ANALISIS PERHITUNGAN KAPASITAS DAN LOKASI KAPASITOR UNTUK MENDAPATKAN RUGI DAYA MINIMUM PADA SALURAN DISTRIBUSI 20 KV PENYULANG CEKO GARDU INDUK PANGKALPINANG

Syahrianto , Asmar , dan Rudy Kurniawan

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Bangka Belitung
Balunijuk, Kabupaten Bangka, Provinsi Kepulauan Bangka Belitung, 33172

E-mail : antohaqi@gmail.com

ABSTRAK

Dalam penyaluran energi listrik ada beberapa masalah yang dihadapi antara lain jatuh tegangan, faktor daya yang rendah dan rugi–rugi daya. Beban pada jaringan distribusi bisa berupa beban kapasitif maupun pada umumnya merupakan beban induktif. Apabila beban reaktif induktif semakin tinggi maka akan berakibat memperbesar jatuh tegangan, memperbesar rugi–rugi daya, menurunkan kapasitas penyaluran daya. Salah satu cara untuk menurunkan rugi daya pada saluran distribusi yang disebabkan beban reaktif adalah dengan menambahkan kapasitor pada saluran. Tugas akhir ini bertujuan untuk menentukan kapasitas dan lokasi kapasitor paralel dengan menggunakan perhitungan arus reaktif yang dilakukan pada Penyulang Ceko Gardu Induk Pangkalpinang dengan menggunakan simulasi ETAP 12.6.0. Salah satu cara untuk menurunkan rugi daya pada saluran distribusi yang disebabkan beban reaktif adalah dengan menambahkan kapasitor pada saluran. Penambahan kapasitor pada Penyulang Ceko dapat menurunkan daya yang disalurkan, dengan penambahan kapasitas kapasitor sesuai hasil perhitungan maka beban aktif yang dapat diredam sebesar 704 kW, sedangkan beban reaktif yang diredam sebesar 4.717 kVAr.

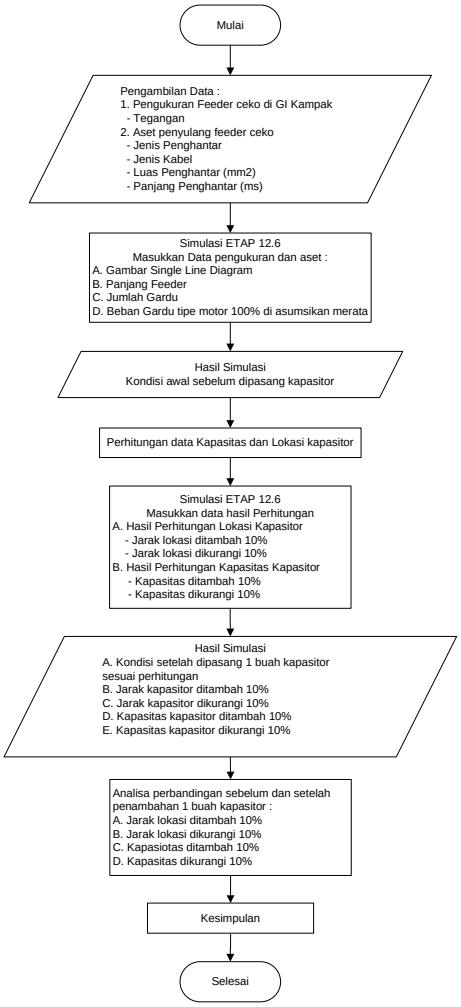
Kata kunci : gardu induk pangkalpinang, kapasitor, penyulang ceko, rugi daya.

