

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Terkait.

Pada penelitian terdahulu yaitu menentukan optimasi penempatan kapasitor bank dengan algoritma kecerdasan buatan seperti Algoritma Genetika oleh Imam Robandi dalam bukunya yang berjudul “Desain Sistem Tenaga Modern” tahun 2006 yang merumuskan masalah penempatan dan ukuran kapasitor untuk mengatur tegangan dan arus harmonik, sistem yang diuji adalah sistem 19 bus didapatkan hasil penempatan optimal kapasitor bank dan juga memperbaiki tegangan sistem berada pada batas toleransi yaitu $\text{Cos } \phi = 1$ dan tegangan $\pm 5\%$, Hadha Alamajibuwono yang berjudul “Optimasi Penempatan Kapasitor Menggunakan Algoritma Genetika pada Sistem Distribusi untuk Memperbaiki Faktor Daya Dan Tegangan” tahun 2011 dalam penelitian ini data yang digunakan adalah data *IEEE 33 busdistribution test system* penelitian ini bertujuan untuk menjaga tegangan dengan batas minimum 95% dan maksimum 105% serta *PF* 85% dengan penempatan kapasitor bank pada sistem menggunakan metode Algoritma Genetika dan hasil dari penelitiannya didapatkan tegangan serta faktor daya tiap bus tidak melewati batas yang telah ditentukan, dan Tarsin Saragih dengan judul “Analisis Penempatan Optimal Bank Kapasitor Pada Sistem Distribusi Radial dengan Metode Algoritma Genetika Aplikasi : PT. PLN (Persero) Cabang Medan tahun 2011” tujuan penelitiannya mengetahui rating kapasitor dan letak penempatan optimal kapasitor serta kualitas tegangan sebelum dan sesudah penempatan kapasitor. Analisis aliran daya menggunakan *Etap 4.0* dan pencarian letak serta rating kapasitor menggunakan metode Algoritma Genetika yang dicari manual. Dalam penelitiannya empat buah bus yang mewakili sistem dipilih secara acak selanjutnya dengan metode Algoritma Genetika ditentukan berapa rating dan letak optimal kapasitor pada keempat bus tersebut. Penelitian ini menghasilkan penempatan serta *rating* yang optimal berdasarkan batas tegangan minimal 95% dan batas maksimal 105% . .

Penelitian penulis menggunakan *Etap 7.5.0 Optimal Capacitor Placement* yang telah berbasiskan Algoritma Genetika (dengan inisialisasi heuristik)[13]. *Optimal Capacitor Placement* pada *Etap* memungkinkan insinyur untuk merencanakan tempat kapasitor sebagai pengatur tegangan dan memperbaiki faktor daya untuk meminimalkan instalasi. Antarmuka grafis yang canggih memberikan pengguna fleksibilitas mengontrol proses

penempatan kapasitor dan tampilan grafis untuk hasil penempatan kapasitor. Pendekatan perhitungan yang tepat secara otomatis menentukan lokasi terbaik dan jumlah bank.

2.2. Sistem Distribusi

Apabila saluran transmisi menyalurkan tenaga listrik bertegangan tinggi ke pusat-pusat beban dalam jumlah besar, maka saluran distribusi berfungsi membagikan tenaga listrik kepada pihak pemakai melalui saluran tegangan rendah.

Sistem jaringan distribusi dapat dibedakan menjadi dua yaitu sistem jaringan distribusi primer dan sistem jaringan distribusi sekunder. Kedua sistem dibedakan berdasarkan tegangan kerjanya. Pada umumnya tegangan kerja pada sistem jaringan distribusi primer adalah 20 kV, sedangkan tegangan kerja pada sistem jaringan distribusi sekunder adalah 220/380 volt[1].

2.3. Penurunan Tegangan

Akibat adanya arus yang mengalir pada penyulang serta impedansi saluran maka akan timbul penurunan tegangan pada penyulang tersebut. Pada jaringan yang dialiri arus listrik akan timbul penurunan tegangan di sisi beban. Penurunan tegangan yang paling besar terjadi pada saat beban puncak. Penurunan tegangan maksimum pada beban penuh yang diijinkan di beberapa titik pada jaringan distribusi berdasarkan SPLN 72 .1987 adalah[1]:

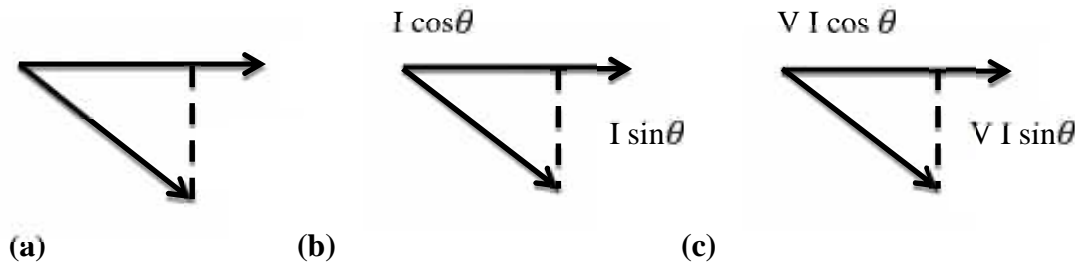
1. SUTM = 5 % dari tegangan kerja pada sistem radial di atasi tanah dan sistem simpul.
2. SKTM = 2 % dari tegangan kerja pada sistem spindle dan gugus.
3. Trafo distribusi = 3 % dari tegangan kerja.
4. Saluran tegangan rendah = 4 % dari tegangan kerja yang tergantung pada kepadatan beban.
5. Sambungan rumah = 1 % dari tegangan nominal.

2.4. Faktor Daya

Faktor daya merupakan cosinus dari sudut antar arus dikalikan dengan tegangan[1,2,3,4,5,6]. Pada kasus arus membelakangi tegangan, faktor daya akan tertinggal, dan jika arus mendahului tegangan, maka faktor daya pun mendahului. Arus I membelakangi tegangan V dengan sudut θ sebagaimana diperlihatkan pada gambar 2.1(a). Dengan demikian maka faktor daya adalah $\cos \theta$ lagging.

Dengan membiarkan arus I dipisahkan menjadi dua komponen agar komponen horizontal $I \cos \theta$ berada dalam fasa dengan tegangan dan $I \sin \theta$ membelakangi tegangan sebesar 90° seperti terlihat pada gambar 2.1(b).

Membiarkan semua sisi segitiga pada gambar 2.1(b) dikalikan dengan tegangan 'V' segitiga yang berlaku diperlihatkan pada gambar 2.1(c).



