

ANALISIS PENINGKATAN STABILITAS TEGANGAN DENGAN MENGGUNAKAN KAPASITOR

Yusmartato

*Program Studi, Teknik Elektro, Fakultas Teknik UISU
yusmartato@ft.uisu.ac.id*

Abstrak

Permintaan listrik telah meningkat secara substansial sedangkan perluasan pembangkitan tenaga listrik, transmisi tenaga listrik sangat terbatas, karena pembatasan lingkungan serta sumber daya yang terbatas. Sebagai akibatnya beberapa saluran transmisi, faktor daya membatasi transfer. Studi Aliran daya pada sistem pembangkitan Sumatera Bagian Utara meliputi wilayah Sumatera Utara dan Aceh yang dikelola oleh PT. PLN (Persero) Pembangkitan Sumbagut, ETAP 4.0 (Electrical Transient Analyzer Program) merupakan program yang dapat menampilkan secara GUI (Graphical User Interface) dengan jumlah bus unlimited. Salah satu kegunaan ETAP 4.0 adalah untuk Studi aliran daya. Data yang dibutuhkan ETAP 4.0 untuk studi aliran daya pada sistem pembangkitan Sumatera Bagian Utara adalah one-line diagram, nominal kV, dan rating generator, bus, transformator, transmisi, dan pengaman. Metode pendekatan aliran daya yang digunakan adalah metode Newton-Raphson dengan iterasi maksimum 99 dan ketepatan 0,000001. Permasalahan aliran daya yang ditinjau adalah sistem keadaan normal, salah satu transmisi terputus, salah satu pembangkit tidak beroperasi. Hasil studi aliran daya untuk setiap permasalahan didapatkan tegangan bus paling rendah, losses tertinggi di transmisi. Daya yang disalurkan paling besar yaitu di transmisi pembangkit, namun untuk operasi pembangkit baru di transmisi Tegangan Tinggi. Untuk memperbaiki kualitas daya penyaluran dari pembangkit ke beban, perubahan tegangan yang bermasalah dan meningkatkan sistem stabilitas. Penulisan ini bertujuan untuk verifikasi kemampuan kapasitor dalam meningkatkan regulasi tegangan (stabilitas tegangan) dalam sistem transmisi tenaga listrik, dari kapasitor ini disimulasikan menggunakan ETAP 4.0 disertakan dalam model Newton-Raphson.

Kata-kata Kunci: Kapasitor, Stabilitas tegangan, Newton –Raphson, ETAP 4.0.

I. Pendahuluan

Sistem ketenagalistrikan terus mengalami perkembangan, mulai dari menggunakan satu mesin hingga banyak mesin (multi-mesin). Perkembangan ini dikarenakan permintaan kebutuhan energi listrik semakin meningkat sehingga diperlukan pembangkit energi listrik yang mempunyai kapasitas daya besar. Adapun daya yang dihasilkan oleh sistem pembangkit energi listrik ini disalurkan melalui sistem interkoneksi.

Salah satu analisa yang dapat dilakukan pada sistem interkoneksi saat keadaan mantap (*steady state*) adalah studi aliran daya. Metode penyelesaian aliran daya adalah *Gauss-seidel*, *Newton-raphson*, dan *Fast Decoupled*. Adapun yang dihasilkan dari studi aliran daya adalah arah aliran daya, tegangan bus, daya aktif dan daya reaktif. Hasil studi aliran daya dapat digunakan untuk mengetahui besar rugi transmisi, alokasi daya reaktif, kemampuan sistem untuk memenuhi pertumbuhan beban dan penambahan suplai pembangkit.

Sistem Pembangkitan Sumatera Bagian Utara (Sumbagut) merupakan sistem pembangkit tenaga listrik yang melayani daerah Nangroe Aceh Darussalam (NAD) dan Sumatera Utara melalui sistem interkoneksi. Beban puncak yang pernah dialami oleh sistem Sumbagut adalah 1.070 MW yaitu pada tanggal 28 Desember 2005. Sistem Sumbagut memiliki sekitar 37 gardu induk yang tersebar pada wilayah NAD dan Sumut.