PENDAHULUAN

Peningkatan pertumbuhan perekonomian akan meningkatkan pertumbuhan pelanggan PT. PLN (Persero) yang artinya akan terjadi penambahan beban listrik. Dalam memenuhi kebutuhan tenaga listrik PT. PLN (Persero) terus menambah pembangkit-pembangkit dan peralatan-peralatan pendukung. Suatu sistem tenaga listrik yang baik harus memiliki nilai tegangan yang tidak melebihi batas toleransi serta rugi-rugi daya yang kecil. Batas toleransi yang diperbolehkan untuk suatu nilai tegangan + 10%, -5% dari nilai nominalnya. Akibat dari pemasangan kapasitor tersebut arus yang mengalir pada penghantar menjadi kecil sehingga mengurangi rugi-rugi daya dan jatuh tegangan pada penyulang. Berdasarkan paparan tersebut maka akan dibuat penelitian "Analisis Perhitungan kapasitas dan lokasi kapasitor untuk mendapatkan rugi daya paling minimum pada saluran distribusi 20 kV Penyulang Ceko Gardu Induk Pangkalpinang.

METODE PENELITIAN

Metode pelaksanaan yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah dengan menyusun kegiatan-kegiatan yang dilakukan ke dalam bentuk *flowchart* yang nantinya digunakan sebagai pedoman dalam menentukan tindakan, dengan tujuan agar tindakan yang dilakukan lebih terarah dan terkontrol sehingga tidak terjadi penyimpangan dari target-target yang diharapkan. *Flowchart* tahapan-tahapan kegiatan pada penelitian ini, dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Langkah penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengumpulan Data

Sebelum melakukan perhitungan dan analisa data, terlebih dahulu kita harus mengetahui data-data yang dibutuhkan dalam melakukan perhitungan dan analisa data.

Data Aset Penyulang Ceko

Pertama penulis melakukan pengumpulan data aset Penyulang Ceko Gardu Induk Pangkalpinang.

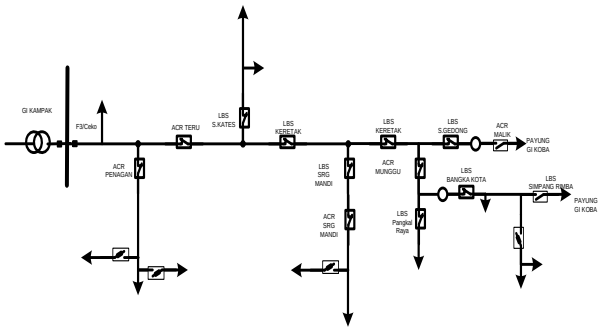
Tabel 1. Data aset Penyulang Ceko

Jenis Penghantar	Jenis Kabel	Luas Penghantar (mm2)	Panjang Penghantar (ms)
AL/XPLE	NA2XSEBY	240	0,421
AAAC	AAAC	150	182,040
AAAC	AAAC	70	30,163
AAAC	AAAC	35	9,826
Total Panjang Penghantar			222,450
Panjang Saluran Utama			85,491

Tabel diatas menunjukkan data aset Penyulang Ceko dari Gardu Induk Pangkalpinang sampai dengan desa Sebagin dan desa Malik yang terdiri dari saluran kabel tanah dan kabel udara.