Gambar 2.1 : a. Arus I membelakangi tegangan V dengan sudut θ .
 b. Arus I dipisahkan menjadi dua komponen.
 c. Semua sisi segitiga pada gambar 2.1(b) dikalikan dengan tegangan 'V'

Semua sudut dari segitiga tidak berubah . $V I \cos \theta$ dalam komponen fasa dari tegangan disebut daya yang sebenarnya dan dilambangkan dengan "P". $V I \sin \theta$ membelakangi tegangan 'V' sebesar 90° disebut daya reaktif dan disimbolkan oleh VAR. Sedangkan $V I$ disebut daya nyata dan direpresentasikan 'VA'. Dengan demikian faktor daya $\cos \theta$:

$$\begin{aligned}
 &= \frac{V I \cos \theta}{V I} = \frac{\text{Daya nyata}}{\text{Daya tampak}} \\
 &\quad (2.1) \\
 &= \frac{\text{watts}}{\text{voltAmps}} = \frac{\text{kilowatts}}{\text{kilovoltAmps}}
 \end{aligned}$$

Dengan demikian jika faktor daya dibuat suatu kesatuan, θ harus dibuat nol. Hal ini dapat dicapai jika daya reaktif dijadikan nol dengan memberikan perhitungan yang sama dari daya reaktif di depan, agar resultan dari komponen yang membelakangi dan mendahului dari daya reaktif menjadi nol.

2.4.1. Kerugian faktor daya kecil

Daya pada rangkaian tiga fasa diberikan oleh[5].

$$P = \sqrt{3} V I \cos\theta \quad (2.2)$$

Untuk perhitungan yang sama dari daya “p” untuk ditransmisikan atau didistribusikan pada tegangan konstan “V” , “P”,,”V” menjadi konstan[5].

$$P = \sqrt{3} I \cos\theta = \text{konstan} \quad (2.3)$$

$$P = I \cos\theta = \text{konstan} \quad (2.4)$$

Dengan demikian faktor daya “ $\cos\theta$ ” meningkat, arus dalam rangkaian menjadi menurun sehingga $I \cos\theta$ menjadi konstan dan jika faktor daya “ $\cos\theta$ ” menurun maka arus dalam rangkaian meningkat.

Akibat dari faktor daya yang kecil adalah meningkatnya arus dalam rangkaian yang mempunyai kerugian sebagai berikut [1]

1. Arus tinggi yang mengalir dalam konduktor sebagai hasil dari faktor daya yang kecil banyak berakibat dalam *copper loss* dan karena itu efisien dari sistem menurun.
2. Jika efisiensi dari transmisi ialah untuk menjaga arus yang tinggi ukuran konduktor akan meningkat
3. Arus yang meningkat pada konduktor, memberikan pengaruh pada turunnya tegangan yang melalui konduktor dimana meningkatkan regulasi dari jalur dimana tidak layak sebagaimana tegangan layak untuk dijaga kekonstanannya pada penerimaan akhir.
4. Arus yang meningkat sebagai hasil dari faktor daya yang kecil menghasilkan ukuran transformer dan kotak generator yang meningkat. Dengan demikian harga dari seluruh peralatan ini juga meningkat sebagai hasil dari faktor daya yang kecil.

2.4.2. Penyebab kecilnya faktor daya

1. Sebuah transformer menggambarkan arus magnetis dimana menjadi konstan pada semua masukan. Arus magnetis ini membuat arus total membelakangi yang mendekati *E.M.F (Electric and Magnetic Fields)*. Pada masukan yang normal, arus magnetis ini cukup kecil bila dibandingkan dengan arus masukan. Dan hal itu tidak terlalu mempengaruhi faktor daya, akan tetapi pada masukan yang kecil, arus magnetis menjadi cukup baik untuk menjadikan seluruh arus

untuk berada dibelakang dan dengan demikian membuat faktor daya yang mengecil.

2. Motor induksi yang bekerja hampir sama dengan prinsip transformer pada faktor daya yang sangat kecil ketika bekerja pada masukan yang lebih kecil. Akan tetapi ketika bekerja pada masukan yang penuh maka akan mempunyai faktor daya 0,8 sampai dengan 0,1 *lagging*[1].

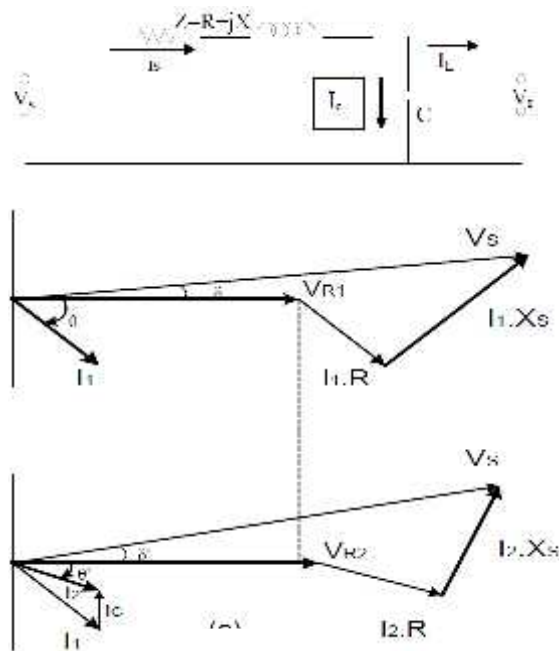
Pada kenyataannya faktor daya pada motor induksi bekerja menurun seiring menurunnya masukan. Faktor daya mendekati sekitar 0,85 pada masukan penuh, 0,8 pada 75% masukan penuh, 0,7 pada setengah masukan dan begitu seterusnya, begitu banyak sehingga mendekati 0,1 saat tidak ada masukan[1].

3. Lampu pijar bekerja pada faktor daya yang sangat kecil oleh karena karakteristik inheren dari pijar.
4. Pemanasan pada industri, sebagaimana pijar dan *induction furnance* beroperasi pada faktor daya yang kecil.
5. Meningkatnya persediaan tegangan selama waktu makan siang dan selama waktu makan malam, menghasilkan arus *lagging* digambarkan oleh reaktansi induktif yang menghasilkan dalam faktor daya yang kecil.

2.5. Pengaruh Kapasitor Bank.

Kapasitor ini terhubung paralel pada jaringan maupun langsung pada beban, dengan tujuan untuk perbaikan faktor daya, sebagai pengatur tegangan maupun untuk mengurangi kerugian daya dan tegangan pada jaringan.

