

Penempatan Optimal Kapasitor Bank pada Jaringan Distribusi 20 kV menggunakan ETAP 7.5.0

Liliana¹, Putra Abidin²

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi UIN Suska Riau

e-mail: lili_fst@yahoo.co.id

Abstrak

Pada jaringan distribusi, jatuh tegangan dan rugi-rugi daya dapat diakibatkan oleh tingginya beban induktif. Kompensasi daya reaktif diperlukan dalam mengurangi rugi-rugi daya dan penurunan tegangan. Pemasangan kapasitor bank bersifat kapasitif pada jaringan penting dilakukan untuk mengurangi beban induktif sebagai penyumbang daya reaktif. Agar rugi-rugi bisa diminimalisir dengan maksimal, pemilihan tempat pemasangan kapasitor dilakukan secara optimal dengan menggunakan bantuan perangkat software Etap 7.5.0. Berdasarkan hasil simulasi setelah ditematkannya kapasitor dengan optimal didapatkan tegangan pada sistem dapat dijaga sesuai batas ($V_{min}=95\%$ dan $V_{maks}=105\%$) sedangkan rugi-rugi daya nyata berkurang 8,664% dan rugi-rugi daya reaktif berkurang 17,628%.

Kata Kunci —Jatuh tegangan, rugi-rugi daya, kapasitor bank, Etap 7.5.0, Kompensasi Daya Reaktif

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Sistem jaringan listrik yang terdiri dari pusat-pusat pembangkit melalui jaringan transmisi dan jaringan distribusi sehingga sampai ke konsumen. Dikarenakan pusat beban sangat jauh dari pusat pembangkitan tenaga listrik, maka dibutuhkan penyaluran daya listrik dengan kualitas tegangan dan faktor kerjanya tetap berada pada level yang diinginkan.

Dalam sistem distribusi permasalahan tegangan muncul karena konsumen memakai peralatan dengan tegangan yang besarnya sudah ditentukan oleh manufaktur. Jika tegangan sistem terlalu tinggi atau rendah yang melawati batas-batas toleransi maka akan mengganggu. Beban sistem bervariasi dan besarnya berubah-ubah sepanjang waktu. Bila beban meningkat maka tegangan diujung penerimaan menurun dan sebaliknya bila beban berkurang maka tegangan diujung penerimaan meningkat. Faktor lain yang ikut mempengaruhi perubahan tegangan sistem adalah rugi daya yang disebabkan oleh adanya impedansi seri penghantar saluran, rugi daya ini menyebabkan jatuh tegangan [1]. Oleh karena itu, konsumen yang letaknya jauh dari titik pelayanan akan cenderung menerima tegangan relatif lebih rendah, bila dibandingkan dengan tegangan yang diterima konsumen yang letaknya dekat dengan pusat pelayanan. Perubahan tegangan pada dasarnya disebabkan oleh adanya hubungan antara tegangan dan daya reaktif. Jatuh tegangan dalam penghantar sebanding dengan daya reaktif yang mengalir dalam penghantar tersebut [1]. Berdasarkan hubungan ini maka tegangan dapat diperbaiki dengan mengatur aliran daya reaktif. Daya reaktif yang tinggi mengakibatkan faktor daya akan menjadi lebih rendah. Faktor daya selalu lebih kecil atau sama dengan satu. Secara teoritis, jika seluruh beban daya yang dipasok oleh perusahaan listrik memiliki faktor daya satu, maka daya maksimum yang ditransfer setara dengan kapasitas sistem pendistribusian[1]. Sehingga, dengan beban yang terinduksi dan jika faktor daya berkisar dari 0,2 hingga 0,5, maka kapasitas jaringan distribusi listrik menjadi tertekan [1]. Jadi, daya reaktif (VAR) harus serendah mungkin untuk keluaran kW yang sama dalam meminimalkan kebutuhan daya total (VA).

Alternatif yang dapat dilakukan adalah dengan memasang kapasitor bank, dimana kapasitor bank berguna sebagai sumber daya reaktif tambahan untuk mengkompensasi daya reaktif induktif akibat adanya beban yang sifatnya induktif. Pemasangan kapasitor bank ini diharapkan akan dapat menurunkan rugi-rugi yang berarti ada penghematan energi listrik, peningkatan kualitas tegangan dan kualitas daya (power quality), serta penurunan arus listrik yang mengalir pada beban sehingga dapat menambah beban tanpa perlu menambah atau membangun saluran yang baru.

Dalam penelitian ini analisis aliran daya menggunakan metode Newton- Raphson yang memiliki perhitungan lebih baik untuk sistem tenaga yang besar karena lebih efisien dan praktis. Jumlah iterasi yang dibutuhkan untuk memperoleh pemecahan ditentukan berdasarkan ukuran sistem. Untuk penempatan optimal kapasitor bank digunakan metode Algoritma Genetika yang telah tersemat didalam Etap 7.5.0 karena Algoritma Genetika telah banyak digunakan untuk solusi optimasi.