Single line Diagram Penyulang Ceko

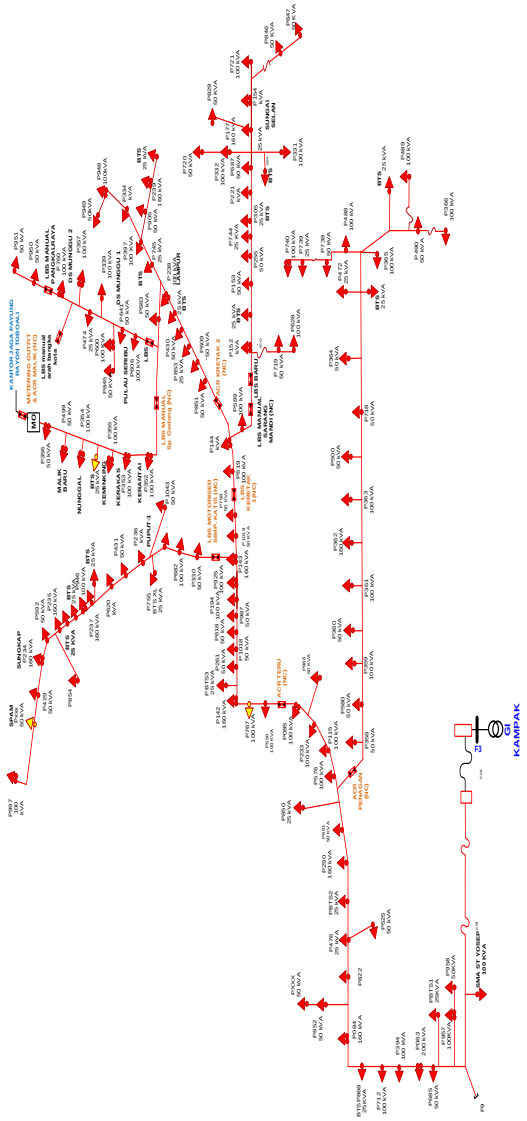
Setelah mengumpulkan data aset Penyulang Ceko tersebut selanjutnya membuat *Single line* Diagram atau disingkat SLD. SLD ini menggambarkan diagaram satu garis Penyulang Ceko dari Gardu Induk Pangkalpinang sampai dengan Desa Sebagin dan Desa Malik berikut peralatan pemutus dan penghubung serta pengukuran yang ada pada jaringan pada Penyulang Ceko tersebut.



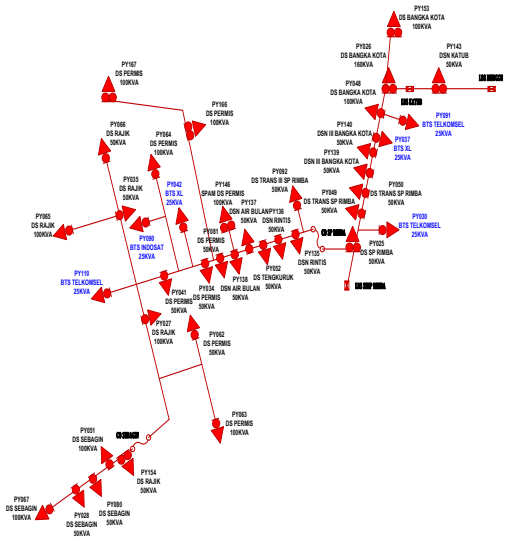
Gambar 2. *Single line* Diagram Penyulang Ceko

Dari Gambar 2 dapat dilihat Penyulang Ceko merupakan salah satu penyulang keluaran Gardu Induk Pangkalpinang, Dengan konfigurasi jaringan radial yang menyuplai daya untuk gardu Pangkalpinang dan gardu Payung Toboali, sampai dengan desa Malik, desa Pangkalraya dan desa Sebagin, dengan titik transaksi pengukuran antar rayon pada metering outfit Munggu dan Sebagin.

Single line Gardu



Gambar 3. *Single line* gardu Penyulang Ceko Rayon Pangkalpinang



Gambar 4. *Single line* Diagram Gardu Penyulang Ceko Rayon Payung Toboali

Pada Gambar 4 merupakan *single line* gardu Penyulang Ceko untuk area kerja Rayon Pangkalpinang sampai dengan desa Munggu dan Malik sejumlah 134 gardu, sedangkan pada Gambar 4.3 gardu

No.	Uraian	Hasil Simulasi			
		MW	Mvar	MVA	% PF
1	Daya Sumber	8,271	6,682	10,633	77,78 Lagging
2	Total Beban	6,435	4,826	8,043	80,00 Lagging
3	Rugi Daya Total	1,836	1,856		

yang disuplai dari Penyulang Ceko untuk area kerja Rayon Toboali khususnya service point Payung dari desa Katub sampai dengan desa Sebagin dengan jumlah 39 gardu.