Dengan anggapan tegangan pada sisi beban dipertahankan konstan maka dari Gambar 2.2 menunjukkan bahwa dengan menggunakan kapasitor bank, dengan demikian arus reaktif yang mengalir pada saluran akan berkurang, hal ini akan menyebabkan berkurangnya penurunan tegangan pada saluran sehingga tegangan sumber yang diperlukan tidak berbeda jauh dengan tegangan terima. Dengan berkurangnya arus reaktif yang mengalir pada saluran akan memberikan penurunan rugi-rugi daya [1,7].



Gambar 2.2[1]: a. Rangkaian ekivalen dari saluran
 b. Diagram vektor dari rangkaian dengan faktor daya *lagging*
 c. Diagram vektor dengan kapasitor shunt.

Dari gambar 2.2 dapat dijelaskan bahwa

$$V_{R1} = V_S - (I_R \cdot R + jI_L \cdot X_S) \quad (2.5)$$

$$V_{R2} = V_S - (I_R \cdot R + jI_C \cdot X_S). \quad (2.6)$$

$$\begin{aligned} \Delta V_R &= V_{R2} - V_{R1} \\ &= V_S - I_R \cdot R + jI_C \cdot X_S - [V_S - I_R \cdot R + jI_L \cdot X_S - jI_C \cdot X_S] \\ &= jI_C \cdot X_S \end{aligned} \quad (2.7)$$

Dimana:

I_R = Komponen real arus (Ampere).

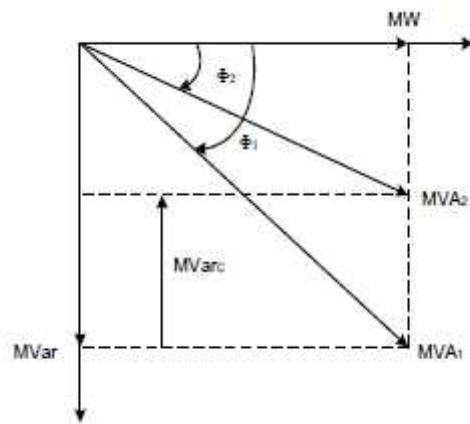
I_L = Komponen reaktif arus lagging terhadap tegangan (Ampere).

I_C = Komponen reaktif arus leading terhadap tegangan (Ampere).

R = Resistansi saluran (Ohm).

X_S = Reaktansi jaringan (Ohm).

Ketika memasang kapasitor paralel, terjadi injeksi arus I_C pada sistem sehingga faktor daya meningkat dan I_L berkurang. Hal itu mengakibatkan jatuhnya tegangan berkurang $I_L \times X_S$ sehingga tegangan V_R meningkat. Dari Persamaan (2.7), menyatakan bahwa tegangan kirim yang sama diperoleh tegangan terima yang lebih besar ketika sistem ditambahkan kapasitor paralel. Hal itu terjadi ketika faktor daya bus diperbaiki dengan menambah kapasitor paralel, tegangan terima bus juga meningkat. Untuk memperoleh hasil yang optimal, kekurangan daya reaktif yang dibutuhkan oleh beban sedapat mungkin dipenuhi oleh kapasitor paralel yang dipasang seperti ditunjukkan pada Gambar 2.3:



Gambar 2.3. Perbandingan Besar Daya Semu Sebelum dan Sesudah Pemasangan Kapasitor Paralel[11].

Gambar.2.3. merupakan vektor diagram sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor yang dinyatakan dengan Persamaan sebagai berikut:

$$MVA_1 = MW - jMVAR \quad (2.8)$$

$$MVA_2 = MW - jMVAR - jMVAR_C \quad (2.9)$$

$$\begin{aligned} MVA &= MVA_2 - MVA_1 \\ &= jMVAR_C \end{aligned} \quad (2.10)$$

Dimana:

MVA = Daya semu

MW = Daya aktif

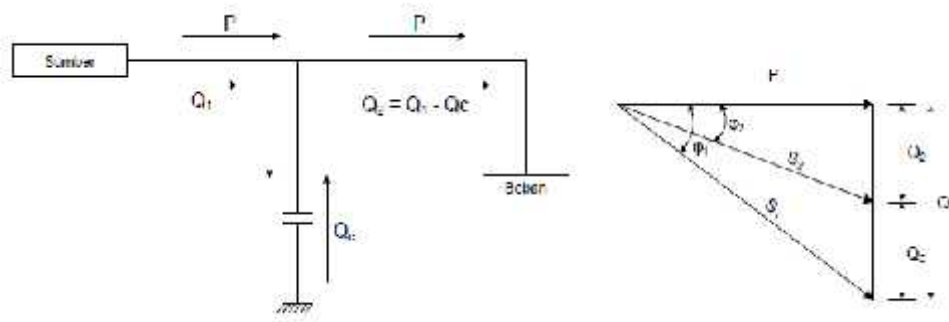
$MVAR$ = Daya reaktif

$MVAR_C$ = Injeksi daya reaktif dari kapasitor

Dengan terpasangnya kapasitor pada sistem maka akan ada penambahan daya aktif pada sistem dan juga kualitas tegangan menjadi baik.

2.5.1 Bagaimana Kapasitor Memperbaiki Faktor Daya

Sebagaimana diketahui membangkitkan daya reaktif pada pusat pembangkit tenaga dan menyalurkannya ke pusat beban yang jaraknya jauh, sangatlah tidak ekonomis. Hal ini dapat di atasi dengan meletakkan kapasitor pada pusat beban. Gambar 2.4 berikut menunjukkan cara perbaikan faktor daya untuk sistem tersebut.



Gambar 2.4. Perbaikan faktor daya dengan kapasitor[1]

Anggap bahwa beban di suplai dengan daya aktif (P), daya reaktif (Q_1), dan daya semu (S_1) pada faktor daya lagging sebesar[3]:

$$\begin{aligned} \cos \varphi_1 &= \frac{P}{S_1} \\ \cos \varphi_1 &= \frac{P}{(P^2 + Q_1^2)^{\frac{1}{2}}} \end{aligned} \quad (2.11)$$

Bila bank kapasitor sebesar Q_c kVA dihubungkan ke beban, faktor daya akan diperbaiki dari $\cos \varphi_1$ menjadi $\cos \varphi_2$, dimana[3]:

$$\begin{aligned} \cos \varphi_2 &= \frac{P}{S_2} \\ \cos \varphi_2 &= \frac{P}{(P^2 + Q_2^2)^{\frac{1}{2}}} \end{aligned} \quad (2.12)$$

$$\cos \varphi_2 = \frac{P}{[P^2 + (Q_1 - Q_c)^2]^{\frac{1}{2}}} \quad (2.13)$$

Dari Gambar 2.4 dapat dilihat bahwa dengan daya reaktif sebesar Q_c maka daya semu dan daya reaktif berkurang masing–masing dari S_1 (kVA) ke S_2 (kVA) dan dari Q_1 (kVAR) ke Q_2 . Dengan berkurangnya arus reaktif maka akan mengurangi arus total, dan akhirnya mengurangi rugi–rugi daya.

