

Stabilitas Transien Pada Generator Kapasitas 315 Mw Akibat Variasi Beban

Dita Atma Nila Sari¹, Agung Trihasto², Deria Pravitasari³

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Tidar

email: ditasuyikno@yahoo.com¹, agungtrihasto@gmail.com², deria.pravitasari@untidar.ac.id³

ABSTRAK

Stabilitas pada sistem tenaga listrik menjadi hal yang utama untuk menjamin kontinuitas dan keandalan operasi sistem tenaga listrik. Besar beban yang berbeda menghasilkan respon kestabilan yang berbeda juga. Oleh karena itu diperlukan penelitian tentang kestabilan transien dari suatu sistem yang diakibatkan beban yang bervariasi. Penelitian ini dilakukan di PT PJB UBJ O&M PLTU Rembang untuk mengetahui respon transien dari sistem pembangkitan dengan unit generator 2 x 315 MW dengan memvariasikan beban yang berbeda-beda. Software yang digunakan untuk mendapatkan respon transien yaitu ETAP. Hasil simulasi menunjukkan bahwa semua perubahan beban baik penambahan maupun pengurangan beban dapat menyebabkan osilasi yang bisa saja membahayakan sistem. Namun pada simulasi, sistem mampu melakukan recovery dan kembali mencapai keadaan stabil baru sehingga tidak membahayakan kestabilan sistem.

Kata Kunci: Kestabilan Transien, Pembangkit, Frekuensi, ETAP

ABSTRACT

The stability of the electric power system is the main thing to ensure the continuity and reliability of the operation of the electric power system. Different load sizes produce different stability responses. Therefore we need research on the transient stability of a system due to varying loads. This research was conducted at PT PJB UBJ O&M PLTU Rembang to determine the transient response of the generation system with 2 x 315 MW generator units by varying different loads. The software used to obtain transient responses is ETAP. The simulation results show that all load changes, both increase and decrease in load, can cause oscillations that can endanger the system. However, in the simulation, the system is able to perform recovery and return to a new stable state so that it does not endanger the stability of the system.

Keywords: Transient Stability, Generation, Frequency, ETAP

I. PENDAHULUAN

Masalah stabilitas pada system tenaga listrik menjadi hal yang utama untuk menjamin kontinuitas dan keandalan operasi dari suatu sistem tenaga listrik [4]. Suatu sistem dikatakan stabil ketika terdapat keseimbangan antara daya mekanik pada penggerak utama generator dengan daya *output* listrik. Daya *output* listrik sangat dipengaruhi oleh fluktuasi beban dimana ketika terjadi kenaikan atau penurunan beban maka harus diikuti oleh perubahan daya mekanik yang dihasilkan oleh *prime mover*. Apabila *prime mover* tidak mampu menyesuaikan dengan kondisi beban akan mengakibatkan sistem menjadi tidak stabil [3].

Apabila kondisi sistem tidak stabil terjadi dalam waktu yang cukup lama hingga melampaui batas-batas ketidakstabilan, generator akan kehilangan kondisi paralel. Keadaan ini akan menghasilkan arus puncak yang tinggi dan penyimpangan frekuensi operasi sehingga akan menyebabkan terjadinya stress pada belitan generator, gaya puntir yang berfluktuasi dan resonansi yang akan merusak turbin generator. Pada kondisi ini generator harus dilepas dari sistem.

Agar tidak terjadi kondisi yang mengharuskan generator dilepas dari sistem dan menghindari kerugian-kerugian lain akibat ketidakseimbangan sistem seperti terputusnya proses penyaluran energi listrik ke konsumen, maka perlu dilakukan studi tentang kestabilan transien saat terjadi variasi beban

pada generator. Pada penelitian ini dilakukan simulasi stabilitas transien akibat variasi beban untuk mengetahui kestabilan sistem.

II. LANDASAN TEORI

Kestabilan sistem tenaga listrik dapat didefinisikan sebagai kemampuan dari sistem untuk menjaga kondisi operasi yang seimbang dan kemampuan sistem tersebut untuk kembali ke kondisi operasi normal ketika terjadi gangguan.

A. Klasifikasi kestabilan tenaga listrik

Berdasarkan Paper IEEE *definition and classification of power system stability*, kestabilan sistem tenaga listrik dibagi menjadi tiga kategori yaitu:

1. kestabilan sudut rotor;
2. kestabilan frekuensi;
3. kestabilan tegangan.

1. Stabilitas Sudut Rotor

Stabilitas sudut rotor mengacu pada kemampuan mesin sinkron dari sistem tenaga yang saling berhubungan untuk tetap sinkron setelah mengalami gangguan. Itu tergantung pada kemampuan untuk menjaga / memulihkan keseimbangan antara torsi elektromagnetik dan torsi mekanis dari setiap mesin sinkron dalam sistem.

2. Stabilitas Tegangan

Stabilitas tegangan mengacu pada kemampuan sistem tenaga untuk mempertahankan tegangan yang

stabil di semua bus dalam sistem setelah mengalami gangguan dari kondisi operasi awal tertentu.

