

PERBANDINGAN ANTARA KOMPENSASI DAYA REAKTIF TERPUSAT DENGAN KOMPENSASI DAYA REAKTIF TERDISTRIBUSI BAGI PERBAIKAN KESTABILAN TEGANGAN PADA SISTEM KELISTRIKAN SUMBAR – RIAU

Muhammad Nasir Sonni

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Andalas

ABSTRAK

Permasalahan kestabilan tegangan merupakan salah satu isu yang berkaitan erat dengan masalah penyediaan suplai daya reaktif pada suatu beban. Transfer daya reaktif tidak dapat dilakukan secara efektif melalui saluran transmisi. Salah satu cara dalam menanggulangi hal itu adalah dengan injeksi daya reaktif dengan pemasangan kapasitor shunt. Tujuan dari penelitian ini adalah membandingkan antara kompensasi terpusat dengan terdistribusi. Studi kasus pada penelitian ini dilakukan pada sistem kelistrikan Riau yang terdiri dari 5 busbar. Proses simulasi dilakukan dengan menggunakan software PSS/E v.30.3, luaran dari simulasi berupa kurva Q-V dan kurva P-V. Kedua kurva ini digunakan untuk menentukan bus terlemah pada sistem dan menentukan efek kompensasi. Dari hasil simulasi menunjukkan bahwa bus Bagan Batu memiliki margin kestabilan tegangan yang paling lemah. Pemasangan kapasitor secara terpusat (Lumped Compensation) lebih baik dibandingkan dengan kompensasi tersebar. Pemasangan kapasitor sebesar 15 MVAR pada bus Bagan Batu menunjukkan kenaikan kestabilan tegangan dengan menghasilkan transfer daya yang maksimum yaitu sebesar 63 MW.

Kata kunci : Kestabilan Tegangan, margin kestabilan, injeksi daya reaktif, titik kritis

1. Latar Belakang

Pada operasi dan perencanaan sistem tenaga, kestabilan tegangan menjadi salah satu isu utama karena hal ini sangat berkaitan erat dengan masalah keandalan dan keamanan sistem. Ketidakstabilan tegangan dapat memicu terjadinya keruntuhan tegangan (*Voltage Collapse*), yang berakibat pemadaman total (*Black Out*).

Fenomena kestabilan tegangan sistem terjadi jika besar tegangan pada tiap bus dalam sistem bertambah seiring meningkatnya injeksi daya reaktif pada bus yang sama, sedangkan ketidakstabilan tegangan sistem terjadi jika sekurang – kurangnya ada satu bus dalam sistem yang tegangannya berkurang sedangkan injeksi daya reaktifnya meningkat^[1]. Salah satu teknik untuk memperbaiki nilai tegangan adalah dengan kompensasi daya reaktif atau pemasangan kapasitor shunt. Pemasangan kapasitor shunt pada sistem kelistrikan yang besar mempertimbangkan beberapa aspek yang berhubungan dengan keandalan dan keamanan sistem. Salah satu aspek yang menjadi pertimbangan adalah jenis kompensasi yang akan dipakai.

Pemilihan jenis kompensasi yang dipakai disesuaikan dengan keadaan sistem kelistrikan, untuk daerah Riau sistem kelistrikannya terdiri dari lima bus beban dan dua bus pembangkit, masing – masing bus dihubungkan oleh saluran transmisi secara radial. Kompensasi dapat dilakukan secara terpusat atau tersebar, namun diantara kedua jenis kompensasi tersebut, terdapat salah satu jenis

kompensasi yang terbaik untuk memperbaiki kestabilan tegangan di daerah Riau.

2. Permasalahan dan Tujuan

Permasalahan dalam penelitian ini adalah menentukan jenis kompensasi daya reaktif baik dengan tipe terpusat maupun tersebar dan ukuran kapasitor shunt yang cocok untuk memperbaiki kestabilan tegangan pada daerah Riau.

Penelitian ini memiliki batasan masalah, yaitu aliran daya menggunakan metode Newton-Raphson dengan margin tegangan kritis sebesar 0,8 pu, kondisi sistem dianggap terbebani berat yakni sistem dibebani oleh beban dengan kapasitas yang besar dan penambahan kapasitor dilakukan pada kondisi statis, beban dianggap konstan.