Untuk menanggulangi masalah-masalah yang ditimbulkan beban induktif tersebut maka pada rangkaian listrik dengan beban induktif dipasang kapasitor daya paralel.

2.5.2 Hubungan Kapasitor dengan Daya Reaktif

Gambar 2.5.a menunjukkan suatu rangkaian dimana generator belum terpasang dengan kapasitor, sehingga dalam hal ini agar generator jangan menjadi bersifat motor akibat adanya beban yang dipikul generator bersifat beban induktif, dimana dalam hal ini generator mensuplai daya aktif ke beban yang bersifat induktif yang dinyatakan dengan Persamaan sebagai berikut[1]:

$$P_R = \sqrt{3} \cdot V_{L-N} \cdot I_R \cdot \cos\theta_R \quad (2.14)$$

$$Q_R = \sqrt{3} \cdot V_{L-N} \cdot I_R \cdot \sin\theta_R \quad (2.15)$$

Keterangan :

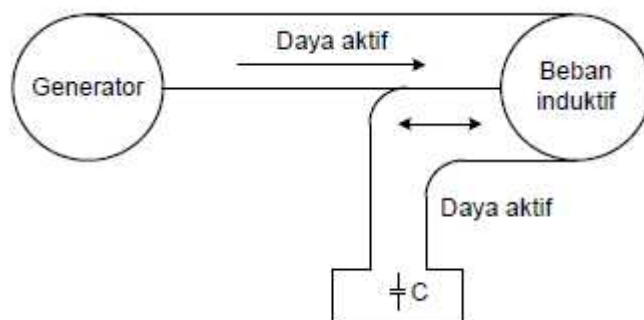
P_R = Komponen real daya aktif $\cos \theta_R$ = Komponen real $\cos \theta_R$

Q_R = Komponen real daya reaktif $\sin \theta_R$ = Komponen real $\sin \theta_R$

V_{L-N} =Tegangan antar fasa



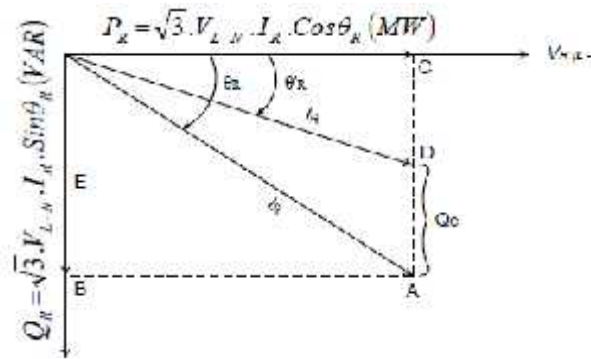
Gambar 2.5.a. Generator tanpa kapasitor[1].



Gambar 2.5.b. Generator terpasang dengan kapasitor[1].

Dari Gambar 2.5.b menyatakan suatu rangkaian dimana generator terpasang dengan kapasitor yang paralel dengan terminal keluaran generator[1], sehingga dalam hal

ini sudut faktor daya pada terminal keluaran generator untuk melayani beban yang akan dipikul berubah dari θ_R menjadi θ'_R dan besarnya arus yang hilang menjadi kecil serta daya aktif yang dibangkitkan generator menjadi lebih besar dibandingkan dengan sebelum pemasangan kapasitor seperti ditunjukkan pada Gambar 2.6



Gambar 2.6. Perbaikan faktor daya dengan kapasitor[1]

Dari Gambar 2.6. dapat dituliskan:

$$CA = P_R \tan \theta_R \text{ per fasa.}$$

$$CD = P_R \tan \theta'_R \text{ per fasa .}$$

$$AD = QC = P_R (\tan \theta_R - \tan \theta'_R) \text{ per fasa.}$$

Dari Gambar 2.6. menyatakan bahwa akibat dari pemasangan kapasitor pada beban induktif yang disuplai oleh generator. Sebelum kapasitor terpasang, daya aktif dan daya reaktif sepenuhnya disuplai dari generator, akibatnya daya semu (kapasitas) dari generator menjadi besar. Setelah kapasitor terpasang, seluruh atau sebagian besar dari daya reaktif yang diperlukan beban induktif disuplai oleh generator, dengan demikian tugas generator yang kini mensuplai daya aktif saja menjadi ringan, dengan demikian daya semu menjadi kecil .

2.5.3 Fungsi Kapasitor Pada Sistem Tenaga

Pemakaian bank kapasitor pada sistem tenaga listrik berfungsi untuk mengurangi rugi-rugi daya dan secara kumulatif pemakaian kapasitor pada penyulang distribusi sekitar 60 %, pada rel daya substasion sekitar 30% dan 10 % pada sistem transmisi[1].

Fungsi lain dari bank kapasitor yang digunakan pada sistem tenaga listrik adalah untuk mengkompensasi daya reaktif yang sekaligus menjaga kualitas tegangan dan juga

untuk meningkatkan efisiensi pada sistem dan umumnya pemakaian bank kapasitor memberikan keuntungan antara lain[1].

1. Meningkatkan kemampuan pembangkitan generator.
2. Meningkatkan kemampuan penyaluran daya pada jaringan transmisi.
3. Meningkatkan kemampuan penyaluran daya gardu-gardu distribusi.
4. Mengurangi rugi-rugi pada sistem distribusi.
5. Menjaga kualitas tegangan pada sistem distribusi.
6. Meningkatkan kemampuan feeder dan peralatan yang ada pada sistem distribusi.

2.6. Rugi-Rugi pada Sistem Distribusi

Rugi-rugi daya listrik pada sistem distribusi dipengaruhi beberapa faktor yang antara lain faktor konfigurasi dari sistem jaringan distribusi, transformator, kapasitor, isolasi dan rugi – rugi daya listrik dikategorikan 2 (dua) bagian yaitu rugi-rugi daya aktif dan daya reaktif seperti persamaan 2.16[1]:

$$S = P \pm jQ \quad (2.16)$$

Keterangan :

P = Rugi-rugi daya aktif (watt)

Q = Rugi-rugi daya reaktif (VAR)

S = Daya semu (VA)

Rugi-rugi daya listrik tersebut di atas (VA) akan mempengaruhi tegangankerja sistem dan besarnya rugi-rugi daya dinyatakan dengan[1]:

$$P_{loss} = \sum_{l=1}^{nbr} |I_l|^2 \cdot r_l \quad (2.17)$$

$$Q_{loss} = \sum_{l=1}^{nbr} |I_l|^2 \cdot x_l \quad (2.18)$$

2.7. Studi Aliran Daya

Studi aliran daya adalah studi yang dilaksanakan untuk mendapatkan informasi mengenai aliran daya dan tegangan sistem dalam kondisi operasi tunak. Informasi ini sangat dibutuhkan guna mengevaluasi unjuk kerja sistem tenaga listrik dan menganalisa

kondisi pembangkitan maupun pembebanan. Analisa ini memerlukan informasi aliran daya dalam kondisi normal maupun darurat.

