

ANALISIS TEGANGAN SETIAP BUS PADA SISTEM TENAGA LISTRIK GORONTALO MELALUI SIMULASI ALIRAN DAYA

Ervan Hasan Harun

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik
Universitas Negeri Gorontalo

ABSTRACT. This study aims to analyze the voltage of each bus on Electric Power System Gorontalo under normal conditions. The problem of this study is limited to the determination of the voltage at various points / bus and channels. The approach method of power flow used in this study is the Newton-Rhapson by an accuracy factor of 0.0001 through simulations with the aid of ETAP 4.0 (Electrical Transient Analyzer Program).

Keywords: power flow, Newton-Rhapson, ETAP

PENDAHULUAN

Kecenderungan sistem tenaga listrik saat ini adalah terbentuknya sistem interkoneksi antara satu pusat pembangkit dengan pembangkit lainnya dengan tujuan untuk meningkatkan keandalan sistem tenaga listrik, yang selalu dituntut untuk dapat menyediakan dan menyalurkan energi listrik secara terus menerus kepada konsumen dalam jumlah dan mutu yang baik. Untuk tujuan itu, sistem tenaga listrik haruslah direncanakan dan dioperasikan dengan baik.

Analisis aliran daya dibutuhkan untuk menentukan kondisi operasi sistem tenaga dalam keadaan mantap, melalui pemecahan persamaan aliran daya pada jaringan. Tujuan utama studi aliran daya adalah untuk menentukan magnitudo tegangan, sudut tegangan, aliran daya aktif dan dayareaktif pada saluran, serta rugi-rugi transmisi yang muncul dalam sistem tenaga. Hasil studi aliran daya dapat dijadikan pedoman dalam perencanaan, pengoperasian sistem, penjadwalan ekonomis sistem pembangkit, dan juga dibutuhkan dalam banyak analisis seperti stabilitas transien dan studi kontingensi.

Sistem tenaga listrik Gorontalo merupakan sistem interkoneksi dengan sistem Minahasa yang terdiri atas berbagai pusat tenaga listrik yang terhubung melalui saluran udara tegangan tinggi (SUTT) 150 kV. Sebagai sistem tenaga listrik yang baru selesai dibangun, maka diperlukan sebuah studi tentang aliran daya pada sistem tenaga listrik Gorontalo yang diharapkan menjadi pedoman dalam pengoperasian, perencanaan pengembangan sistem, dan juga sebagai dasar untuk studi lainnya seperti koordinasi relay proteksi, analisis transien, maupun studi stabilitas dan keandalan sistem.

TINJAUAN PUSTAKA

Studi aliran daya (*load flow*) digunakan untuk menentukan tegangan, arus, daya aktif atau daya reaktif di berbagai macam titik/bus pada jaringan listrik dalam kondisi operasi normal (Stevenson, 1994). Selain dipergunakan untuk perencanaan pengembangan sistem listrik pada masa mendatang, juga dapat digunakan untuk mengevaluasi kondisi sistem kelistrikan yang sudah ada (*existing*) (Gupta, 1998).

Tujuan studi aliran daya adalah untuk mengetahui besar vektor tegangan pada tiap bus dan besar aliran daya pada tiap cabang suatu jaringan untuk suatu kondisi beban tertentu dalam kondisi normal. Hasil perhitungan dapat digunakan untuk menelaah berbagai persoalan yang berhubungan dengan jaringan tersebut, yaitu meliputi hal-hal yang berhubungan dengan operasi jaringan yaitu: (Saadat, 1999)

- a. Pengaturan tegangan (*voltage regulation*), perbaikan faktor daya (*power factor*) jaringan, kapasitas kawat penghantar, termasuk rugi-rugi daya.
- b. Perluasan atau pengembangan jaringan, yaitu menentukan lokasi yang tepat untuk penambahan bus beban baru dan unit pembangkitan atau gardu induk baru.
- c. Perencanaan jaringan, yaitu kondisi jaringan yang diinginkan pada masa mendatang untuk melayani pertumbuhan beban karena kenaikan terhadap kebutuhan tenaga listrik.

