

Strategi Operasi Dinamis Sistem Injeksi Pembangkit di PT. Ajinomoto Indonesia

¹ Hadi Suyono, ² Rini Nur Hasanah, ³ Surya Adi Purwanto

^{1,2,3} Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya Malang

Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia

¹hadis@ub.ac.id, ²rini.hasanah@ub.ac.id, ³surya_adi_3il@yahoo.co.id

Abstrak— Perusahaan PT. Ajinomoto Indonesia (PTAI), yang berlokasi di Mojokerto merupakan perusahaan produsen *monosodium glutamate* (MSG). Untuk memenuhi kebutuhan energi listrik di PTAI, perusahaan telah dibangun dua buah Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU) disamping suplai dari sistem PLN. Suplai beban dengan lokasi yang relatif jauh akan mempengaruhi terhadap profil tegangan, rugi-rugi daya, dan stabilitas sistem daya, yang apabila terjadi gangguan akan menyebabkan terganggunya proses produksi MSG di PTAI. Integrasi sistem dengan dua pembangkit PLTGU dan sumber PLN tersebut akan mempengaruhi sistem daya PTAI pada keadaan tunak ataupun pada keadaan dinamis. Karena itu, pada penelitian ini analisis sistem daya yang menyangkut analisis keadaan tunak dan keadaan dinamis tersebut dilakukan untuk mengetahui pengaruhnya pada sistem daya yang ada. Analisis aliran daya, analisis rugi daya, kestabilan tegangan, kestabilan frekuensi dan kestabilan sudut rotor dilakukan pada penelitian ini untuk mengetahui performansi sistem daya PTAI. Beberapa strategi dinamis seperti pemutusan beban dan pemutusan pembangkit dilakukan untuk mengembalikan sistem daya menjadi lebih stabil.

Abstract— PT. Ajinomoto Indonesia (PTAI), located in Mojokerto is a producer of *monosodium glutamate* (MSG). To meet the electricity needs in PTAI, the company has built two gas and steam power plants (PLTGU), in addition to the supply of the PLN system. The power generations that located relatively in remote area will affect to the voltage profile, power losses, and power system stability, and when the disturbance happen in the system MSG production process will be disrupted. Integration of the system with two PLTGUs and PLN will affect to the PTAI's system in term of steady state or in dynamic state. Therefore, in this study, the steady state and dynamic analyses are performed to determine the effect on the existing power system. Analysis of power flow, voltage stability, frequency stability and rotor angle stability are done in this study to determine the performance of PTAI power system. Some dynamic strategies such as load shedding and rejection of generation are performed to restore the power system to improve the power system stability.

Kata Kunci— analisis aliran daya, interkoneksi, stabilitas tegangan, stabilitas frekuensi, stabilitas sudut rotor

I. Pendahuluan

Pada saat ini, sistem daya listrik berkembang dari

sistem yang bersifat tradisional terpusat menjadi sistem yang modern tersebar. Sistem daya yang tradisional terpusat mengharuskan pembangkit yang ada terhubung langsung ke jaringan transmisi, sedangkan pada sistem modern terbesar unit-unit pembangkit yang lebih kecil bisa langsung terhubung dengan jaringan distribusi yang secara lokasi dekat dengan beban [1, 2].

Injeksi sistem pembangkit baru ke dalam sistem daya yang ada akan memberikan pengaruh keadaan tunak sistem daya seperti perubahan aliran daya, profil tegangan, dan juga pembebanan pada sistem. Disamping itu untuk sistem jaringan yang jauh akan memberikan perubahan rugi daya dan faktor daya sistem. Untuk terjaminnya suplai daya pada sistem, injeksi pembangkit mengharuskan peninjauan kembali rancangan dan penyesuaian peralatan-peralatan proteksi sistem [2, 3]. Dari sudut pandang operasi jaringan, profil tegangan, rugi-rugi daya, perawatan dan praktik-praktik restorasi sistem jika ada gangguan juga akan terpengaruh [4-9].

