

**Buku Prosiding
Seminar Nasional Teknik Energi dan
Ketenagalistrikan III
(SNTEK 2016)**

Editor:

**Indar Chaerah Gunadin
Faizal Arya Samman**

Penerbit:



**Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin**

Buku Prosiding Seminar Nasional Teknik Energi dan Ketenagalistrikan III (SNTEK 2016)

Editor:

Indar Chaerah Gunadin
Faizal Arya Samman

ISBN: 978-602-8509-22-0

Sampul dan Tata Letak:

TRENSILICA

Penerbit dan Penyelenggara Seminar:

Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin
Gedung COT Lt. 2, Kampus Gowa, Bontomarannu
Jl. Poros Malino Km. 20, Borongloe 92172
Sulawesi Selatan

Hak Cipta © 2016 pada Departemen Teknik Elektro Universitas Hasanuddin

Hak Cipta dilindungi oleh undang-undang.

Dilarang keras mengutip, menjiplak, menfotocopy sebagian atau seluruh isi buku ini tanpa mendapatkan izin tertulis dari Penerbit Departemen Teknik Elektro Universitas Hasanuddin, Makassar.

Dicetak di Makassar, Indonesia, November 2016.

DAFTAR ISI

Kata Pengantar	iii
Daftar Isi	v
Pemanfaatan Solar Cell Sebagai Sumber Energi Listrik Alternatif Pada Gedung Fakultas Saintek Unisnu Jepara <i>Penulis: Safrizal</i>	1-5
Studi Evaluasi Penggunaan Relai Satatik Jenis ALSTOM Tipe MBCH 12 Pada Gardu Induk Sungguminasa. <i>Penulis: Muhira Dzar Faraby, Andi Fitriati, Isminarti</i>	7-13
Study Fisibility Potensi Energi Laut Untuk Pengembangan EBT di Indonesia. <i>Penulis: Agus Siswanto, Indar Chaerah Gunadin, Ansar Suyuti</i>	15-21
Analisis Kelayakan Gas Flare Untuk Pembangkit GE JENBACHER Terhadap Energi Listrik Di Tanjung Jabung Power Jambi. <i>Penulis: Suprih Kundartono, Agus Siswanto</i>	23-28
Analisis dan Desain Filter Pasif untuk Inverter Satu-Fasa melalui Pengujian Beban Variabel Resistif. <i>Penulis: Ma'arif Hasan, Tirza Damayanti, Faizal Arya Samman, Gassing</i>	29-36
Analisis Gangguan Hubung Singkat pada Sistem Transmisi Sulawesi Selatan dan Barat. <i>Penulis: Rais, Astuty</i>	37-42
Simulasi Pengujian Kinerja Algoritma Pencarian Titik Daya Maximum Untuk Sistem PLTS <i>Penulis: Faizal Arya Samman, Abd. Azis Rahmansyah, Syafaruddin</i>	43-48
Penggunaan Algoritma Genetika Dalam Mengoptimalkan Penempatan SVC di Sistem Kelistrikan Sulselbar Berdasarkan RUPTL PT.PLN (Persero) 2014-2022. <i>Penulis: Muhira Dzar Faraby, Andi Fitriati, Isminarti, Syafaruddin, Ansar Suyuti</i>	49-56
Perbaikan Kestabilan Transient dengan Metode Penjadwalan Ulang Pembangkitan Daya Aktif. <i>Penulis: Indar Chaerah Gunadin</i>	57-60
Parameterisasi Kendali PID pada Konverter DC/DC Penurun Tegangan dengan Kriteria Domain Waktu dan Efisiensi Daya. <i>Penulis: Andy Lukman Affandy, Faizal Arya Samman, Rhiza S. Sadjad</i>	61-65

Simulasi Peletakan Pembangkit Tenaga Listrik Pada Sistem Kelistrikan di Provinsi Sulawesi Selatan <i>Penulis : Yusran.....</i>	143-145
Perbandingan Kestabilan Tegangan Pada Waktu Operasi Beban Puncak (WBP) dan Luar Waktu Beban Puncak (LWBP) di Wilayah SULSELBAR <i>Penulis : Zaenab Muslimin, Indar Chaerah.....</i>	147-153
Pengaruh Penguatan AVR Generator PLTA Bakaru Terhadap Kestabilan Tegangan Waktu Beban Puncak Pada Sistem Interkoneksi Sulsebar <i>Penulis : Zaenab Muslimin, Indar Chaerah.....</i>	155-161

Perbandingan Kestabilan Tegangan Pada Waktu Operasi Beban Puncak (WBP) dan Luar Waktu Beban Puncak (LWBP) di Wilayah SULSELBAR