Perhitungan aliran daya secara manual untuk sistem Sumbagut sangat rumit sehingga sebaiknya dilakukan dengan menggunakan program komputer. ETAP 4.0 (*Electrical Transient Analyzer Program*) merupakan salah satu program komputer yang digunakan untuk perhitungan studi aliran daya pada sistem tenaga. Program ETAP 4.0 dapat digunakan untuk sistem tenaga listrik yang besar dan memerlukan perhitungan yang sangat kompleks. Oleh karena itu, ETAP 4.0 digunakan untuk perhitungan studi aliran daya pada sistem Sumbagut.

Daya listrik memberikan peran sangat penting dalam kehidupan masyarakat serta dalam pengembangan berbagai sektor ekonomi. Dalam kenyataan ekonomi modern sangat tergantung pada listrik sebagai input dasar. Hal ini menyebabkan peningkatan jumlah pembangkit listrik dan kapasitas akibatnya di saluran transmisi yang menghubungkan stasiun pembangkit ke pusat-pusat beban akan meningkat.

Sistem tenaga listrik secara luas yang saling berhubungan, perlu sistem interkoneksi karena selain pengiriman dari saluran transmisi ada pembangkit listrik dimana komposisi energi per jenis pembangkit listrik: (PLTGU, PLTU, PLTG, PLTD dan PLTP) dan pusat-pusat beban untuk meminimalkan total kapasitas daya dan biaya.

Transmisi interkoneksi memungkinkan mengambil keuntungan dari keragaman beban, ketersediaan sumber dan harga untuk pasokan

listrik ke beban dengan biaya minimum dengan keandalan yang dibutuhkan.

Pemanfaatan sistem tenaga listrik, aliran daya yang ada pada saat ini disediakan oleh PT.PLN (Persero) UPB Sumbagut, untuk beban sistem sumut, beban sistem NAD, dengan jumlah total daya pembangkitan MW, MVAR beban, yang memiliki Gardu Induk dan jumlah bus, aliran daya pada masing-masing saluran transmisi, ditentukan oleh karakteristik saluran itu sendiri. Selain itu, selalu dibutuhkan operasi saluran yang stabil sehingga aliran daya dapat terus menerus dilakukan walaupun mungkin sebahagian saluran mengalami gangguan. Untuk kondisi ini dibutuhkan lebih dari satu aliran daya atau menggunakan beberapa saluran transmisi yang saling terhubung. Oleh karena itu perlu suatu alat kontrol untuk menjaga kestabilan sistem agar selalu beroperasi maximum.

Sistem kelistrikan yang kompleks akan selalu terjadi perubahan tegangan, arus, daya aktif, daya reaktif maupun frekwensi pada sistem tenaga listrik. Jumlah daya reaktif pada sistem tenaga listrik merupakan salah satu indikator petunjuk dari kestabilan tegangan. Pada tulisan ini akan diteliti Analisis Peningkatan Stabilitas Tegangan Dengan Menggunakan kapasitor bank, Aplikasi PT.PLN (Persero) UPB Sumbagut-NAD untuk mengoptimalkan cadangan daya reaktif yang ada pada sistem tenaga listrik, maka akan digunakan metode sensitifitas, metode sensitifitas akan memberikan informasi pembangkit yang tepat akan meminimalkan rugi-rugi daya reaktif dalam saluran. Apabila peralatan yang dipasang pada lokasi yang strategis. Peralatan yang digunakan untuk kontrol suatu sistem tenaga listrik dengan menggunakan kapasitor yaitu pengaturan sudut fasa

Metode Newton-Raphson untuk menjelaskan perhitungan aliran daya dalam sistem beberapa bus yang akan di analisa dengan menggunakan metode Newton-Raphson simulasi dilakukan oleh ETAP 4.0.

Penggunaan kapasitor kondisi sebelum kompensasi di saluran dengan beberapa Bus, hasil perhitungan aliran daya dan tegangan menggunakan metode Newton-Raphson. Penggunaan kapsitor sesudah kompensasi, kapasitor dihubungkan ke Bus untuk memperbaiki tegangan, untuk keperluan perbaikan ini, dibangkitkan daya reaktif (MVAR) dari kapsitor.

