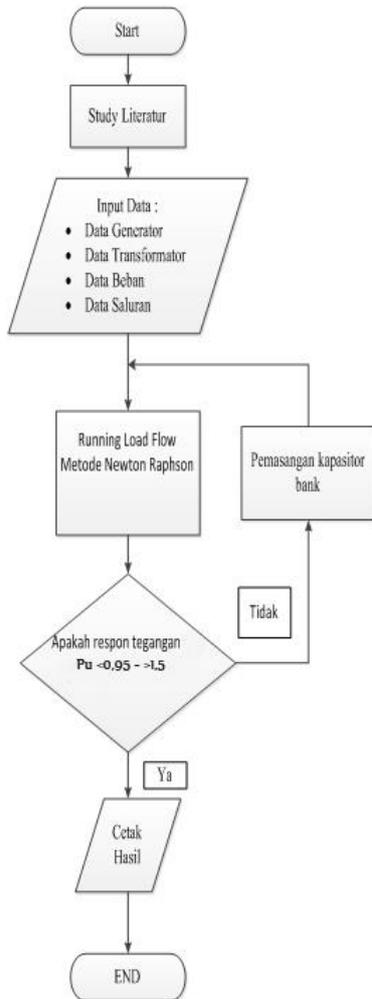
Batasan diatas merupakan batasan kondisi system. Tegangan bus generator, daya reaktif yang dibangkitkan oleh kompensator seperti kapasitor bank ( $Q_{ci}$ ), setting tap transformator ( $a_i$ ), merupakan variable kontrol yang sangat dibatasi. Tegangan bus ( $V_i$ ) dan daya reaktif yang dibangkitkan generator ( $Q_{gi}$ ) merupakan batasan-batasan yang menentukan nilai fungsi objektif.

### III. METODOLOGI PENELITIAN

#### A. Ukuran Capacitor dan Lokasi Yang Optimal Menggunakan Etap

Perhitungan aliran daya menentukan 4 jumlah mencakup: Besarnya tegangan, sudut fase, daya aktif dan daya reaktif, dan saluran aliran daya terkait dengan masing-masing bus dari jaringan dianggap Pemrograman software ETAP sepenuhnya menganalisis grafis sistem tenaga menggunakan teknik optimasi algoritma genetika untuk penempatan kapasitor yang optimal. Kebanyakan komponen sistem tenaga beroperasi pada faktor daya lagging karena dari beban dan pengiriman daya semu (saluran transmisi dan transformer) yang bersifat induktif, yang menghasilkan kapasitas sistem berkurang, penurunan tegangan, dan peningkatan kerugian dari sistem.