Amirulah dkk (2008) telah melakukan penelitian menggunakan Jaringan Saraf Tiruan *Counterpropagation* termodifikasi untuk studi aliran daya pada kondisi kontengensi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode ini lebih efektif dalam menentukan magnetudo dan sudut tegangan bus, dengan error pelatihan sudah memenuhi syarat yakni di bawah SEE sebesar 5%

Penyelesaian analisis aliran daya menggunakan metode *Gauss-Seidel* dengan bantuan program MATLAB memberikan hasil yang cepat dan akurat (I Putu Suka Asra, 2004), tetapi metode *Gauss-Seidel* hanya cocok untuk sistem tenaga listrik yang memiliki sedikit bus.

Wilhelmina (2008) melakukan penelitian mengenai aliran daya pada sistem tenaga listrik yang terinterkoneksi menggunakan program ETAP (*Electrical Analyzer Program*). Simulasi yang dilakukan pada penelitian ini adalah bagaimana aliran daya pada sistem yang dipasang kapasitor bank dengan sistem tanpa kapasitor bank.

Berbagai macam metode penyelesaian aliran daya sudah diterapkan dalam banyak penelitian, salah satu metode yang mulai populer untuk digunakan dalam analisis dan penyelesaian masalah sistem tenaga listrik adalah metode Algoritma Genetika. Kelebihan penggunaan metode Algoritma Genetika ini adalah dalam mendapatkan penyelesaian yang

optimal untuk suatu permasalahan dari sekumpulan kemungkinan penyelesaian. (Emyy Hosea, dkk , 2005)

Metode Injeksi Arus (*Current Injections Method*) merupakan metode baru hasil pengembangan dari metode *Newton-Raphson* yang digunakan untuk menganalisa aliran daya. Metode Injeksi Arus memiliki struktur matriks Jacobian yang diperbaharui pada setiap iterasi sehingga lebih cepat dalam melakukan analisis aliran daya.

Penelitian mengenai analisis aliran daya dengan metode injeksi arus sudah pernah dilakukan oleh Manuaba, dkk (2009) pada sistem distribusi 20 kV. Hasil penelitian menunjukkan bahwa, metode Injeksi Arus memerlukan waktu komputasi yang lebih sedikit dibandingkan dengan metode *Newton-Rhapson*.

Waktu yang dibutuhkan dalam proses komputasi menggunakan metode Injeksi Arus yang lebih singkat dibandingkan dengan metode *Newton-Rhapson* dapat terjadi karena metode Injeksi Arus memiliki struktur matriks Jacobian yang identik dengan matriks admitansi bus dimana elemen diagonal matriks tersebut diperbaharui pada setiap iterasi, dan elemen matriks bukan diagonalnya konstan pada setiap iterasi. Pada sistem distribusi, matriks bukan diagonal selalu konstan pada setiap iterasi, hal inilah yang menyebabkan metode injeksi arus lebih cepat dibandingkan dengan metode *Newton Raphson*. Oleh karena itu, metode Injeksi Arus lebih cocok digunakan untuk menganalisis aliran daya pada sistem distribusi, sedangkan metode *Newton-Rhapson* biasanya digunakan dalam menganalisis aliran daya pada sistem transmisi yang memiliki matriks jaringan yang lebih kompleks dibandingkan dengan sistem distribusi.

Sebuah penelitian mengenai aliran daya pada sistem terintegrasi AC-DC dilakukan oleh Khairudin (2009). Pemodelan komponen saluran transmisi DC yang terinegrasi dengan sistem AC menjadi isu utama dalam penelitian ini. Diagram alir, pengujian dan hasil dari metode pada penelitian ini menggunakan *IEEE test system*. Hasil penelitian Khairudin (2009) menunjukkan bahwa, penggunaan metode *sequential approach* yang berbasis pada metode *fast decouple*, memungkinkan untuk melakukan studi aliran daya pada sistem terintegrasi AC-DC tanpa harus melakukan modifikasi ulang terhadap algoritma studi aliran daya. Kelemahan dari penelitian ini adalah sistem yang diuji bukan sistem tenaga listrik yang *existing* melainkan *IEEE test system*, sehingga hasil yang diberikan belum dapat menjamin unjuk kerja metode ini bila diterapkan pada sistem yang benar-benar ada.