Sumber tenaga listrik pada PT. Ajinomoto Indonesia (PTAI), Mojokerto berasal dari dua buah Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU) serta dari PLN yang dihubungkan secara paralel. Jauhnya saluran transmisi tenaga listrik dari sumber pembangkit untuk menyuplai beban yang mengakibatkan turungnya kualitas tegangan dan menyebabkan rugi-rugi daya saluran. Dengan jarak saluran transmisi dan distribusi yang ada ini, sistem yang ada juga sangat rentang terjadi gangguan, yang berakibat kepada stabilitas sistem. Gangguan seperti terjadinya hubung singkat pada sistem transmisi akan berakibat kepada perubahan sudut rotor dari generator, yang selanjutnya akan menyebabkan terjadinya perubahan tegangan, aliran arus, dan frekuensi [1-3]. Apabila gangguan tidak segera dihilangkan dari sistem maka kondisi terburuk dapat terjadi seperti

kegagalan sistem daya secara total (*black out*).

Analisis keadaan tunak dengan menggunakan studi aliran daya dan analisis dinamik yaitu stabilitas tegangan, sudut rotor, dan stabilitas frekuensi dilakukan pada penelitian ini untuk mengetahui dampak dari integrasi pembangkit PLTGU di PTAI. Berdasarkan standar jaringan [10], besarnya frekuensi yang diijinkan adalah $\pm 1\%$ dari frekuensi referensi yaitu antara 49,5Hz–50,5Hz. Pada saat terjadi gangguan, yang menyebabkan hilangnya beban maka pada saat yang sama akan terjadinya kelebihan daya, hal ini menyebabkan naiknya frekuensi secara signifikan. Sebaliknya pada saat terjadi gangguan yang diikuti dengan hilangnya pembangkitan maka frekuensi akan naik turun. Analisis dilakukan dengan simulasi aliran daya dan dinamis pada sistem kelistrikan di PTAI pada saat terjadi gangguan pada pembangkit atau gangguan pada sisi beban pada sistem terintegrasi tersebut.

II. Analisis pada Sistem Daya

A. Analisis Aliran Daya

Studi aliran daya merupakan hal penting dalam desain dan perencanaan pengembangan sistem daya guna menentukan operasi terbaik pada sistem. Keterangan utama yang diperoleh dari sebuah studi aliran daya adalah besar dan sudut fasa tegangan, daya reaktif, daya aktif yang dibangkitkan generator dan daya aktif dan reaktif yang mengalir pada setiap saluran/cabang. Studi ini juga digunakan untuk mengevaluasi sistem tenaga listrik terhadap pengaruh kondisi pembebanan yang berbeda. Studi-studi seperti hubung singkat, stabilitas, pembebanan ekonomis juga memerlukan studi aliran daya terlebih dahulu.