## B. Flowchart

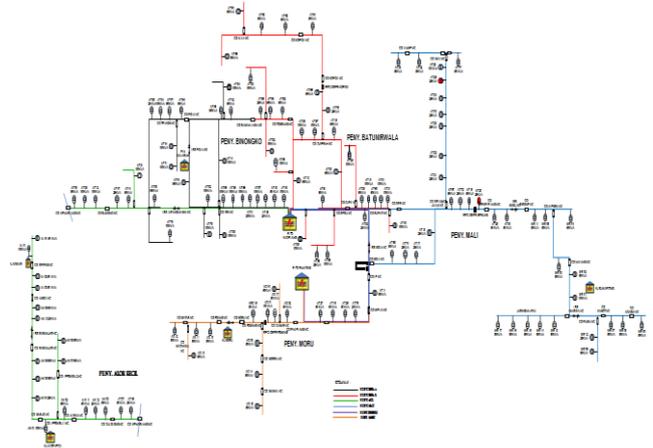


Gambar 2. Flowchart

## C. Algoritma Simulasi ETAP Power Station Untuk Optimal Capacitor Placement (OCP)

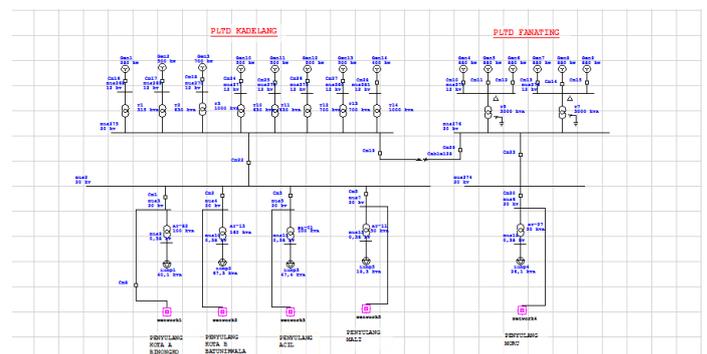
- Memasukan Data :
  - Data pembangkit
  - Data Trafo Step-up (kVA)
  - Data trafo distribusi (KVA),
- Menjalankan Load Flow pada kondisi base case menggunakan metode Newton Raphson untuk Seluruh Penyulang
- Mengecek hasil parameter apakah Profil Tegangan :  $(0.95 \leq V_{pu} \leq 1.05)$  serta mengecek hasil Ploss dan Qloss.
- Jika "Tidak" jalankan proses Optimal Capacitor Placement (OCP) untuk menentukan Bus Kandidat dan jumlah, lokasi dan kapasitas (kVar) kapasitor kembalikan ke posisi 2.
- Kembali ke posisi no 4.
- Jika "YA" langsung ke no 7.
- Hasil dan Analisis Hasil
- Selesai

## D. Single Line PT PLN (Persero) Rayon Kalabahi



Gambar 3. Singleline Rayon Kalabahi

Pada gambar 3 adalah Single Line Sistem Rayon Kalabahi akan di Simulasikan Pada Software Etap Yang memiliki Single Line seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Singleline sistem Rayon Kalabahi Pada Software Etap.

## E. Data Pembangkit dan Tranformator PLTD Rayon Kalabahi

Tabel 1. Data Pembangkit Dan Transformator

NO	Lokasi PLTD	Merk	Generator			Transformator
			Daya (KVA)	Daya (KW)	TEG (volt)	
1	Kadelang	SUM	2000	1200	380	315 KVA
2		SUM	1100	880	380	630 KVA
3		CAT	3508	1600	380	1000 KVA
4		MTU	1100	880	380	630 KVA
5		MTU				
6		CAT	2000	1200	380	630 KVA
7		CAT	2000	1200	380	700 KVA
8		MTU	3000	1600	380	700 KVA
9	Vanating	EGS	2000	1600	380	3000 KVA
10		EGS	1100	880	380	
11		EGS	1100	880	380	

12		EGS	2000	1600	380	3000 KVA
13		EGS	1100	880	380	
14		EGS	2000	1200	380	

Tabel 2. Data Beban Pada Rayon Kalabahi

No	Nama gardu	Daya	Beban gardu
1	AT- 001	200 KVA	170 KVA
2	AT002	100 KVA	60 KVA
3	AT003	100 KVA	78 KVA
4	AT004	100 KVA	80 KVA
5	AT005	100 KVA	90 KVA
6	AT006	160 KVA	125 KVA
7	AT007	160 KVA	110 KVA
8	AT008	160 KVA	150 KVA
9	AT009	100 KVA	90 KVA
10	AT010	100 KVA	80 KVA
11	AT011	50 KVA	35 KVA
12	AT012	100 KVA	81 KVA
13	AT013	100 KVA	90 KVA
14	AT014	100 KVA	85 KVA
15	AT015	100 KVA	79 KVA
16	AT016	50 KVA	40 KVA
17	AT017	25 KVA	13,2 KVA
18	AT018	25 KVA	14,4 KVA
19	AT019	50 KVA	38 KVA
20	AT020	25 KVA	11,1 KVA
21	AT021	25 KVA	12,2 KVA
22	AT022	25 KVA	11,2 KVA
23	AT023	25 KVA	13,2 KVA
24	AT024	25 KVA	14,2 KVA
25	AT025	25 KVA	11,1 KVA
26	AT026	50 KVA	35 KVA
27	AT027	50 KVA	26,1 KVA
28	AT028	100 KVA	67 KVA
29	AT029	50 KVA	40 KVA
30	AT030	50 KVA	40 KVA
31	AT031	100 KVA	85 KVA
32	AT032	50 KVA	40 KVA
33	AT033	50 KVA	38 KVA
34	AT034	100 KVA	65 KVA
35	AT035	100 KVA	87 KVA
36	AT036	100 KVA	90 KVA
37	AT037	50 KVA	43 KVA
38	AT038	50 KVA	40 KVA
39	AT039	50 KVA	43 KVA
40	AT041	50 KVA	40 KVA
41	AT042	50 KVA	40 KVA