1.1 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah meningkatkan stabilitas tegangan dengan mengaplikasikan dari sistem tenaga listrik PT.PLN.(Persero) UPB Sumbagut di ketahui beban sistem Sumut, NAD dan daya pembangkitan MW, MVAR, MVA dan power factor yang memiliki Gardu Induk dan jumlah bus unlimited dan mengetahui, memahami penggunaan ETAP 4.0 untuk aliran daya dan kapasitor ditempatkan pada sistem tenaga listrik dengan tujuan menganalisis perbaikan stabilitas tegangan menggunakan ETAP 4.0.

- Untuk menganalisa aliran daya pada saluran transmisi
- Untuk menganalisa penempatan dan penggunaan kapasitor pada saluran

1.2 Manfaat Penelitian

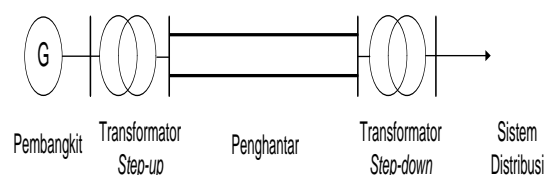
Mengacu pada tujuan penelitian ini maka penelitian akan diharapkan dapat memberikan berbagai aspek tentang stabilitas tegangan dan pentingnya untuk mempertahankan profil tegangan yang akan dilakukan.

- Manfaat teoritis dapat mengetahui penggunaan alat atau aplikasi peralatan yang akan di pasang pada lokasi yang strategis. Alat yang digunakan untuk kontrol sistem tenaga listrik, khusus di saluran di kenal dengan kapasitor bertujuan memperbaiki kualitas daya penyaluran dari pembangkit ke beban salah satu peralatannya kapasitor berfungsi memperbaiki perubahan tegangan
- Manfaat praktis dapat memberikan masukan yang berarti bagi PT.PLN (Persero) UPB Sumbagut dalam menggunakan kapasitor untuk mengatur aliran daya dan meningkatkan kestabilan sistem daya. Kapasitor mengatur regulasi tegangan terminal dengan cara membangkitkan atau menyerap daya reaktif dari sistem. Jika tegangan sistem lebih rendah kapasitor membangkitkan daya reaktif (kapasitor bersifat kapasitif) Jika tegangan sistem lebih tinggi kapasitor menyerap daya reaktif (kapsitor bersifat induktif).

II. Tinjauan Pustaka

2.1 Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik (Electric Power System) adalah rangkaian instalasi tenaga listrik dari pembangkitan, transmisi dan distribusi yang dioperasikan secara serentak dalam rangka penyediaan tenaga listrik Komponen dasar yang membentuk sistem tenaga listrik adalah generator, transformator, saluran transmisi dan beban. Dalam menganalisis sistem tenaga diperlukan diagram yang dapat mewakili setiap komponen sistem tenaga listrik. Diagram yang selalu digunakan adalah diagram satu garis dan diagram impedansi atau diagram reaktansi, Gambar 1 adalah diagram satu garis sistem tenaga listrik.



Gambar 1. Diagram satu garis sistem tenaga listrik

Stabilitas tegangan adalah kemampuan dari suatu sistem tenaga listrik untuk mempertahankan besar tegangan yang memadai sehingga ketika sistem beban nominal meningkat, daya aktual yang ditransfer ke beban akan meningkat.

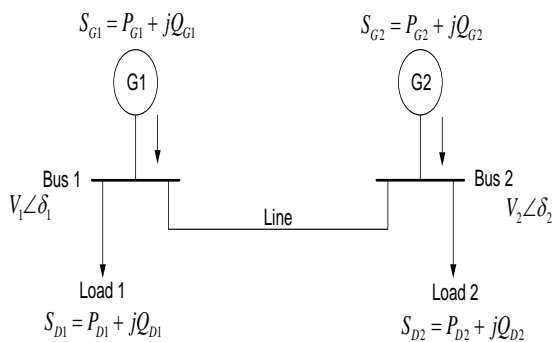
2.2 Klasifikasi Bus

Tabel 1. Klasifikasi Bus pada sistem tenaga

Type Bus	Besaran yang diketahui	Besaran yang tidak diketahui
Slack	$ V = 1,0; \theta = 0$	P, Q
Generator (PV Bus)	$P, V $	Q, θ
Load (PQ Bus)	P, Q	$ V , \theta$