Zaenab Muslimin¹, Indar Chaerah²

¹Departemen Teknik Elektro, Universitas Hasanuddin, Makassar

^{1,2}Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Makassar

e-mail: ¹zaenab_muslimin@yahoo.com, ²indarcg@gmail.com

Abstrak –Ketergantungan akan tenaga listrik tidak lepas dari perkembangan zaman, dimana saat ini semua peralatan yang dipakai sudah menggunakan listrik sebagai pencatu dayanya, sehingga stabilitas sistem tenaga listrik merupakan hal yang selalu diharapkan oleh konsumen dan juga selalu diusahakan oleh pihak penyedia energi listrik itu sendiri. Adapun waktu kebutuhan akan beban terbagi atas dua yaitu waktu beban puncak (WBP) dan waktu diluar beban puncak (LWBP). Pada penelitian ini dilakukan simulasi dengan menggunakan software ETAP Power Station 12.6, merupakan software yang dapat menampilkan secara *graphicinterface*. Tegangan di sistem PT. PLN (Persero) SULSELBAR secara keseluruhan masih dalam keadaan handal dimana dilihat dari penurunan tegangan yang terjadi masih stabil yang sesuai dengan SPLN No. 1:1995 Pasal 4 tentang variasi tegangan pelayanan yaitu sebesar +5% dan -10%. Berdasarkan hasil simulasi, pada Waktu Beban Puncak (WBP) terjadi masalah penurunan tegangan pada sistem saat penambahan beban 30% pada bus 20 kv *line* Panakukang yakni sebesar 10%. Sedangkan pada Waktu Luar Beban Puncak (LWBP) terjadi masalah pada sistem saat penambahan beban sebesar 60% besar yakni bus 20 kv di *line* Tallo lama yaitu 10,54%. Untuk memperbaiki kondisi Sistem Kelistrikan Interkoneksi SULSELBAR pada waktu beban puncak (WBP) maka diperlukan 10.000 kVar atau sebesar 1 unit kapasitor bank di bus 150 kV *line* Sungguminasa.

Kata Kunci:kestabilan tegangan, waktu beban puncak dan luar beban puncak, ETAP Power Station 12.6.

I. PENDAHULUAN

Ketergantungan akan listrik tidak lepas dari perkembangan zaman, dimana saat ini semua peralatan yang dipakai menggunakan listrik sebagai pencatu dayanya, sehingga stabilitas sistem tenaga listrik merupakan hal yang selalu diharapkan oleh konsumen dan juga selalu diusahakan oleh pihak penyedia energi listrik itu sendiri. Adapun waktu kebutuhan akan beban terbagi atas dua yaitu Waktu Beban Puncak (WBP) dan Luar Waktu Beban Puncak (LWBP).

Dalam mendapatkan pengoperasian sistem tenaga listrik yang berkualitas, kontinu dan aman maka dibutuhkan sistem stabilitas tegangan yang cukup baik. Hal ini dikarenakan jika suatu stabilitas tegangan terganggu akan sangat berpengaruh terhadap kualitas dan kontinuitas sistem tenaga, sehingga jika tidak segera diatasi akan menjadi kegagalan sistem. Kestabilan sistem tenaga listrik didefinisikan sebagai suatu kemampuan dari sistem untuk menjaga kondisi operasi yang seimbang dan kemampuan sistem tersebut untuk kembali ke kondisi operasi normal ketika terjadi gangguan. Sistem akan masuk pada kondisi ketidakstabilan tegangan ketika terjadi gangguan,

peningkatan beban atau pada saat terjadi perubahan kondisi sistem yang disebabkan oleh jatuh tegangan yang tidak terkontrol.

Kondisi sistem kelistrikan interkoneksi SULSELBAR saat ini berkembang cukup signifikan, baik dari sisi beban maupun pembangkitan dengan kenaikan sekitar 10 % setiap tahunnya. Pada tahun 2014, beban puncak sistem mencapai 890,53 MW dengan total daya terpasang sebesar 575,39 MW. Peningkatan beban yang terjadi setiap tahunnya menyebabkan sistem seringkali mengalami pemadaman listrik khususnya pada waktu operasi beban puncak. Perubahan beban yang terjadi pada waktu beban puncak dan diluar waktu beban puncak mengakibatkan sistem tersebut akan mengalami jatuh tegangan. Berdasarkan standar dari PLN dimana jatuh tegangan yang terjadi dibatasi sebesar -10% dan +5% dari tegangan nominal, maka penulis merasa perlu untuk melakukan studi analisa untuk sistem tersebut, untuk mengetahui apakah sistem tersebut masih dikatakan handal atau tidak.

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini berapa besar penambahan beban saat operasi waktu beban puncak (WBP) dan Luar Waktu Beban Puncak (LWBP) hingga sistem mengalami masalah, bagaimana perbandingan kestabilan tegangan pada Waktu Beban Puncak (WBP) dan Luar Waktu Beban Puncak (LWBP), berapa besar VAR yang diperlukan dan dimana lokasi pemasangan kapasitor pada Waktu Beban Puncak (WBP). Tujuan dari penelitian ini adalah menentukan besar penambahan beban saat operasi waktu beban puncak (WBP) dan di Luar Waktu Beban Puncak (LWBP) hingga sistem mengalami masalah, menentukan perbandingan kestabilan tegangan pada Waktu Beban Puncak (WBP) dan Luar Waktu Beban Puncak (LWBP), menentukan besar VAR yang diperlukan dan lokasi pemasangan kapasitor pada Waktu Beban Puncak (WBP).

Pada penelitian ini, pembahasan dibatasi pada bagian-bagian berikut ini, yaitu Sistem yang dikaji adalah sistem kelistrikan interkoneksi SULSELBAR, kestabilan tegangan yang dibandingkan adalah pada Waktu Beban Puncak (WBP) dan Luar Waktu Beban Puncak (LWBP) pada data harian tertentu PLN, data beban yang digunakan adalah data beban tertinggi pada saat waktu beban puncak (18.00-22.00) dan data beban terendah saat diluar waktu beban puncak (22.00 - 18.00), Simulasi dilakukan dengan software ETAP (Electrical and Transient Analysis Program) 12.6. Metode yang digunakan dalam pembahasan penelitian ini adalah studi literature dengan mengadakan mengadakan studi dari buku, majalah, internet dan sumber bahan pustaka atau informasi lainnya yang terkait, metode pengambilan data berupa metode deskriptif yaitu