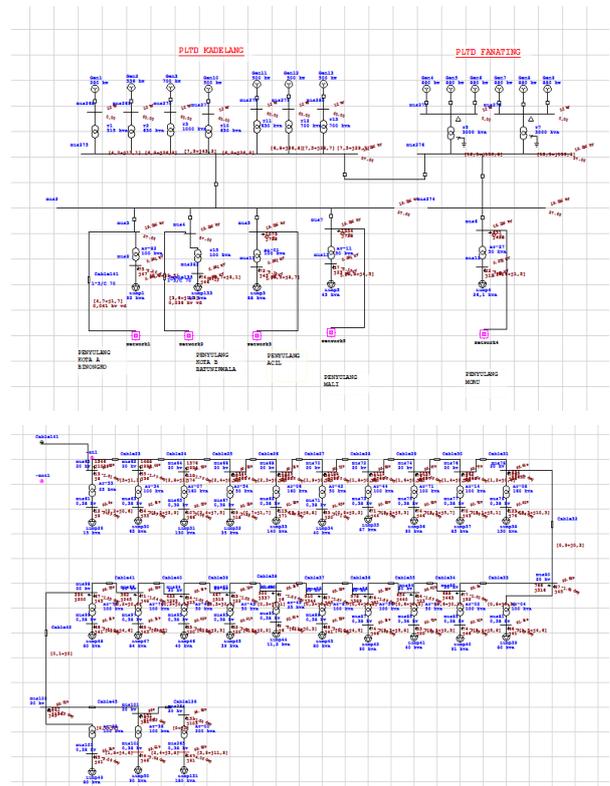
42	AT043	50 KVA	39 KVA
43	AT044	100 KVA	87 KVA
44	AT045	25 KVA	11,2 KVA
45	AT046	25 KVA	9,3 KVA
46	AT047	25 KVA	10,1 KVA
47	AT048	50 KVA	40 KVA
48	AT049	100 KVA	90 KVA
49	AT051	50 KVA	35 KVA
50	AT052	50 KVA	40 KVA
51	AT053	25 KVA	15 KVA
52	AT054	50 KVA	35 KVA
53	AT055	100 KVA	90 KVA
54	AT056	100 KVA	90 KVA
55	AT057	100 KVA	80 KVA
56	AT058	25 KVA	9,2 KVA
57	AT059	25 KVA	9,1 KVA
58	AT060	25 KVA	9,2 KVA
59	AT061	50 KVA	41 KVA
60	AT062	50 KVA	44 KVA
61	AT063	50 KVA	40 KVA
62	AT064	50 KVA	45 KVA
63	AT065	50 KVA	40 KVA
64	AT066	50 KVA	36 KVA
65	AT067	50 KVA	42 KVA
66	AT068	50 KVA	40 KVA
67	AT069	50 KVA	40 KVA
68	AT071	100 KVA	90 KVA
69	AT072	25 KVA	11,9 KVA
70	AT073	25 KVA	9,2 KVA
71	AT074	25 KVA	9,1 KVA
72	AT075	25 KVA	9,2 KVA
73	AT076	25 KVA	9,2 KVA
74	AT077	160 KVA	134 KVA
75	AT078	100 KVA	84 KVA
76	AT079	100 KVA	80 KVA
77	AT081	100 KVA	95 KVA
78	AT082	100 KVA	72 KVA
79	AT083	100 KVA	78 KVA
80	AT084	100 KVA	78 KVA
81	AT085	100 KVA	70 KVA
82	AT086	100 KVA	80 KVA
83	AT087	100 KVA	80 KVA
84	AT088	100 KVA	80 KVA
85	AT089	100 KVA	80 KVA
86	AT091	100 KVA	79 KVA
87	AT092	25 KVA	18,4 KVA
88	WS001	100 KVA	90 KVA
89	WS002	50 KVA	38 KVA