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan jenis kompensasi daya reaktif antara kompensasi daya reaktif terpusat dengan tersebar yang dapat memperbaiki drop tegangan yang terjadi pada daerah Riau. Untuk mengetahui efek dari jenis kompensasi daya reaktif yang dilakukan terhadap kestabilan tegangan sistem. Manfaat penelitian ini adalah mengetahui alternatif jenis dan besar kompensasi daya reaktif yang dapat memperbaiki kestabilan tegangan di daerah Riau.

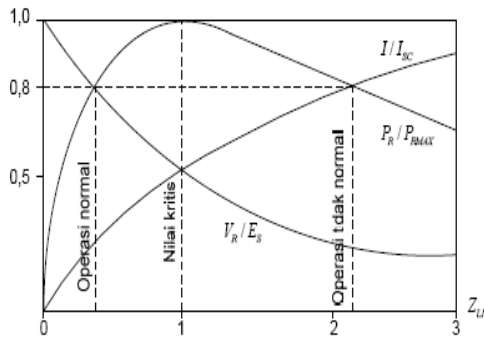
3. Dasar dan Metode

3.1 Stabilitas Tegangan

Kestabilan tegangan adalah kemampuan sistem tenaga untuk menjaga kondisi tegangan di setiap bus pada suatu nilai yang dapat diterima

dalam kondisi operasi normal dan setelah gangguan. Suatu sistem dikatakan mengalami kondisi tegangan yang tidak stabil ketika terjadi suatu gangguan, kenaikan beban atau perubahan kondisi sistem yang menyebabkan perubahan penurunan tegangan yang cepat dan tidak terkendali. Faktor utama yang menyebabkan ketidakstabilan adalah ketidakmampuan dari sistem tenaga untuk memenuhi kebutuhan dari daya reaktif beban^[1].

Kriteria kestabilan tegangan adalah jika besar tegangan bus meningkat dengan penambahan daya reaktif pada bus yang sama, kenaikan tegangan ini diikuti oleh kenaikan tegangan pada bus – bus yang lain. Suatu sistem dikatakan mengalami ketidakstabilan tegangan, jika salah satu bus dari sistem tenaga mengalami penurunan tegangan seiring dengan penambahan daya reaktif pada bus yang sama. Dengan kata lain, suatu sistem mencapai kestabilan tegangan jika sensitivitas V-Q adalah positif untuk setiap bus dan suatu sistem mengalami ketidakstabilan tegangan jika sensitivitas V-Q adalah negatif pada salah satu bus dari sistem tenaga^[1].



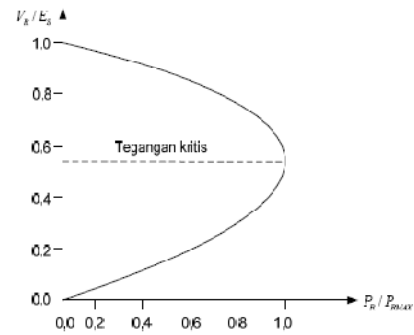
Gambar 1. Tegangan, arus, dan daya pada ujung terima sebagai fungsi dari pembebanan sistem sederhana

Dari kurva dapat dilihat bahwa kenaikan beban disebabkan penurunan nilai impedansi beban Z_{LD} , pada mulanya P_R meningkat secara cepat dan secara perlahan mencapai titik maksimum setelah itu kurva mengalami penurunan. Nilai maksimum merupakan batas limit daya aktif yang dapat ditransfer dari suatu sumber tegangan melalui suatu penghantar (impedansi)^[1].