2.3 Persamaan Aliran Daya

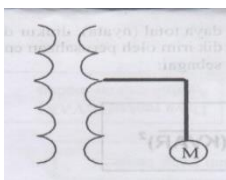
Persamaan aliran daya secara sederhana, untuk sistem yang memiliki 2 bus. Pada setiap bus memiliki sebuah generator dan beban, walaupun pada kenyataannya tidak semua bus memiliki generator. Penghantar menghubungkan antara bus 1 dengan bus 2. Pada setiap bus memiliki 6 besaran listrik yang terdiri dari : $P_D, P_G, Q_D, Q_G, V,$ dan δ . Gambar 2. dapat dihasilkan persamaan aliran daya dengan menggunakan diagram impedansi.



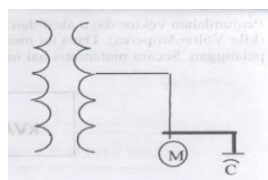
Gambar 2. Diagram satu garis sistem 2 bus

2.4 Kapasitor untuk Memperbaiki Faktor Daya

Kapasitor bertindak sebagai pembangkit daya reaktif dan oleh karenanya akan mengurangi jumlah daya reaktif juga daya total yang dihasilkan oleh bagian utilitas.



Gambar 3. Utilitas pemasok arus reaktif



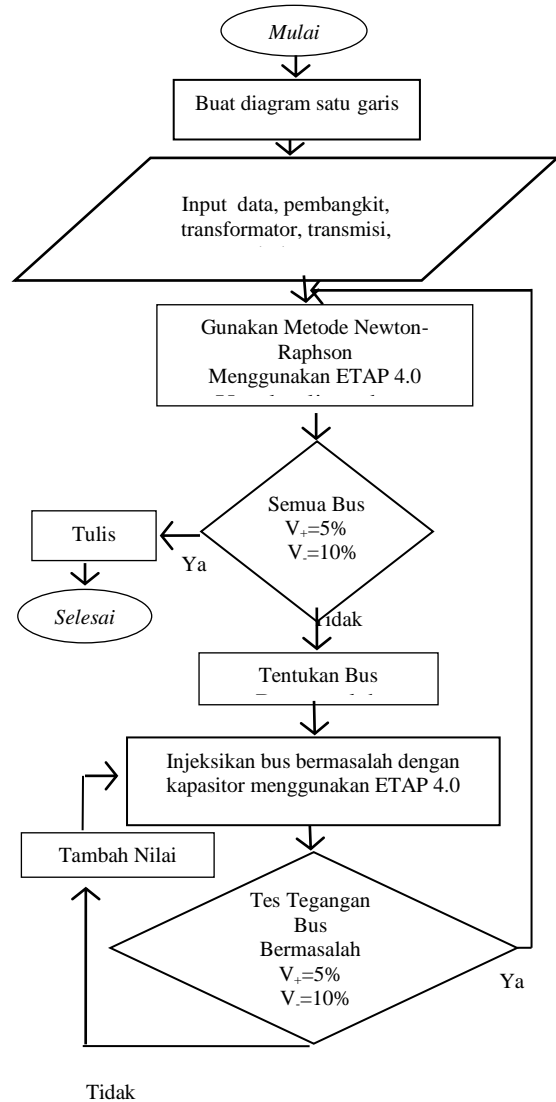
Gambar 4. Kapasitor pemasok arus reaktif

2.5 ETAP 4.0

ETAP 4.0 merupakan salah satu program power station dan lain-lain.