90	WS003	50 KVA	41 KVA
91	WS004	50 KVA	40 KVA
92	WS005	50 KVA	35 KVA
93	WS006	50 KVA	40 KVA
94	WS007	50 KVA	43 KVA
95	WS008	50 KVA	40 KVA
96	WS009	50 KVA	37 KVA
97	WS011	50 KVA	39 KVA
98	WS012	25 KVA	9,5 KVA
99	WS013	50 KVA	37 KVA
100	WS014	50 KVA	40 KVA
101	WS015	50 KVA	40 KVA
102	WS016	50 KVA	37 KVA
103	WS017	50 KVA	35 KVA
104	WS018	25 KVA	11,3 KVA
105	AD001	100 KVA	80 KVA
106	AD002	50 KVA	43 KVA
107	AD003	50 KVA	39 KVA
108	AD004	50 KVA	40 KVA
109	AD005	50 KVA	18,3 KVA
110	AD006	50 KVA	11,1 KVA
111	AD007	50 KVA	12 KVA
112	AD010	50 KVA	40 KVA
113	AD011	50 KVA	36 KVA
114	AD012	50 KVA	37 KVA
115	AD013	50 KVA	38 KVA
116	AD014	50 KVA	40 KVA
117	AD015	50 KVA	38 KVA
118	AD016	50 KVA	40 KVA
119	AD017	50 KVA	38 KVA
120	AK001	100 KVA	82 KVA
121	AK002	50 KVA	42 KVA
122	AK003	50 KVA	39 KVA
123	AK004	25 KVA	18,5 KVA
124	AK005	50 KVA	40 KVA
125	AK006	50 KVA	42 KVA
127	AK007	50 KVA	41 KVA
128	AK008	50 KVA	40 KVA
129	AK009	50 KVA	36 KVA
130	AK011	50 KVA	33 KVA
131	AK012	25 KVA	17,3 KVA
132	AK013	25 KVA	16,7 KVA
133	AL001	100 KVA	88 KVA
134	AL002	50 KVA	41 KVA
135	AL003	50 KVA	40 KVA
136	AL004	50 KVA	38 KVA

#### IV. SIMULASI DAN ANALISA

##### A. Simulasi Load Flow Menggunakan Software ETAP Power Station Pada Kondisi Base Case

Simulasi load flow ini bertujuan untuk mengetahui kondisi awal sistem, mengetahui nilai rating tegangan pada setiap bus, mengetahui daya yang mengalir disetiap saluran dan mendapatkan nilai daya aktif serta daya reaktif pada bus. Pada simulasi load flow ini menggunakan metode *Newthon Rhapson*.



Gambar 5. sesudah di jalankan degan load flow pada kondisi sebelum pemasangan kapasitor

Tabel 3. Bus Yang Mengalami Undervoltage

NO	Penyulang	Bus	Kondisi
1	Kota A (Binongko)	9,61,63,65,67,69,71,73,75,77,79,81,83,85,,87,89,91,93,95,97,99,103,102,265	Undervoltage
2	Kota B (Batunirwala)	105,107,109,111,113,115,117,121,123,126,127,129,131,133,135,137,139,141,143,145,147,149,151,153,155,157,159,161,282	Undervoltage
3	Acil	11,16,18,20,22,24,26,28,30,32,34,37,39,41,43,45,47,49,51,53,55,59,267	Undervoltage

4	Mali	13,195,199,205,209,213,215,217,219,221,223,225,227,229,231,233,235,237,239,241,243,245,247,249,251,253,255,257,259,261,263	Undervoltage
5	Moru	163,165,169,171,173,175,177,179,181,189,184,186,188,191	Undervoltage

Berdasarkan hasil dalam kondisi basecase diatas keadaan bus telah diketahui terjadi pelanggaran tegangan diluar margin yang diizinkan yaitu 0,95 p.u. sampai 1,05 p.u. pada bus yang mengalami undervoltage maka dapat dilakukan perbaikan profil tegangan dengan menggunakan analisa *optimal capacitor placement* (OCP) untuk mendapatkan penempatan dan kapasitas kapasitor yang optimal

**B. Penempatan Kapasitor Menggunakan Optimal Capacitor Placement**

Menjalankan *Optimal Capacitor Placement* (OCP) 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 bus kandidat untuk lokasi pemasangan kapasitor.