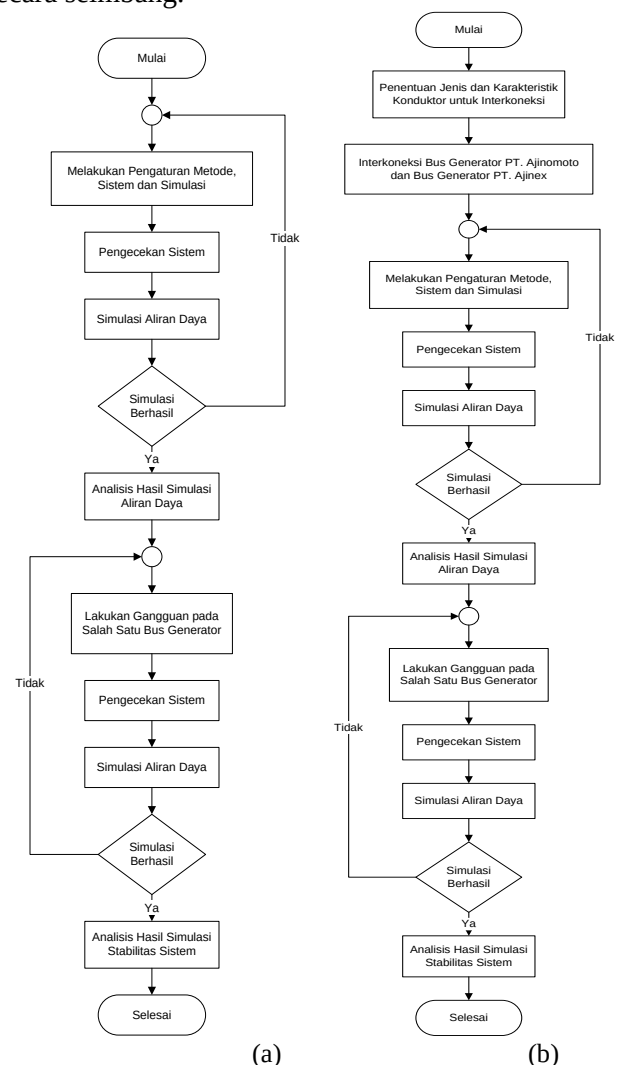
Pada setiap titik/bus suatu sistem tenaga listrik dapat diperoleh nilai daya aktif (P), daya reaktif (Q), tegangan (E), dan sudut fasa tegangan (θ). Jadi pada setiap bus terdapat empat besaran yaitu P, Q, E dan θ . Di dalam studi aliran daya, dua dari keempat besaran itu diketahui, dan dua yang lain perlu dicari. Berdasarkan hal tersebut, bus-bus dibedakan menjadi tiga jenis yaitu bus beban, bus generator, dan bus berayun (*slack bus*) [3].

B. Stabilitas Sistem Daya

Stabilitas sistem daya didefinisikan sebagai sifat

sistem yang memungkinkan generator bergerak sinkron dalam sistem dan bereaksi terhadap gangguan dalam keadaan kerja normal serta kembali ke kondisi kerja semula (keseimbangan) bila keadaan menjadi normal kembali [4]. Dengan kata lain, stabilitas sistem daya merupakan kemampuan suatu sistem tenaga listrik atau bagian komponennya untuk mempertahankan sinkronisasi dan keseimbangan dalam sistem.

Berdasarkan sifat dan besarnya gangguan, masalah stabilitas dalam sistem tenaga listrik dibedakan menjadi stabilitas keadaan mantap (*steady-state*) dan stabilitas peralihan (*transient*) [3]. Dalam suatu operasi sistem daya, ada kalanya sistem mengalami gangguan hubung singkat yang dapat menyebabkan sistem tidak beroperasi secara seimbang.



Gambar 1. Diagram alir untuk sistem (a) sebelum interkoneksi dan (b) setelah interkoneksi.

III. Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian memberikan gambaran urutan langkah-langkah yang dilaksanakan untuk mencapai tujuan penelitian. Data-data yang digunakan adalah data primer yang diperoleh langsung melalui pengukuran ataupun melalui pengambilan data dari perusahaan PTAI sebagai data sekunder. Disamping itu data lainnya dapat dilengkapi dengan menggunakan data tipikal yang bersumber dari buku referensi, jurnal, serta pustaka lain yang relevan dengan tema penelitian.

Evaluasi sistem daya pada keadaan tunak dan keadaan dinamis dilakukan dengan menggunakan analisis aliran daya dan analisis dinamik. Proses simulasi stabilitas sistem didasarkan pada diagram alir yang ditunjukkan pada Gambar 1a dan 1b berturut-turut untuk keadaan sebelum dan setelah interkoneksi. Simulasi dilakukan dengan terlebih dahulu membuat pemodelan sistem, desain skenario yang akan dilakukan, dan dilanjutkan dengan proses simulasi stabilitas sistem daya. Pengamatan dilakukan terhadap parameter sudut rotor dan frekuensi pada kondisi gangguan sebelum dan setelah interkoneksi, serta skenario pelepasan beban dan pelepasan pembangkit pada kondisi interkoneksi.