Transfer daya maksimum terjadi ketika nilai drop tegangan pada saluran sama dengan magnituda V_R saat $Z_{LN}/Z_{LD} = 1$. Ketika nilai Z_{LD} berkurang secara bertahap, arus I akan meningkat dan V_R akan mengalami penurunan. Kenaikan nilai I sangat dominan jika dibandingkan dengan penurunan V_R , dan kenaikan P_R meningkat secara cepat dibandingkan dengan penurunan nilai Z_{LD} , saat nilai Z_{LD} mendekati nilai Z_{LN} , efek dari kenaikan nilai I hanya sedikit lebih besar dibandingkan dengan penurunan nilai P_R , ketika

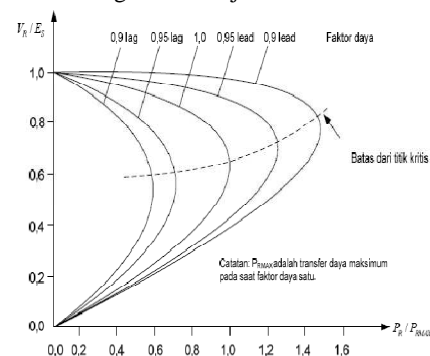
nilai Z_{LD} lebih kecil dari nilai Z_{LN} , maka penurunan V_R lebih dominan dari pada kenaikan nilai I dan efeknya nilai P_R mengalami penurunan^[1].

Hubungan P_R dan V_R dapat dilihat pada gambar dibawah dengan nilai factor daya 0,95 tertinggal. Efek dari faktor daya beban mempengaruhi karakteristik daya – tegangan sistem tenaga. Hal ini dapat terjadi karena jatuh tegangan pada saluran transmisi merupakan fungsi dari transfer daya aktif dan daya reaktif^[1].



Gambar 2. Karakteristik daya – tegangan dari sistem sederhana ($\tan \theta = 10$ dan $\cos \phi = 0,95$)

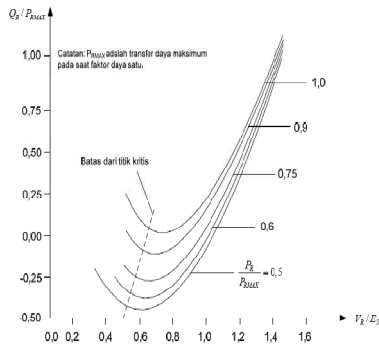
Pada kenyataannya, kestabilan tegangan tergantung pada hubungan antara P, Q, dan V sebagaimana ditunjukkan pada gambar 3 dan gambar 4. Gambar 3 menunjukkan karakteristik sistem sederhana, hubungan kurva V_R-P_R untuk nilai faktor daya yang berbeda. Locus dari titik operasi ditunjukkan oleh garis putus – putus pada gambar. Secara normal, hanya titik operasi yang berada diatas titik kritis yang menunjukkan kondisi operasi sistem tenaga dalam keadaan baik. Penurunan nilai faktor daya secara mendadak (kenaikan Q_R) dapat mengakibatkan sistem berpindah kondisi dari keadaan stabil menjadi kekeadaan yang tidak bagus, dan berkemungkinan menjadi tidak stabil.



Gambar 3. Karakteristik $V_R - P_R$ sistem sederhana untuk faktor daya yang berbeda - beda

Pengaruh karekteristik daya reaktif dari peralatan pada sisi ujung terima (beban dan peralatan kompensasi) digambarkan secara jelas pada gambar 4 dapat dilihat kurva dari sistem sederhana menunjukkan hubungan V_R dan Q_R untuk

nilai P_R yang konstan. Sistem dalam kondisi stabil jika nilai turunan dQ_R/dV_R bernilai positif. Batas kestabilan tegangan (titik operasi kritis) tercapai jika turunan dQ_R/dV_R bernilai nol^[1]



Gambar 4. Karakteristik $V_R - Q_R$ sistem pada sistem sederhana untuk rasio P_R/P_{max} yang berbeda – beda

3.2 Metodologi

Metodologi dalam penelitian ini, secara ringkas dilaksanakan dalam urutan berikut ini:

- a. Lakukan perhitungan aliran daya.
- b. Lakukan seleksi bus – bus beban yang berkontribusi menyebabkan tegangan sistem menjadi drop, penyeleksian bus dilakukan dengan menggunakan kurva Q-V.
- c. Melalui kurva Q-V dapat diperoleh informasi tegangan kritis dan margin daya reaktif pada bus yang diidentifikasi sebagai bus terlemah
- d. Setelah didapatkan bus terlemah, dilakukan kompensasi dengan menginjeksi daya reaktif pada bus tersebut dengan memasang kapasitor shunt pada bus terlemah. Simulasi kompensasi dilakukan dengan 2 metode yaitu :
 1. *Lumped Compensation* (kompensasi terpusat)
 Pada metode ini kapasitor di pasang pada bus gardu induk, dengan ukuran yang telah ditentukan sebelumnya.
 2. *Distributed Compensation* (kompensasi menyebar)
 Pada metode ini, kapasitor dipasang pada dua bus yang diidentifikasi memiliki margin daya reaktif yang paling kecil diantara bus yang lain.
- e. Periksa tegangan setelah dilakukan daya reaktif
- f. Untuk mengetahui efek dari kompensasi, maka dapat dilihat dari transfer daya maksimum dari masing – masing nilai kompensasi. Nilai transfer daya maksimum ini dapat ditentukan dengan bantuan plot kurva P – V.