Analisis aliran daya dalam sistem tenaga listrik memerlukan representasi atau pemodelan komponen sistem tenaga listrik. Suatu sistem kelistrikan tiga fasa yang seimbang selalu diselesaikan per fasa dan digambarkan dalam diagram satu garis yang sesuai dengan sistem tersebut. Tujuan diagram satu garis itu adalah untuk memberikan semua informasi yang diperlukan. Dalam berbagai kasus, diagram satu garis berbeda-beda sesuai dengan persoalan yang akan diselesaikan. Misalnya dalam studi aliran daya, beban-beban dan hambatan – hambatan seperti impedansi, resistansi dan induktansi harus digambarkan. Tempat netral ke tanah tidak perlu digambarkan. Sebenarnya pengabaian ini bertujuan untuk menyederhanakan perhitungan terutama jika perhitungan dilakukan secara manual.

Masalah aliran daya mencakup perhitungan aliran dan tegangan sistem pada terminal tertentu atau bus tertentu. Representasi fasa tunggal selalu dilakukan karena sistem dianggap seimbang. Didalam studi aliran daya, bus-bus dibagi dalam 3 macam, yaitu[9] :

1. *Slack bus* atau *swing bus* atau bus referensi
2. *Voltage controlled bus* atau bus generator
3. *Load bus* atau bus beban

Pada tiap-tiap bus terdapat 4 besaran, yaitu[9]:

1. Daya real atau daya aktif P
2. Daya reaktif Q
3. Harga skalar tegangan $|V|$
4. Sudut fasa tegangan

Pada tiap-tiap bus hanya ada 2 macam besaran yang ditentukan sedangkan kedua besaran lain merupakan hasil perhitungan. Besaran – besaran yang ditentukan itu adalah[9]:

1. *Slack bus*; harga skalar $|V|$ dan sudut fasanya
2. *Voltage controller bus*; daya real P harga skalar tegangan $|V|$
3. *Load bus*; daya real P dan daya reaktif Q

Slack bus berfungsi untuk menyuplai kekurangan daya real P dan daya reaktif Q .

2.7.1 Persamaan Aliran Daya

Jaringan sistem tenaga seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.7, saluran transmisinya dapat digambarkan dengan model yang mana impedansi-impedansinya telah diubah menjadi admitansi-admitansi dalam satuan per unit pada base/dasar MVA.

Aplikasi Hukum arus Kirchhoff pada bus ini diberikan dalam:

$$\begin{aligned} I_i &= y_{i0}V_i + y_{i1} V_i - V_1 + y_{i2} V_i - V_2 + \dots + y_{in} V_i - V_n \\ &= (y_{i0} + y_{i1} + y_{i2} + \dots + y_{in})V_i - y_{i1}V_1 - y_{i2}V_2 - \dots - y_{in}V_n \end{aligned} \quad (2.19)$$

atau

$$I_i = V_i \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n y_{ij} V_j \quad j \neq i \quad (2.20)$$

Keterangan :

y_{ij} = admitansi sebenarnya dalam satuan per unit

Daya aktif dan daya reaktif pada bus i adalah :

$$P_i + jQ_i = V_i I_i \quad (2.21)$$

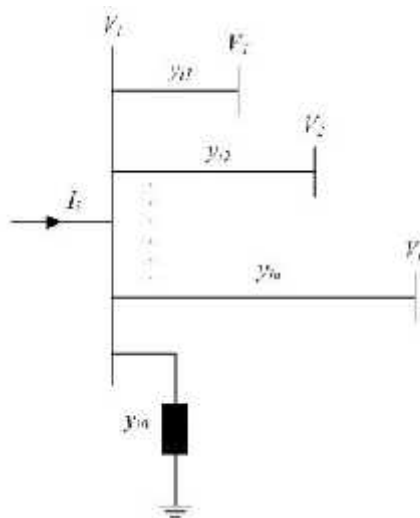
atau

$$I_i = \frac{P_i - jQ_i}{V_i} \quad (2.22)$$

Substitusi dari persamaan (2.20) ke (2.22), hasilnya:

$$I_i = \frac{P_i - jQ_i}{V_i} = V_i \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n y_{ij} V_j \quad j \neq i \quad (2.2)$$

Dari hubungan diatas formulasi perhitungan dari aliran daya dalam sistem tenaga harus diselesaikan dengan teknik iterasi.



Gambar 2.7. Tipikal bus dari sistem tenaga[9].

2.7.2 Metode Newton Raphson

Pada metode ini persamaan aliran daya dirumuskan dalam bentuk polar. Dari gambar 2.7, arus yang memasuki bus i dapat dicari dengan persamaan (2-1) dalam bentuk admintansi persamaan (2-1) dapat ditulis menjadi [9]:

$$I_i = V_i \sum_{j=0}^n Y_{ij} Y_{ij} \quad (2.24)$$

atau dalam bentuk polar menjadi:

$$I_i = \sum_{j=1}^n Y_{ij} |V_j| \theta_{ij} + \delta_j \quad (2.25)$$

keterangan:

adalah sudut tegangan

daya kompleks di bus i adalah :

$$P_i - jQ_i = |V_i| \sum_{j=1}^n Y_{ij} |V_j| \theta_{ij} + \delta_j \quad (2.26)$$

daya aktif di bus i adalah :

$$P_i = \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| |V_i| \cos \theta_{ij} - \delta_i + \delta_j \quad (2.27)$$

daya reaktif di bus i adalah :

$$Q_i = - \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| Y_{ij} \sin \theta_{ij} - \delta_j + \delta_i \quad (2.28)$$

Untuk setiap bus beban akan dibentuk persamaan P_i dan Q_i , sedangkan untuk bus pembangkit akan dibentuk persamaan P_i dengan memasukkan nilai taksiran besaran tegangan $|V|$ dan sudut δ di setiap bus. Dan memperluas persamaan (2.27) dan persamaan (2.28) ke dalam deret Taylor dan order pertama maka diperoleh persamaan :

$$\begin{matrix} P \\ Q \end{matrix} = \begin{matrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{matrix} \begin{matrix} \delta \\ |V| \end{matrix} \quad (2.29)$$

Dimana J_1, J_2, J_3 , dan J_4 adalah matrik jakobian dengan elemen sebagai berikut :

$$m = \begin{matrix} \frac{\partial P}{\partial \delta} & \frac{\partial P}{\partial |V|} \\ \frac{\partial Q}{\partial \delta} & \frac{\partial Q}{\partial |V|} \end{matrix} \quad (2.30)$$

2.8. Operasi Algoritma Genetika.

Penempatan kapasitor optimal pada *Etap 7.5.0* berbasiskan Algoritma Genetika. Untuk memahami cara kerja Algoritma Genetika maka dalam penelitian ini dijelaskan Secara umum operasi Algoritma Genetika.