IV. Hasil dan Pembahasan

A. Hasil Simulasi Aliran Daya

Dalam melakukan simulasi aliran daya pada sistem PT. Ajinomoto di definisikan bahwa bus sumber PLN adalah sebagai *slack bus* (bus referensi) dengan tegangan dasar 3,45 kV dan daya dasar 18 MVA dan bus yang tersambung dengan generator adalah menjadi PV bus dengan daya maksimum 7,65 MW dan 3,71 MVAR. Data hasil simulasi aliran daya diberikan pada Tabel 1. Pada sistem PT. Ajinex, bus sumber PLN juga ditetapkan sebagai *slack bus* dengan tegangan dasar 3,45 kV dan daya dasar 12 MVA dan bus pembangkit lainnya adalah menjadi bus PV dengan daya maksimum 6,75 MW dan 3,27 MVAR. Hasil simulasi aliran daya sistem PT. Ajinex diberikan pada Tabel 2.

Tabel 1. Hasil Simulasi Aliran Daya di PT. Ajinomoto

Parameter Daya	Total Pembangkit	Total Beban	Total Rugi-rugi
P (MW)	20,846	20,6105	0,2355
Q (MVAR)	11,445	9,9821	1,4629

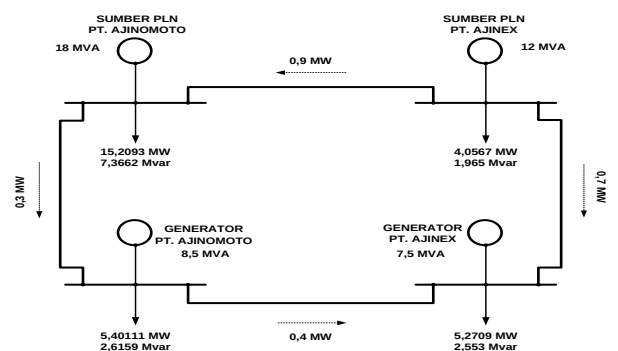
Tabel 2. Hasil Simulasi Aliran Daya di PT. Ajinex

Parameter Daya	Total Pembangkit	Total Beban	Total Rugi-rugi
P (MW)	10,0245	9,8877	0,1368
Q (MVAR)	5,1563	4,7888	0,3675

Untuk simulasi kondisi setelah interkoneksi, bus sumber PLN PT. Ajinomoto ditetapkan sebagai *slack bus* dengan tegangan dasar 3,45 kV dan daya dasar 18 MVA, sedangkan bus pembangkit lainnya seperti generator PT. Ajinomoto, PLTGU PT. Ajinex, dan sumber PLN PT. Ajinex sebagai bus PV dengan daya maksimum masing-masing adalah 7,65 MW dan 3,71 MVAR, 6,75 MW dan 3,27 MVAR, 10,8 MW dan 5,23 MVAR. Hasil simulasi aliran daya dari sistem interkoneksi tersebut diberikan pada Tabel 3 dan arah aliran dayanya diberikan pada Gambar 2.

Tabel 3. Hasil Simulasi Aliran Daya di PT. Ajinomoto

Parameter Daya	Total Pembangkit	Total Beban	Total Rugi-rugi
P (MW)	30,7968	30,4981	0,2987
Q (MVAR)	16,4949	14,7709	1,7240

