

**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

Pengaruh Penguatan AVR Generator PLTA Bakaru Terhadap Kestabilan Tegangan Waktu Beban Puncak Pada Sistem Interkoneksi 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 - Suatu sistem tenaga listrik yang baik adalah ketika sistem tersebut selain dapat menyuplai listrik ke beban secara terus menerus, tetapi juga dapat menyuplai listrik ke beban dengan tegangan dan frekuensi yang konstan. Selain itu, sistem tersebut harus stabil terhadap gangguan dan dapat kembali ke kondisi normal secara cepat setelah terjadi gangguan. Seiring dengan berjalannya waktu, kebutuhan akan energi listrik terus meningkat. Pertambahan jumlah beban yang berlangsung terus-menerus harus diiringi dengan pertambahan suplai daya listrik. Dengan semakin bertambahnya beban akan mengakibatkan penurunan tegangan keluaran dari generator.

Pada tugas akhir ini akan disimulasikan pengaruh AVR (*Automatic Voltage Regulator*) terhadap kestabilan tegangan apabila beban *smelter* diinterkoneksi dengan sistem Sulselbar. Akan dilakukan dua analisis, yaitu analisis aliran daya dan analisis kestabilan sistem dengan menggunakan software ETAP (*Electrical Transient Analyzer Program*) *Powerstation* 12.6. Adapun hasil yang didapatkan dari simulasi kestabilan adalah tegangan stabil ketika diberikan penguatan AVR pada generator Bakaru akan menghasilkan respon tegangan stabil yang lebih kecil yaitu sebesar 77% dibandingkan jika diberikan penguatan tetap (*fixed*) yaitu sebesar 78%. Sedangkan apabila diberikan penguatan AVR pada generator Jenepono akan menghasilkan respon tegangan yang lebih yaitu sebesar 80% daripada jika diberikan penguatan tetap (*fixed*).

Kata Kunci: Kestabilan, AVR, SulSelBar

I. PENDAHULUAN

Generator merupakan suatu mesin listrik dinamis yang digunakan untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Energi listrik ini akan digunakan untuk menyuplai beban baik beban statis (tetap) maupun beban dinamis (berubah-ubah). Namun dengan adanya beban yang berubah-ubah akan mengakibatkan tegangan keluaran dari generator menjadi tidak konstan. Padahal, tegangan yang konstan sangat dibutuhkan dalam sistem tenaga listrik sebab sangat berpengaruh pada kinerja peralatan-peralatan listrik khususnya pada unit produksi skala besar. Semakin besar nilai beban maka tegangan keluaran pada generator akan menjadi kecil, begitu pun sebaliknya. Hal ini akan menyebabkan kestabilan pada sistem tenaga listrik menjadi berkurang dan apabila hal ini tidak segera diatasi maka akan terjadi kegagalan pada sistem tenaga listrik yang berujung pada *blackout*. Oleh sebab itu diperlukan suatu regulator tegangan yang dapat mengontrol tegangan keluaran dari sebuah generator agar tetap konstan.

Dalam sistem interkoneksi skala besar, alat penstabil tegangan manual tidak pernah dipakai dan sebagai gantinya dipasang sebuah peralatan penstabil tegangan otomatis yang dinamakan AVR (*Automatic*

Voltage Regulator) di setiap generator. Penggunaan AVR tidak terlepas dari keunggulan dalam hal keandalan selain kemudahan dalam perancangan dan implementasinya.

Salah satu pembangkit yang berperan sebagai pemikul beban dasar pada sistem SULSELBAR adalah PLTA Bakaru yang memiliki kapasitas 126 MVA karena biaya pengoperasian PLTA lebih hemat dibanding pembangkit lainnya. PLTA Bakaru juga memiliki peranan penting pada sistem kelistrikan SULSELBAR karena kapasitasnya yang cukup besar. Oleh karena itu penting untuk mengetahui pengaruh penguatan AVR Generator PLTA Bakaru pada sistem kelistrikan SULSELBAR guna memperbaiki kestabilan pada sistem dengan membuat pemodelan AVR PLTA Bakaru dan menganalisa pengaruh pada sistem SULSELBAR.

Untuk mempermudah membuat pemodelan dan analisa, maka dapat digunakan salah satu *software electrical engineering*. ETAP (*Electrical Transient Analyzer Program*) *PowerStation* merupakan perangkat lunak (*software*) yang digunakan untuk menganalisa jaringan listrik. Program ini diciptakan dengan salah satu konsep utama, yakni operasi nyata virtual (*Virtual Reality Operation*) yang berarti pengoperasian program ini menyerupai operasi sistem listrik yang sesungguhnya. Salah satu fasilitas yang terdapat pada ETAP adalah kemampuannya untuk menjalankan analisa aliran daya baik dengan menggunakan metode *Accelerated Gauss Siedel*, *Newton Raphson*, maupun *Fast de Coupled* secara lebih cepat dan tepat daripada metode manual. Selain itu juga mampu menganalisa aliran daya dan harmonisa suatu sistem kelistrikan yang dapat ditampilkan dalam bentuk data maupun grafik.