3. Stabilitas Frekuensi

Stabilitas frekuensi mengacu pada kemampuan sistem tenaga untuk mempertahankan frekuensi stabil setelah gangguan sistem parah yang mengakibatkan ketidakseimbangan yang signifikan antara pembangkitan dan beban.

B. Dinamika Rotor dan Persamaan Ayunan

Pada dasarnya persamaan dari pengaturan gerakan satu mesin rotor merupakan prinsip dasar dinamika yang menyatakan bahwa torsi percepatan (*accelerating torque*) merupakan hasil perkalian dari percepatan sudut dan momen kelembaman (*inertia*) rotor. Pada sistem meter-kilogram-second (MKS) persamaannya dapat dituliskan sebagai :

$$J \frac{d^2 \theta_m}{dt^2} = T_a = T_m - T_e \quad (1)$$

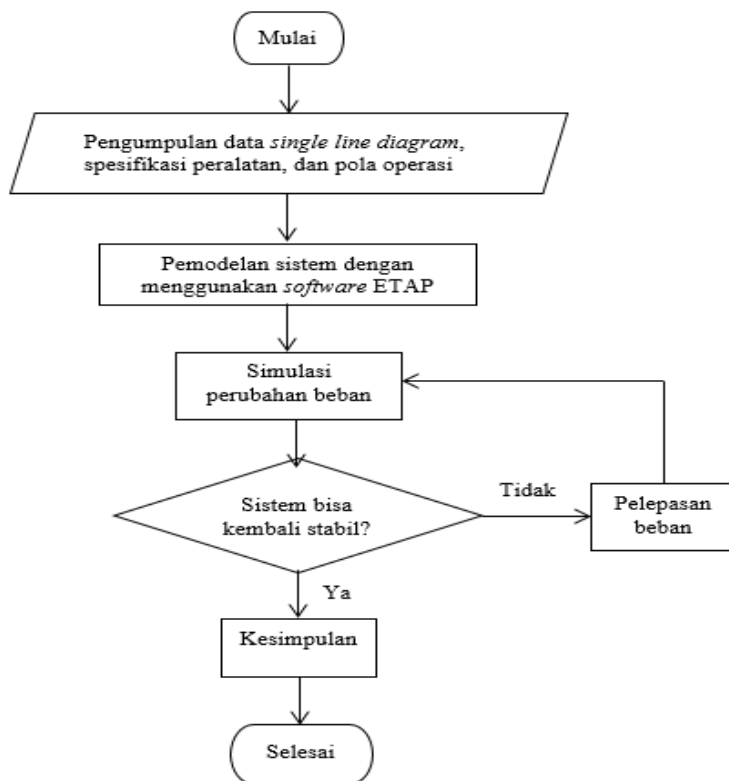
Dimana:

- J Momen inersia total dari masa rotor $kg \cdot m^2$
- θ_m Pergeseran sudut dari rotor terhadap suatu sumbu yang diam (rad)
- T_e Momen putar elektrik (N-m)
- T_a Momen putar kecepatan percepatan bersih (*net*), (N-m)
- t Waktu (s)
- T_m Momen putar mekanis atau poros penggerak yang diberikan oleh *prime mover* dikurangi dengan momen putar perlambatan (*retarding*) yang disebabkan oleh rugi-rugi perputaran (N-m).

III. METODE

Pemodelan dan simulasi stabilitas transien pada penelitian ini dilakukan pada PT PJB UBJ O&M PLTU Rembang dengan menggunakan ETAP.

Penelitian ini dilakukan berdasarkan *flowchart* pada Gambar 1 berikut:

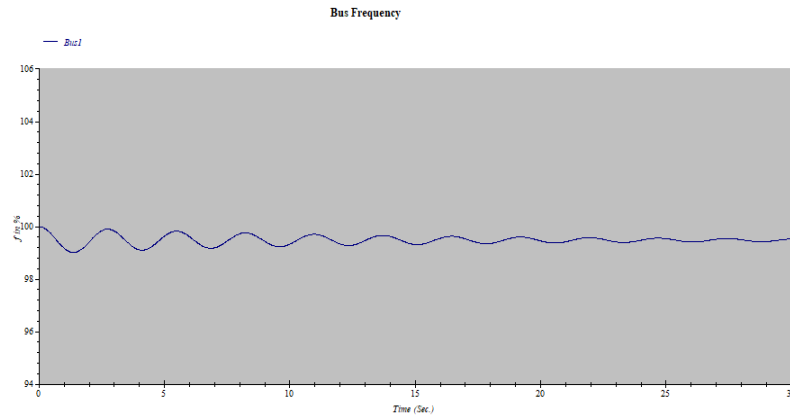


Gambar 1 *Flowchart* alur penelitian

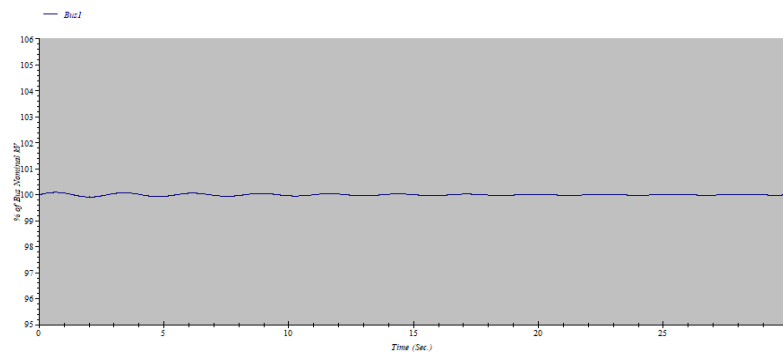
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil simulasi saat beban 629 MW

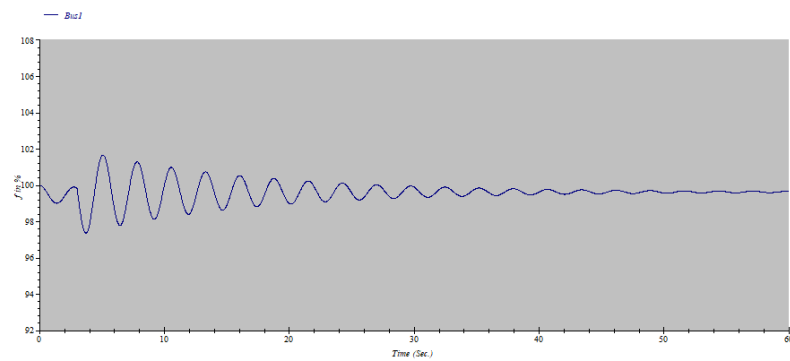
Simulasi kestabilan transien akan dilakukan dengan memberikan beban sebesar 629 MW untuk mengetahui respon frekuensi dan tegangan dengan total waktu simulasi selama 30 detik.



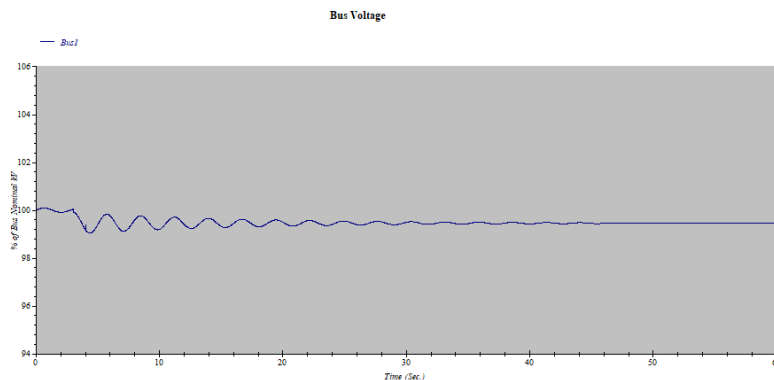
Gambar 2 Respon frekuensi saat beban 629 MW



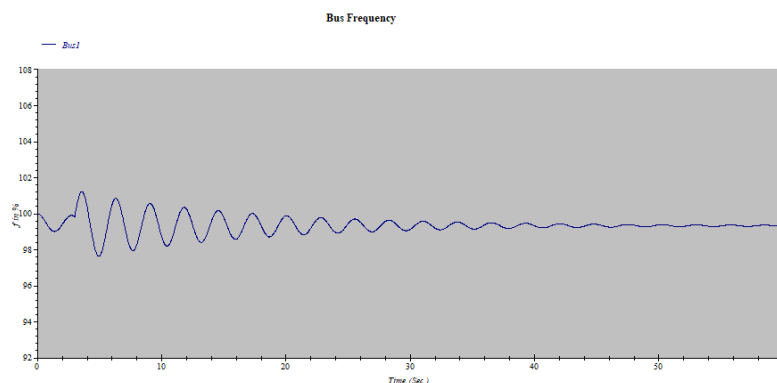
Gambar 3 Respon tegangan saat beban 629 MW



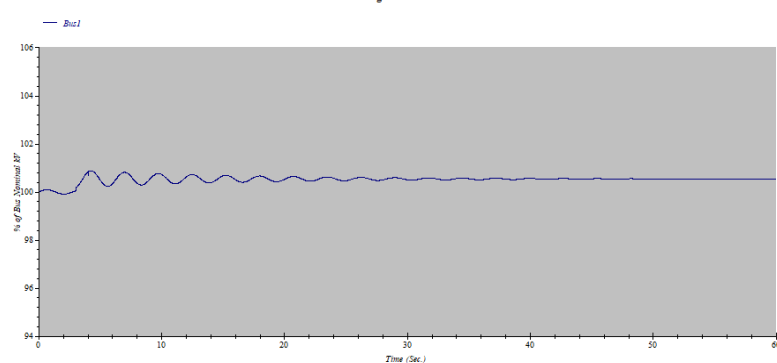
Gambar 4 Respon frekuensi saat beban 629 MW dan mengalami kenaikan beban sebesar 0,5%