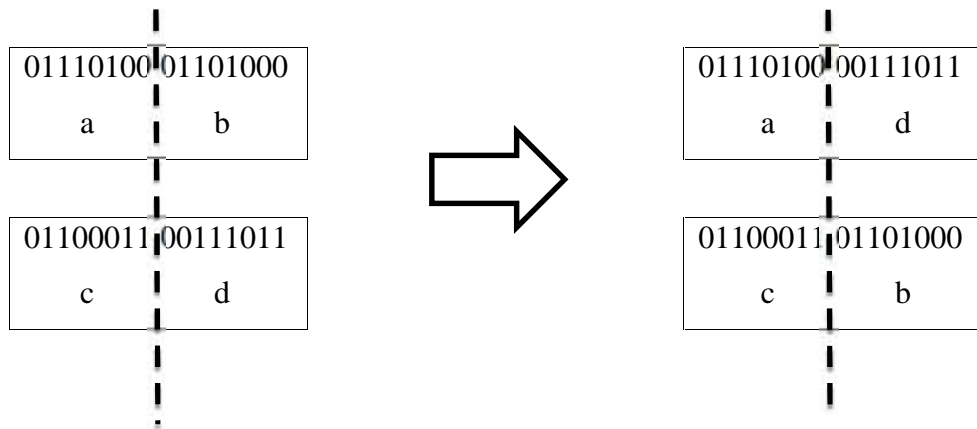
Algoritma Genetika adalah kronologi seleksi alam mengikuti prosedur langkah demi langkah seperti yang dilakukan oleh para kijang [10]. Melalui evolusi genetika, kromosom yang paling sesuai memiliki kecenderungan untuk menghasilkan keturunan yang berkualitas baik (yang berarti mempunyai solusi yang lebih baik untuk semua masalah). Pada aplikasi Algoritma Genetika praktis, populasi kromosom pada awalnya disusun secara acak, dengan ukuran yang berbeda pada setiap kasus. Siklus operasi genetik, dikondisikan sebagai proses perbaikan dengan generasi berikutnya dibuat dari populasi yang ada. Melalui seleksi induk, kromosom yang berkualitas baik akan dikawinkan untuk mendapatkan kombinasi dari kedua induk (manipulasi gen) sehingga akan menghasilkan keturunan yang lebih baik. Berikut ini adalah contoh cara kerja Algoritma Genetika [11].

Seleksi tahap awal untuk kromosom orang tua dilakukan secara random. Susunan kromosom orangtua disusun sebagai berikut.

Tabel 2.1 Data populasi awal [11]

Populasi awal melalui proses random	x	y	Fungsi objektif $G = f(x,y)$
0111010001101000	-0,3340	-0,6114	6,1238
0110001100111011	-0,2141	-0,4521	0,3311
0101011110011110	-0,8231	-0,3312	0,4719
0101000011101010	0,3412	0,3711	5,3312

Tahap kedua adalah melakukan operasi *crossover*. Amati perubahan kromosom pertama dan kedua dari tabel 2.1.



Gambar 2.8 Proses crossover[11]

Tahap ketiga adalah operasi mutasi. Kromosom yang terbentuk akibat operasi crossover diproses lagi menggunakan operasi mutasi yang dipresentasikan pada gambar 2.9



Gambar 2.9 Operasi mutasi[11]

Tabel 2.2 Data populasi pembaruan[11]

Populasi awal melalui proses random	x	y	Fungsi objektif $G = f(x,y)$
0111010001101000	-0,3340	-0,6114	6,1238
0110001100111011	-0,2141	-0,4521	0,3311
0101011110011110	-0,8231	-0,3312	0,4719
0101000011101010	0,3412	0,3711	5,3312

Dari harga yang didapatkan dalam tabel 2.2 terlihat bahwa ada perbaikan dari harga fungsi objektif yang diperoleh. Jika harga-harga tersebut belum dapat diterima, maka dapat dilakukan langkah operasi untuk mendapatkan keturunan berikutnya hingga harga yang disepakati tercapai.

2.9. Prinsip Dasar Pengoperasian *Etap 7.5.0*.

Berikut ini adalah prinsip kerja pada *Etap 7.5.0* :

1. Membuat one-line diagram dimulai dari supply berupa :
 - Power Grid Gardu Induk (GI), bus sebagai titik pengukuran & penghubung antar peralatan, konduktor (transmission line).
 - Beban trafo distribusi atau model beban LUMPED (feeder), pembangkit listrik + trafo pembangkit.
2. Melakukan setting ID, rating dan pembebanan komponen
3. Memasukkan ke Mode Simulasi Aliran Daya, dengan menekan tombol *Load Flow Analysis* sehingga tampilan toolbar editing berubah menjadi *Toolbar Simulasi Load Flow Analysis*.
4. Menekan tombol '*Run Load Flow*', setelah dilakukan maka jika tidak ada error pada one-line diagram maka akan ditampilkan aliran daya di setiap cabang & bus.
5. Untuk menentukan tempat optimal penempatan kapasitor adalah dengan menekan tombol '*Optimal Capacitor Placement*'.

2.9.1. Setting Parameter Jaringan dan Peralatan Distribusi pada *Etap 7.5.0*

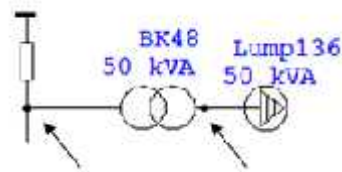
1. Bus

Bus pada one-line diagram *Etap 7.5.0*. tidak hanya berarti fisik rel, tetapi lebih diperluas lagi untuk keperluan pengukuran atau hasil simulasi dan meletakkan atau menghubungkan peralatan-peralatan.



Gambar 2.10 Bus editor pada program *Etap 7.5.0*.