III. Metodologi Penelitian

Diagram Alir Penelitian



Gambar 5. Diagram alir penelitian

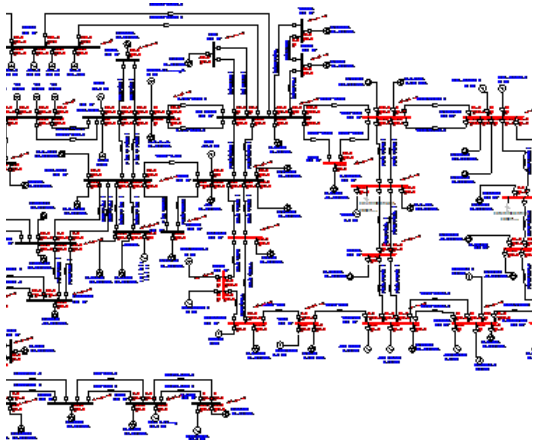
3.1 Sumber Data

Data diperoleh dari PT.PLN (Persero) UPB Sumbagut dimana data yang dimaksud antara vlain meliputi :

- a. Data Diagram satu garis sistem Sumbagut – Naggro Aceh Darussalam
- b. Data Pembangkit (KV,MW,MVAR)
- c. Data transformtor (KV,MVA)
- d. Data transmisi 150 KV (panjang Saluran R,X,Y)
- e. Data bus (KV,%)
- f. Data beban sistem Sumbagut-Naggro Aceh Darussalam yang digunakan data beban malam dan data beban pagi.

3.2 Pemodel Kapasitor pada Bus Bermasalah

Gambar 6 model ETAP 4.0 memperlihatkan suatu model sistem transmisi untuk memperbaiki daya reaktif menggunakan kapasitor. Bus yang diperbaiki adalah bus-bus yang mengalami penurunan tegangan, menurut SPLN tegangan $V = +5\%$ sampai dengan $V = -10\%$ dari tegangan nominal 150 KV



Gambar 6. Rangkaian model ETAP 4.0 pengoperasian kapasitor

IV. Hasil Analisa

4.1 Hasil Analisa Load Flow Pada Saat Beban Malam

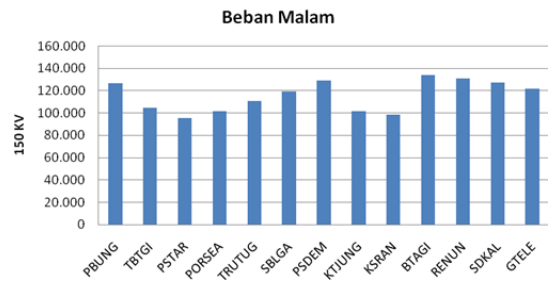
Tabel 2. Hasil analisa aliran daya saat beban malam

NO	Bus Dari ke	Aliran Daya		Tegangan (Volt)		
		P	jQ	KV	%	
1	BLWCC	SROTAN 1	138.7	177.0	150	100
		SROTAN 2	138.7	177.0		
	BLWTU	BNJAI 1	72.8	48.8		
		BNJAI 2	72.8	48.8	150	100
2	LBHAN	BLWTU	16.1	9.8	149.860	99.91
		LHTMA	7.5	4.6		
3	LHTMA	LBHAN	7.5	4.6		
4	PPASR	BLWTU 1	99.6	95.3	148.660	99.11

Tabel 4.1 (Lanjutan)							
NO	Bus Dari ke	Aliran Daya		Tegangan (Volt)			
		P	jQ	KV	%		
	BLWTU 2	99.6	95.3				
		SROTAN 1	66.7	68.6			
		SROTAN 2	66.7	68.6			
		MABAR 1	16.3	10.3			
	MABAR 2	19.5	11.2				
		PGELI 1	71.0	45.6			
		PGELI 2	71.0	45.6			
		MABAR	PPASR 1	16.3	10.3	148.427	98.95
	PGELI	PPASR 2	19.5	11.2			
		PPASR 1	71.0	45.6	145.006	99.67	
		PPASR 2	71.0	45.6			
		GLUGUR 1	12.9	10.2			
	GLUGUR 2	12.9	10.2				
		TTKNG	17.2	39.3			
		NRMBE	30.0	46.9			
		BINJAI 1	1.3	29.9			
	BINJAI 2	1.3	29.9				
		GLUGUR	PGELI 2	12.9	10.2	144.552	96.37
		PGELI 1	12.9	10.2			
			BNJAI	PGELI 1	1.3	29.9	145.839
PGELI 2	1.3			29.9			
PBDAN 1	43.5			1.2			
PBDAN 2	43.5			1.2			
	BLWCC 1	72.8	48.8				
		BLWCC 2	72.8	48.8			
		PBDAN	BNJAI 1	43.5	1.2	143.321	95.55
			BNJAI 2	43.5	1.2		