pengambilan data secara langsung pada PT PLN (Persero) UPB SULSELBARABAR Cab. Makassar dan metode Wawancara atau diskusi yaitu mengadakan diskusi atau wawancara dengan pihak PT PLN (Persero) UPB SULSELBARABAR Cab. Makassar, serta metode analisis data yaitu dengan menganalisa terkait dengan tujuan penelitian dengan bantuan *software* ETAP 12.6.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Sistem tenaga listrik adalah suatu sistem yang terdiri dari pembangkitan, transmisi, distribusi, dan beban yang saling berinterkoneksi satu dengan yang lain. Pembangkitan merupakan komponen yang sangat penting dalam sistem. Hal ini dikarenakan pembangkitan berfungsi untuk membangkitkan tenaga listrik, yang mengubah energi berasal dari sumber lain (air, batu bara, panas bumi, minyak bumi, dll) menjadi energi listrik. Sedangkan komponen transmisi dan distribusi digunakan sebagai penyalur daya dari pembangkit ke pusat beban.



Gambar 2. 1 Sistem Tenaga Listrik

Pada suatu sistem tenaga listrik, level tegangan yang digunakan pada masing-masing komponen dapat berbeda-beda sesuai dengan kepentingannya. Pada sistem pembangkitan, level tegangan disesuaikan dengan spesifikasi dari generator pembangkit yang digunakan, dan biasanya berkisar antara 1 s/d 24 kV. Pada sistem jaringan transmisi biasanya digunakan tegangan lebih tinggi karena fungsi dari saluran transmisi adalah menyalurkan daya, sehingga dibutuhkan efisiensi yang tinggi dan dapat mengurangi rugi-rugi daya. Tegangan saluran transmisi umumnya antara 70 s/d 500 kV. Sedangkan pada jaringan distribusi, tegangan yang digunakan umumnya 20 kV untuk jaringan tegangan menengah (JTM) dan 220 V untuk jaringan tegangan rendah (JTR). Tegangan pada jaringan distribusi lebih rendah daripada tegangan saluran transmisi dikarenakan daya yang didistribusikan biasanya relatif lebih kecil dan juga disesuaikan dengan tegangan konsumen energi listrik.^[1]

Sistem tenaga listrik menurut arusnya terbagi atas dua sistem yaitu sistem arus bolak-balik (Alternating Current) dan sistem arus searah (Direct Current). Sistem rangkaian listrik AC memiliki karakteristik yang berbeda dengan rangkaian DC. Jaringan pada listrik AC memiliki tiga jenis beban listrik yang harus ditopang oleh pembangkit listrik. Ketiga beban tersebut yaitu beban resistif, beban induktif, dan beban kapasitif. Ketiganya memiliki karakteristik yang berbeda satu sama lainnya.^[2]

Dalam rangkaian listrik biasanya terdapat tiga macam beban listrik, yaitu beban resistif, beban induktif, dan beban kapasitif. Beban resistif adalah beban yang hanya terdiri dari tahanan *ohm* dan daya yang dikonsumsinya hanya daya aktif saja. Beban induktif mempunyai ciri-ciri selain mengkonsumsi daya aktif, juga menyerap daya reaktif yang diperlukan untuk pembentukan

medan magnet dalam beban tersebut. Jadi, jumlah vektor dari daya reaktif (Q) dan daya aktif (P) biasa disebut dengan daya semu (S)

Kestabilan sistem tenaga listrik didefinisikan sebagai kemampuan dari sistem untuk menjaga kondisi operasi yang seimbang dan kemampuan sistem tersebut untuk kembali ke kondisi operasi normal ketika terjadi gangguan. Salah satu faktor pada kestabilan sistem tenaga adalah stabilitas tegangan. Perubahan dinamis terhadap pemakaian atau pelepasan secara serempak kebutuhan daya reaktif beban akan menyebabkan perubahan tegangan sistem dan jika perubahan tegangannya melewati batas yang telah distandarkan oleh PT.PLN (Persero) yakni -10% dan +5%^[3] maka dapat mempengaruhi kestabilan tegangan sistem.

Stabilitas sistem tenaga listrik diklasifikasikan berdasarkan beberapa hal dibawah ini^[4]:

Stabilitas tegangan terbagi menjadi dua, yaitu stabilitas tegangan akibat gangguan yang kecil dan akibat gangguan yang luas. Stabilitas tegangan akibat gangguan kecil ini terjadi akibat gangguan yang kecil atau bersifat lokal, seperti perubahan kenaikan beban di sistem. Sedangkan, stabilitas akibat gangguan besar adalah kemampuan sistem untuk mempertahankan tegangan pada batas operasi yang ditentukan akibat terjadi gangguan yang bersifat luas, seperti kesalahan sistem, pelepasan generator, atau kontingensi pada jaringan. Keadaan tersebut membuat sistem harus mendapatkan kembali kestabilannya.

Menurut Taylor (1994) kestabilan tegangan adalah^[5]:

1. Suatu sistem tenaga pada suatu tahap operasi tertentu mempunyai tegangan stabil, bila setelah adanya gangguan kecil (small disturbance), nilai tegangan dekat beban adalah sama atau mendekati nilai tegangan sebelum terjadinya gangguan.
2. Kemampuan sistem untuk dapat menjaga tegangan pada semua bus tetap dalam batas operasi yang ditentukan setelah mengalami gangguan.
3. Suatu sistem tenaga pada suatu tahap operasi dan gangguan tertentu menuju jatuh tegangan, bila nilai tegangan setelah gangguan adalah di bawah standar batas yang ditentukan.