4. Hasil dan Analisa

4.1 Hasil Monitoring bus

Monitoring bus dilakukan untuk mengidentifikasi bus terlemah dalam sistem Riau yaitu bus Dumai, Taluk Kuantan, Duri, Garuda Sakti, Bangkinang, dan Bagan Batu. Proses monitoring menggunakan kurva Q – V yang diplot dengan menggunakan software PSS/E simulator. Perbandingan margin daya reaktif diantara bus – bus tersebut dapat dilihat pada tabel 1. Tegangan kritis pada saat keadaan normal sebesar 0.8 pu, dengan nilai margin daya reaktif sebesar -15.8 MVAR.

Tabel 1. Perbandingan margin daya reaktif

No	Bus	Margin Daya Reaktif
1	Bagan Batu	15.8 MVAR
2	Dumai	17.04 MVAR
3	Duri	21.44 MVAR
4	Garuda Sakti	37.02 MVAR
5	Bangkinang	41.73 MVAR

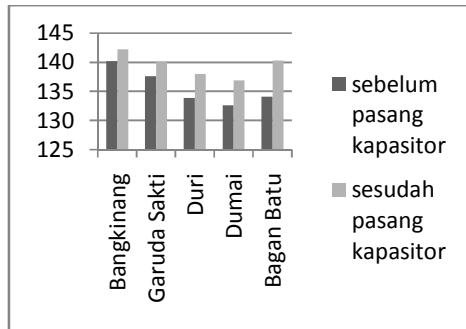
Setelah diperoleh nilai margin terkecil yaitu sebesar 15.8 MVAR pada bus Bagan Batu, kemudian disimulasikan pemasangan kapasitor dengan mevariasikan ukuran kapasitor mulai dari 10, 15, dan 20 MVAR pada masing – masing bus. Pada penelitian ini akan dilihat perbandingan antara kompensasi terpusat (*Lumped Compensation*) dengan kompensasi menyebar (*Distributed Compensation*) dengan memperhitungkan transfer daya maksimum melalui kurva P-V. Transfer daya maksimum sebelum dipasang kapasitor adalah sebesar 56 MW.

4.2. Kompensasi Terpusat (*Lumped Compensation*)

Pada metode ini akan disimulasikan 15 variasi, dengan mengganti ukuran kapasitor pada masing – masing bus saat melakukan simulasi. Hasil-hasil yang signifikan dijelaskan dalam uraian berikut ini.

4.2.1. Kompensasi 10 MVAR di Bus Bagan Batu

Pemasangan kapasitor 10 MVAR pada bus ini, dapat memperbaiki nilai tegangan dari 134,1 kV menjadi 140,3 kV. Perbaikan tegangan yang tertinggi terjadi pada bus Bangkinang menjadi 142,2 kV dan perbaikan tegangan terendah terjadi pada bus Dumai menjadi 136,9 kV. Nilai transfer daya maksimum yang dicapai sebelum menuju titik kritis adalah sebesar 57 MW. Perbandingan tegangan pada masing – masing bus dapat dilihat pada gambar 4.16 dibawah ini.