Untuk itu dalam penelitian ini perlu dilakukan simulasi yang akan memberikan gambaran secara real time mengenai keadaan aliran daya pada sistem SULSELBAR, dikarenakan studi kestabilan tenaga listrik memberikan informasi mengenai aliran daya saluran transmisi, *frekuensi*, dan tegangan di setiap lokasi untuk evaluasi regulasi kinerja sistem tenaga. Sehingga dapat diketahui dampak yang terjadi pada pemodelan AVR Generator PLTA Bakaru pada sistem kelistrikan SULSELBAR.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Generator

Generator adalah suatu mesin listrik dinamis yang digunakan untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik menggunakan prinsip induksi elektromagnetik. Pada tugas akhir ini generator yang akan dibahas adalah generator AC (*alternating current*) yang termasuk mesin sinkron.

Agar bisa menjadi pembangkit energi listrik, generator sinkron harus memiliki 3 syarat utama, yaitu:

- Medan magnet
Yaitu adanya induksi magnetisasi di sekitar penghantar atau konduktor.
- Penghantar (konduktor)
Konduktor berfungsi sebagai jalan atau media induksi magnetisasi untuk menjadi tegangan atau beda potensial.
- Relative motion
Gerakan yang terus menerus atau konstan yang berfungsi agar induksi dari satu penghantar yang berputar (rotor) dapat memotong induksi dari penghantar tetap (stator) atau yang disebut dengan perpotongan medan magnet atau perpotongan fluks magnetik (garis-garis medan magnet).^[7]

B. AVR (Automatic Voltage Regulator)

Sistem eksitasi generator sinkron, termasuk dalam hal ini adalah *Automatic Voltage Regulator* (AVR) merupakan faktor penting dalam pembangkitan daya listrik arus bolak-balik. Dalam pembangkitan energi listrik pada generator sinkron, sistem eksitasi menentukan kualitas daya yang dihasilkan oleh generator. Secara umum, sistem eksitasi yang ideal memenuhi kriteria dasar sebagai berikut:

- Respon yang relatif cepat
- Regulasi tegangan cukup rendah (umumnya disyaratkan $\leq 5\%$)
- *Error steady state* rendah
- Tidak menyebabkan timbulnyaharmonisa secara berlebihan
- Tidak menyebabkan terjadinya injeksi arus dc pada jangkar
- Tidak terlalu banyak membebani jangkar.

Eksitasi generator diperlukan untuk menimbulkan fluksi magnetik pada kutub-kutub medan generator yang terletak pada rotor. Bila shaft rotor diputar, maka fluksi magnetik akan memotong penghantar-penghantar armature, sehingga menimbulkan ggl (tegangan dalam) pada jangkar (armature) yang besarnya adalah

$$E = c.n.\phi \tag{1}$$

dimana :

E= ggl yang dibangkitkan pada jangkar

n= kecepatan putar rotor

ϕ = fluksi magnetik

c= konstanta mesin ^[9]

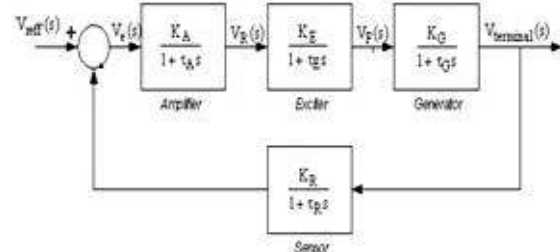
Karena rotor dan stator generator dapat mengalami kejenuhan inti, maka untuk mendapatkan penambahan ggl tertentu, penambahan arus medan yang dibutuhkan tidak sebanding (lebih besar) daripada rasio kenaikan ggl-nya. Pada keadaan terbebani, tegangan terminal generator akan jatuh disebabkan oleh :

- Adanya reaktansi sinkron
- Adanya resistansi armature
- Reaksi jangkar

Tanpa menggunakan AVR, jatuh tegangan yang terjadi akan sangat besar, sehingga regulasi tegangan bisa mencapai 30% -40%. Karena itu sistem eksitasi adalah faktor kunci yang menentukan kualitas daya listrik yang dihasilkan generator.^[11]

AVR merupakan elemen penting untuk memebentuk profil tegangan terminal generator yang stabil. AVR dengan

model *Lag/Lead Compensator* mampu membentuk model AVR yang sederhana namun handal. Model AVR yang dipergunakan seperti pada gambar 1, yang terdiri dari *amplifier, exciter, generator, dan sensor*.^[5]



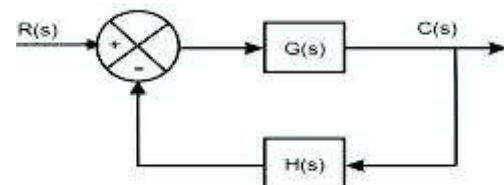
Gambar 1. Model AVR

Berikut ini adalah data Parameter AVR yang berasal dari *manual book* dari generator.