Menurut Taylor (1994) yaitu stabilitas tegangan adalah kemampuan sistem untuk menjaga tegangan tetap pada keadaan mantap dalam batas range ($10 \pm V_n$) yang telah ditetapkan setelah terjadi gangguan pada sistem tersebut. Suatu sistem dikatakan dalam kondisi tegangan tidak stabil bila terjadi perubahan pada sistem baik akibat gangguan maupun kenaikan beban di luar perkiraan, tegangan menurun secara cepat dan tidak terkendali. Faktor utama yang menyebabkan ketidakstabilan adalah ketidakmampuan sistem tenaga untuk memenuhi permintaan daya reaktif^[4]

Studi aliran daya adalah penentuan tegangan, arus, faktor daya pada berbagai titik pada jaringan listrik dalam keadaan berlangsung atau yang diharapkan untuk operasional normal. Pada kondisi ideal, maka daya yang diberikan oleh sisi pengirim akan sama dengan daya yang diterima beban. Namun pada kondisi real, daya yang

dikirim sisi pengirim tidak akan sama dengan yang diterima beban. [6]

Kapasitor daya yang terdiri dari 3 (tiga) jenis yaitu kapasitor *shunt*, seri dan penyadap [7] :

1. Kapasitor *shunt* digunakan untuk kompensasi beban induktif dan untuk pengaturan tegangan ujung transmisi. Aplikasi kapasitor *shunt* akan memperbaiki faktor daya jaringan, mengurangi rugi-rugijaringan, menetralkan/meniadakan jatuh tegangan dan memperbaiki stabilitas tegangan sehingga dengan kata lain suatu kapasitor *shunt* akan menaikkan angka efisiensi pada jaringan dengan memperbaiki faktor daya.
2. Kapasitor seri digunakan pada transmisi daya yang sangat panjang untuk mengkompensasi reaktansi induktif transmisi.
3. Kapasitor penyadap digunakan untuk menyadap daya dari jaringan tegangan tinggi untuk keperluan daya yang tidak begitu besar.

Pemasangan kapasitor seri dan *shunt* mengakibatkan rugi-rugi (*losses*) akibat aliran daya reaktif pada saluran dapat dikurangi sehingga kebutuhan arus menurun dan tegangan mengalami kenaikan sehingga kapasitas sistem akan bertambah. Kapasitor seri tidak digunakan secara luas dalam saluran distribusi, karena biaya pemasangan kapasitor seri jauh lebih mahal daripada kapasitor *shunt* dan biasanya kapasitor seri dirancang dengan kapasitas yang lebih besar dengan tujuan untuk mengantisipasi perkembangan beban untuk masa yang akan datang. Sehingga hal tersebut menjadi pertimbangan dalam penggunaan kapasitor *shunt* dalam sistem distribusi. Adapun keuntungan menggunakan kapasitor *shunt* adalah mengurangi *losses*, mempertinggi kapasitas pembebanan jaringan dan memperbaiki kondisi tegangan.

III. PERANCANGAN DAN SIMULASI

Data yang diambil dari PLN akan disimulasikan menggunakan *software* ETAP 12.6 untuk menentukan apakah sistem stabil atau tidak. Pertama-tama dilakukan studi aliran daya metode Newton Raphson menggunakan data yang sudah ada sehingga diperoleh profil tegangan setiap bus sistem interkoneksi SULSELBAR. Kemudian dilakukan penambahan beban hingga terjadi masalah pada sistem interkoneksi. Untuk mensimulasikan aliran daya (*load flow*), maka perlu ditentukan terlebih dahulu beberapa parameter dasar, yaitu data beban yang merupakan beban puncak yang diambil dan pembangkit mana saja yang bertindak sebagai pengatur tegangan (*voltage control*), pengatur daya reaktif (*MVARcontrol*), dan sebagai acuan (*swing/slack*). Untuk analisis aliran daya sistem SULSELBAR, PLTA Bakaru, PLTG/U Sengkang, dan PLTU Jeneponto diatur sebagai pembangkit yang *swing*. PLTA Tangka dan PLTM Sawitto diatur sebagai pembangkit *MVAR control*. Sisanya berfungsi sebagai pengontrol tegangan. Kemudian ditentukan bahwa batas maksimal tegangan bus (*critical*) adalah +5% dan batas tegangan bawah (*marginal*) adalah -10% (SPLN NO. 1:1995 pasal 4 tentang variasi tegangan pelayanan), dimana

tegangan nominal pada bus diasumsikan setara dengan 100%.

Setelah itu, menentukan besar nilai VAR dan lokasi penempatan kapasitor agar sistem kembali sttabil setelah penambahan beban.

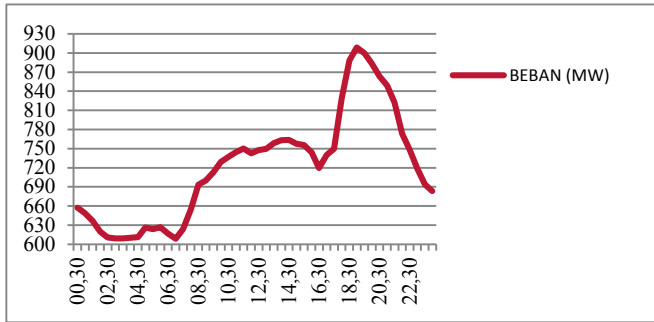
IV. HASIL PENGUJIAN/PERBANDINGAN

Pembahasan yang dilakukan dalam penulisan tugas akhir ini adalah melakukan analisa kestabilan tegangan pada waktu beban puncak dan waktu diluar beban puncak yang terjadi pada saluran transmisi PT. PLN Wilayah SULSELBAR dengan mensimulasikannya ke dalam *software* ETAP 12.6 (*Electrical Transient Analysis Program*). Untuk melengkapi data-data lapangan yang digunakan dalam perhitungan, penulis mengambil aplikasi penelitian pada sistem transmisi PT.PLN (Persero) SULSELBAR. Data-data yang digunakan dalam perhitungan adalah data-data yang sesuai dengan kondisi lapangan dan ditambah dengan data-data ketepatan yang ada pada buku referensi.