Dari Gambar 7 Kurva beban diketahui bahwa pada beberapa Bus Sistem Sumbagut-Nanggro Aceh Darussalam mengalami perubahan tegangan

dimana kondisi beban malam yaitu waktu beban puncak (WBP) tanpa menggunakan kapasitor.



Gambar 7. Kurva beban malam

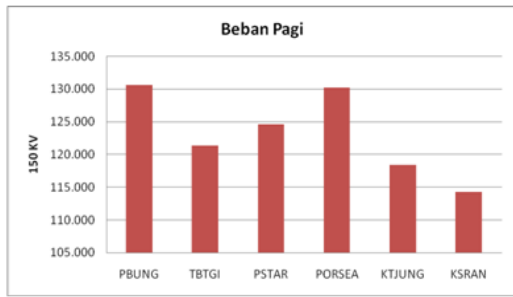
4.2 Hasil Analisa Load Flow Pada Saat Beban Pagi

Dari hasil analisa Load Flow tersebut dapat diketahui bahwa tegangan dalam batasan persen tegangan lihat Tabel 3.

Tabel 3. Hasil analisa LF, persen tegangan saat beban pagi

No	Bus	Tegangan	
		KV	%
1	BLWCC(Belawan)	150	100
		150	100
2	LBHN(Labuhan)	149.467	99.64
3	PPASR(Payapasir)	148.587	99.06
4	MABAR	148.084	98.72
5	PGELI(Payageli)	144.821	96.55
6	GLUGUR	144.648	96.43
7	BNJAI(Binjai)	144.855	96.57
8	PBDAN(PBrandan)	144.112	96.07
9	TTKNG(Ttknung)	141.593	94.4
10	PBUNG(Perbaungan)	130.538	87.03
11	NRMBE(Namurambe)	142.416	94.78
12	TMORA(Tjg.Morawa)	143.506	95.67
13	GIKIM(GI Industri)	141.690	95.89
14	MDNAI(Medandena)	143.281	95.52
15	SROTAN(Serotan)	143.838	95.89
16	TBTGI(Tebingtinggi)	121.363	80.91
17	PSTAR(PSiantar)	124.593	83.04
18	PORSEA	130.152	86.77
19	TRUTUG(Tarutung)	137.025	91.35
20	SBLGA(Sibolga)	143.140	95.43
21	PSDEM(PSidmpuan)	147.179	98.12
22	KTJUNG(KualaTanjung)	118.417	78.94
23	KSRAN(Kisaran)	114.238	76.16
24	RIPAT(RanatauPrapat)	162.000	108
25	BTAGI(Berastagi)	137.091	91.39
26	RENUN	138.892	92.59
27	SDKAL(Sidikalang)	137.666	91.78
28	GTELE	135.981	90.65
29	LNGSA(Langsa)	144.043	96.03
30	TLCUT	143.448	95.63
31	GIDIE	144.289	96.19
32	LSMWE(L.Seumawe)	145.437	96.96
33	BIRUN	145.888	97.26
34	SIGLI	147.353	98.24
35	BACEH(Banda Aceh)	147.601	98.40

Dari Gambar 8 diketahui bahwa pada beberapa Bus sistem Sumbagut-Nanggro Aceh Darussalam kondisi di luar waktu beban puncak pagi (LWBP) tanpa menggunakan kapasitor ada beberapa Bus yang mengalami perubahan tegangan.