Tabel 1. Data konstanta generator

Gain	Time Constant
$K_A = 1325$	$\tau_A = 0.02 \text{ second}$
$K_E = 1$	$\tau_E = 0.5 \text{ second}$
$K_G = 1$	$\tau_G = 1 \text{ second}$
$K_R = 1$	$\tau_R = 0.025 \text{ second}$

Dari data parameter AVR, jika dibuat dalam bentuk dimana nilai parameter KA adalah variabel, namun konstanta KA yang digunakan pada mesin sekarang sebesar 1325. Adapun bentuk penyederhanaan diagram blok AVR diatas sebagai berikut:



Gambar 2. Penyederhanaan blok diagram sehingga persamaan fungsi alih loop tertutupnya:

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{G(s)}{1 + G(s)H(s)} \tag{2}$$

Dari data yang diperoleh kemudian dibuat dalam bentuk fungsi alih kalang terbuka GH(s) menjadi :

$$G(s)H(s) = \frac{K_A K_E K_G K_R}{(1 + T_A s)(1 + T_E s)(1 + T_G s)(1 + T_R s)}$$

$$G(s)H(s) = \frac{K_A \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1}{(1 + 0.02s)(1 + 0.5s)(1 + s)(1 + 0.025s)}$$

maka model matematika sederhananya menjadi

$$G(s)H(s) = \frac{4000K_A}{s^4 + 93s^3 + 2272s^2 + 6180s + 4000}$$

Untuk disubstitusikan ke persamaan 2, maka persamaan di atas ditambahkan dengan konstanta 1 (satu) sehingga diperoleh persamaan karakteristik sistem sebagai berikut:

$$1 + G(s)H(s) = 1 + \frac{4000K_A}{s^4 + 93s^3 + 2272s^2 + 6180s + 4000}$$

$$= \frac{1 + G(s)H(s)}{s^4 + 93s^3 + 2272s^2 + 6180s + 4000 + 4000K_A}$$

substitusi persamaan di atas ke persamaan 2.

$$\frac{C_{(s)}}{R_{(s)}} = \frac{G_{(s)}}{s^4 + 93s^3 + 2272s^2 + 6180s + 4000 + 4000K_A}$$

$$\frac{C_{(s)}}{R_{(s)}} = \frac{G_{(s)}s^4 + 93s^3 + 2272s^2 + 6180s + 4000}{s^4 + 93s^3 + 2272s^2 + 6180s + 4000 + 4000K_A}$$

Menurut kriteria kestabilan Routh maka:

$$s^4 + 93s^3 + 2272s^2 + 6180s + 4000 + 4000K_A = 0$$

$$s^4 \quad 1 \quad 2272 \quad 4000+4000K_A$$

$$s^3 \quad 93 \quad 6180 \quad 0$$

$$s^2 \quad A_1 \quad A_2$$

$$s^1 \quad B_1$$

$$s^0 \quad C_1$$

dimana :

$$A_1 = \frac{(93 \times 2272) - (1 \times 6180)}{93} = 2205.548$$

$$A_2 = \frac{(93 \times (4000 + 4000K_A)) - (1 \times 0)}{93} = 4000 + 4000K_A$$

$$B_1 = \frac{(2205.548 \times 6180) - (93 \times (4000 + 4000K_A))}{2205.548} = 6011.344 - 168.66K_A$$

$$C_1 = \frac{((6011.344 - 168.66K_A) \times (4000 + 4000K_A)) - (2205.548 \times 0)}{(6011.344 - 168.66K_A)} = 6011.344 - 168.66K_A$$

suatu sistem stabil jika pada kolom 1 bernilai positif (> 0):

$$B_1 = 6011.344 - 168.66 K_A > 0$$

$$-168.66 K_A > -6011.344$$

$$-K_A > -35.642$$

$$K_A < 35.642$$

dan

$$C_1 = 4000 + 4000 K_A > 0$$

$$4000 K_A > -4000$$

$$K_A > -1$$

Sehingga range nilai untuk K_A :

$$-1 < K_A < 35.642$$

C. Kestabilan Sistem Tenaga Listrik

Kestabilan sistem daya dapat didefinisikan sebagai sifat sistem yang memungkinkan mesin bergerak serempak dalam sistem untuk memberikan reaksinya terhadap gangguan dalam keadaan kerja normal serta balik kembali dalam keadaan semula bila keadaan menjadi normal. Analisis kestabilan biasanya digolongkan kedalam tiga jenis, tergantung pada sifat dan besarnya gangguan yaitu:

1. Kestabilan Keadaan Tetap (*Steady State Stability*)
2. Kestabilan Dinamis (*Dynamic Stability*)
3. Kestabilan Peralihan (*Transient Stability*)

D. Industri Smelter Listrik

Smelter atau industri peleburan adalah tempat untuk memproses bahan tambang yang masih bercampur bahan lain dengan cara mengekstrak bahan intinya.

Pada *smelter* listrik terminal-terminal fasa pada sekunder trafo dihubungkan pada anoda, kemudian di hubung singkat. Hal ini dilakukan agar tercipta arus yang tinggi pada sisi sekunder transformator. Arus yang tinggi, dalam bentuk busur api (*arc*) akan menghasilkan panas yang

tinggi pula. Akan tetapi, proses kerja dari industri *smelter* ini akan menghasilkan distorsi besaran-besaran listrik.