1.2 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui rating kapasitor bank (kvar) dan letak penempatan optimal kapasitor bank pada sistem distribusi 20 kV di PT. PLN (Persero) Rayon Bangkinang Wilayah Salo.
2. Mengetahui nilai beban dan rugi-rugi daya setelah penempatan kapasitor bank.
3. Mengetahui kualitas tegangan setelah penempatan kapasitor bank pada sistem distribusi 20 kV di PT. PLN (Persero) Rayon Bangkinang.

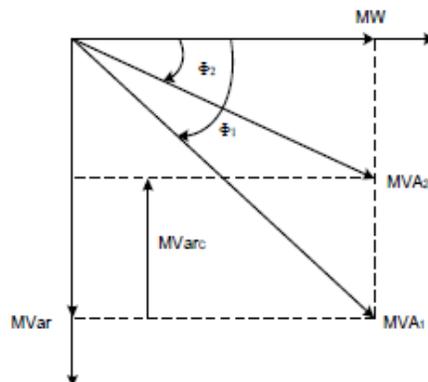
1.3. Dasar Teori

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 pada SUTM berdasarkan SPLN 72 .1987 adalah 5 % dari tegangan kerja pada sistem radial di atasi tanah dan sistem simpul.

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. Untuk memperoleh hasil yang optimal, kekurangan daya reaktif yang dibutuhkan oleh beban sedapat mungkin dipenuhi oleh kapasitor paralel yang dipasang seperti ditunjukkan pada Gambar 1



Gambar 1. Perbandingan Besar Daya Semu Sebelum dan Sesudah Pemasangan Kapasitor Paralel[11].

Gambar.1.1. merupakan vektor diagram sebelum dan sesudah pemasangan yang dinyatakan dengan Persamaan sebagai berikut:

$$MVA1 = MW - jMVAR \quad (1.1)$$

$$MVA2 = MW - jMVAR - jMVARC \quad (1.2)$$

$$\begin{aligned} \Delta MVA &= MVA2 - MVA1 \\ &= jMVARc \end{aligned} \quad (1.3)$$

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

$$S = P \pm j \quad (1.4)$$

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

$$P_{loss} = \sum_{i=1}^{n_{br}} |I_i|^2 \cdot \quad (1.5)$$

$$Q_{loss} = \sum_{i=1}^{n_{br}} |I_i|^2 \cdot \quad (1.6)$$

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.

Metode yang digunakan untuk analisis aliran daya adalah metode Newton – Rapshon[9].

Persamaan aliran daya:

Daya aktif di bus i adalah :

$$P_i = \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \epsilon) \quad (1.10)$$

Daya reaktif di bus i adalah :

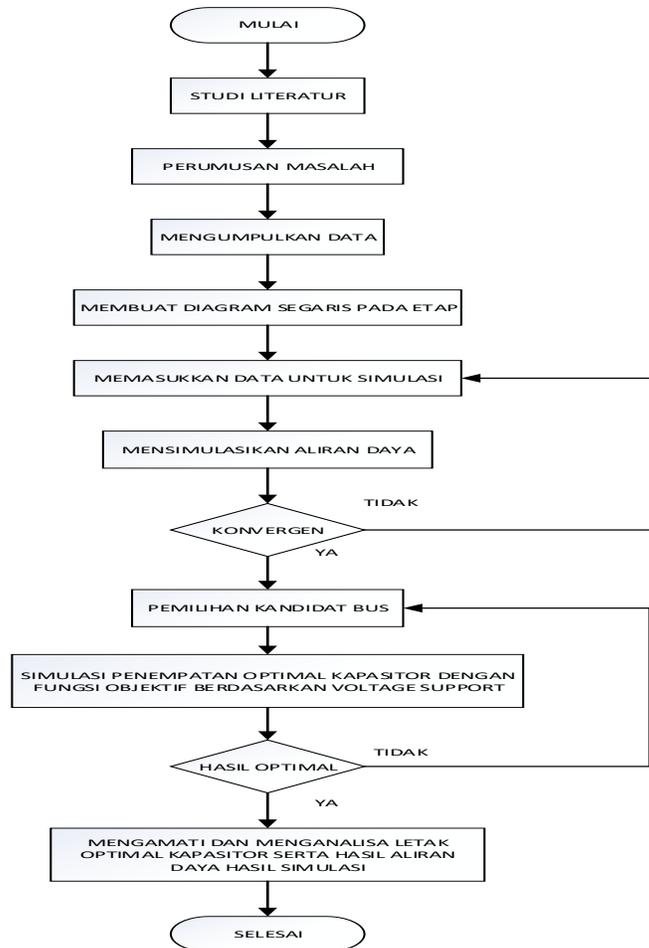
$$Q_i = - \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_j + \epsilon) \quad (1.11)$$