Gambar 5 Respon tegangan saat beban 629 MW dan mengalami kenaikan beban sebesar 0,5%



Gambar 6 Respon frekuensi saat beban 629 MW dan mengalami pengurangan beban sebesar 0,5%



Gambar 7 Respon tegangan saat beban 629 MW dan mengalami pengurangan beban sebesar 0,5%

Gambar 2 menunjukkan respon frekuensi dari simulasi saat beban 629 MW. Penurunan frekuensi terendah hingga mencapai 99,01 % pada detik ke 1,38. Penurunan frekuensi tidak melebihi batas ketidakstabilan sehingga sistem masih aman.

Gambar 3 menunjukkan respon tegangan dari simulasi saat beban 629 MW. Respon tegangan cenderung lebih stabil bila dibandingkan dengan respon frekuensi. Kenaikan tegangan tertinggi mencapai 100,095% pada detik ke 0,7. Sementara penurunan tegangan terendah mencapai 99,91% pada detik ke 2,04.

Berdasarkan hasil simulasi untuk mengetahui respon frekuensi dan tegangan dapat disimpulkan bahwa sistem masih dapat mempertahankan kestabilannya ketika diberi beban 629 MW. Terjadi osilasi dari masing-masing respon tetapi penurunan ataupun kenaikan yang terjadi masih diperkenankan.

Kemudian dilakukan perubahan beban dengan masing-masing penambahan dan pengurangan sebesar

0,5% dari besar beban semula. Simulasi dilakukan dalam jangka waktu 60 detik untuk melihat jika generator bisa kembali stabil setelah mengalami perubahan beban.

Gambar 4 menunjukkan respon frekuensi dari simulasi saat beban 629 MW kemudian pada detik ke-3 mengalami penambahan beban 0,5%. Penurunan frekuensi terendah hingga mencapai 97,38 % pada detik ke 3,7. Sementara kenaikan frekuensi tertinggi akibat perubahan beban mencapai 101,68% pada detik ke 5,08. Namun frekuensi bisa mencapai kestabilan kembali setelah memasuki detik ke 40.

Gambar 5 menunjukkan respon tegangan dari simulasi saat beban 629 MW kemudian pada detik ke-3 mengalami penambahan beban 0,5%. Penurunan tegangan terendah hingga mencapai 99,04 % pada detik ke 4,38. Tegangan bisa mencapai kestabilan kembali setelah memasuki detik ke 30.

Gambar 6 menunjukkan respon frekuensi dari simulasi saat beban 629 MW kemudian pada detik ke-

3 mengalami pengurangan beban 0,5%. Kenaikan frekuensi tertinggi hingga mencapai 101,21% pada detik ke 3,56. Sementara penurunan frekuensi terendah akibat perubahan beban mencapai 97,64% pada detik ke 4,94. Namun frekuensi bisa mencapai kestabilan kembali setelah memasuki detik ke 40.

Gambar 7 menunjukkan respon tegangan dari simulasi saat beban 629 MW kemudian pada detik ke-3 mengalami penurunan beban 0,5%. Kenaikan tegangan tertinggi hingga mencapai 100,88% pada detik ke 4,24. Tegangan bisa mencapai kestabilan kembali setelah memasuki detik ke 30.

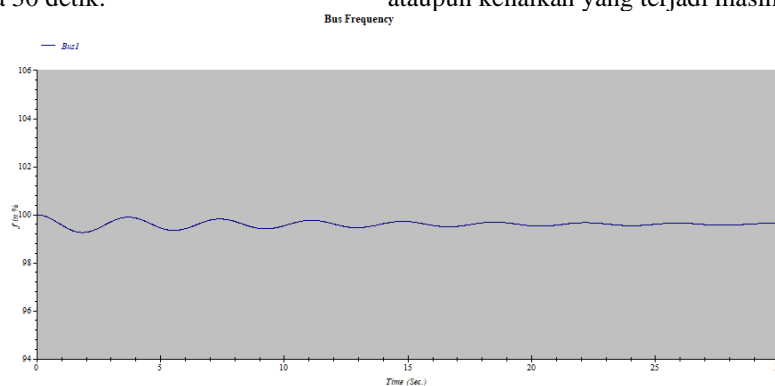
B. Hasil simulasi saat beban 450 MW

Simulasi kestabilan transien akan dilakukan dengan memberikan beban sebesar 450 MW untuk mengetahui respon frekuensi dan tegangan dengan total waktu simulasi selama 30 detik.