III. PERANCANGAN DAN SIMULASI

Data yang diambil dari PLN akan disimulasikan menggunakan *software* ETAP 12.6 untuk menentukan 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 pemodelan pada AVR Generator PLTA Bakaru dan Generator PLTU Jeneponto sebagai pembanding. Simulasi dilakukan dengan beban *smelter* dan tanpa beban *smelter*.

IV. HASIL PENGUJIAN/PERBANDINGAN

A. Simulasi Aliran Daya Sistem Sulsebar

Sebelum memulai simulasi aliran daya (*load flow*), perlu di tentukan beberapa parameter dasar. Parameter dasar yang dimaksud disini adalah data beban yang merupakan beban puncak yang diambil dan pembangkit mana saja yang bertindak sebagai pengatur tegangan (*voltage control*), pengatur daya reaktif (*MVAR control*), dan sebagai acuan (*swing/slack*). Untuk analisis aliran daya sistem Sulsebar, 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%, dimana tegangan nominal pada bus di asumsikan setara dengan 100%.

Ada dua simulasi yang dilakukan, yaitu:

1. Aliran daya beban puncak.
2. Aliran daya beban puncak dengan beban industri *smelter* 132 MVA.

Berikut adalah hasil simulasi aliran daya ketika sistem beroperasi pada saat keadaan beban puncak (19.30 WITA) per 11 Maret 2015 dengan menggunakan ETAP 12.6.

Tabel 2. Hasil simulasi aliran daya tanpa beban *smelter*

NO	LINE	MW	MVAR	AMPERE
1	BAKARU-POLMAS	42.214	-3.189	162.9
2	BAKARU-PINRANG	14.871	-0.344	57.2
3	BONE-SINJAI	16.849	-9.284	74.5
4	BONE-BULUKUMBA	12.44	-10.763	63.7
5	BORONGLOE-TELLO70	19.129	-2.682	158.6
6	BOSOWA-TELLO	0.065	-7.240	29.1
7	BOSOWA-KIMA	2.869	-4.634	21.8
8	BULUKUMBA-JPONTO	7.564	-10.693	51
9	BUS POSO-LATUPPA	177.876	-10.983	375.3
10	DAYA-MANDAI	5.646	10.259	96.3
11	JPONTO-TALLASA	23.945	4.224	94.7

12	MAJENE-MAMUJU	16.004	-3.262	63.4
13	MAKALE-SIDRAP	120.518	-42.643	497.8
14	MANDAI-TONASA	8.758	5.496	85.7
15	MAROS-SMINASA	53.057	3.653	209.9
16	PALOPO-MAKALE	132.074	-38.744	535.1
17	PANGKEP-TELLO	13.356	-5.842	58.1
18	PANGKEP-BOSOWA	34.921	1.589	139.3
19	PANGKEP-TONASA	58.404	-2.382	233.1
20	PARE-PLTU BARRU	92.65	-8.989	360.5
21	PAGAYA-TALLASA	122.958	13.912	481.1
22	PAGAYA-JENEPONTO	50.709	-4.348	197.9
23	PINRANG-PARE	8.044	5.093	36.8
24	PLTUBARRU- PANGKEP	128.698	-1.254	501.5
25	PLTUBARRU-BARRU	8.979	1.469	35.4
26	POLMAS-PAREPARE	1.592	-1.533	8.5
27	POLMAS-MAJENE	26.835	3.142	104.2
28	SENGKANG-SIDRAP	25.689	0.336	99.2
29	SENGKANG-SOPPENG	61.065	-8.095	237.8
30	SIDRAP-SOPPENG	8.799	-13.429	62.3
31	SIDRAP-PAREPARE	39.879	-25.723	184.1
32	SIDRAP-MAROS	69.107	-4.867	268.7
33	SINJAI-BULUKUMBA	7.212	-2.696	29.9
34	SOPPENG-BONE	56.909	-14.989	227.6
35	SMNASA-TELLO	194.725	7.63	773.8
36	SMNASA-TBUNGA	37.74	11.990	157.2
37	TALLASA-SMNASA	214.342	27.353	845.3
38	TELLO-TLAMA	80.512	-18.736	329.6
39	TELLO-PANAKUKANG	60.703	21.868	257.3
40	TELLO-KIMA	9.617	5.016	43.3

Tabel 3. Hasil simulasi aliran daya dengan beban *smelter* 132 MVA

NO	LINE	MW	MVAR	AMPERE
1	BAKARU-POLMAS	48.1	-4.876	187.7
2	BAKARU-PINRANG	23.33	-2.641	90.1
3	BONE-SINJAI	32.406	-16.776	140.7
4	BONE-BULUKUMBA	27.932	-18.356	128.9
5	BORONGLOE- TELLO70	19.13	-2.663	158
6	BOSOWA-TELLO	0.065	-7.240	29.1
7	BOSOWA-KIMA	5.339	-6.288	32.8
8	BULUKUMBA-JPONTO	25.713	-17.02	119.1
9	BUS POSO-LATUPPA	177.871	-11.888	375.2
10	DAYA-MANDAI	5.561	10.395	96.7
11	JPONTO-TALLASA	1.822	28.901	110.4
12	MAJENE-MAMUJU	16.08	-3.278	63.5
13	MAKALE-SIDRAP	120.381	-43.514	497.6