**C. Penentuan Bus Kandidat**

a. Penentuan kandidat bus yang akan ditempatkan kapasitor.

Tabel 4. Penentuan Kandidat Bus Yang Akan Dipilih Untuk Di Tempatkan Kapasitor

Bus Candidat	
ID Bus	kV
Bus 60	20
Bus 100	20
Bus 160	20
Bus 19	20
Bus 36	20
Bus 73	0,38
Bus 75	0,38
Bus 77	0,38
Bus 85	0,38
Bus 87	0,38
Bus 89	0,38
Bus 93	0,38
Bus 95	0,38
Bus 97	0,38
Bus 99	0,38
Bus103	0,38
Bus 102	0,38
Bus 265	0,38
Bus 259	0,38
Bus 261	0,38
Bus 263	0,38
Bus 115	0,38
Bus121	0,38
Bus 123	0,38
Bus 126	0,38
Bus 127	0,38
Bus 131	0,38
Bus 133	0,38
Bus 137	0,38
Bus 139	0,38
Bus 143	0,38
Bus 145	0,38

Bus 149	0,38
Bus 151	0,38
Bus 153	0,38
Bus 157	0,38
Bus 51	0,38
Bus 55	0,38
Bus 215	0,38
Bus221	0,38
Bus 225	0,38
Bus 229	0,38
Bus 231	0,38
Bus 233	0,38
Bus 237	0,38
Bus 239	0,38
Bus 241	0,38
Bus 243	0,38
Bus245	0,38
Bus 247	0,38
Bus 249	0,38
Bus251	0,38
Bus253	0,38
Bus 257	0,38

Dalam penentuan kandidat bus sebagai lokasi penempatan kapasitor seperti yang ditunjukkan pada tabel 4. bus dengan nilai dibawah standar operasi atau bus yang mengalami kritikal pada program simulasi *Optimal Capacitor Plcement* (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.

b. Penentuan lokasi dan kapasitas optimal Kapasitor.

Secara otomatis *Optimal Capacitor Plcement* (OCP) akan mengkalkulasikan kapasitas kapasitor minimal yang dibutuhkan dan lokasi optimal untuk memperbaiki level tegangan sistem. Yang kemudian ditampilkan pada diagram satu garis

Gambar lokasi serta kapasitas kapasitor pada system Kelistrikan Rayon Kalabahi Setelah dijalankan menggunakan program *optimal capacitor placement*(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 Optimal Capacitor Placement (OCP)*

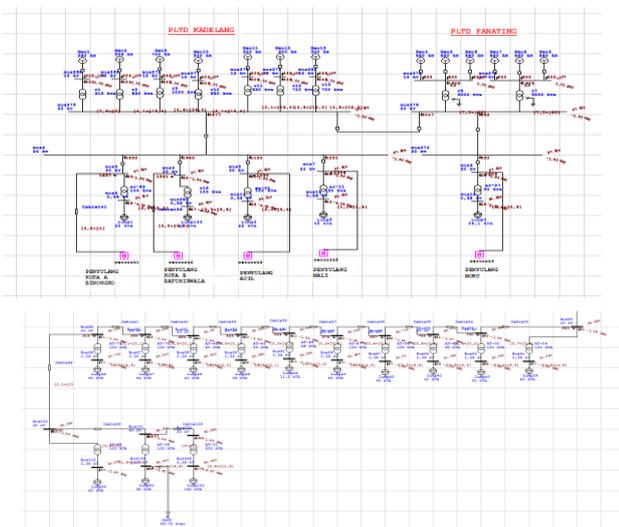
Pada *software ETAP* dapat dioptimalkan penempatan kapasitor dengan tepat untuk memperbaiki rating tegangan tersebut. Dengan bus kandidatnya pada tabel 4.