Gambar 5. Plot grafik perbandingan tegangan

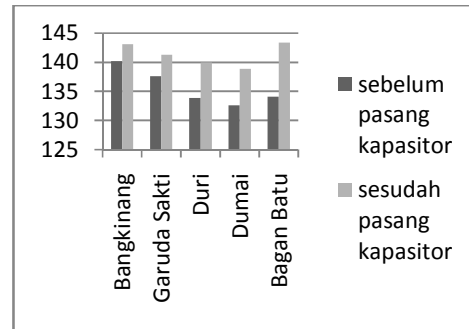
Dari kelima hasil simulasi pemasangan kapasitor 10 MVAR, ada yang menghasilkan perbaikan tegangan tertinggi sebesar 142,2 kV pada bus Bangkinang pada saat kapasitor 10 MVAR dipasang pada bus Bangkinang, Duri, Dumai, dan Bagan Batu. Sedangkan nilai transfer daya maksimum yang dihasilkan sebesar 57 MW, pada saat bus Bagan Batu dipasang kapasitor 10 MVAR. Tabel 2 dapat dilihat bahwa pemasangan kapasitor 10 MVAR pada bus Bagan Batu menghasilkan perbaikan kestabilan tegangan yang terbaik, karena setelah dilakukan pemasangan kapasitor, transfer daya maksimum meningkat menjadi 57 MW, naik dari nilai sebelumnya

Tabel 2. perbandingan tegangan tertinggi setelah pemasangan kapasitor 10 MVAR

No	Bus Yang Dikompensasi	V Kritis, pu	Transfer Daya Maksimum
1	Bangkinang	0.82	56 MW
2	Garuda Sakti	0.84	56 MW
3	Duri	0.87	56 MW
4	Dumai	0.84	56 MW
5	Bagan Batu	0.84	57 MW

4.2.2 Kompensasi 15 MVAR di Bus Bagan Batu

Pemasangan kapasitor 15 MVAR pada bus Bagan Batu menyebabkan nilai transfer daya maksimum mengalami kenaikan sebesar 6 MW, sehingga nilai transfer menjadi 63 MW. Nilai tegangan tertinggi terjadi pada bus Bagan Batu dengan nilai tegangan 143,4 kV. Sedangkan pada bus Bangkinang, bus Garuda Sakti, bus Duri nilai tegangan pada bus tersebut mendekati 140 kV, sedangkan transfer daya maksimum terjadi sebesar 62 MW. Hasil dapat pada gambar 5 dan tabel berikut.



Gambar 6. Plot grafik perbandingan tegangan

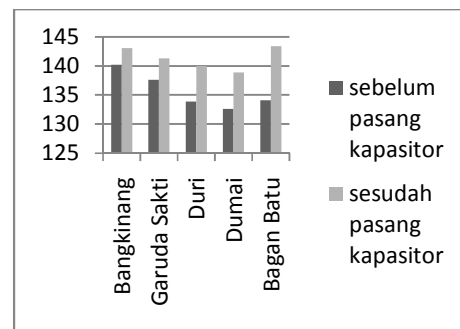
Tabel 3. perbandingan tegangan tertinggi setelah pemasangan kapasitor 15 MVAR

No	Bus Yang Dikompensasi	V Kritis, pu	Transfer Daya Maksimum
1	Bangkinang	0.89	62 MW
2	Garuda Sakti	0.87	62 MW
3	Duri	0.88	62 MW
4	Dumai	0.87	62 MW
5	Bagan Batu	0.89	63 MW

Pada tabel 3 diatas, terlihat bahwa tegangan kritis terendah setelah pemasangan kapasitor 15 MVAR diperoleh pada bus Dumai dan bus Garuda Sakti sebesar 0.87 pu. Akan tetapi nilai transfer daya maksimum diperoleh saat pemasangan kapasitor pada bus Bagan Batu sebesar 63 MW, pemasangan kapasitor pada bus Bagan Batu menunjukkan perbaikan kestabilan tegangan yang terbaik untuk kompensasi terpusat dengan ukuran kapasitor 15 MVAR.

4.2.3 Kompensasi 20 MVAR di Bus Bagan Batu

Pemasangan kapasitor 20 MVAR pada bus Bagan Batu menghasilkan transfer daya maksimum sebesar 63 MW. Nilai tegangan tertinggi terjadi pada bus Bagan Batu yaitu sebesar 143,4 kV. Pada grafik dapat dilihat bahwa perbaikan tegangan yang terendah terjadi pada bus Dumai, dengan nilai tegangan 138,9 kV. Perbaikan tegangan tertinggi pada setiap bus dan nilai transfer daya maksimum dapat dilihat pada tabel berikut.