14	MANDAI-TONASA	8.496	5.700	84.5
15	MAROS-SMINASA	61.367	0.423	241.4
16	PALOPO-MAKALE	131.964	-39.639	535
17	PANGKEP-TELLO	18.013	-8.845	79.7
18	PANGKEP-BOSOWA	39.998	-1.525	159
19	PANGKEP-TONASA	59.076	-2.505	234.9
20	PARE-PLTU BARRU	103.984	-11.507	404.2
21	PAGAYA-TALLASA	134.913	15.208	524.8
22	PAGAYA-JENEPONTO	112.914	-26.981	448.7
23	PINRANG-PARE	16.421	2.671	64.1
24	PLTUBARRU- PANGKEP	139.797	-59.09	544.1
25	PLTUBARRU-BARRU	9.015	1.475	35.5
26	POLMAS-PAREPARE	7.807	-3.318	32.6
27	POLMAS-MAJENE	26.963	-3.157	104.5
28	SENGKANG-SIDRAP	36.381	-1.327	140.2
29	SENGKANG-SOPPENG	88.483	-16.084	346.2
30	SIDRAP-SOPPENG	13.671	-17.363	85.5
31	SIDRAP-PAREPARE	36.697	-22.596	166.8
32	SIDRAP-MAROS	77.794	-6.838	302.2
33	SINJAI-BULUKUMBA	22.336	-10.671	95.4
34	SOPPENG-BONE	88.835	-28.169	343
35	SMNASA-TELLO	186.64	14.215	740.1
36	SMNASA-TBUNGA	38.06	12.092	157.9
37	TALLASA-SMNASA	198.322	36.169	784.3
38	TELLO-TLAMA	81.122	-18.879	330.9
39	TELLO-PANAKUKANG	61.164	22.034	258.3
40	TELLO-KIMA	7.239	6.676	39.1

B. Simulasi Kestabilan Sistem Transien Sulselbar

Untuk simulasi kestabilan transien (*Transient Stability Analysis*), telah ditetapkan plot waktu dan aksi yang akan dilakukan.

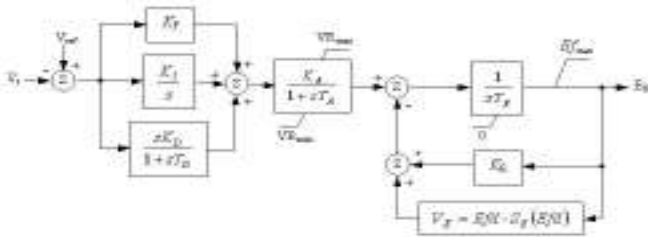
Tabel 4. Plot Waktu Untuk Simulasi Kestabilan Transien

NO	URAIAN	DEVICE	AKSI	DETIK
1	NORMAL	-	LOAD FLOW	0-9.9
2	SMELTER MASUK	SW2	CLOSE SW	10
3	SMELTER OPERASI	BUS 229	FAULT BUS	13
4	PERIODE OPERASI	-	-	13-49.9
5	SMELTER OFF	BUS 229	CLEAR FAULT	50
6	SMELTER LEPAS	SW2	OPEN SW	51
7	NORMAL	-	LOAD FLOW	52
TOTAL WAKTU SIMULASI : 80 DETIK				

Periode beban puncak adalah pada saat smelter masuk pada sistem sulselbar (detik ke-13 sampai detik ke-50). Pada periode beban puncak ini dapat dilihat pengaruh penguatan AVR pada generator terhadap kestabilan sistem

tenaga listrik. Pada simulasi, AVR generator yang akan dimodelkan adalah generator Bakaru dengan generator Jeneponto sebagai perbandingannya.

Parameter utama yang akan diperlihatkan pada simulasi ini adalah dampak penguatan AVR terhadap bus. Simulasi untuk melihat keadaan pada bus, dipilih bus yang menjadi acuan adalah Bakaru, Bulukumba, Jeneponto, dan Punagaya. Pada simulasi ini akan dilihat perbandingan antara tegangan saat diberi penguatan AVR pada generator Bakaru, saat diberi penguatan pada generator Jeneponto serta pada waktu generator diberi penguatan tetap (*fixed*). Pada tugas akhir ini, jenis AVR yang akan digunakan adalah AVR tipe IEEE AC8B dengan gambar rangkaian seperti gambar 4.1 :



Gambar 4.1 AVR IEEE AC8B

Dengan settingan parameter seperti pada tabel 5 :