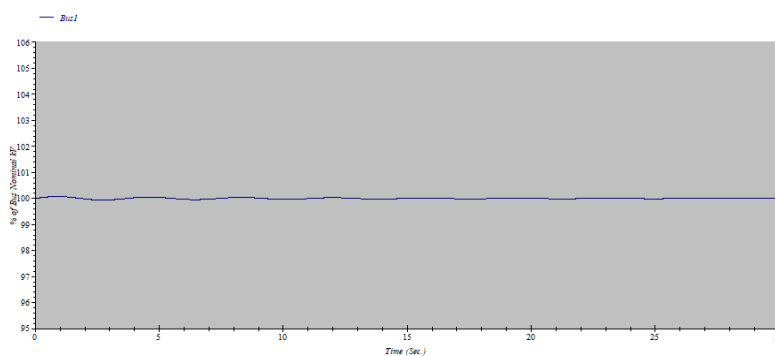
Gambar 8 menunjukkan respon frekuensi dari simulasi saat beban 450 MW. Penurunan frekuensi terendah hingga mencapai 99,25 % pada detik ke 1,84. Penurunan frekuensi tidak melebihi batas ketidakstabilan sehingga sistem masih aman.

Gambar 9 menunjukkan respon tegangan dari simulasi saat beban 450 MW. Respon tegangan cenderung lebih stabil bila dibandingkan dengan respon frekuensi. Kenaikan tegangan tertinggi mencapai 100,073% pada detik ke 0,84. Sementara penurunan tegangan terendah mencapai 99,93% pada detik ke 2,74.

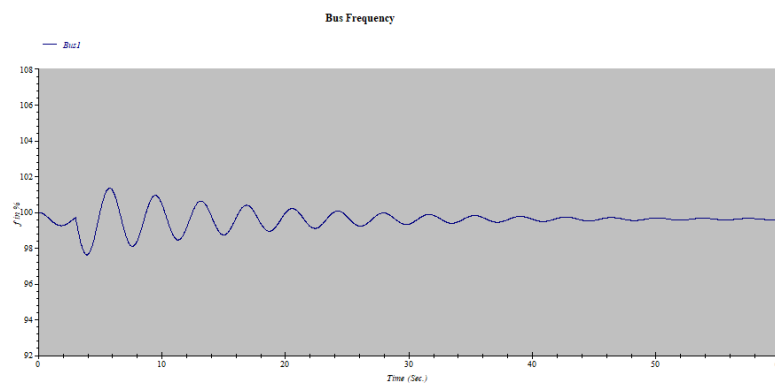
Berdasarkan hasil simulasi untuk mengetahui respon frekuensi dan tegangan dapat disimpulkan bahwa sistem masih dapat mempertahankan kestabilannya ketika diberi beban 450 MW. Terjadi osilasi dari masing-masing respon tetapi penurunan ataupun kenaikan yang terjadi masih diperkenankan.



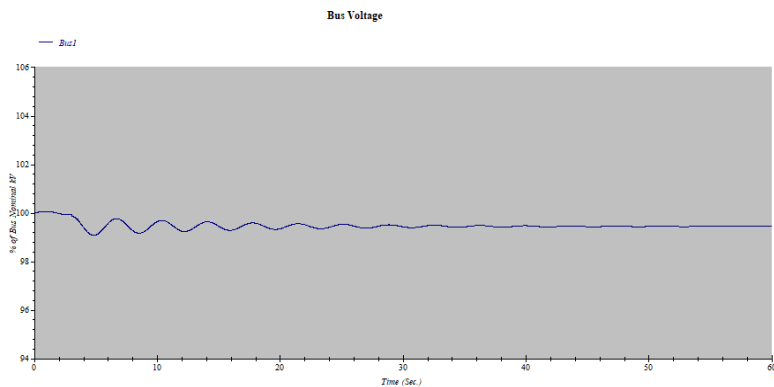
Gambar 8 Respon frekuensi saat beban 450 MW



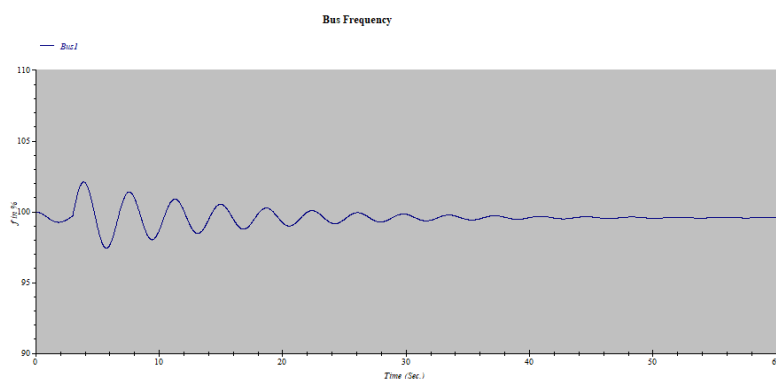
Gambar 9 Respon tegangan saat beban 450 MW