Data Pengukuran Tegangan

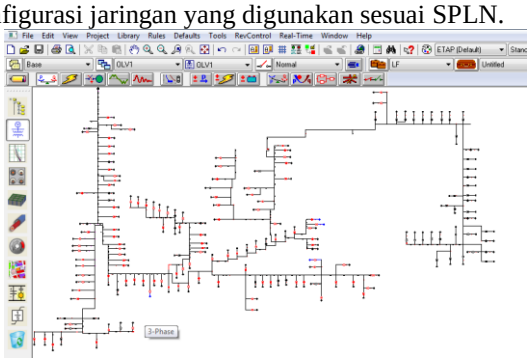
Pengambilan data tegangan di Gardu Induk Pangkalpinang ini dengan melakukan pengukuran kwh meter sehingga tegangan yang terbaca adalah tegangan sekunder. Data ini digunakan untuk mensimulasikan memberikan tegangan kirim yang serupa pada simulasi ETAP.

Tabel 2. Tegangan sumber Penyulang Ceko

Tegangan Phasa (Volt)		
R	S	T
59,74688	60,06563	59,51875
Rasio VT (20000/100)√3		
20672,42	20782,71	20593,49

Kondisi Awal Data Simulasi ETAP 12.6.0

Setelah mendapatkan data, selanjutnya mensimulasikan dengan cara membuat *single line* pada aplikasi ETAP 12.6 dan memasukkan data sesuai data aset. Beban trafo distribusi disepanjang saluran pada kondisi beban terbaik yaitu 80% dari kapasitas trafo terpasang, pengaturan tap trafo pada posisi tetap dengan pengaturan tegangan primer 20kV dan sekunder 0,4 kV. Tipe beban trafo digunakan 100% motor. Untuk parameter kabel dan saluran serta konfigurasi jaringan yang digunakan sesuai SPLN.



Gambar 5. *Single line* Diagram Gardu pada ETAP 12.6

Pada Gambar 5 diatas merupakan tampilan simulasi ETAP 12.6 dari Penyulang Ceko Gardu Induk Pangkalpinang sampai desa Sebagin dan desa Malik. Dengan memasukkan data aset, pengukuran, kapasitas dan lokasi kapasitor secara benar, selanjutnya menjalankan simulasi tersebut sehingga didapatkan hasil simulasi guna melakukan langkah analisa selanjutnya.

Pada hasil simulasi dapat terlihat bahwa daya reaktif saluran sangat besar. Dengan nilai tersebut sehingga menyebabkan rugi daya yang diakibatkan beban reaktif sepanjang saluran cukup besar. Rugi daya yang diakibatkan oleh beban reaktif sebesar 1836,2 kW. Jika dibandingkan dengan daya aktif pada sisi sumber maka persentase rugi daya sepanjang saluran adalah sebesar 22%.

Tabel 4. Hasil Simulasi Tegangan Ujung di Desa Sebagin

No.	Uraian	Tegangan (KV)
1	Tegangan Kirim GI Pangkalpinang	20,60
2	Tegangan Ujung Desa Sebagin	13,123

Timbulnya rugi daya yang disebabkan beban reaktif sepanjang saluran maka akan mempengaruhi tegangan ujung pada saluran tersebut yang akan mengalami jatuh tegangan sangat besar. Dapat dilihat pada Tabel 4 dengan tegangan kirim 20,6 kV, tegangan ujung yang diperoleh 13,123 kV. Dengan drop tegangan sebesar 7,477 kV.

Analisa Perhitungan dan Simulasi ETAP Menggunakan 1 Kapasitor

Setelah melakukan simulasi pada ETAP 12.6 pada Penyulang Ceko, dari hasil simulasi tersebut dapat dilakukan penurunan rugi daya yang minimum dengan melakukan simulasi kembali dengan menambahkan kapasitor *shunt* pada saluran utama tersebut. Sebelum menambahkan kapasitor pada saluran tersebut, harus dilakukan perhitungan-perhitungan sehingga didapatkan rugi daya yang minimum.

Perhitungan Kapasitas dan Lokasi Kapasitor

Sebelum melanjutkan simulasi menggunakan kapasitor terlebih dahulu melakukan perhitungan lokasi dan kapasitas kapasitor yang akan digunakan. Untuk mempermudah melakukan perhitungan tersebut dengan cara mengasumsikan beban merata sepanjang saluran.