Simulasi dan pada penelitian ini, dilakukan pada sistem yang *existing* yakni Sistem Tenaga Listrik Gorontalo yang baru selesai dibangun dan masih dalam tahap pengujian untuk dapat berinterkoneksi dengan sistem tenaga listrik Sulawesi Utara.

CARA PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif, yakni untuk menentukan berapa besar tegangan setiap bus yang ada pada sistem tenaga listrik Gorontalo. Adapun metode yang digunakan dalam menganalisis adalah metode *Newton-Rhapson* yang terintegrasi di dalam program ETAP versi 4.0.

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data yang ada pada sistem tenaga listrik 150 kV Gorontalo. Sumber data adalah: PT. PLN (Persero) Wilayah SULUTTENGGGO Cabang Gorontalo. Adapun data-data yang dibutuhkan dalam analisis aliran daya adalah sebagai berikut:

- Diagram satu garis (*one line diagram*) sistem tenaga listrik Gorontalo
- Generator yang tersambung dengan sistem, kapasitas daya terpasang dalam (MW) dan daya mampu dari masing-masing pembangkit dalam satuan MW.
- Transformator disetiap Gardu Induk
- Jenis dan panjang penghantar yang digunakan
- Bus, data yang dibutuhkan adalah: rating kV, %V, angle, dan LDF
- Beban, yakni beban yang dilayani oleh sistem tenaga listrik Gorontalo

Berdasarkan data-data sistem dilakukan simulasi aliran daya dengan metode Newton-Rhapson menggunakan program ETAP 4.0. Simulasi dilakukan dengan skenario (*design*) sebagai berikut:

a. Skenario 1

- Daya terpasang dan daya mampu pembangkit mengikuti data yang diberikan dalam Tabel 1.
- Beban yang tersambung pada Gardu Induk seperti pada Tabel 2.
- Beban puncak sistem adalah kondisi beban puncak tanggal 13 Pebruari 2012, yakni kondisi pembebanan 46% dari beban tersambung.

b. Skenario 2

- Daya terpasang dan daya mampu pembangkit mengikuti data yang diberikan dalam Tabel 1.
- Beban yang tersambung pada Gardu Induk seperti pada Tabel 2.
- Terjadi peningkatan beban dari 46% menjadi 60% dari beban tersambung, tanpa peningkatan daya mampu dari pembangkit.

c. Skenario 3

- Daya terpasang dan daya mampu pembangkit mengikuti data yang diberikan dalam Tabel 1.

- Beban yang tersambung pada Gardu Induk seperti pada Tabel 2.
- Terjadi peningkatan beban dari 60% menjadi 90% dari beban tersambung, tanpa peningkatan daya mampu dari pembangkit.

Ketiga skenario disimulasi dalam 2 (dua) pola operasi sistem, yakni pada saat sistem Gorontalo *isolated*, dan sistem Gorontalo *interkoneksi* dengan sistem tenaga listrik Minahasa.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem tenaga listrik Gorontalo pada awalnya merupakan sistem tenaga listrik yang masih sederhana, karena energi listrik setelah dibangkitkan oleh generator langsung didistribusikan ke konsumen melalui jaringan distribusi 20 kV tanpa perantaraan saluran transmisi.

Saat ini sistem tenaga listrik Gorontalo sudah terinterkoneksi dengan sistem Minahasa (Sulawesi Utara) melalui Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV. Sistem tenaga listrik Gorontalo dipasok dari beberapa pusat tenaga listrik yang tersebar di propinsi Gorontalo, yang didominasi oleh Pusat Listrik Tenaga Diesel (PLTD). Kapasitas terpasang dan daya mampu dari setiap pusat tenaga listrik pada sistem tenaga listrik Gorontalo diberikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Daya Terpasang dan Daya Mampu

No	Lokasi	Daya Terpasang	Daya Mampu	
		(MW)	MW	%
1.	Gl Botupingge			
	PLTD Telaga	23,50	14,80	63
	PLTD Sewa Telaga	19,86	11,00	55
	Total 1	43,36	25,80	60
2.	Gl Marisa			
	PLTD Marisa	3,49	2,00	57
	PLTD Tilamuta	1,65	0,42	25
	PLTD Sewa Marisa	3,20	2,00	63
	PLTD Sewa Paguat	10,00	10,00	100
	PLTD Lemito	1,57	0,60	38
	Total 2	19,91	15,02	75
3.	Gl Isimu			
	PLTD Sewa Isimu	26,60	14,00	53
	Total 3	26,60	14,00	53
4.	Gl Boroko			
	PLTM Mongago	1,50	1,00	67
	Total 4	1,50	1,00	67
Total Sistem		91,37	55,82	61

Beban tersambung pada setiap Gardu Induk (dalam MVA) diberikan dalam Tabel 2., dan gambaran beban puncak sistem saat *isolated* diberikan dalam Tabel 3.