Cukup lakukan setting ID dan Nominal kV, biasanya 20 kV, kecuali pada primer trafo pembangkit di Pembangkit Listrik disesuaikan dengan tegangan nominal keluaran generator. Dalam pembuatan diagram segaris muncul bus dengan tipe *node bus*. Maksud *node bus* pada *Etap 7.5.0* adalah bus yang terletak di pangkal dan ujung tranformator seperti yang terlihat pada gambar 2.11 yang berfungsi untuk mempermudah analisis aliran daya.

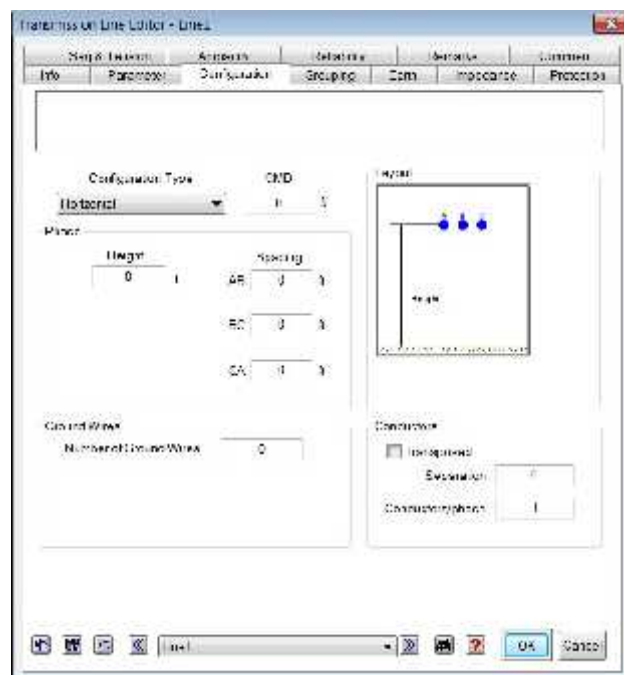


Gambar 2.11 *Node bus* Pada *one-line* diagram *Etap 7.5.0*

2. (Transmission Line) Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM)

Langkah-langkah memasukkan data-data transmisi pada *Etap 7.5.0*. :

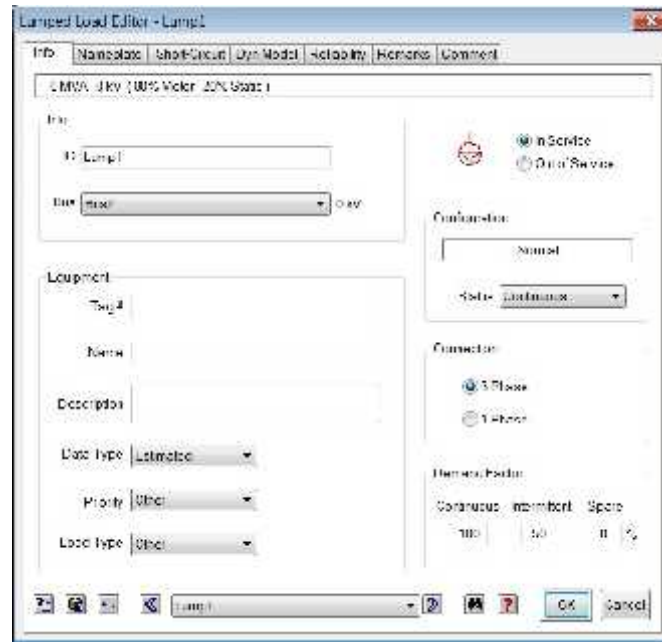
1. Membuat master setting untuk setiap ukuran penampang SUTM yang ada
2. Mengisi ID
3. Mengisi panjang jaringan atau Length dalam kms
4. Memilih konfigurasi “Horizontal” dan isi Spacing antar konduktor.



Gambar 2.12 *Transmission line editor* pada program *Etap 7.5.0*.

5. Mengklik Characteristics dan isi jumlah konduktor per Phasa (1), Tipe material, Resistansi, GMR dan Diameter.
6. Grounding tidak diisi, karena di SUTM tidak ada ground wire.
7. Mengisi impedansi untuk arus urutan positif dan urutan nol

3. (Load) Beban



Gambar 2.13 Lumped load editor pada program Etap 7.5.0.

Pada Etap 7.5.0 Beban terbagi 3 bagian, yaitu sebagai berikut :

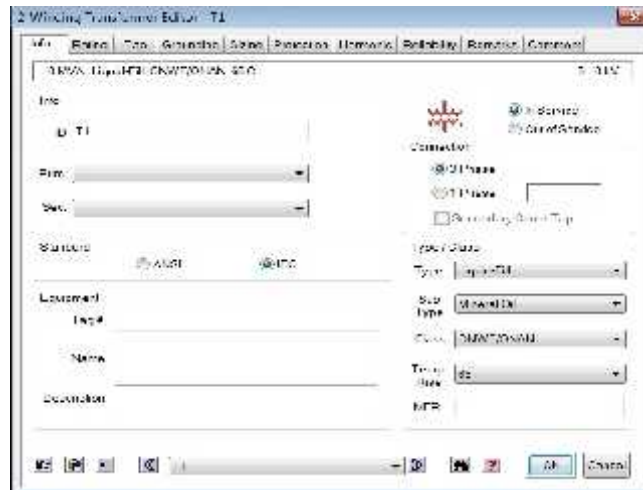
1. Beban Static / Impedance Constant (selain motor)
2. Beban Motor / Power Constant (motor)
3. Beban Lumped / kombinasi beban static & motor Pada simulasi sistem distribusi Tegangan Menengah, beban berupa trafo distribusi atau outgoing feeder, dimana pada keduanya ada porsi beban static dan porsi beban motor.

Langkah-langkah memasukkan data Load atau beban pada Etap 7.5.0.

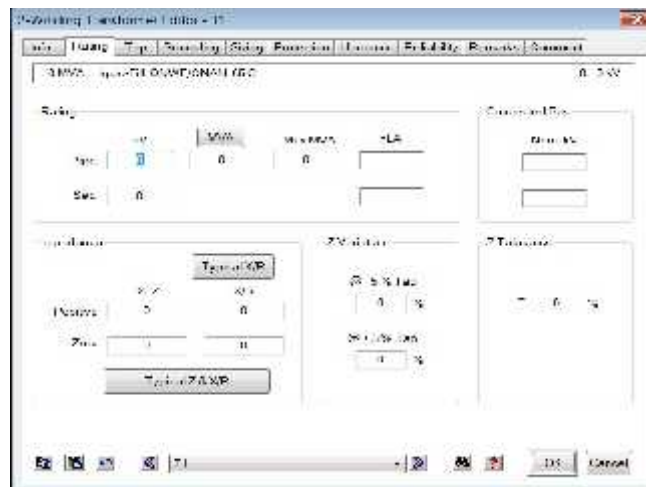
1. Mengisi ID
2. Memilih satuan kVA, isi kVA beban dan persen PF (cos phi).
3. Mengeset bar persentase komposisi beban static dan motor.
4. Short-circuit – default Etap 7.5.0., kecuali rubah koneksi ke Y dan tipe pentanahan Solid.
5. Reliability – default Etap 7.5.0

4. Transformator

Trafo pada simulasi jaringan distribusi biasanya untuk Trafo Pembangkit dan berupa 2-Winding Transformer.