Gambar 7. Plot grafik perbandingan tegangan

Tabel 4. Perbandingan tegangan tertinggi setelah pemasangan kapasitor 20 MVAR

No	Bus Yang Dikompensasi	V Kritis, pu	Transfer Daya Maksimum
1	Bangkinang	0.88	63 MW
2	Garuda Sakti	0.89	63 MW
3	Duri	0.88	62 MW
4	Dumai	0.90	63 MW
5	Bagan Batu	0.89	63 MW

Pada tabel 4 diatas, diperoleh tegangan kritis terendah pada bus Bangkinang dan Duri sebesar 0.88 pu. Namun diantara kedua bus tersebut, pemasangan kapasitor 20 MVAR pada bus Bangkinang menghasilkan perbaikan kestabilan tegangan yang terbaik.

Jika hasil kompensasi 10 MVAR, 15 MVAR, dan 20 MVAR dibandingkan dengan menggunakan parameter tegangan kritis dan transfer daya maksimum, maka akan diperoleh ukuran kapasitor yang memberikan hasil perbaikan tegangan terbaik.

Tabel 5. Perbandingan ukuran kapasitor, V kritis da Transfer daya maksimum pada bus Bagan Batu

No	Ukuran Kapasitor, MVAR	V Kritis, pu	Transfer Daya Maksimum
1	10	0.84	56 MW
2	15	0.89	63 MW
3	20	0.89	63 MW

Pada tabel 5 diatas, memberikan perbandingan pemasangan kapasitor secara terpusat pada bus Bagan Batu. Tegangan kritis terendah diperoleh saat pemasangan kapasitor 10 MVAR sebesar 0.84 pu, sedangkan nilai transfer maksimum diperoleh saat pemasangan kapasitor 15 MVAR dan 20 MVAR sebesar 63 MW. Kondisi terbaik pada kompensasi terpusat diperoleh saat pemasangan kapasitor 15 MVAR, walaupun pemasangan kapasitor 20 MVAR menghasilkan nilai transfer daya yang sama sebesar 63 MW. Pertimbangan lain dalam menetapkan pemasangan kapasitor 15 MVAR sebagai kondisi terbaik adalah faktor ekonomis, pemasangan kapasitor 15 MVAR lebih murah jika dibandingkan dengan pemasangan kapasitor 20 MVAR.

4.3. Distributed Compensation (kompensasi menyebar)

Pada metode ini akan disimulasikan pemasangan kapasitor pada dua bus terlemah, yaitu: bus Dumai dan bus Bagan Batu. Pemilihan bus ini berdasarkan monitoring bus melalui kurva $Q - V$, kedua bus ini memiliki margin daya reaktif yang terkecil jika dibandingkan dengan bus yang lain. Kapasitor dipasang pada kedua bus (bus Dumai dan

bus Bagan Batu) dengan kombinasi yang berbeda, yaitu 10 MVAR, 15 MVAR, 20 MVAR.

4.3.1 Kompensasi 10 MVAR

Kombinasi kompensasi terdistribusi adalah:

- Mode 1, kapasitor 4 MVAR di Dumai, 6 MVAR di Bagan Batu
- Mode 2, kapasitor 5 MVAR di Dumai, 5 MVAR di Bagan Batu
- Mode 3, kapasitor 6 MVAR di Dumai, 4 MVAR di Bagan Batu

Dari ketiga mode yang disimulasikan, diperoleh perbandingan tegangan tertinggi seperti yang terlihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 6. Perbandingan tegangan tertinggi dari mode pemasangan kapasitor 10 MVAR

No	Bus Yang Dikompensasi	V Kritis		
		Mode 1	Mode 2	Mode 3
1	Dumai	0.87 pu	0.89 pu	0.88 pu
2	Bagan Batu			
Transfer Daya Maksimum		25 MW	25 MW	25 MW

Hasil kombinasi terbaik adalah saat pemasangan 4 MVAR di Dumai dan 6 MVAR di Bagan Batu. Karena pada mode tersebut menghasilkan tegangan kritis yang terendah.