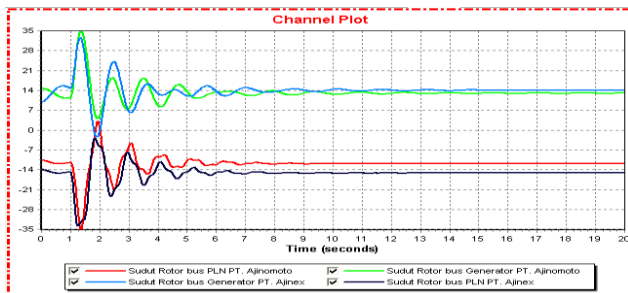


Gambar 2. Hasil simulasi aliran daya kondisi interkoneksi

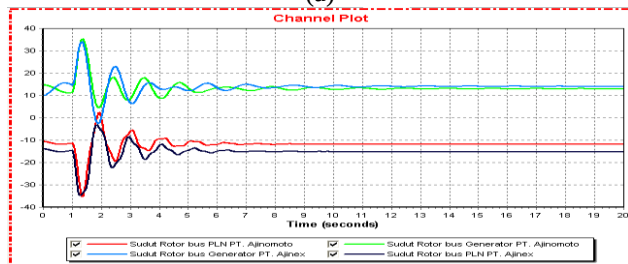
B. Hasil Simulasi Stabilitas Sistem Daya Setelah Interkoneksi

Pada kondisi interkoneksi, stabilitas sudut rotor yang akan ditinjau adalah sudut rotor dari bus PLN PT. Ajinomoto, bus Generator PT. Ajinomoto, Bus PLN PT.

Ajinex, dan bus Generator PT. Ajinex. Hasil simulasi stabilitas sudut rotor pada sistem ditunjukkan pada Gambar 3, sedangkan stabilitas frekuensi ditunjukkan pada Gambar 4 untuk masing-masing lokasi gangguan pada bus Generator dan pada bus beban 2F.

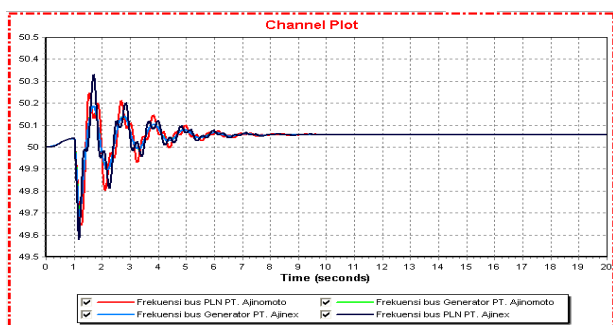


(a)

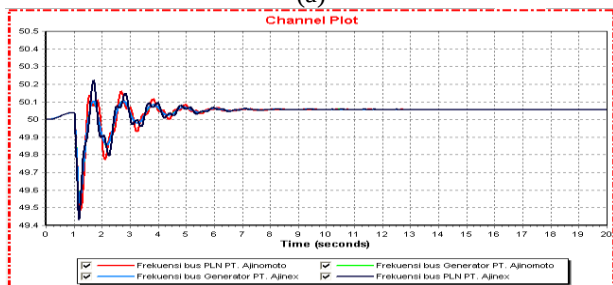


(b)

Gambar 3. Grafik sudut rotor dengan gangguan pada: (a) bus Generator (b) bus Beban 2F kondisi setelah interkoneksi



(a)



(b)

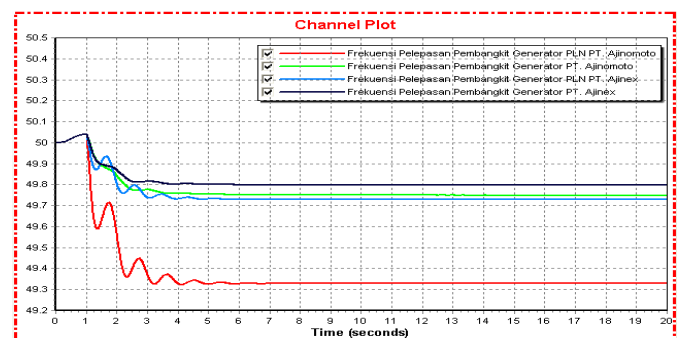
Gambar 4. Grafik frekuensi dengan gangguan pada: (a) bus Generator (b) bus Beban 2F kondisi setelah interkoneksi

Sistem daya akan mengalami osilasi transien selama terjadi gangguan yaitu selama 150ms, dan selanjutnya sistem akan kembali stabil setelah gangguan dihilangkan dari sistem. Frekuensi terendah yang dicapai akibat terjadinya gangguan pada bus 2F adalah 49.48Hz, dan 49.58Hz pada lokasi gangguan di bus generator. Namun demikian, frekuensi kembali stabil setelah gangguan dihilangkan dari sistem.