Lokasi kapasitor dapat dihitung dengan cara sebagai berikut :

Diketahui : $I_1 = 299{,}3$ A

$I_2 = 0$ A

Didapatkan Nilai $\lambda = \frac{I_1}{I_2}$, $\lambda = \frac{0}{299{,}3}$, $\lambda = 0$ A

Dan $\alpha = \frac{1}{1+\lambda+\lambda^2}$, $\alpha = 1$

Panjang penghantar saluran utama = 85,491 km

Beban Reaktif saluran = 6.682 kVAr

Dari mengetahui nilai-nilai diatas maka dapat dihitung :

Kapasitas Kapasitor = 2/3 x 6.682 = 4.454 **kVAr**

Setelah melakukan perhitungan jarak pemasangan kapasitor, tahap selanjutnya menentukan jarak kapasitor yang akan dipasang.

Lokasi kapasitor = 2/3 x 85,491 km = 56,994 km.

Analisis Simulasi ETAP 12.6 Lokasi Kapasitor Dipasang pada Jarak Sesuai Hasil Perhitungan.

Pada analisa pertama menggunakan perhitungan lokasi kapasitor yaitu pada jarak 56,994 km, dapat diketahui perubahan daya, tegangan dan rugi daya pada saluran.

Tabel 5. Hasil simulasi setelah dipasang kapasitor pada jarak 56,994 Km

No.	Uraian	Hasil Simulasi			
		MW	Mvar	MVA	% PF
1	Daya Sumber	7,567	1,965	7,817	96,79 Lagging
2	Total Beban	6,435	4,826	8,043	80,00 Lagging
3	Rugi Daya Total	1,132	0,971		

Setelah dilakukan pemasangan kapasitor dengan jarak dan kapasitas sesuai hasil perhitungan, maka dari Tabel 5 diatas nilai daya aktif menurun bila dibandigkan dengan sebelum dipasang kapasitor, penurunan paling dominan pada beban reaktif. Faktor daya dapat dilihat ikut mengalami peningkatan.

Selain penurunan daya sumber, maka rugi daya sepanjang saluran akan ikut turun menjadi 1.132 kW. Penurunan rugi daya paling dominan sama halnya pada daya sumber yaitu daya reaktifnya.

Pada simulasi ini dapat dianalisakan tegangan ujung pada saluran Penyulang Ceko dengan penambahan kapasitor mengalami kenaikan signifikan dari 13,123 kV menjadi 17,537 kV dan mengalami kenaikan 4,414 kV. Dari nilai tegangan tersebut bahwa kapasitor sangat berpengaruh pada tegangan disaluran.

Analisis Simulasi ETAP 12.6 Lokasi Kapasitor Dipasang Pada Jarak Ditambahkan (+) 10% dari Lokasi Awal.

Analisis percobaan selanjutnya dilakukan dengan meletakkan lokasi kapasitor pada jarak ditambahkan (+)10% dari hasil perhitungan awal, lokasi kapasitor yakni pada jarak 62,693 Km.

Tabel 6. Hasil simulasi dengan jarak lokasi kapasitor ditambah 10%

No.	Uraian	Hasil Simulasi			
		MW	Mvar	MVA	% PF
	Daya Sumber	7,601	1,952	7,848	96,86 Laggi ng
	Total Beban	6,435	4,826	8,043	80,00 Laggi ng
	Rugi Daya Total	1,166	1,010		

Tabel 6 diatas menampilkan hasil simulasi pada sisi sumber Penyulang Ceko, dapat dilihat daya aktif sebesar 7.601 kW, daya reaktif 1.952 kVAr, daya semu 7.848 kVA dan faktor daya 96,86 lagging.

Setelah mendapatkan hasil simulasi pada sisi sumber selanjutnya hasil simulasi rugi daya saluran Penyulang Ceko yaitu rugi daya aktif 1166,1 kW dan daya reaktif sebesar 1010,0 kVAr.