4.3.2 Kompensasi 15 MVAR

Kombinasi kompensasi terdistribusi adalah:

- Mode 1, kapasitor 5 MVAR di Dumai, 10 MVAR di Bagan Batu
- Mode 2, kapasitor 7 MVAR di Dumai, 8 MVAR di Bagan Batu
- Mode 3, kapasitor 10 MVAR di Dumai, 5 MVAR di Bagan Batu

Dari ketiga mode yang disimulasikan, diperoleh perbandingan tegangan tertinggi seperti yang terlihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 7. Perbandingan tegangan tertinggi dari mode pemasangan kapasitor 15 MVAR

No	Bus Yang Dikompensasi	V Kritis		
		Mode 1	Mode 2	Mode 3
1	Dumai	0.85 pu	0.87 pu	0.88 pu
2	Bagan Batu			
Transfer Daya Maksimum		37 MW	38 MW	38 MW

Pada tabel 7 diatas, terlihat bahwa dari ketiga mode pemasangan kapsitor 15 MVAR, tegangan kritis terendah diperoleh saat pemasangan kapasitor 5 MVAR di bus Dumai dan 10 MVAR di bus Bagan Batu. Nilai transfer maksimum terbesar diperoleh saat pemasangan 7 MVAR di Dumai dan 8 MVAR di Bagan Batu, serta saat pemasangan 10 MVAR di

Dumai dan 5 MVAR di Bagan Batu. Dari beberapa alternatif pemasangan kapasitor, maka kondisi terbaik diperoleh saat pemasangan mode 2. Karena pada mode ini, selain menghasilkan transfer daya yang maksimum sebesar 38 MW, juga menghasilkan tegangan kritis terendah sebesar 0.87 jika dibandingkan dengan mode 3.

4.3.3 Kompensasi 20 MVAR

Kombinasi kompensasi terdistribusi adalah:

- a. Mode 1, kapasitor 8 MVAR di Dumai, 12 MVAR di Bagan Batu.
- b. Mode 2, kapasitor 10 MVAR di Dumai, 10 MVAR di Bagan Batu
- c. Mode 3, kapasitor 12 MVAR di Dumai, 8 MVAR di Bagan Batu

Dari ketiga mode yang disimulasikan, diperoleh perbandingan tegangan tertinggi seperti yang terlihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 8. Perbandingan tegangan tertinggi dari mode pemasangan kapasitor 20 MVAR

No	Bus Yang Dikom pensasi	V Kritis		
		Mode 1	Mode 2	Mode 3
1	Dumai	0.87 pu	0.9 pu	0.88 pu
2	Bagan Batu			
Transfer Daya Maksimum		37 MW	38 MW	38 MW

Pada tabel 8 diatas kondisi terbaik diperoleh pada saat pemasangan mode 3 yaitu: pemasangan kapasitor 12 MVAR di Dumai dan 8 MVAR di Bagan Batu, karena pada kondisi tersebut menghasilkan transfer daya maksimum yang terbesar dan tegangan kritis terendah.

Tabel 9. Perbandingan tegangan tertinggi dari mode pemasangan kapasitor

NO	Ukuran Kapasitor	Kombinasi Pemasangan	V Kritis, pu	Transfer Daya Maks
1	10 MVAR	4 MVAR di Dumai 6 MVAR di Bagan Batu	0.87	25 MW
2	15 MVAR	7 MVAR di Dumai 8 MVAR di Bagan Batu	0.87	38 MW
3	20 MVAR	12 MVAR di Dumai 8 MVAR di Bagan Batu	0.88	38 MW

Dari tabel 9 diatas dapat dilihat, bahwa untuk kompensasi tersebar yaitu: 7 MVAR di Dumai dan 8 MVAR di Bagan Batu merupakan kondisi yang terbaik. Pada mode tersebut menghasilkan transfer

daya sebesar 38 MW dan tegangan kritis terendah sebesar 0.87 pu.

4.4 Perbandingan hasil Lumped Compensation (kompensasi terpusat) dengan Distributed Compensation (kompensasi tersebar)

Simulasi yang dilakukan menghasilkan beberapa pilihan dalam penentuan nilai kapasitor dan letak pemasangan kapasitor. Hasil simulasi menunjukan kondisi terbaik diperoleh pada saat sistem mendapat injeksi daya reaktif saat kapasitor 15 MVAR dipasang pada bus Bagan Batu, sedangkan untuk metode kompensasi tersebar kondisi tegangan yang baik terjadi saat kapasitor 15 MVAR dengan mode 7 MVAR di Dumai dan 8 MVAR di Duri. Perbandingan antara kompensasi terpusat dan kompensasi tersebar ini dapat dilihat pada tabel 4.10 dan tabel 4.11 dibawah ini.