Tabel 5. Data settingan parameter AVR AC8B

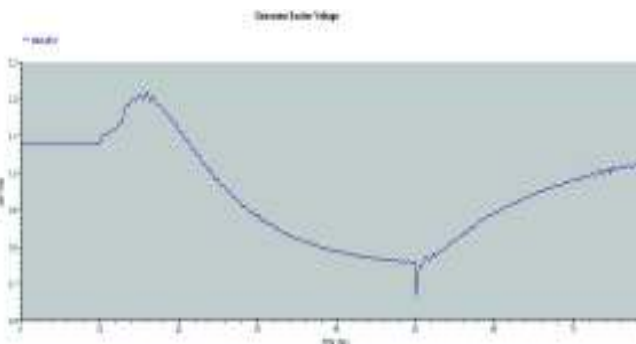
Gain	Time Constant
Ka = 22	Ta = 0.02 second
Ke = 1	
Kp = 0.0272	Te = 0.5 second
Ki = 0.0191	
Kd = 0.018	Td = 0.01 second

C. Hasil Simulasi Kestabilan Transien pada Generator

Hasil simulasi akan memperlihatkan dampak kestabilan transien pada generator ketika diinterkoneksi dengan beban *smelter* dengan kapasitas 132 MVA. Pada simulasi ini, parameter yang akan ditinjau adalah tegangan *output exciter* (p.u) pada tiga kondisi yaitu :

1. Kondisi pertama yaitu saat generator Bakaru diberi penguatan AVR dan generator lainnya diberi penguatan tetap (*fixed*).
2. Kondisi kedua yaitu saat generator Jeneponto diberi penguatan AVR dan generator lainnya diberi penguatan tetap (*fixed*).
3. Kondisi ketiga yaitu saat semua generator diberi penguatan tetap (*fixed*)

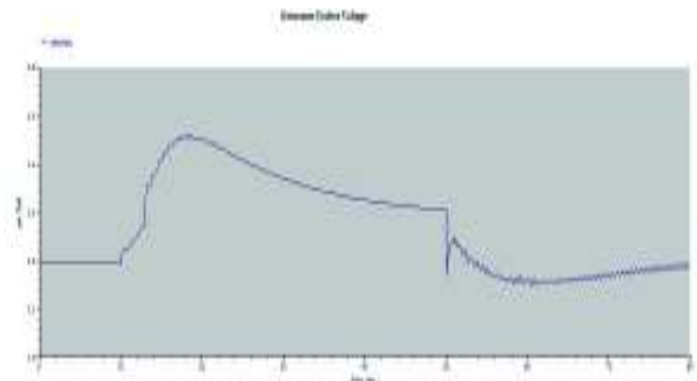
➤ Tegangan output *exciter* pada kondisi pertama



Gambar 3. Grafik nilai Efd pada generator Bakaru
Berdasarkan gambar 3. dapat dilihat grafik nilai Efd pada generator Bakaru saat diberi penguatan AVR pada

generator Bakaru dan generator lain diberi penguatan tetap. Pada detik ke-0 sampai detik ke-10, nilai tegangan eksitasi berada pada nilai nominalnya. Ketika beban *smelter* diinterkoneksi dengan sistem maka tegangan eksitasi akan naik. Hal ini dipengaruhi oleh bertambahnya nilai beban pada sistem yang akan mempengaruhi tegangan output dari generator dimana prinsip dari AVR adalah untuk menjaga tegangan generator tetap pada kondisi stabil. Namun secara perlahan pada detik ke-18 akan turun hingga mencapai tegangan stabilnya pada level 0.76 p.u. Ketika beban *smelter* dilepas pada detik ke-51 maka secara perlahan tegangan eksitasi akan naik kembali menuju ke tegangan nominalnya.

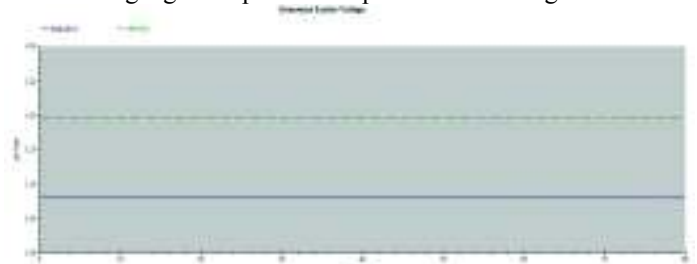
➤ Tegangan output *exciter* pada kondisi kedua



Gambar 4. Grafik nilai Efd pada generator Jeneponto

Berdasarkan gambar 4. dapat dilihat bahwa pada detik ke-10 yaitu ketika beban *smelter* diinterkoneksi dengan sistem maka tegangan eksitasi akan naik hingga level 1,46 p.u. dan secara perlahan pada detik ke-18 akan turun menuju tegangan stabilnya. Pada saat beban *smelter* dilepas yaitu pada detik ke-50 tegangan eksitasi akan turun sebesar 0.2 p.u. yang disebabkan oleh transien. Pada detik ke-51 secara perlahan tegangan eksitasi akan kembali pada kondisi stabilnya.