Tabel 5. Hasil Jumlah Kapasitor Dan Besaran Masukan Kapasitas Kapasitor

ID BUS	Bank (Kvar)	Rating Tegangan(kV)	Jumlah Bank
60	370	20	1
100	352	20	1
19	369	20	1
36	366	20	1
73	86,45	0,38	1
75	87,67	0,38	1
77	75,67	0,38	1
85	51,22	0,38	1
87	88,83	0,38	1
89	86,12	0,38	1
93	52,11	0,38	1
95	50,32	0,38	1

97	86,54	0,38	1
99	86,52	0,38	1
103	89,77	0,38	1
102	87,85	0,38	1
265	95,23	0,38	1
259	50,2	0,38	1
261	51,33	0,38	1
263	49,21	0,38	1
115	88,54	0,38	1
121	87,23	0,38	1
123	50,12	0,38	1
126	86,78	0,38	1
127	86	0,38	1
131	86,12	0,38	1
133	84,56	0,38	1
137	84,56	0,38	1
241	50	0,38	1
243	86,59	0,38	1
247	49,21	0,38	1
249	51,67	0,38	1
251	51,42	0,38	1
253	49,32	0,38	1
257	51,22	0,38	1

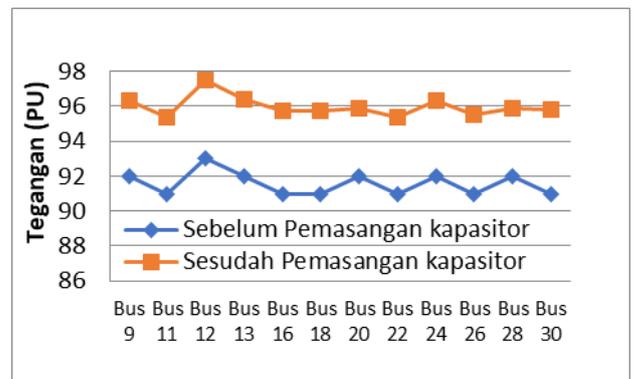
Setelah menambahkan kandidat bus yang memiliki jatuh tegangan diluar batas  $\pm 5\%$  (standar toleransi tegangan AC PLN) ditemukan jumlah dan lokasi kapasitor berada pada bus seperti yang ada pada tabel 5.



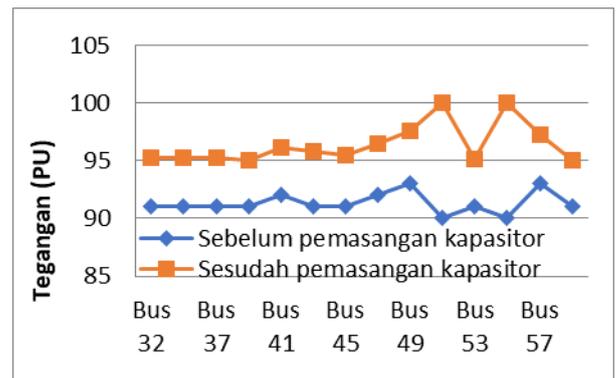
Gambar 6. Dijalankan kembali dengan load flow setelah penempatan kapasitor

Hasil dari simulasi load flow setelah penempatan optimal kapasitor dapat diketahui bahwa profil tegangan pada bus yang mengalami under voltage dapat kembali normal karena adanya kompensasi daya reaktif dari kapasitor bank.

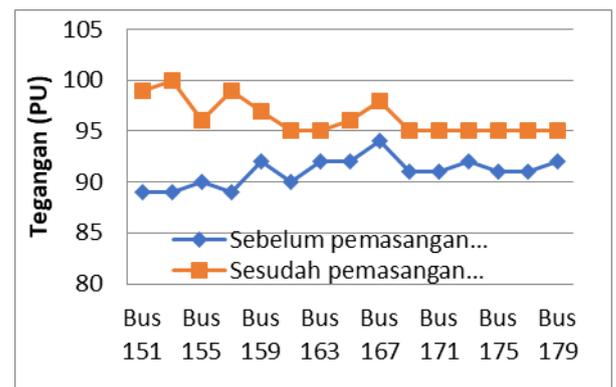
#### D. Perbandingan Tegangan Sebelum Dan Sesudah Pemasangan Kapasitor