Gambar 8. Kurva beban pagi

Tabel 4 Bus yang bermasalah diambil sampel 2 Bus sebagai patokan untuk dipasang kapasitor, sehingga dari Bus dapat disuntikan ΔQ

Tabel 4. Bus yang bermasalah beban malam & pagi

Hasil Analisa					
Beban Malam			Beban Pagi		
NO	Nama Bus	Tegangan KV	%Tegangan	Tegangan KV	%Tegangan
1	PSTAR	94,978	63,32	124,583	83,04
2	KSRAN	98,251	65,50	114,238	76,16
3	TINGGI	104,624	69,75	121,363	80,91

Hasil Analisa Load Flow Penempatan kapasitor pada Beban Malam

Tabel 5. Sebelum dipasang kapasitor

No	Bus/Kota	Kapasitor		Tegangan di Bus	
		ΔQ	kv	kv	%
1	PSTAR				
2	KSRAN				
3	PBUNG		126,511	84,34	
4	TBTGI		104,624	69,75	
5	PORSEA		101,102	67,40	
6	TRUTG		110,320	73,55	
7	SBLGA		119,111	79,41	
8	PSDEM		128,924	85,95	
9	KTJUNG		101,368	67,58	
10	BTAGI		133,708	89,14	
11	RENUN		130,957	87,30	
12	SDKAL		127,325	84,88	
13	GTELE		121,606	81,07	

Tabel 6. Sudah di pasang kapasitor di bus Pstar & Ksrn

No	ΔQ	Tegangan di Bus							
		pbung	tbgti	porsea	trutg	sblga	psdem	ktjung	btagi
-	pstar ksrn	126,5	104,6	101,1	110,3	119,1	128,9	101,3	133,7
1.-	150 -150	129,86	112,19	109,97	116,99	124,98	133,00	110,3	135,4
2.-	225 -225	131,63	116,34	114,86	120,57	128,10	135,11	115,3	136,2
3.-	300 -300	133,42	120,73	120,04	124,30	131,31	137,22	120,6	137,1
4.-	375 -375	135,21	125,31	125,49	128,13	134,58	139,30	126,3	138,0
5.-	450 -450	136,91	130,02	131,14	131,99	137,83	141,27	132,2	138,8
6.-	525 -525	138,43	134,74	136,89	135,76	136,89	143,06	138,3	139,5
7.-	540 -540	138,61	135,32	137,88	136,42	137,88	143,36	138,7	139,6

Keterangan : Parameter **Warna Merah** belum di perbaiki
: Parameter **Warna Hitam** Sudah diperbaiki (diinjeksikan MVAR)

4.3 Hasil Analisa Load Flow Penempatan kapasitor pada Beban Pagi

Tabel 7. Sebelum di pasang Kapasitor di bus Tbtgi&Ksrn

No	Bus	Tegangan di Bus	
		ΔQ	kv
1.	TBTGI		
2.	KSRAN		
3.	PBUNG	130,538	87,03
4.	PSTAR	124,593	83,06
5.	PORSEA	130,152	86,77
6.	KTJUNG	118,417	78,94

Tabel 8. Sudah di pasang kapasitor di Bus Pstar&Ksrn

No	ΔQ	Tegangan di Bus			
		tbgti ksrn	bung	pstar	porsea ktjung
-		130,538	124,593	130,152	118,417
1.-	-90 -90	133,816	130,904	135,059	126,687
2.-	-135 -135	135,076	133,354	136,959	129,361
3.-	-180 -165	136,763	136,658	139,501	133,643
4.-	-210 -180	137,699	138,467	140,828	135,803

V. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan simulasi maka hasil penelitian dapat diambil kesimpulan yang didapat dari analisa aliran daya sistem pembangkit Sumbagut-Nanggroe Aceh Darussalam menggunakan simulasi program ETAP 4.0 adalah :