Tabel 10. Perbandingan tegangan akibat pemasangan kapasitor 15 MVAR pada bus Bagan Batu

Jenis Kompensasi	Bus	V kritis setelah pemasangan kapasitor	Transfer daya
Lumped Compensation	Bangkitan g	0.90 pu	63 MW
	Garuda Sakti	0.87 pu	
	Duri	0.88 pu	
	Dumai	0.87 pu	
	Bagan Batu	0.86 pu	

Pada tabel 10 diatas, dapat dilihat kondisi terbaik untuk kompensasi terpusat diperoleh saat pemasangan kapasitor 15 MVAR pada bus Bagan Batu. Transfer daya maksimum yang dihasilkan saat pemasangan di Bagan Batu adalah sebesar 63 MW.

Tabel 11. Perbandingan tegangan tertinggi dari mode pemasangan kapasitor 15 MVAR (7 MVAR di bus Dumai, 8 MVAR di bus Bagan Batu)

Jenis Kompensasi	Bus	V kritis setelah pemasangan kapasitor	Transfer daya
Distributed Compensation	Bangkitan g	0.9 pu	38 MW
	Garuda Sakti	0.89 pu	
	Duri	0.89 pu	
	Dumai	0.86 pu	
	Bagan Batu	0.85 pu	

Pada tabel 11 diatas, bahwa pemasangan kompensasi tersebar 15 MVAR menunjukan

kondisi perbaikan tegangan yang terbaik dibandingkan dengan mode yang lain.

Dari kedua tabel diatas dapat kita lihat perbandingan antara pemasangan kapasitor 15 MVAR secara terpusat dan tersebar. Kondisi terbaik untuk perbaikan kestabilan tegangan diperoleh saat pemasangan kompensasi terpusat pada bus Bagan Batu, dengan nilai transfer daya maksimum sebesar 63 MW.

5. Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan pada sub sistem Sumbar – Riau, maka dapat disimpulkan bahwa nilai transfer daya maksimum sebelum dilakukan kompensasi daya reaktif adalah sebesar 56 MW. Bus yang memiliki margin daya reaktif yang terendah adalah bus Bagan batu dan bus dumai dengan nilai margin berturut-turut sebesar 15,8 MVAR dan 17.04 MVAR. Hasil simulasi menunjukkan bahwa kompensasi terpusat (*Lumped Compensation*) dengan nilai kapasitor 15 MVAR pada bus Bagan Batu menghasilkan transfer daya sebesar 63 MW, sedangkan pemasangan 7 MVAR di bus Dumai dan 8 MVAR di bus Bagan Batu pada kompensasi tersebar (*Distributed Compensation*) menghasilkan transfer daya sebesar 38 MW. Sehingga metode kompensasi yang terbaik adalah kompensasi terpusat 15 MVAR pada bus Bagan Batu.

Untuk penelitian selanjutnya disarankan agar simulasi dilakukan dengan pemodelan dinamik, sehingga dapat dilihat efek penambahan kapasitor terhadap frekuensi sistem. Selain itu, perlu ditinjau perilaku sistem terhadap pemasangan kompensator selain menggunakan kapasitor shunt.

6. Daftar Kepustakaan

- [1] Prabha kundur, *Power System Stability and Control*. Mcgraw-Hill, 1994
- [2] Taylor, carson W, 1994, *Power System Stability*, Mcgraw-Hill. Inc International edition, Sinagpore.
- [3] Western System Coordinating Council (WSCC), *Under Voltage Load Shedding Guidelines*, July, 1999.
- [4] John J. Grainger and William D. Stevenson Jr, 1994, *Power System Analysis*. McGraw-Hill
- [5] Cekdin, Cekmas, 2007.*Sistem Tenaga Listrik, Contoh Soal dan Penyelesaiannya Menggunakan Mathlab*. Yogyakarta : Penerbit Andi.