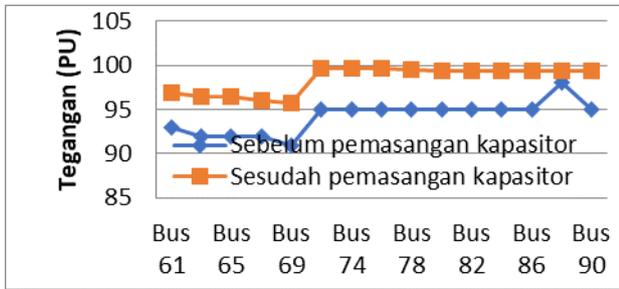
Gambar 7. Grafik Perbandingan profil tegangan pada bus sebelum pemasangan kapasitor dan sesudah pemasangan kapasitor



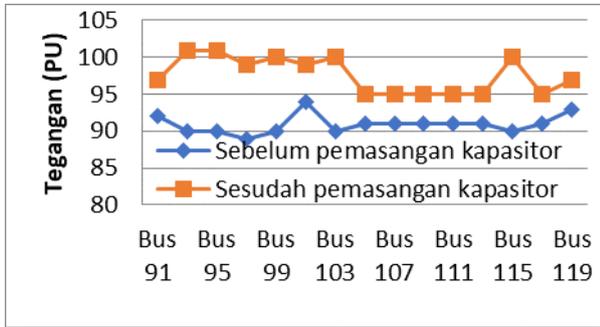
Gambar 8. Grafik Perbandingan profil tegangan pada bus sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor



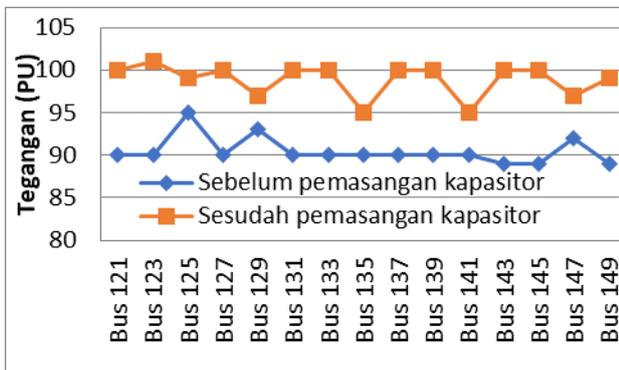
Gambar 10. Grafik Perbandingan profil tegangan pada bus sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor



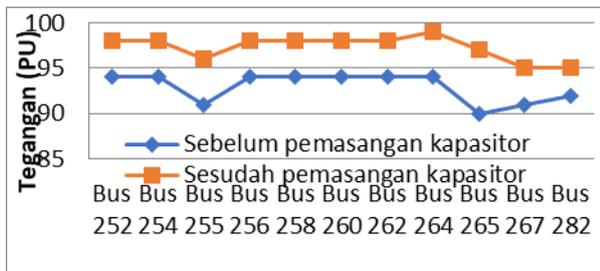
Gambar 11. Grafik Perbandingan profil tegangan pada bus sebelum dan Sesudah pemasangan kapasitor



Gambar 12. Grafik Perbandingan profil tegangan pada bus sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor



Gambar 13. Grafik Perbandingan profil tegangan pada bus sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor



Gambar 14. Grafik Perbandingan profil tegangan pada bus sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor

Perbandingan Profil Tegangan kondisi *base case* dan Setelah Penempatan kapasitor optimal Pada grafik menunjukkan bahwa rating tegangan khususnya pada bus-bus yang mengalami *critical* atau *undervoltage* menjadi normal kembali yaitu dalam standart IEEE ( $0,95 \text{ pu} \leq V \leq$

1,05 pu). Kenaikan terjadi pula pada beberapa bus yang tidak mengalami *critical undervoltage*, namun kenaikan ini berdampak lebih baik pada rating tegangan bus tersebut.

Tabel 6. Hasil Simulasi Sebelum Pemasangan Kapasitor

SUMMARY OF TOTAL GENERATOR , LOADING AND DEMAND				
	MW	Mvar	MVA	% PF
Source (Swing Buses)	5,144	3,624	6,293	83,05
Source (No-Swing Buses)	0,400	0,350	0,532	75,26
Total Demand	5,544	3,974	6,821	81,27
Total Motor Load	4,375	2,711	5,147	85,00
Total Static Load	0,905	0,561	1,065	85,00
Apparent Losses	0,264	0,702		
System Mismatch	0	0		
Number of Iterations	2			