Tabel 1 Data Pembangkitan dan Mampu Pasok

No	Pembangkit	Kapasitas (MW)
1	PLTA Bakaru Unit 1	63,000
2	PLTA Bakaru Unit 2	63,000
3	PLTA Bili-Bili Unit 1	1,800
5	PLTA Poso Unit 1	51,400
6	PLTA Poso Unit 2	56,700
7	PLTA Malea	4,850
8	PLTA Tangka Manipi	2,700
9	PLTA Simbuang	0,200
10	PLTU Barru Unit 1	40,490
11	PLTU Barru Unit 2	22,550
12	PLTG GE Unit 1	24,000
13	PLTG GE Unit 2	26,000
14	PLTD Mitsubishi Unit 1	8,500
15	PLTD SWD Unit 1	8,000
16	PLTD Suppa	62,200
17	PLTD Tallasa	70,900
18	PLTD Tallo Lama	14,300
20	PLTG/U Sengkang GT Unit 11	41,000
21	PLTG/U Sengkang GT Unit 12	40,400
22	PLTG/U Sengkang GT Unit 18	46,200
23	PLTG/U Sengkang GT Unit 21	53,500
24	PLTG/U Sengkang GT Unit 22	58,600
25	PLTG/U Sengkang GT Unit 28	55,800
26	PLTG/U Jeneponto Unit 1	113,140
27	PLTG/U Jeneponto Unit 2	108,820
28	PLTM Bungin	0,960
29	PLTM Sawitto	0,600
Total Daya Pembangkit (MW)		1,039,610

Sumber : PT. PLN (Persero) UPB SULSELBAR
Cabang Makassar



Gambar 1 Data Beban Harian per Tanggal
30 November 2015

Gambar 1 merupakan data beban harian per tanggal 30 November 2015. Beban yang digunakan adalah beban tertinggi selama waktu beban puncak (18.00 - 22.00) dan beban terendah selama waktu diluar beban puncak (22.00 - 18.00).

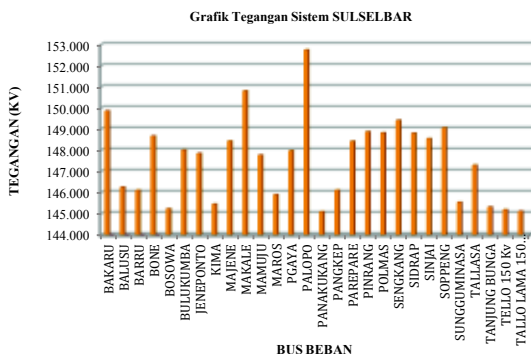
Tabel 2 Data Beban Puncak Malam dan Luar Waktu Beban Puncak serta Mampu Pasok Pembangkit

Hari/Tanggal	Jam	Beban (MW)	Mampu Pasok (MW)
Senin/ 30 November 2015	07.00 (LWBP)	608,94	614,66
	19.00 (WBP)	908,53	960,08

Sumber : PT. PLN (Persero) UPB SULSELBAR
Cabang Makassar

Terdapat dua simulasi yang dilakukan, yaitu:

1. Aliran daya pada waktu beban puncak (WBP) di malam hari (19.00 WITA)
2. Aliran daya pada waktu diluar beban puncak (LWBP) di pagi hari (07.00 WITA)



Gambar 2 Tegangan saat Waktu Beban Puncak (WBP)

Hasil dari simulasi ditampilkan pada Gambar 2 menunjukkan bahwa tegangan pada saat Waktu Beban Puncak (WBP) bus berada pada margin tegangan yang

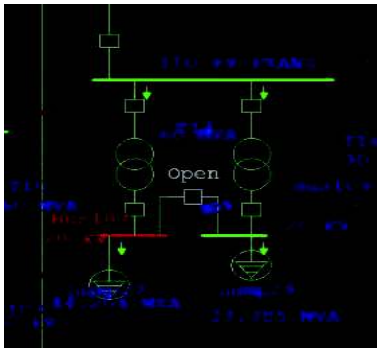
mendekati tegangan maksimum sistem stabil adalah Bus Palopo, dengan tegangan 152,744 kV dan tegangan paling rendah adalah Panakukang sebesar 145,099 kV.

Dalam penelitian ini, proses simulasi juga dilakukan dengan berbagai macam kondisi perubahan beban, yaitu dengan perubahan beban bertambah sebesar 10%, 20%, dan 30% dari beban puncak pada masing-masing bus. Hal ini dilakukan untuk melihat sejauh mana kestabilan tegangan dari sistem tersebut. Berikut hasil dari simulasi perubahan tegangan akibat beban bertambah terlihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Hasil Simulasi Saat Beban Bertambah pada WBP