C. Skenario Pelepasan Pembangkit dan Beban

1) Skenario Pelepasan Pembangkit

Untuk mengetahui stabilitas sudut rotor dan frekuensi pada saat terjadi pelepasan pada salah satu pembangkit yang bekerja pada sistem PTAI, yang terjadi akibat gangguan permanen. Pelepasan satu pembangkit PTAI dilakukan pada waktu ke-1 detik, dan selanjutnya respons frekuensi dari pembangkit lainnya seperti sumber PLN PT. Ajinomoto, Generator PT. Ajinomoto, sumber PLN PT. Ajinex, dan Generator PT. Ajinex dilakukan evaluasi stabilitas frekuensi.

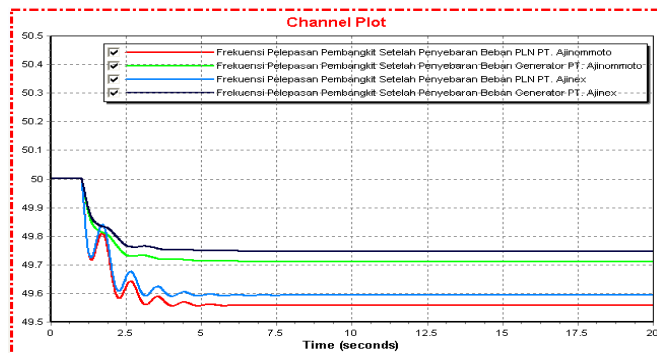


Gambar 5. Grafik frekuensi dengan skenario pelepasan Pembangkit pada kondisi setelah interkoneksi

Gambar 5 menunjukkan grafik hasil response stabilitas frekuensi setelah terjadi pelepasan pembangkit dimana frekuensi terendah yang dicapai adalah 49,35 Hz, oleh pembangkit PLN PTAI. Respon frekuensi tersebut adalah diluar yang diijinkan sesuai dengan aturan jaringan yaitu 49,5 Hz. Oleh karena itu diperlukan suatu strategi untuk mengembalikan frekuensi untuk kembali pulih ke frekuensi yang diijinkan diantaranya adalah dengan scenario: 1) strategi penyebaran pembebanan pembangkit lainnya yang masih hidup; dan 2) strategi pelepasan beban.

2) Penyebaran Pembebanan pada Pembangkit

Daya pembebanan pembangkit PLTGU PT. Ajinomoto, PLN PT. Ajinex, dan PLTGU PT. Ajinex sebelumnya adalah berkisar antara 50%-64,7% dari daya maksimum pembangkit. Dengan menaikkan daya yang diberikan oleh pembangkit PLTGU PT. Ajinomoto, PLN PT. Ajinex, dan PLTGU PT. Ajinex sampai dengan 75 % dari daya maksimum pembangkit, maka didapatkan grafik hasil yang ditunjukkan pada Gambar 6 dengan melakukan gangguan pada lokasi yang sama seperti sebelumnya.