Tabel 2. Beban Tersambung pada Gardu Induk

No	Lokasi	Beban Tersambung	Beban dilayani		Beban off
		MVA	MVA	%	MVA
1	GI Botupingge	60,06	27,89	46	32,17
2	GI Isimu	30,23	13,89	46	16,33
3	GI Boroko	2,29	1,05	46	1,24
4	GI Marisa	31,32	14,40	46	16,92
	Total Beban Sistem	123,90	57,24	46	66,66

Tabel 3. Beban Puncak Sistem Gorontalo tanggal 13 Pebruari 2012

Jam	PLTD														Total Beban	
	Mongango MW	Telaga MW	Tilamuta MW	Marisa MW	Lemito MW	Sewa I Telaga MW	Sewa II Telaga MW	Sewa III Telaga MW	Sewa IV Isimu MW	Sewa V Isimu MW	Sewa MFD Isimu MW	Sewa VI Marisa MW	Sewa VII Paguat	Mesim MW	Feeder	
17:00	1,00	5,50	0,00	0,00	0,00	5,00	0,00	4,50	6,00	5,00	2,20	2,00	9,20	40,40	37,60	
17:30	1,00	5,50	0,00	0,00	0,00	5,00	0,00	4,50	6,00	5,00	2,20	2,00	9,20	40,40	39,09	
18:00	1,00	14,50	0,00	0,00	0,00	5,00	2,00	4,50	6,00	5,00	2,20	2,00	9,20	51,40	43,99	
18:30	1,00	14,50	0,30	2,00	0,18	5,00	2,00	4,50	6,00	5,00	2,20	2,00	9,20	53,88	50,96	
19:00	1,00	14,50	0,30	2,00	0,18	5,00	2,00	4,50	6,00	5,00	2,20	2,00	9,20	53,88	52,62	
19:30	1,00	14,50	0,30	2,00	0,18	5,00	2,00	4,50	6,00	5,00	2,20	2,00	9,20	53,88	52,86	
20:00	1,00	14,50	0,30	2,00	0,18	5,00	2,00	4,50	6,00	5,00	2,20	2,00	9,20	53,88	52,28	
20:30	1,00	14,50	0,30	2,00	0,18	5,00	2,00	4,50	6,00	5,00	2,20	2,00	9,20	53,88	51,60	
21:00	1,00	14,50	0,30	2,00	0,18	5,00	2,00	4,50	6,00	5,00	2,20	2,00	9,20	53,88	50,99	
21:30	1,00	13,50	0,00	0,00	0,00	5,00	0,00	4,50	6,00	5,00	2,20	2,00	9,20	48,40	47,93	
Tertinggi	1,00	14,50	0,30	2,00	0,18	5,00	2,00	4,50	6,00	5,00	2,20	2,00	9,20	53,88	52,86	