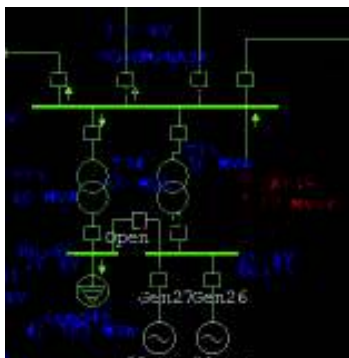
Nama Bus	Beban WBP	Beban +10%	Beban +20 %	Beban +30%
BAKARU	149,859	149,293	148,705	148,097
BALUSU	146,257	144,995	143,720	142,434
BARRU	146,109	144,828	143,534	142,230
BONE	148,669	147,810	146,931	146,036
BOSOWA	145,236	143,839	142,431	141,014
BULUKUMBA	148,004	147,031	146,039	145,032
JENEPONTO	147,848	146,942	146,017	145,076
KIMA	145,455	144,072	142,677	141,273
MAJENE	148,429	147,528	146,606	145,667
MAKALE	150,803	149,626	148,427	147,207
MAMUJU	147,771	146,772	145,754	144,718
MAROS	145,902	144,610	143,304	141,986
PGAYA	147,976	147,139	146,284	145,413
PALOPO	152,744	151,371	149,973	148,555
PANAKUKANG	145,099	143,663	142,214	140,757
PANGKEP	146,112	144,825	143,524	142,213
PAREPARE	148,422	147,528	146,616	145,69
PINRANG	148,870	148,062	147,235	146,392
POLMAS	148,820	147,991	147,142	146,275
SENGKANG	149,411	148,899	148,368	147,820
SIDRAP	148,803	147,965	147,107	146,232
SINJAI	148,548	147,650	146,735	145,805
SOPPENG	149,056	148,372	147,668	146,946
SUNGUMINASA	145,543	144,217	142,877	141,526
TALLASA	147,290	146,302	145,297	144,278
TANJUNG BUNGA	145,320	143,971	142,609	141,237
TELLO 150 Kv	145,192	143,766	142,327	140,879
TALLO LAMA 150 KV	145,125	143,647	142,157	140,660

Tabel 3 menunjukkan bahwa tegangan yang ada pada setiap bus terus turun seiring dengan bertambahnya kapasitas beban di sistem. Saat pertambahan beban mencapai 20% dari nilai beban puncak sistem, terlihat penurunan tegangan yang terjadi masih dalam kondisi stabil, artinya sistem masih mampu bekerja dengan baik. Namun, saat kenaikan beban 30% telah terdapat tegangan yang mengalami penurunan melebihi batas tegangan standar yakni pada bus 20 kV di line Panakukang.

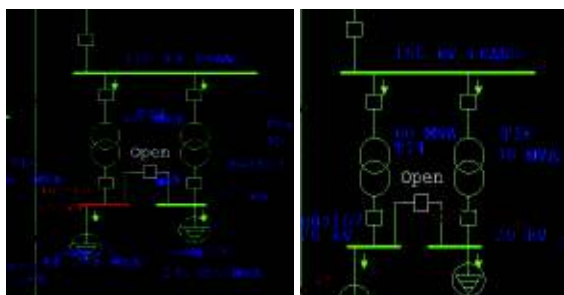


Gambar 3 Keadaan Critical Sistem Interkoneksi WBP Line Panakukang

Agar tegangan pada bus tersebut dapat kembali stabil maka perlu penambahan kapasitor. Penambahan kapasitor ini menggunakan bantuan *Optimal Capacitor Placement (OCP)* pada ETAP 12.6. Berdasarkan hasil simulasi dari *Optimal Capacitor Placement (OCP)* ini pemasangan kapasitor diletakkan pada bus 150 KV di line Sungguminasa. Kapasitas masing-masing kapasitor adalah 10 MVar. Setelah penambahan kapasitor ini, profil tegangan pada sistem kembali normal.



Gambar 4 Optimasi penempatan kapasitor pada Sistem Interkoneksi SULSELBAR WBP



Gambar 5 Keadaan Critical Sistem Interkoneksi WBP Line Panakukang

- (a) Sebelum Pemasangan Kapasitor
- (b) Setelah Pemasangan Kapasitor

Tabel 4 Hasil simulasi perubahan tegangan setelah penambahan kapasitor

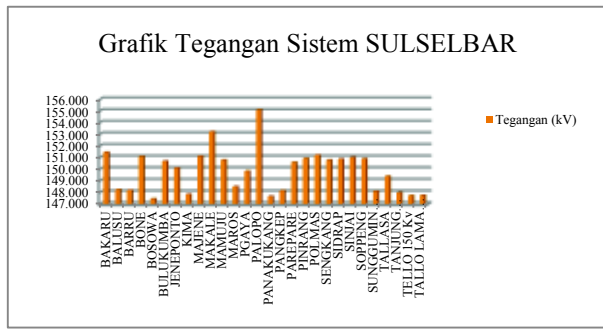
NO	Nama Bus	Tegangan Sebelum Pemasangan Kapasitor (KV)	Tegangan Setelah Pemasangan Kapasitor (KV)
1	BAKARU	148,097	148,185
2	BALUSU	142,434	142,636
3	BARRU	142,230	142,431
4	BONE	146,036	146,151
5	BOSOWA	141,014	141,250
6	BULUKUMBA	145,032	145,178
7	JENEPONTO	145,076	145,251
8	KIMA	141,273	141,519
9	MAJENE	145,667	145,769
10	MAKALE	147,207	147,337
11	MAMUJU	144,718	144,819
12	MAROS	141,986	142,264
13	PGAYA	145,413	145,603
14	PALOPO	148,555	148,688
15	PANAKUKANG	140,757	141,031
16	PANGKEP	142,213	142,420
17	PAREPARE	145,69	145,822
18	PINRANG	146,392	146,510
19	POLMAS	146,275	146,377
20	SENGKANG	147,820	147,899
21	SIDRAP	146,232	146,355
22	SINJAI	145,805	145,929
23	SOPPENG	146,946	147,047
24	SUNGGUMINASA	141,526	141,830
25	TALLASA	144,278	144,506
26	TANJUNG BUNGA	141,237	141,541
27	TELLO 150 Kv	140,879	141,153
28	TALLO LAMA 150 KV	140,660	140,933

Setelah pemasangan kapasitor, terbukti tegangan pada sistem menjadi lebih baik dibanding sebelum adanya pemasangan kapasitor. Setelah dipasangnya kapasitor *range* nilai tegangan telah berada pada +5% dan -10% sesuai dengan ketentuan variasi tegangan yang tertulis pada SPLN No. 1 Tahun 1995.