➤ Tegangan output *exciter* pada kondisi ketiga



Gambar 5. Grafik nilai Efd generator Bakaru dan Jeneponto

Berdasarkan gambar 5. dapat dilihat bahwa nilai output *exciter* yaitu 1.08 p.u. untuk generator Bakaru dan 1.195 p.u. untuk generator Jeneponto. Nilai tegangan ini tidak akan dipengaruhi perubahan beban pada sistem. Jadi nilai tegangan output *exciter* ini akan selatu tetap meskipun ada penambahan atau pengurangan beban pada sistem.

D. Hasil Simulasi Kestabilan Transien Pada Bus

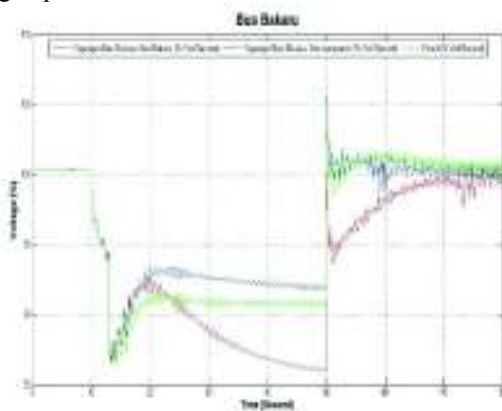
Hasil simulasi ini akan memperlihatkan dampak kestabilan transien sistem pada bus ketika di bebani oleh *smelter* dengan kapasitas 132 MVA. Parameter yang ditinjau adalah tegangan (% nominal kV) saat diberi

penguatan tetap (*fixed*), saat diberi penguatan pada generator Bakaru, dan saat diberi penguatan pada generator Jeneponto.

Pada simulasi ini akan dilihat grafik perbandingan antara tegangan pada bus Bakaru, bus Jeneponto, dan bus bulukumba pada tiga kondisi, yaitu:

1. Kondisi pertama yaitu pada saat diberi penguatan AVR pada generator Bakaru dan generator yang lain diberi penguatan tetap (*fixed*) dimana pada gambar akan dilihat pada grafik berwarna merah.
2. Kondisi kedua yaitu pada saat diberi penguatan AVR pada generator Jeneponto dan generator yang lain diberi penguatan tetap (*fixed*) dimana pada gambar akan dilihat pada grafik berwarna biru.
3. Kondisi ketiga yaitu pada saat semua generator diberi penguatan tetap (*fixed*) yang pada gambar akan dilihat pada grafik berwarna hijau.

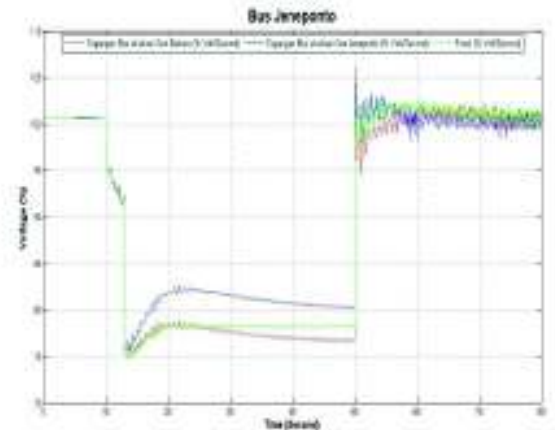
➤ Tegangan pada bus Bakaru



Gambar 6. Tegangan pada bus Bakaru

Berdasarkan gambar 6., terlihat bahwa pada saat beban *smelter* masuk pada sistem (detik ke-10) tegangan pada bus Bakaru akan turun hingga 96%. Pada detik ke-13 yaitu pada saat *smelter* beroperasi, tegangan pada bus Bakaru akan turun hingga 87%. Dari tiga kondisi yang ada pada gambar 6., terlihat bahwa selama *smelter* beroperasi (detik ke-13 sampai detik ke-50) terdapat perbedaan tegangan pada setiap kondisi. Untuk kondisi pertama, tegangan pada bus Bakaru akan lebih tinggi dibandingkan kondisi ketika untuk detik ke-13 sampai detik ke-20, namun secara perlahan akan turun hingga mencapai 87%. Hal ini diakibatkan oleh konsumsi beban reaktif yang sangat besar dari beban *smelter* dan jarak antara PLTA Bakaru dengan beban *smelter* yang sangat jauh. Untuk kondisi yang ketiga, pada detik ke-23 sampai detik ke-50 tegangan bus Bakaru akan lebih tinggi dibanding kondisi pertama. Hal ini diakibatkan tegangan eksitasi (Efd) pada kondisi ini akan tetap (tidak dipengaruhi oleh perubahan beban reaktif). Sedangkan untuk kondisi kedua, terlihat bahwa nilai tegangannya lebih besar daripada dua kondisi sebelumnya. Hal ini diakibatkan jarak antara PLTU Jeneponto dengan beban *smelter* lebih dekat.