1. Tegangan pada setiap bus tergantung besar daya reaktif pada bus tersebut
2. Tegangan yang paling rendah untuk setiap tinjauan permasalahan pada bus 150 KV, yaitu di bus PSTAR dan bus KSRAN
3. Tegangan untuk di Bus RTPAT 150 KV memuncak 162 KV nilai rata-rata 108 % kondisi *Over voltage*, dimana MW nya diketahui sedangkan MVAR tidak diketahui.
4. Aliran Daya paling tinggi terdapat pada saluran transmisi antara bus BLWCC dengan S.Rotan.
5. Losses transmisi paling tinggi untuk setiap tinjauan permasalahan adalah saluran transmisi RTPAT-KSRAN
6. Losses semakin besar jika jarak saluran transmisi bertambah panjang maka rugi-rugi pada saluran semakin besar.
7. Saluran transmisi 13 bus diperbaiki dengan penempatan dan menggunakan Kapasitor
8. Kapasitor di hubungkan ke bus PSTAR dan bus KSRAN untuk memperbaiki tegangan menjadi tidak bermasalah
9. Dari analisa, untuk keperluan perbaikan yang bermasalah dibangkitkan atau diinjeksikan daya reaktif -540 MVAR, -525 MVAR, -210 MVAR dan -180 MVAR dari Kapasitor
11. Daya reaktif yang diekspor oleh bus PSTAR dan bus KSRAN dapat dikurangi 34,47% dan 35,16% dan 10,8% dan 14,34%

5.2 Saran

Untuk kesempurnaan penelitian ini maka perlu saran yang dapat dari analisa aliran daya sistem pembangkitan Sumbagut menggunakan simulasi program ETAP 4.0 adalah

1. Hal-hal yang harus diperhatikan untuk analisa aliran daya menggunakan ETAP 4.0 adalah alokasi daya aktif, daya reaktif dan tegangan yang diinginkan ada bus
2. Untuk menghasilkan analisa aliran daya yang optimal maka sebelum melakukan analisa aliran daya sebaiknya dilakukan optimasi terhadap daya yang disalurkan pembangkit
3. Hasil analisa aliran daya pada sistem pembangkitan Sumbagut-Nanggro Aceh Darussalam dapat dikembangkan :
 - a. Analisa transient stabilitas sistem pembangkitan Sumbagut-NAD
 - b. Optimasi alokasi daya reaktif

Daftar Pustaka

- [1] Asnal Effendi, Sasongko Pramono Hadi, Soedjatmiko, Dept of Electrical Eng, Faculty, Institut Technology Padang, *Voltage Stability Analysis of Power System Electrical Apply to Sumbagteng System* (Sumbar-Riau-Jambi)
- [2] Beaty, H.Wayne, 2000, *Handbook of Electric Power Calculations*, Third Edition. McGraw-Hill.
- [3] Das, J.C, 2002, *Power System Analysis-Short Circuit Load Flow and Harmonics*. Marcel Dekker,Inc.
- [4] E.El-Hawary, Mohamed, 1983, *Electrical Power System Design and Analysis*. Reston Publishing Company,Inc A Prentice-Hall Company, Virginia. .
- [5] Emmy Hosea, Yusak Tanoto, *Perbandingan Analisa Aliran Daya dengan Menggunakan Metode Algoritma Genetika dan Metode Newton-Raphson*, Jurusan Teknik Elektro, UKP.
- [6] Gonen, Turan, 1988, *Modern Power System*, Jhon Wiley and Sons,Inc,Kanada
- [7] Grainger, John J., and Stevenson, W. D. Jr., 1994. *Power System Analysis*. McGraw-Hill.
- [8] Heru Dibyo Laksono, *Perbandingan Metoda Newton Raphson Dan Metoda Fast Decouple Pada Studi Aliran Daya* (Aplikasi PT.PLN Sumbar-Riau 150 KV), Jurusan Teknik Elektro, UAP, Kampus Limau Manis Padang Sumatera Barat.
- [9] M.A.PAI, 1984, *Computer Techniques in Power System Analysis*, McGraw-Hill.
- [10] Refdinal Nazir, UAP, Bahan Kuliah *Pengaturan Daya Reaktif pada Sistem Transmisi*, Dosen S2 USU, Jurusan Teknik Elektro, UAP, Kampus Limau Manis Padang Sumatera Barat
- [11] Reri Afrianita, Heru Dibyo Laksono, *Studi Aliran Daya Dengan Metoda Newton-Raphson*, (Aplikasi PT.PLN Sumbar-Riau 150 KV), Jurusan Teknik Elektro, UAP, Kampus Limau Manis Padang Sumatera Barat
- [12] Suprpto, 2009. Bahan kuliah, *Komputasi Pada Sistem Tenaga*, Dosen S2 USU.