Tabel 5 Rugi-rugi daya (losses) yang terjadi

Beban	kW	
	P	Q
Normal WBP	P	18.469,4
	Q	-17.420,8
Beban 10%	P	20.783,9
	Q	12.649,4
Beban 20%	P	23.348,7
	Q	45.456,7
Beban 30%	P	26.137,1
	Q	80.728,6
Penambahan Kapasitor	P	26.131,6
	Q	80.506,6

Pada Tabel 5 terlihat bahwa setiap penambahan beban 10% losses daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) pada sistem bertambah terus menerus tetapi setelah sistem dipasang kapasitor, losses daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) menurun dengan total penurunan sebesar 5,5 kW dan 222 kVar.



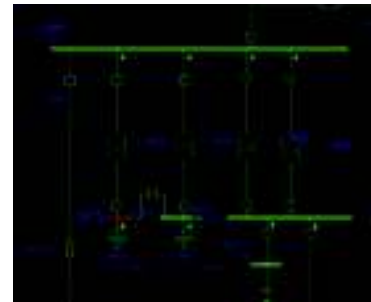
Gambar 6 Profil tegangan setiap bus sistem interkoneksi SULSELBAR LWBP

Gambar 6 menunjukkan bahwa tegangan maksimum pada saat luar waktu beban puncak (LWBP) berada pada bus Palopo, dengan tegangan 155,091 kV dan tegangan paling rendah adalah bus Bosowa sebesar 147,446 kV. Sama halnya dengan kondisi WBP, untuk kondisi luar waktu beban puncak (LWBP) juga proses simulasi dengan berbagai macam kondisi perubahan beban, yaitu dengan perubahan beban yang bertambah sebesar 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, dan 60% dari beban normal pada masing-masing bus. Hal ini dilakukan untuk melihat sejauh mana kestabilan tegangan pada waktu luar beban puncak saat diberi penambahan beban.

Tabel 6 Hasil simulasi saat beban bertambah pada LWBP

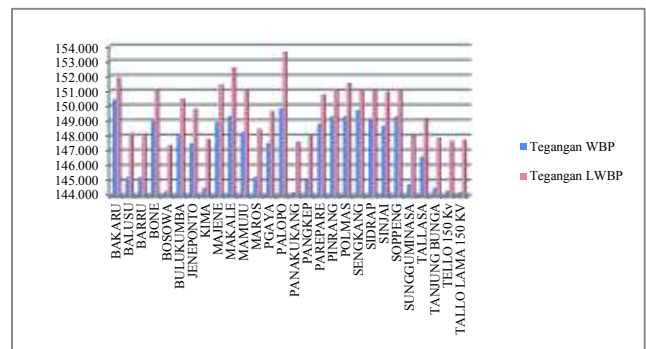
Nama Bus	Beban LWBP	Beban +10%	Beban +20%	Beban +30%	Beban +40%	Beban +50%	Beban 60%
BAKARU	151,450	151,026	150,589	150,140	149,681	149,212	148,736
BALUSU	148,233	147,137	146,037	144,935	143,831	142,728	141,628
BARRU	148,183	147,078	145,968	144,856	143,743	142,631	141,522
BONE	151,079	150,418	149,745	149,060	148,366	147,663	146,954
BOSOWA	147,446	146,256	145,062	143,867	142,672	141,478	140,288
BULUKUMBA	150,682	149,933	149,171	148,398	147,616	146,826	146,031
JENEPONTO	150,092	149,392	148,680	147,959	147,229	146,493	145,751
KIMA	147,840	146,686	145,527	144,365	143,203	142,041	140,882
MAJENE	151,103	150,454	149,491	149,117	148,433	147,741	147,042
MAKALE	153,223	152,380	151,523	150,654	149,775	148,887	147,992
MAMUJU	150,785	150,073	149,348	148,611	147,865	147,110	146,349
MAROS	148,501	147,466	146,423	145,375	144,323	143,269	142,215
PGAYA	149,818	149,161	148,493	147,815	147,130	146,438	145,741
PALOPO	155,091	154,124	153,142	152,147	151,143	150,129	149,109
PANAKUKANG	147,661	146,483	145,301	144,116	142,930	141,745	140,562
PANGKEP	148,143	147,031	145,914	144,795	143,675	142,556	141,440
PAREPARE	150,588	149,887	149,173	148,450	147,718	146,979	146,235
PINRANG	150,920	150,296	149,659	149,012	148,355	147,691	147,021
POLMAS	151,205	150,598	149,978	149,364	148,705	148,055	147,398
SENGKANG	150,778	150,393	149,996	149,589	149,172	148,747	148,316
SIDRAP	150,860	150,216	149,559	148,891	148,214	147,530	146,839
SINJAI	151,000	150,261	149,509	148,745	147,973	147,193	146,406
SOPPING	150,883	150,364	149,831	149,287	148,734	148,172	147,603
SUNGGUMI NASA	148,094	147,022	145,944	144,860	143,775	142,688	141,602
TALLASA	149,386	148,602	147,808	147,006	146,198	145,385	144,569
TANJUNG BUNGA	147,973	146,889	145,799	144,704	143,606	142,508	141,410
TELLO 150 Kv	147,719	146,548	145,372	144,192	143,012	141,833	140,655
TALLO LAMA 150 KV	147,748	146,534	145,316	144,094	142,012	141,651	140,432

Tabel 6 menunjukkan bahwa tegangan yang ada pada setiap bus terus menurun seiring dengan bertambahnya kapasitas beban di sistem. Bus yang memiliki margin kestabilan tegangannya paling rendah adalah bus Bosowa. Pada saat penambahan beban mencapai 50% dari nilai beban puncak sistem, terlihat penurunan tegangan yang terjadi masih dalam kondisi stabil, artinya sistem masih mampu bekerja dengan baik. Namun, pada saat beban bertambah 60%, mulai terdapat gangguan yakni turunnya tegangan pada bus 20 kV dari batas standar di line Tallo Lama dengan penurunan tegangan sebesar 10,54 %.