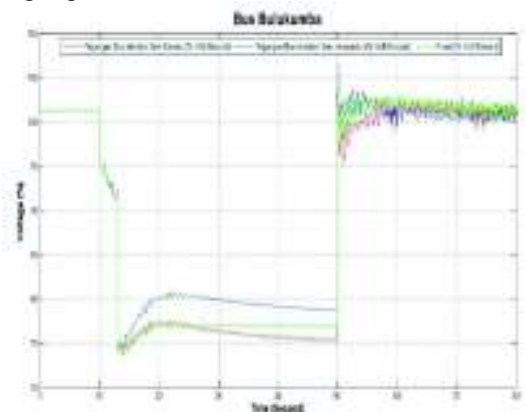
➤ Bus Jeneponto



Gambar 7. Grafik tegangan pada bus Jeneponto

Berdasarkan gambar 7. terlihat bahwa ketika beban *smelter* mulai beroperasi (simulasi hubung singkat bus 229) pada detik ke-13, akan terjadi jatuh tegangan yang sangat tinggi pada bus Jeneponto yaitu mencapai nilai 75%. Hal ini disebabkan konsumsi daya reaktif beban *smelter* sangat besar. Selama *smelter* beroperasi, tegangan pada bus Jeneponto akan secara perlahan menjadi stabil. Pada gambar 7. terlihat perbedaan tegangan stabil dari ketiga kondisi. Kondisi pertama berapa pada level tegangan 77%, kondisi kedua pada level tegangan 80% dan kondisi ketiga pada level tegangan 78%. Pada detik ke-50 yaitu ketika beban *smelter* tidak beroperasi (simulasi *clear fault* pada bus 229), tegangan pada bus Jeneponto akan naik secara signifikan dan secara perlahan akan kembali ke tegangan nominalnya.

➤ Tegangan pada bus Bulukumba



Gambar 8. Tegangan pada bus Bulukumba

Selama beroperasi normal detik ke-0 sampai detik ke-10 tegangan bus Bulukumba berada pada level nominalnya. Ketika beban *smelter* diinterkoneksi pada detik ke-13 tegangan jatuh hingga berada pada level 74% dari tegangan nominalnya. Setelah *smelter* beroperasi (simulasi hubung singkat bus 229 pada detik ke-13) grafik tegangan pada bus Bulukumba perlahan menuju ke keadaan stabilnya. Tegangan stabil dari tiga kondisi berbeda, yaitu kondisi pertama pada level tegangan 75% dari tegangan nominalnya, kondisi kedua pada level tegangan 77% dari tegangan

nominalnya dan kondisi ketiga berada pada level tegangan 79% dari tegangan nominalnya. Pada detik ke-51 ketika beban *smelter* berhenti beroperasi tegangan bus kembali naik akibat transien dan perlahan tegangan akan turun kembali pada kondisi stabil (100%).

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilaksanakan menggunakan *software* ETAP 12.6 *power station*, maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Hasil simulasi *Load Flow* sistem Sulsebar pada kondisi beban puncak tanpa beban *smelter*, diketahui gambaran aliran daya secara umum diperoleh nilai *losses* sebesar 25.808 MW dan - 10.238 MVAR. Sedangkan pada kondisi beban puncak dengan beban *smelter* diperoleh nilai *losses* sebesar 30.686 MW dan 38.471 MVAR.
2. Hasil simulasi kestabilan tegangan pada bus memperlihatkan bahwa ketika diberi penguatan AVR pada generator Bakaru akan menghasilkan respon tegangan stabil yang lebih kecil yaitu sebesar 77% dibandingkan jika diberi penguatan tetap (*fixed*) yaitu sebesar 78%. Sedangkan apabila diberi penguatan AVR pada generator Jeneponto akan menghasilkan respon tegangan yang lebih yaitu sebesar 80% daripada jika diberi penguatan tetap (*fixed*).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Cheung, I. Khan, B. Lueger, R. Rand, M. Sedighy, D. Shen, T. Ma. 2014. *90 MW SPLC Stabilizes Arc Furnace Power PT.Vale,Tbk*, HATCH, Canada
- [2] Kadir, Abdul,. 1986. *Pengantar Teknik Tenaga Listrik*. LP3ES. Jakarta
- [3] Lister, 1984, *Mesin dan Rangkaian Listrik*, Edisi Keenam, Ir. Drs. Hanapi Gunawan, Erlanga, Jakarta
- [4] Operation Technology, Inc. *ETAP 6.0.0 ANSI Short Circuit*, Southern California, 2004.
- [5] Saadat, Hadi, 1999, *Power System Analysis*, International Editions, Mc-Graww-Hill Book.Co, Singapore
- [6] Stevenson, William D, Jr. 1984. *Analisa Sistem Tenaga Listrik Edisi 4*. Erlangga, Jakarta.
- [7] Sumanto, 1996, *Mesin Sinkron*, Andi, Yogyakarta
- [8] Suswanto, Daman. 2009. *Sistem Distribusi Tenaga Listrik*, Teknik Elektro Universitas Negeri Padang, Padang.
- [9] Wiganti,Joko, 2014. *AVR dan Pengamannya Pada Generator*. 2014
- [10] <https://etappowerstation.wordpress.com/> (dikunjungi: 24 Juni 2016)
- [11] <http://staff.uny.ac.id/sites/default/files/pendidikan/Toto%20Sukisno/OPERASI%20SISTEM%20TENAGA%20LISTRIK%206.pdf> (last visited : 24 Juni 2016)