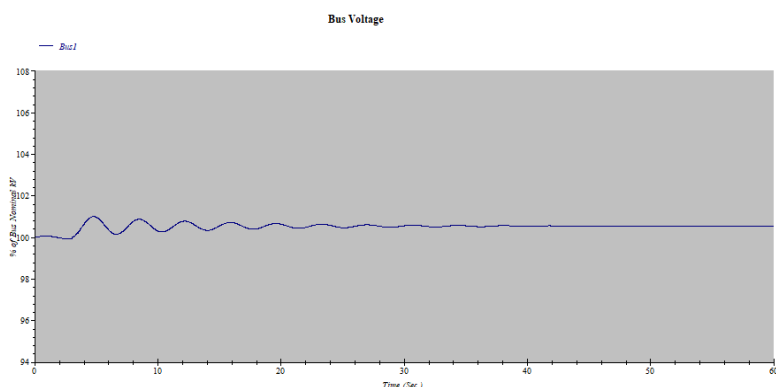
Gambar 10 Respon frekuensi saat beban 450 MW dan mengalami kenaikan beban sebesar 0,5%



Gambar 11 Respon tegangan saat beban 450 MW dan mengalami kenaikan beban sebesar 0,5%



Gambar 12 Respon frekuensi saat beban 450 MW dan mengalami pengurangan beban sebesar 0,5%



Gambar 13 Respon tegangan saat beban 450 MW dan mengalami pengurangan beban sebesar 0,5%

Kemudian dilakukan perubahan beban dengan masing-masing penambahan dan pengurangan sebesar 0,5% dari besar beban semula. Simulasi dilakukan dalam jangka waktu 60 detik untuk melihat jika generator bisa kembali stabil setelah mengalami perubahan beban.

Gambar 10 menunjukkan respon frekuensi dari simulasi saat beban 450 MW kemudian pada detik ke-3 mengalami penambahan beban 0,5%. Penurunan frekuensi terendah hingga mencapai 97,62% pada detik ke 3,92. Sementara kenaikan frekuensi tertinggi akibat perubahan beban mencapai 101,36% pada detik ke 5,76. Namun frekuensi bisa mencapai kestabilan kembali setelah memasuki detik ke 40.

Gambar 11 menunjukkan respon tegangan dari simulasi saat beban 450 MW kemudian pada detik ke-3 mengalami penambahan beban 0,5%. Penurunan

tegangan terendah hingga mencapai 99,08% pada detik ke 4,82. Tegangan bisa mencapai kestabilan kembali setelah memasuki detik ke 25.

Gambar 12 menunjukkan respon frekuensi dari simulasi saat beban 450 MW kemudian pada detik ke-3 mengalami pengurangan beban 0,5%. Kenaikan frekuensi tertinggi hingga mencapai 102,10% pada detik ke 3,88. Sementara penurunan frekuensi terendah akibat perubahan beban mencapai 97,42% pada detik ke 5,72. Namun frekuensi bisa mencapai kestabilan kembali setelah memasuki detik ke 35.

Gambar 13 menunjukkan respon tegangan dari simulasi saat beban 450 MW kemudian pada detik ke-3 mengalami penurunan beban 0,5%. Kenaikan tegangan tertinggi hingga mencapai 101,00% pada detik ke 4,74. Tegangan bisa mencapai kestabilan kembali setelah memasuki detik ke 25.

C. Hasil simulasi saat beban 745 MW

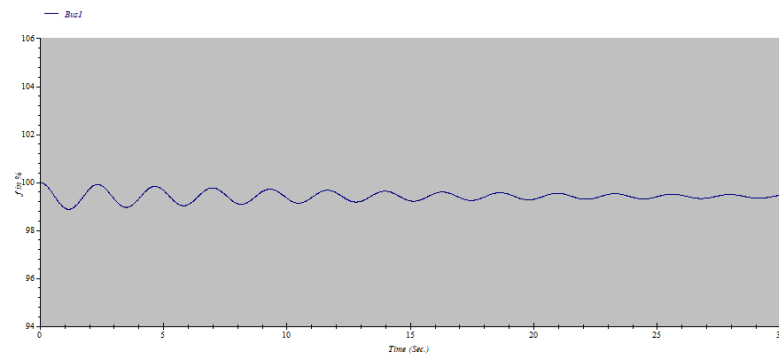
Simulasi kestabilan transien akan dilakukan dengan memberikan beban sebesar 745 MW untuk mengetahui respon frekuensi dan tegangan dengan total waktu simulasi selama 30 detik.

Gambar 14 menunjukkan respon frekuensi dari simulasi saat beban 745 MW. Penurunan frekuensi terendah hingga mencapai 98,88 % pada detik ke 1,16. Penurunan frekuensi tidak melebihi batas ketidakstabilan sehingga sistem masih aman.