Gambar 7 Keadaan Critical Sistem Interkoneksi LWBP Line Tallo lama

Setelah mengetahui perubahan tegangan setiap bus pada waktu beban puncak dan luar waktu beban puncak maka dihasilkan perbandingan tegangan keduanya adalah sebagai berikut :



Gambar 8 Perbandingan tegangan tiap bus saat WBP dan LWBP

Pada Gambar 8 terlihat perbandingan tegangan yang terjadi pada Waktu Beban Puncak (WBP) dan Luar Waktu Beban Puncak (LWBP) yang dimana pada kondisi waktu beban puncak, tegangan di sistem mengalami penurunan yang cukup signifikan, penurunan tegangan yang paling besar terjadi pada bus Panakukang 150 kV yaitu 4,90 kV atau 3,27%. Namun, penurunan yang terjadi ini masih dalam batas marginal (-10% dan +5%). Setelah dilakukan penambahan beban dari 10%, dan 20% dari kondisi beban puncak sistem penurunan tegangan yang terjadi di setiap bus tetap dalam kondisi stabil. Namun, pada saat sistem ditambahi beban sebesar 30% dari beban puncak, telah terjadi masalah pada bus yakni penurunan tegangan di Bus 20 kV pada line Panakukang. Penurunan tegangannya sebesar 2 kV atau 10%. Sedangkan pada kondisi luar waktu beban puncak, tegangan sistem mengalami penurunan yang cukup signifikan, tetapi masih

dalam batas marginal. Penurunan tegangan yang paling besar terjadi pada bus Bosowa yaitu sebesar 2,554 kV atau 1,7%. Setelah dilakukan penambahan beban 10%, 20%, 30%, 40%, dan 50 % dari kondisi beban LWBP sistem penurunan tegangan yang terjadi di setiap bus tetap dalam kondisi stabil. Namun, pada saat penambahan beban 60% dari kondisi beban LWBP, sistem telah mengalami masalah yakni terjadi penurunan tegangan pada bus 20 kV di *line* Tallo Lama. Penurunan tegangan di bus 20 kV tersebut sebesar 2,108 kV atau 10,54%.

Tegangan pada sistem PT. PLN (Persero) SULSELBAR secara keseluruhan masih dalam keadaan handal dimana dilihat dari penurunan tegangan yang terjadi masih dalam batas standar yang telah ditetapkan oleh PT PLN (Persero). Kondisi lain yang dapat menyebabkan terjadinya ketidakstabilan tegangan sistem adalah putusnya salah satu saluran di sistem atau lepasnya pembangkit yang ada di sistem tersebut.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil yang diperoleh pada bab sebelumnya maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

Hasil simulasi besar penambahan beban saat Waktu Beban Puncak (WBP) hingga sistem mengalami masalah adalah penambahan beban 30% sedangkan besar penambahan beban saat Luar Waktu Beban Puncak (LWBP) adalah penambahan beban 60%. Hasil simulasi, penurunan tegangan sistem pada Waktu Beban Puncak (WBP) dan Luar Waktu Beban Puncak (LWBP) yang terjadi masih stabil yang sesuai dengan SPLN No. 1:1995 Pasal 4 tentang variasi tegangan pelayanan yaitu sebesar +5% dan -10% . Pada Waktu Beban Puncak (WBP) penurunan tegangan yang paling besar terjadi pada bus 20 kv *line* Panakukang yakni sebesar 10%. Sedangkan pada kondisi Luar Waktu Beban Puncak (LWBP) penurunan tegangan yang paling besar yakni bus 20 kv di *line* Tallo lama yaitu 10,54%. Untuk memperbaiki kondisi Sistem Kelistrikan Interkoneksi SULSELBAR pada waktu beban puncak (WBP) maka diperlukan 10.000 kVar atau sebesar 1 unit kapasitor bank di bus 150 kV *line* Sungguminasa.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Suropto, Slamet. *Buku Ajar Sistem Tenaga Listrik*, Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Yogyakarta: Yogyakarta.
- [2] Berahim, H. 2011. *Teknik Tenaga Listrik Dasar*. Graha Ilmu : Yogyakarta.
- [3] SPLN 1. 1995. *Variasi Tegangan Pelayanan*. PT. PLN (Persero): Jakarta.
- [4] Kundhur, Praba. 1994. *Power System Stability and Control*. EPRJ, McGraw-Hill, Inc. New York: USA.
- [5] Taylor, Carson W. 1994. *Power System Voltage Stability*. McGrawHill: USA.
- [6] Manjang, Salama dan Ikhlas Kitta. 2012. *Penguasaan ETAP Untuk Aplikasi*. Dua Satu Press: Makassar.
- [7] PLN. 2014. *Buku Pedoman Pemeliharaan Kapasitor*. PT. PLN (Persero): Jakarta.