Tabel 7. Hasil Simulasi Sesudah Pemasangan Kapasitor

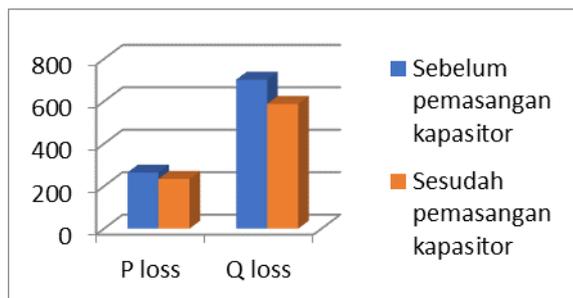
SUMMARY OF TOTAL GENERATOR , LOADING AND DEMAND				
	MW	Mvar	MVA	% PF
Source (Swing Buses)	5,250	-1,095	5,363	97,89
Source (No-Swing Buses)	0,400	-0,200	0,477	89,44
Total Demand	5,650	-1,295	5,796	97,47
Total Motor Load	4,368	2,707	5,138	85,00
Total Static Load	1,048	-4,589	4,707	22,27
Apparent Losses	0,234	0,588		
System Mismatch	0	0		
Number of Iterations	1			

Tabel 8. Hasil Perbandingan Total Ploss Dan Qloss Kondisi Sebelum Dan Sesudah Pemasangan Kapasitor

Kondisi	$P_{loss}$ (KW)	$Q_{loss}$ (Kvar)
Sebelum pemasangan kapasitor	264	702
Sesudah Pemasangan Kapasitor	234	588

Dapat dilihat pada table bahwa setelah penempatan kapasitor yang optimal kenaikan rugi-rugi daya aktif dan daya reaktif pada kondisi sebelum berkurang karena adanya

kompensasi daya reaktif dari kapasitor sehingga profil tegangan terjaga dan tetap bekerja pada batas yang diijinkan.



Gambar 15. Grafik Perbandingan Ploss Qloss sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor

## V. KESIMPULAN

1. Metode yang diterapkan ini dengan menggunakan program *Optimal Capacitor Placement* (OCP) dapat menentukan lokasi dan kapasitas optimal kapasitor disistem Kelistrikan Rayon Kalabahi Besar masing-masing pada masing-masing bus yang mengalami under voltage sehingga profil tegangan sistem meningkat sesuai batas yang diijinkan dan rugi-rugi saluran tereduksi.
2. Setelah pemasangan kapasitor optimal menggunakan program OCP profil tegangan yang sebelumnya mengalami kritikal seluruhnya dapat ditingkatkan pada batas margin yang diijinkan yaitu lebih dari 0,95 p.u dan kurang dari 1,05 p.u. dimana sebelum pemasangan

Kapasitor ada beberapa bus yang terlihat kritikal setelah pemasangan Kapasitor Semua bus terlihat normal.

3.  $P_{loss}$  dan  $Q_{loss}$  setelah OCP terlihat menurun dibandingkan sebelum pemasangan OCP dengan perbandingan P loss sebelum : 264 KW dan menurun setelah pemasan kapasitor menjadi P loss :234 KW
4. Nilai faktor daya pada Source (Swing Buses) juga meningkat dari 83% sebelum pemasangan kapasitor menjadi 97% setelah pemasangan kapasitor
5. Nilai faktor daya pada Source (No-Swing Buses) juga meningkat dari 75,26% sebelum pemasangan kapasitor menjadi 89,44%

## VI. 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 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
- [3] N.P.Padehly,M.A.A. Moamen, Power Flow and Solution With Multiple and Multi Type FACTS Devices, Electric Power Systems
- [4] Wijanarko,Eko.2011,Optimasi Penempatan Kapasitor Shunt Untuk Perbaikan Daya Reaktif Pada Penyulang Distribusi Primer Radial Dengan Algoritmah Genetik. Semarang : Universitas Diponegoro.
- [5] D.William,andJr. Stevenson,1990, Analisa Systems Tenaga Listrik, Jakarta Erlangga.
- [6] Ari Hasyim, Vol. 3. NO2 Macam Macam Kapasitor Dan kegunaannya
- [7] Dugan, Roger C dkk. 2004. Electrical Power Systems Quality. Second Edition. The McGraw-Hill Companies.