Pengaruh pemasangan kapasitor selain berdampak terhadap rugi daya, juga akan mempengaruhi tegangan ujung pada saluran. Tegangan ujung hasil simulasi lokasi kapasitor ditambah 10% dari lokasi awal perhitungan adalah 17,814 kV.

Analisis Simulasi ETAP 12.6 Lokasi Kapasitor Dipasang Pada Jarak Dikurangkan (-) 10% dari Lokasi Awal

Setelah melakukan percobaan analisis dengan menambahkan jarak 10% pada lokasi kapasitor, selanjutnya dilakukan percobaan dengan mengurangi jarak lokasi kapasitor sebesar 10% juga. Ini bermaksud agar dapat mengetahui pada lokasi mana yang terbaik untuk mendapatkan rugi daya paling minimum, karena simulasi ini menggunakan asumsi beban merata.

Tabel 7. Hasil simulasi dengan jarak lokasi kapasitor dikurangi 10%

No.	Uraian	Hasil Simulasi			
		MW	Mvar	MVA	% PF
1	Daya Sumber	7,533	1,980	7,789	96,71 Lagging
2	Total Beban	6,435	4,826	8,043	80,00 Lagging
3	Rugi DayaTotal	1,098	0,934		

Tabel 7 menunjukkan hasil simulasi pada sisi sumber setelah jarak lokasi kapasitor dikurangi 10% sehingga jarak kapasitor dipasang pada 51,294 km. Dari hasil simulasi didapatkan daya aktif 7.533 kW, daya reaktif 1.980 kVAr dan daya semu 7.789 VA serta faktor daya 96,71 lagging.

Selanjutnya dari hasil simulasi didapatkan rugi daya sepanjang saluran pada daya aktif 1098,4 kW dan daya reaktif 933,5 kVAr.

Hasil simulasi tegangan ujung saluran Penyulang Ceko setelah lokasi jarak kapasitor dikurangi 10%. Tegangan ujung pada saluran adalah 17,236 kV.

Analisis Simulasi ETAP 12.6 Kapasitas Kapasitor Ditambahkan (+) 10% dari Kapasitas Awal.

Selain melakukan simulasi dengan menambahkan dan mengurangi jarak lokasi kapasitor adapun cara lain dengan mencoba mensimulasikan kapasitas kapasitor sehingga didapatkan rugi daya paling minimun. Kapasitas kapasitor setelah ditambah (+) 10% sebesar 4899,4 kVAr

Tabel 8. Hasil simulasi dengan kapasitas kapasitor ditambah 10%

No.	Uraian	Hasil Simulasi				
		MW	Mvar	MVA	% PF	
1	Daya Sumber	7,609	1,427	7,742	98,29	Laggin g
2	Total Beban	6,435	4,826	8,043	80,00	Laggin g
3	Rugi Daya Total	1,174	1,012			

Penambahan kapasitas kapasitor sebesar 10% dari kapasitas awal akan memberikan pengaruh terhadap hasil simulasi yang ditunjukkan Tabel 4.8 pada sisi sumber dengan daya aktif 7.609 kW, daya reaktif 1.427 kVAr, daya semu 7.742 VA dan faktor daya 98,29 lagging.

Rugi daya total yang dihasilkan dari simulasi penambahan kapasitas kapasitor sebesar 10% pada daya aktif 1.174,4 kW, daya reaktif 1.011,8 kVAr. Sama seperti simulasi sebelumnya bila memperhatikan tegangan ujung pada saluran, penambahan kapasitas kapasitor sangat berpengaruh pada tegangan ujung saluran, tegangan ujung menjadi sebesar 17,958 kV.

Analisis Simulasi ETAP 12.6 Kapasitas Kapasitor Dikurangi (-) 10% dari Kapasitas Awal.

Setelah melakukan simulasi dengan menambahkan kapasitas kapasitor dan didapatkan hasil simulasi dari percobaan tersebut, selanjutnya dilakukan percobaan simulasi dengan mengurangi nilai kapasitas kapasitor sebesar (-) 10% yaitu sebesar 4008,6 kVAr.