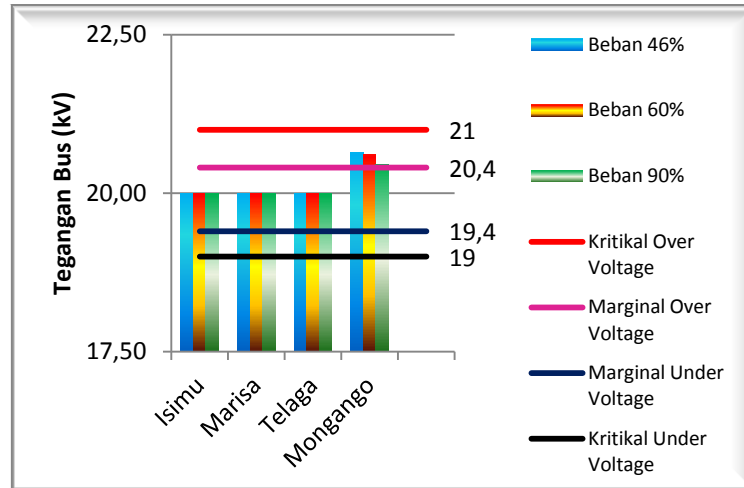
Hasil simulasi saat sistem *isolated*

Tegangan di setiap bus saat Sistem Gorontalo *isolated* dari sistem Minahasa dengan kondisi pembebanan dan pembangkitan sesuai skenario 1, skenario 2, dan skenario 3 didapatkan hasil simulasi sebagai berikut:

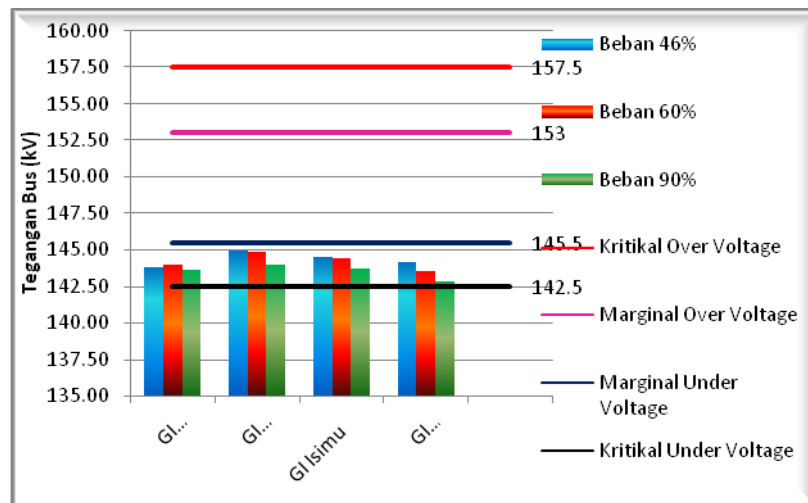
Tabel 4. Tegangan di setiap bus pada sistem Gorontalo saat *isolated*

Nama Bus	Rating (kV)	kV			% Magnetude		
		Skenario			Skenario		
		1	2	3	1	2	3
Isimu	20,00	20,00	20,00	20,00	100,00	100,00	100,00
Marisa	20,00	20,00	20,00	20,00	100,00	100,00	100,00
Telaga	20,00	20,00	20,00	20,00	100,00	100,00	100,00
Mongango	20,00	20,63	20,60	20,46	103,17	103,02	102,29
GI Botupingge	150,00	143,85	143,97	143,61	95,90	95,98	95,74
GI Buroko	150,00	144,94	144,84	144,03	96,63	96,56	96,02
GI Isimu	150,00	144,48	144,41	143,71	96,32	96,28	95,81
GI Marisa	150,00	144,12	143,57	142,81	96,08	95,71	95,20

Dari tabel 4. dapat diketahui kondisi tegangan pada setiap bus berdasarkan batas-batas marginal dan kritikal baik untuk *over voltage* maupun *under voltage* seperti ditunjukkan pada gambar 1 dan gambar 2.



Gambar 1. Tegangan Bus 20 kV saat sistem *isolated*



Gambar 2. Tegangan Bus 150 kV saat sistem *isolated*

Hasil simulasi aliran daya menunjukkan bahwa, pada saat sistem Gorontalo *isolated* dari sistem Minahasa, terdapat 5 bus/rel atau sebesar 62,5% dari total bus yang bekerja dengan tegangan sistem yang tidak normal, yakni sebagai berikut:

- a) Skenario 1: bus yang bekerja normal sebanyak 37,5% yakni bus Isimu, bus Marisa, dan bus Telaga, *marginalover voltage* sejumlah 12,5% yakni bus Mongango, dan *marginalunder voltage* sebanyak 50%, yakni bus GI Isimu, GI Marisa, GI Botupingge, dan GI Buroko

- b) Skenario 2: bus yang bekerja normal sebanyak 37,5% yakni bus Isimu, bus Marisa, dan bus Telaga, *marginal over voltage* sejumlah 12,5% yakni bus Mongango, dan *marginal under voltage* sebanyak 50%, yakni bus GI Isimu, GI Marisa, GI Botupingge, dan GI Buroko
- c) Skenario 3: bus yang bekerja normal sebanyak 37,5% yakni bus Isimu, bus Marisa, dan bus Telaga, *marginal over voltage* sejumlah 12,5% yakni bus Mongango, *marginal under voltage* sejumlah 37,5% yakni bus GI Botupingge, GI Buroko, dan GI Isimu, sedangkan kondisi *critical under voltage* sebanyak 12,5% yakni bus Marisa.