Penempatan optimal kapasitor dengan Optimal Kapasitor Placement Program pada Etap 7.5.0

Etap (Electric Transient and Analysis Program) merupakan suatu perangkat lunak yang mendukung sistem tenaga listrik. diantara banyak kemampuan Etap adalah mencari aliran daya dan mencari penempatan optimal kapasitor pada jaringan distribusi. 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 Etap7.5.0 yaitu batas minimal 90% dan maksimal 110%

2. Metodologi Penelitian

2.1.Tahapan penelitian

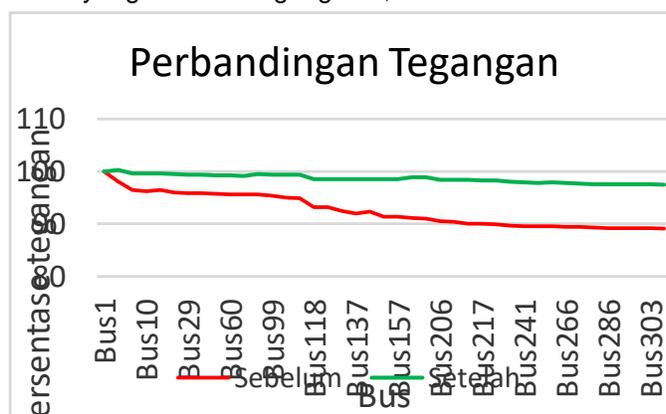


Gambar 2. Flowchart Tahapan Penelitian

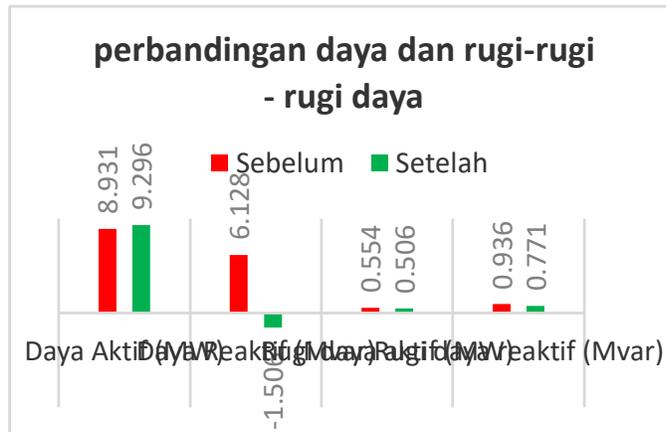
Sebagaimana diketahui membangkitkan daya reaktif pada pusat pembangkit tenaga dan menyalurkannya ke pusat beban yang jaraknya jauh, sangatlah tidak ekonomis. Hal ini dapat di atasi dengan meletakkan kapasitor pada pusat beban. Penyelesaian tugas akhir ini dengan pemodelan sistem distribusi 20 kV pada PT. PLN (persero) Rayon Bangkinang dengan software Etap 7.5.0. dengan tujuan untuk memperoleh hasil aliran daya untuk kondisi sebelum dan sesudah penempatan kapasitor bank. Analisa dilakukan terhadap nilai jatuh tegangan dan jumlah rugi – rugi daya yang diperoleh dari hasil simulasi dengan membandingkan sebelum dan sesudah penempatan kapasitor bank. Dari hasil perbandingan tersebut akan terlihat pengaruh penempatan kapasitor bank dalam jaringan distribusi.

3. Hasil dan Analisa

Hasil penelitian ini berupa hasil eksekusi program Etap 7.5.0. Studi kasus dilakukan pada sistem distribusi 20kV Rayon Bangkinang Wilayah Salo. Sistem distribusi ini dimulai dari gardu induk bangkinang sebagai Power Grid dengan kapasitas 35 MVA dan tegangan 150 kV. Tegangan ini beroperasi 100 % yang menyuplai daya ke 216 bus beban dan mengalir 128 kabel. Dari 216 bus beban terdapat 176 node bus yang memiliki tegangan 0,4 kV dan 20 kV.