Tabel 9. Hasil simulasi dengan kapasitas kapasitor dikurangi 10%

No.	Uraian	Hasil Simulasi				
		MW	Mvar	MVA	% PF	
1	Daya umber	7,539	2,499	7,943	94,92	Lagging
2	Total eban	6,435	4,826	8,043	80,00	Lagging
3	Rugi aya otal	1,105	0,948			

Setelah melakukan pengurangan kapasitas kapasitor 10% dari nilai awal dari Tabel 4.9 dapat dilihat hasil simulasi daya reaktif 7.539 kW, daya reaktif 2.499 kVAr, daya semu 7.943 VA dan faktor daya 94,92 lagging.

Rugi daya yang diakibatkan dari pengurangan kapsitor dapat dilihat pada Tabel diatas, daya aktif 1.104,6 kW dan daya reaktif 948,5 kVAr.

Hasil simulasi tegangan ujung menurun bila dibandingkan dengan penambahan kapasitor, tegangan ujung hasil simulasi sebesar 16,998 kV. Yang dapat dilihat secara rinci pada lampiran F.

Hasil Perbandingan Sebelum dan Penambahan 1 Buah Kapasitor

Dari hasil perhitungan dan simulasi ETAP 12.6 pada penyulang Ceko dapat dilakukan perbandingan perubahan pada daya sumber, tegangan ujung dan rugi daya total saluran.

Tabel 10. Perbandingan hasil simulasi

Sumber Gardu Induk Pangkalpinang						
Uraian	Awal	Kapasitor	Jarak +10%	Jarak -10%	Kapasitas +10%	Kapasitas -10%
Daya Aktif (kW)	8.271	7.567	7.601	7.533	7.609	7.539
Daya Reaktif (kVAr)	6.682	1.965	1.952	1.980	1.427	2.499
Daya Semu (VA)	10.633	7.817	7.848	7.789	7.742	7.943
Faktor Daya (%)	77,78	96,79	96,86	96,71	98,29	94,92

Dari Tabel 10 dapat terlihat pengaruh penambahan kapasitor pada Penyulang Ceko dapat menurunkan daya yang disalurkan, dengan penambahan kapasitas kapasitor sesuai hasil perhitungan maka beban aktif yang dapat diredam sebesar 704 kW, sedangkan beban reaktif yang diredam sebesar 4.717 kVAr. Faktor daya yang dihasilkan meningkat dari awalnya 77,78 % menjadi 96,79 %, peningkatan sebesar 19,01 %.

Dengan menambahkan dan mengurangi jarak lokasi kapasitor ±10% beban aktif yang dihasilkan ±34 kW. Beban reaktif ketika jarak lokasi kapasitor ditambah 10% maka beban reaktif yang awalnya 1.965 kVAr menjadi 1.952 kVAr, penurunan sebesar 13 kVAr, sedangkan penambahan lokasi sebesar 10% beban reaktif menjadi 1.980 kVAr, peningkatan sebesar 15 kVAr.

Pada simulasi selanjutnya dengan menambahkan kapasitas kapasitor sebesar 10 % dari kapasitas awal, beban aktif mengalami kenaikan sebesar 42 kW. Sedangkan kapasitas dikurangi 10% beban aktif menurun sebesar 28 kW. Untuk beban reaktif dengan penambahan kapasitas 10% dihasilkan sebesar 1.427 kVAr dan pengurangan kapasitas 10% beban reaktif menjadi 2.499 kVAr.

Tabel 11. Penurunan rugi daya hasil simulasi

Rugi Daya (*losses*)						
Uraian	Awal	Kapasitor	Jarak +10%	Jarak -10%	Kapasitas +10%	Kapasitas -10%
Daya Reaktif (kW)	1.836,2	1.131,8	1.166,1	1.098,4	1.174,4	1.104,6
Daya Aktif (kVar)	1.856,3	971,1	1.010,0	933,5	1.011,8	948,5

Hasil utama dari simulasi ini adalah untuk mengetahui rugi daya paling minimum, dapat dilihat dari Tabel 11 rugi daya aktif yang paling minimun adalah dengan mengurangi jarak lokasi kapasitor sebesar 10%, yaitu rugi daya yang dihasilkan 1.098,4 kW. Begitupun juga dengan rugi daya reaktif yang paling minimum adalah 1.010,0 kVAr.