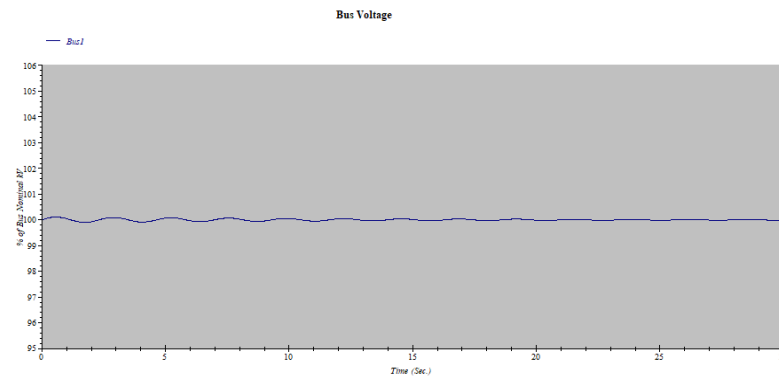
Gambar 15 menunjukkan respon tegangan dari simulasi saat beban 745 MW. Respon tegangan

cenderung lebih stabil bila dibandingkan dengan respon frekuensi. Kenaikan tegangan tertinggi mencapai 100,108% pada detik ke 0,54. Sementara penurunan tegangan terendah mencapai 99,90% pada detik ke 1,74.

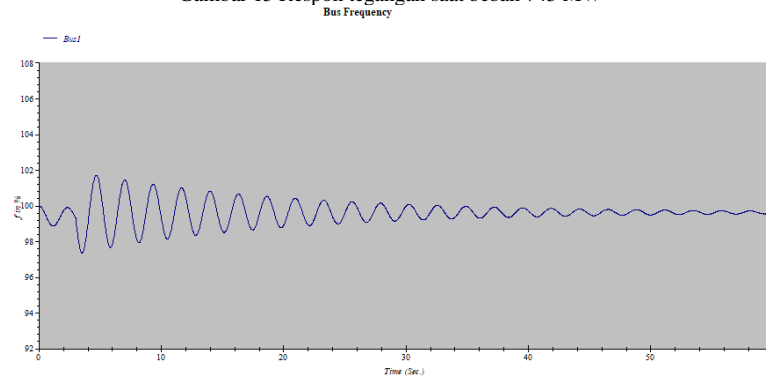
Berdasarkan hasil simulasi untuk mengetahui respon frekuensi dan tegangan dapat disimpulkan bahwa sistem masih dapat mempertahankan kestabilannya ketika diberi beban 745 MW. Terjadi osilasi dari masing-masing respon tetapi penurunan ataupun kenaikan yang terjadi masih diperkenankan.



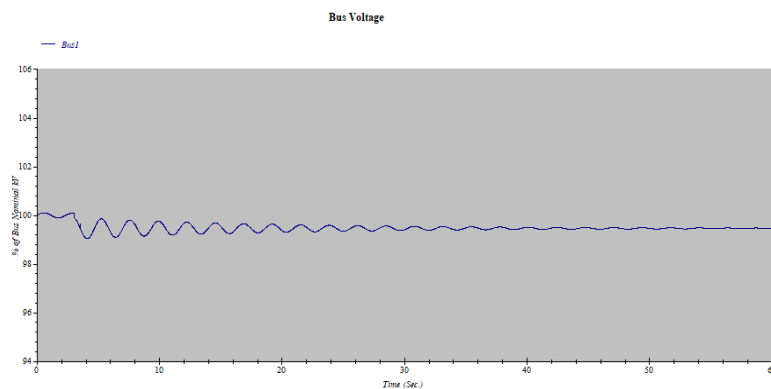
Gambar 14 Respon frekuensi saat beban 745 MW



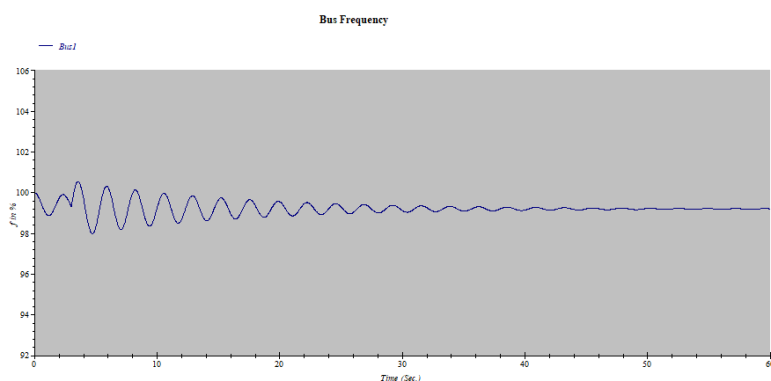
Gambar 15 Respon tegangan saat beban 745 MW