Gambar 6. Grafik frekuensi = $f(t)$ Skenario pelepasan beban satu atau lebih dengan gangguan pada Generator PT. Ajinomoto kondisi setelah interkoneksi

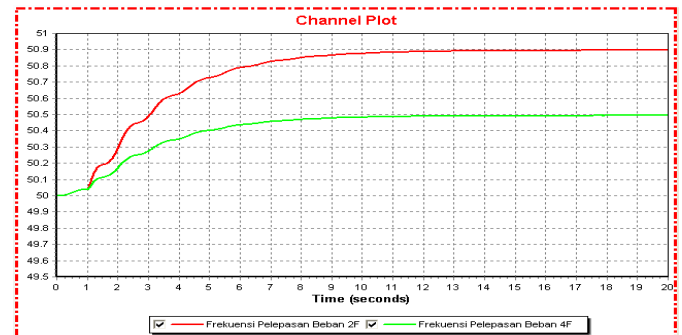
3) Pelepasan Beban (Load Shedding)

Pelepasan beban yang diijinkan adalah 15% (4,575MW) dari total beban sistem (30,498MW). Pelepasan beban dilakukan dengan melepas satu atau lebih beban yang dirasa tidak terlalu penting dalam proses produksi, tetapi dengan syarat bahwa bus 4F, bus 7F, bus 8F dari sistem PT. Ajinomoto dan bus 2F, bus 4F, bus 6F dari sistem PT. Ajinex tidak boleh dilepas disebabkan beban-beban pada bus tersebut merupakan beban-beban penting dan tidak boleh berhenti beroperasi apabila terjadi gangguan.

4) Skenario Pelepasan Beban

Sebelum dilakukan gangguan pada 0–1 detik frekuensi akan mengalami lonjakan sampai dengan 50,038 Hz. Pada saat dilakukan gangguan dan terjadi pelepasan setelah 1 detik, maka frekuensi pada semua pembangkit akan mengalami kenaikan secara drastis. Gambar 7 menunjukkan respon frekuensi setelah terjadi pelepasan beban pada Beban 2F dan nilai frekuensi

tertinggi yang dicapai adalah 50,896 Hz. Oleh karena itu diperlukan suatu strategi dalam mengatasi persoalan kenaikan frekuensi yaitu dengan pelepasan pembangkit.



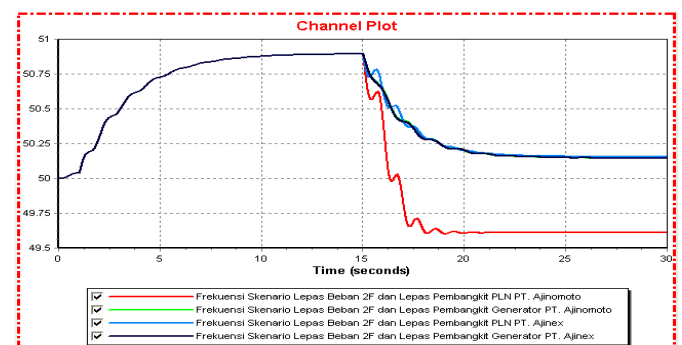
Gambar 7. Grafik frekuensi skenario pelepasan beban pada kondisi interkoneksi

5) Pelepasan Pembangkit

Pada saat terjadi gangguan yaitu pada bus Beban 2F maka frekuensi akan mengalami kenaikan sampai di luar batas atas yang diijinkan yaitu 50,5 Hz. Setelah dilakukan pelepasan pembangkit maka frekuensi akan kembali pada batas yang diijinkan, sehingga sistem dapat terus berjalan sampai dengan perbaikan dan penyambungan kembali Beban 2F. Respon frekuensi sistem setelah terjadinya pelepasan beban dan dilanjutkan pelepasan pembangkit diberikan pada Gambar 8.

Tabel 4. Skenario Pelepasan Pembangkit

Pembangkit	Pgen (MW)	Pgen (MW)	Pgen (MW)
	Maks	Sebelum	Setelah
PLN PT. Ajinomoto	18,0000	14,7968	9,78220
PLTGU PT. Ajinomoto	8,50000	5,50000	6,37500
PLN PT. Ajinex	12,0000	6,00000	9,00000
PLTGU PT. Ajinex	7,50000	4,50000	5,62500



Gambar 8. Respon frekuensi pada gangguan dengan pelepasan Beban 2F, dan skenario pelepasan pembangkit

Kondisi pelepasan beban yang dilanjutkan dengan pelepasan pembangkit memberikan respon pembangkit lainnya untuk menyeimbangkan kembali sebagaimana diberikan pada Tabel 4.