Gambar 3. Grafik Perbandingan Tegangan sebelum dan setelah penempatan kapasitor bank



Gambar 4. Grafik perbandingan daya dan rugi-rugi daya sebelum dan setelah penempatan kapasitor bank

Tabel 1 Perbandingan daya dan rugi-rugi daya total sebelum setelah penempatan kapasitor bank

Daya Dan Rugi- Rugi Daya	Sebelum	Setelah
Daya Aktif (MW)	8,931	9,296
Daya Reaktif (Mvar)	6,128	-1,506
Rugi daya aktif (MW)	0,554	0,506
Rugi daya reaktif (Mvar)	0,936	0,771

Setelah dilakukan analisis aliran daya sebelum dan setelah penempatan kapasitor bank maka untuk mengetahui bagaimana perbedaan kondisi tegangan, daya aktif dan daya reaktif maka digambarkan dengan grafik perbandingan keadaan sistem sebelum dan setelah penempatan kapasitor bank. Untuk perbandingan tegangan dapat dilihat pada gambar 3 yang menggambarkan peningkatan tegangan setelah penempatan kapasitor bank sehingga tidak ada lagi bus yang mempunyai tegangan dibawah 95%. Berdasarkan tabel 1 perbandingan tegangan sebelum dan setelah penempatan kapasitor bank maka didapatkan peningkatan tegangan rata-rata sebesar 6,264 %. **sedangkan rugi-rugi daya nyata berkurang 8,664% dan rugi-rugi daya reaktif berkurang 17,628%.**

4. Kesimpulan

1. Penempatan kapasitor dengan optimal telah berhasil meningkatkan jumlah daya aktif 8,931 MW menjadi 9,296 MW atau bertambah 4,087%, jumlah daya reaktif pada beban, awalnya 6,128 Mvar menjadi -1,506 Mvar atau berkurang 124,575 %. Sedangkan Rugi - rugi daya aktif berkurang 8,664% atau 0,048 MW yaitu dari 0,554 MW menjadi 0,506 MW dan Rugi rugi daya reaktif berkurang 17,628% atau 0,165 MW yaitu dari 0,936 MW menjadi 0,771 MW.

2. Seluruh bus yang bukan termasuk node bus beroperasi pada tegangan yang tidak melewati batas toleransi yaitu $\pm 5\%$ dengan rata-rata peningkatan tegangan sebanyak 6,264 % berkat injeksi daya reaktif sebesar 7900 kvar.

Referensi

- [1] Tarsin Saragih," Analisis Penempatan Optimal Bank Kapasitor Pada Sistem Distribusi Radial Dengan Metode Genetik Algorithm Aplikasi : PT. PLN (Persero) Cabang Medan", Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara, Medan 2011.
- [2] Farel," Study Perbaikan Faktor Daya Pada Sistem Radial 20 kV Analisis Menggunakan Etap", Program Pendidikan Sarjana Ekstensi Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara, Medan 2010.
- [3] Setia Sianipar," Analisis Jatuh Tegangan Dan Rugi-Rugi Pada Penyulang Dengan Menggunakan Etap", Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara, Medan 2011.
- [4] A. Tanjung," Analisis Penentuan Peletakan Kapasitor Optimum Untuk Memperbaiki Jatuh Tegangan Dan Meminimalkan Rugi-Rugi Daya Pada Sistem Distribusi Menggunakan Program Electric Transient Analysis Program" Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lancang Kuning,2010.
- [5] Zuhail, "Desain Sistem Tenaga Listrik dan Elektronika Daya " ,Jakarta : Gramedia 1988.
- [6] Unggul Dzackiy K, B Winardi," Simulasi Aliran Daya Pada Penyulang 2 Gardu Induk Rawalo Dengan Menggunakan Software Etap", Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro. Semarang, November 2011.
- [7] B. Mulyoso,"optimalisasi daya reaktif untuk memperbaiki tegangan pada sistem tenaga listrik dengan menggunakan program PSSE versi 31.0.0(aplikasi PT PLN (persero) UPB SUMBAGUT)"Departemen Teknik Elektro Program Pendidikan Sarjana Ekstensi Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara Medan,2010
- [8] H. D. Laksono," Optimasi Penempatan Kapasitor Pada Sistem Tenaga Listrik Dengan Menggunakan Algoritma Genetik (Studi Kasus Sistem PT. PLN Sumbar-Riau)", Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Andalas, No.34 Vol.1 Thn.XVII November 2010.
- [9] C. Cekdin." Sistem Tenaga Listrik Contoh Soal Dan Penyelesaiannya Menggunakan Matlab", Ed 1.Yogyakarta : Andi 2006.
- [10]Suyanto,"Artificial Intelligence Searching,Reasoning,Planing dan learning",Bandung: Informatika 2011.
- [11] I. Robandi,"Desain Sistem Tenaga Modern,Optimasi,Logika fuzzy, dan Algoritma Genetika"Ed.1 Yogyakarta : Andi 2005.
- [12] H. Alamajibuwono, Tedjo Sukmadi, Susatyo Handoko," optimasi penempatan kapasitor menggunakan algoritma genetika pada sistem distribusi untuk memperbaiki faktor daya dan tegangan", Makalah Seminar Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro, Semarang, Oktober 2011.
- [13]Operation Technology, Inc. "Optimal Capacitor Placement", [Online]. Tersedia: <http://etap.com/downloads/factsheets/optimal-capacitor-placement.pdf> [Diakses: 25 November 2013].