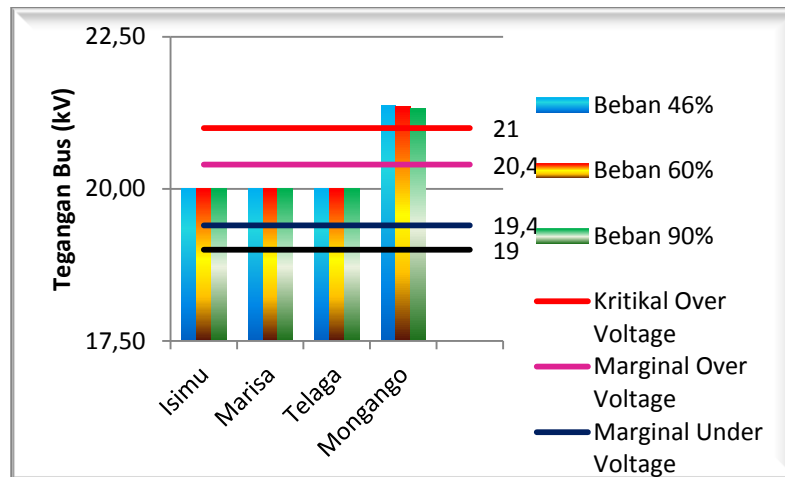
Hasil simulasi saat sistem *interkoneksi*

Tegangan di setiap bus saat Sistem Gorontalo *interkoneksi* dengan sistem Minahasa didapatkan hasil simulasi ditam[ilakn pada tabel 5.

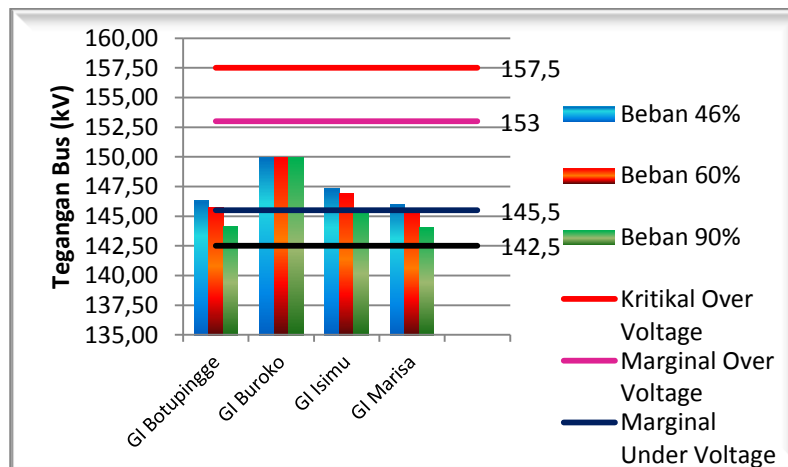
Dari tabel 5. dapat diketahui kondisi tegangan pada setiap bus berdasarkan batas-batas marginal dan kritikal baik untuk *over voltage* maupun *under voltage* seperti ditunjukkan pada gambar 3 dan gambar 4.