V. Kesimpulan

Analisis sistem daya keadaan tunak dan keadaan dinamis karena adanya interkoneksi dan integrasi dari sistem PTAI dan PT. Ajexi, dilakukan pada penelitian ini. Pada kondisi sebelum interkoneksi, kedua sistem sistem daya dilakukan analisis sistem dinamik dengan melihat respon sistem dengan gangguan yang dikenakan pada sistem. Kedua sistem tersebut menunjukkan respon yang stabil baik ditinjau dari stabilitas sudut rotor ataupun stabilitas frekuensi. Hal tersebut terlihat dari kondisi sudut rotor dan frekuensi generator yang dapat melakukan rekovery sistem sehingga mencapai keadaan *equilibrium (steady state)* setelah mengalami gangguan.

Pada kondisi interkoneksi, sistem daya di PT. Ajinomoto Indonesia, memiliki keadaan dimana pada saat terjadi pelepasan pembangkit atau pun pelepasan beban terbesar pada sistem, maka sistem akan mengalami masalah stabilitas sudut rotor ataupun stabilitas frekuensi. Untuk membuat kondisi sistem kembali kepada keadaan tunak pada gangguan yang diikuti pelepasan pembangkit terbesar yaitu pembangkit PLN PT. Ajinomoto, maka perlu dilakukan dua scenario metode solusi yaitu dengan cara penyebaran pembebanan pembangkit dan pembuangan beban. Untuk kasus gangguan sistem yang dilanjutkan dengan pelepasan beban terbesar (Beban 2F) maka solusi sistem untuk kembali normal adalah dengan melakukan pelepasan pembangkit.

Daftar Pustaka

- [1] Natarajan, Ramasamy. 2002. Computer-Aided Power System Analysis. New York : Marcel Dekker, Inc.
- [2] Kundur, P. 1994. Power System Stability and Control. New York: McGraw-Hill.
- [3] Grainger, John J. & Stevenson, William D. 1994. Power Sistem Analysis. Singapore: McGraw-Hill.
- [4] Quezada V. H. M., Abbad J. R., and Román T. G. S., Assessment of Energy Distribution Losses for Increasing

Penetration of Distributed Generation, IEEE Transactions on Power Systems, VOL. 21, NO. 2, MAY, 2006, Pp: 533-540

- [5] T. Ackermann, G. Andersson, and L. Söder, "Distributed generation: A definition," *Elect. Power Syst. Res.*, vol. 57, pp. 195–204, 2001.
- [6] T. Ackermann and V. Knyazkin, "Interaction between distributed generation and the distribution network: Operation aspects," in *Proc. Second Int. Symp. Distributed Generation: Power System Market Aspects*, Stockholm, Sweden, 2002.
- [7] G. Jóos, B. T. Ooi, D. McGillis, F. D. Galiana, and R. Marceau, "The potential of distributed generation to provide ancillary services," in *Proc. IEEE Power Eng. Soc. Summer Meeting*, Seattle, WA, 2000.
- [8] T. Hoff, H. J. Wenger, and B. K. Farmer, "The value of grid-support photovoltaics in providing distribution system voltage support," in *Proc. American Solar Energy Society Annual Conf.*, San Jose, CA, 1994.
- [9] M. I. Marei, E. F. El-Saadany, and M. M. A. Salama, "A novel control algorithm for the DG interface to mitigate power quality problems," *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 19, no. 3, pp. 1384–1392, Jul. 2004.
- [10] Kementerian ESDM R.I. "Aturan Jaringan Sistem Tenaga Listrik Jawa-Madura-Bali" peraturan menteri (permen) No. 3. 2007.