Tabel 12. Perbandingan tegangan ujung saluran

Tegangan						
Uraian	Awal	Kapasitor	Jarak +10%	Jarak -10%	Kapasitas +10%	Kapasitas -10%
Tegangan Ujung (kV)	13,123	17,537	17,814	17,236	17,958	16,998

Setelah mendapatkan rugi daya minimum, faktor lain yang harus diperhatikan adalah tegangan ujung pada saluran Penyulang Ceko, bila memperhatikan nilai Tabel12 diatas tegangan ujung yang dihasilkan paling besar pada kondisi kapasitas kapasitor ditambah 10% yaitu sebesar 17,958 kV.

KESIMPULAN

Berdasarkan perhitungan dan simulasi diatas, Dengan melakukan penambahan kapasitor dengan perhitungan kapasitas dan jarak lokasi dengan benar, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Untuk mendapatkan rugi daya yang paling minimun adalah dengan cara menempatkan lokasi kapasitor dengan mengurangi jarak sebesar 10% yaitu pada jarak 51,294 Km dengan rugi daya

aktif sebesar 1.098,4 kW dan daya reaktif 933,5 kVAr tanpa memperhatikan tegangan ujung.

2. Penurunan daya aktif salur pada sisi sumber paling dominan dipengaruhi oleh kondisi jarak kapasitor dikurangi 10% dari lokasi awal, yaitu pada jarak 51,294 Km.
3. Penurunan daya reaktif salur pada sisi sumber tidak sama seperti kondisi daya aktif, yaitu pada kondisi kapasitas kapasitor ditambah 10% sebesar 1.427 kVAr.

REFERENSI

Tobing, Bongas L. 2003. *Peralatan Tegangan Tinggi*. Erlangga, Jakarta.

Dugan, R. C., 1996. *Electrical Power System Quality*. The McGraw-Hill Companies, Inc., New York.

Farel. 2010. *Study Perbaikan Faktor Daya Pada Sistem Radial 20 Kv Analisis Menggunakan ETAP*, Departemen Teknik Elektro Universitas Sumatera Utara.

Grainger, J. J. and Lee, S. H., March 1981. *Optimum Size and Location of Shunt Capacitors for Reduction of Losses on Distribution Penyulangs.* IEEE Transactions on Power Ap-paratus and Systems , vol. PAS-100, no. 3, pp. 1005–18.

Gonen, Turan. 1986. *Electric Power Distribution System Engineering".* Mc Grawhill, New York.

ITM Capacitor.Co.,Ltd. 2012, *Low Voltage Capacitor for Power Factor Correction [Brochure]*. ITM Capacitor.Co.Ltd.

Marsudi, Djiteng. 2006. *Operasi Sistem Tenaga Listrik*. Graha Ilmu, Jakarta

Neagle, N. M., 1956. and Samson, D. R.. *Loss Reduction from Capacitors Installed on Primary Penyulangs.* AIEE Transactions, vol. 75, pp. 950–9, Part III, October.

Sianipar, Setia, 2011. *Analisis Jatuh Tegangan Dan Rugi-Rugi Pada Penyulang Dengan Menggunakan Etap*. Departemen Teknik Elektro Universitas Sumatera Utara.

Tampubolon, David, 2014. *Optimalisasi penggunaan kapasitor bank pada jaringan 20 kv dengan simulasi etap (studi kasus pada penyulang srikandi di pln rayon pangkalan balai, wilayah sumatera selatan).* Departemen Teknik Elektro Universitas Sumatera Utara.

T.A Short. 2004. *Electric Power Distribution Hand Book.* CRC Press LLC, USA

_____, 1992, *IEEE Standard for Shunt Power Capacitors.* IEEE Std.18.19