Tabel 5. Tegangan di setiap bus pada sistem Gorontalo saat *interkoneksi*

Nama Bus	Rating (kV)	kV			% Magnetude		
		Skenario			Skenario		
		1	2	3	1	2	3
Isimu	20,00	20,00	20,00	20,00	100,00	100,00	100,00
Marisa	20,00	20,00	20,00	20,00	100,00	100,00	100,00
Telaga	20,00	20,00	20,00	20,00	100,00	100,00	100,00
Mongango	20,00	21,37	21,35	21,32	106,83	106,76	106,61
GI Botupingge	150,00	146,32	145,77	144,13	97,54	97,18	96,09
GI Buroko	150,00	150,00	150,00	150,00	100,00	100,00	100,00
GI Isimu	150,00	147,31	146,90	145,61	98,21	97,93	97,07
GI Marisa	150,00	146,03	145,54	144,10	97,35	97,02	96,07



Gambar 3. Tegangan Bus 20 kV saat sistem *interkoneksi*



Gambar 4. Tegangan Bus 150 kV saat sistem *interkoneksi*

Hasil simulasi saat sistem interkoneksi memberikan kondisi tegangan sebagai berikut:

- Skenario 1: bus yang bekerja normal sejumlah 87,5%, *under voltage* 0%, dan *criticalover voltage* 12,5%.
- Skenario 2: bus yang bekerja normal 62,5%, *marginalunder voltage* 25%, dan *criticalover voltage* 12,5%.
- Skenario 3: bus yang bekerja normal 50%, *marginalunder voltage* 37,5%, dan *criticalover voltage* 12,5%.

SIMPULAN

Jumlah bus dengan kondisi tegangan normal untuk ketiga skenario saat *isolated* rata-rata 37,5%. Jika dibandingkan dengan kondisi tegangan saat sistem *interkoneksi* maka terjadi

peningkatan jumlah bus dengan kondisi tegangan normal yakni rata-rata 66,67% ketika sistem Gorontalo *interkoneksi* dengan sistem Minahasa.

DAFTAR PUSTAKA

- Amirullah., Ontoseno Penagnsang., Mauridhi Hery Purnomo., 2008., Studi Aliran Daya Menggunakan Jaring Saraf Tiruan *Counterpropagation* Termodifikasi. Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi (SNATI) 2008., Yogyakarta. (Diakses dari: <http://puslit.petra.ac.id> pada tanggal 28/02/2012 jam 10:52)
- Emmy Hosea., Yusak Tanoto., 2005., Perbandingan Analisa Aliran Daya dengan Menggunakan Metode Algoritma Genetika dan Metode *Newton-Raphson* (Diakses dari: <http://puslit.petra.ac.id> pada tanggal 28/02/2012 jam 10:55)
- Gupta., BR.,1998., Power System Anaysis and Design., A.H. Wheeler & Co. Ltd., New Delhi.
- I Putu Suka Arsa., 2004., Penerapan Metode Gauss Seidel Untuk Meningkatkan Kualitas Perkuliahan Jaringan Distribusi Melalui Pembelajaran Berbasis Komputer (Matlab),. Jurnal Pendidikan dan Pengajaran IKIP Negeri Singaraja, No.3 Juli 2004 (Diakses dari: <http://www.undiksha.ac.id> pada tanggal 29/02/2012 jam 10:40)
- Khairudin., 2009., Pemodelan Komponen HVDC Dan Analisa Aliran Daya Pada Sistem Terintegrasi AC-DC Dengan Metoda *Sequential Approach*. (Diakses dari: <http://jurnal.ee.unila.ac.id/wp-content/uploads/2012/01/02-Khairuddin-Vol-4-No-1-Jan-2010.pdf> pada tanggal 28/02/2012 jam 09:25)
- Kundur, P., 1993., Power System Stability and Control., McGraw-Hill, Inc., New York
- Manuaba, IBG., Kadek Amerta Yasa., 2009., Analisa Aliran Daya Dengan Metode Injeksi Arus Pada Sistem Distribusi 20 kV. (Diakses dari: http://ejournal.unud.ac.id/abstrak/manuaba_8.pdf pada tanggal 28/02/2012 jam 10:35)
- Momoh., James A., 2001., *Electric Power System Applications of Optimization*., Marcel Dekker, Inc., New York.
- Powell, L., 2005, "Power System Load Flow Analysis", McGraw-Hill, USA
- Saadat, Hadi., 1999., Power System Analysis., McGraw-Hill Book Co., Singapura.
- Stevenson, William D., Granger, John J., 1994., Power System Analysis., McGraw-Hill International Edition., New York
- Wilhelmina S.Y.M Sawai., 2008., Studi Aliran Daya menggunakan ETAP., FT UI., (Diambil dari: <http://www.lontar.ui.ac.id> pada tanggal 25/02/2012 jam 9:35)