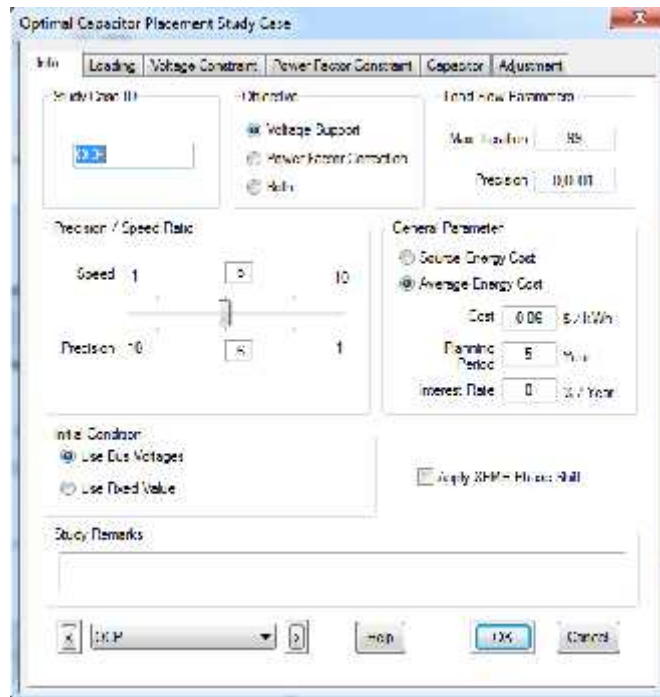
Gambar 2.14.2-winding trasformer editor pada program *Etap 7.5.0*.



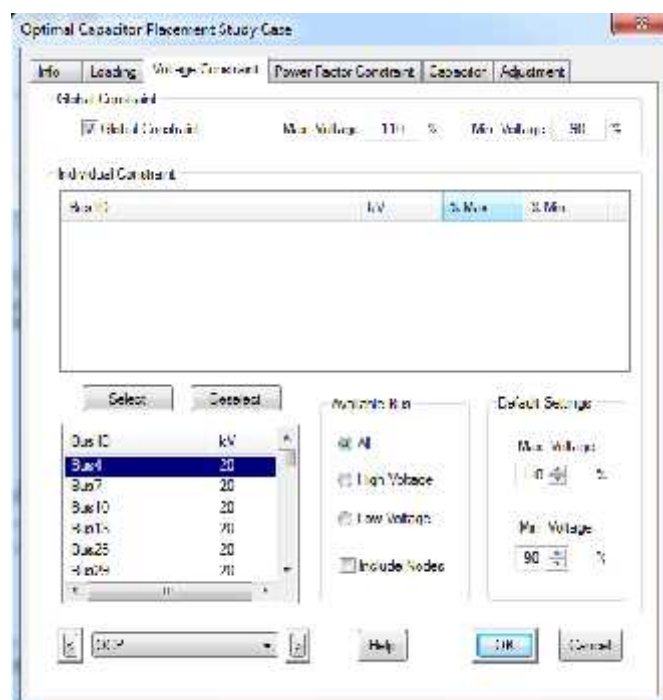
Gambar 2.15. 2-winding trasformer editor di bagian rating pada program *Etap 7.5.0*.

2.9.2. Penempatan optimal kapasitor dengan *Optimal Kapasitor Placement Program* pada *Etap 7.5.0*.

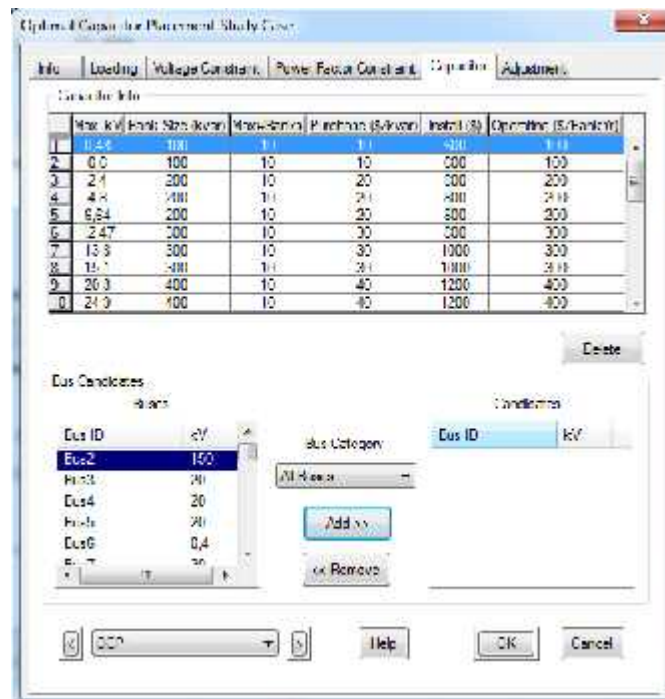
Optimal kapasitor placement pada *Etap* mempunyai tiga fungsi objektif yaitu berdasarkan dukungan tegangan, faktor daya, dan gabungan keduanya. Dalam penelitian ini penulis akan meneliti penempatan optimal kapasitor berdasarkan dukungan tegangan dengan pengaturan batasan tegangan mengikuti pengaturan standar *Etap 7.5.0* yaitu batas minimal 90% dan maksimal 110%. Pada gambar 2.16, 2.17 dan 2.18 adalah antarmuka pengaturan studi kasus penempatan kapasitor optimal.



Gambar 2.16. Antarmuka pengaturan studi kasus penempatan optimal kapasitor pada program *Etap 7.5.0*.



Gambar 2.17. Antarmuka pengaturan studi kasus penempatan optimal kapasitor pada bagian batas tegangan program *Etap 7.5.0*.



Gambar 2.18. Antarmuka pengaturan studi kasus penempatan optimal kapasitor pada bagian kapasitor untuk kandidat bus di program *Etap 7.5.0*.