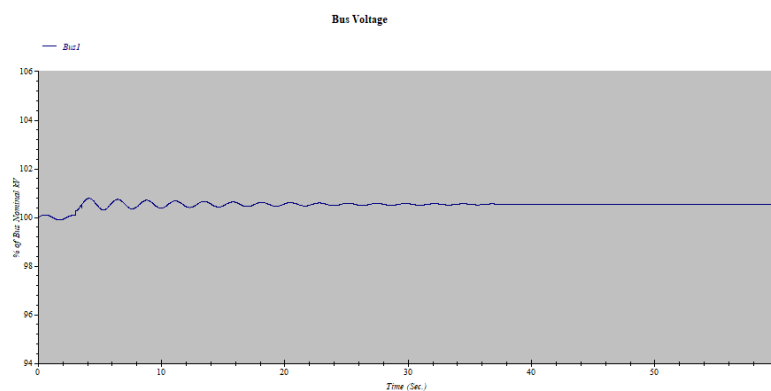
Gambar 16 Respon frekuensi saat beban 745 MW dan mengalami kenaikan beban sebesar 0,5%



Gambar 17 Respon tegangan saat beban 745 MW dan mengalami kenaikan beban sebesar 0,5%



Gambar 18 Respon frekuensi saat beban 745 MW dan mengalami pengurangan beban sebesar 0,5%



Gambar 19 Respon tegangan saat beban 745 MW dan mengalami pengurangan beban sebesar 0,5%

Kemudian dilakukan perubahan beban dengan masing-masing penambahan dan pengurangan sebesar 0,5% dari besar beban semula. Simulasi dilakukan dalam jangka waktu 60 detik untuk melihat jika generator bisa kembali stabil setelah mengalami perubahan beban.

Gambar 16 menunjukkan respon frekuensi dari simulasi saat beban 745 MW kemudian pada detik ke-3 mengalami penambahan beban 0,5%. Penurunan frekuensi terendah hingga mencapai 97,36% pada detik ke 3,50. Sementara kenaikan frekuensi tertinggi akibat perubahan beban mencapai 101,72% pada detik ke 4,68. Namun frekuensi bisa mencapai kestabilan kembali setelah memasuki detik ke 45.

Gambar 17 menunjukkan respon tegangan dari simulasi saat beban 745 MW kemudian pada detik ke-3 mengalami penambahan beban 0,5%. Penurunan

tegangan terendah hingga mencapai 99,04% pada detik ke 4,08. Tegangan bisa mencapai kestabilan kembali setelah memasuki detik ke 40.

Gambar 18 menunjukkan respon frekuensi dari simulasi saat beban 745 MW kemudian pada detik ke-3 mengalami pengurangan beban 0,5%. Kenaikan frekuensi tertinggi hingga mencapai 100,54% pada detik ke 3,54. Sementara penurunan frekuensi terendah akibat perubahan beban mencapai 97,98% pada detik ke 4,72. Namun frekuensi bisa mencapai kestabilan kembali setelah memasuki detik ke 30.

Gambar 19 menunjukkan respon tegangan dari simulasi saat beban 745 MW kemudian pada detik ke-3 mengalami penurunan beban 0,5%. Kenaikan tegangan tertinggi hingga mencapai 100,78% pada detik ke 4,12. Tegangan bisa mencapai kestabilan kembali setelah memasuki detik ke 20.

D. Respon Frekuensi dan Tegangan

Dari hasil simulasi yang telah dilakukan dengan memvariasikan beban maka diperoleh penurunan frekuensi terendah dari masing-masing beban. Kenaikan tegangan tertinggi dan penurunan tegangan terendah dari masing-masing beban juga diperoleh dari simulasi yang telah dilakukan yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Penambahan beban sebesar 0,5% pada masing-masing beban memberikan pengaruh pada kestabilan sistem. Namun pengaruh penambahan beban pada respon frekuensi dan respon tegangan tidak dapat dibuat pola, karena masing-masing beban mempunyai presentase penambahan beban yang sama, sehingga beban yang ditambahkan akan menjadi berbeda sesuai dengan besar beban awal. Tabel 2 menyajikan respon

sistem terhadap penambahan beban sebesar 0,5% pada masing-masing beban yang dimulai dari detik ke 3.

Pada kasus pengurangan beban, sama halnya dengan penambahan beban, respon frekuensi dan respon tegangan terhadap pengurangan beban tidak dapat dibuat pola. Hal ini dikarenakan besar pengurangan beban tergantung dari besar beban awal. Semakin besar beban awal, maka semakin besar pula pengurangan beban, begitu juga sebaliknya. Tabel 3 menyajikan respon frekuensi dan respon tegangan terhadap pengurangan beban pada masing-masing sampel beban.

Tabel 1 Respon frekuensi dan respon tegangan sebelum adanya perubahan beban

Beban (MW)	Respon Frekuensi		Respon Tegangan			
	Penurunan (%)	t (s)	Kenaikan (%)	t (s)	Penurunan (%)	t (s)
629	99,01	1,38	100,095	0,7	99,91	2,04
666	99,00	1,46	100,099	0,6	99,90	1,94
573	99,08	1,50	100,088	0,7	99,92	2,22
657	98,97	1,32	100,098	0,6	99,91	1,92
576	99,07	1,48	100,098	0,7	99,92	2,18
650	98,98	1,32	100,097	0,6	99,91	1,98
450	99,25	1,84	100,073	0,84	99,93	2,74
745	98,88	1,16	100,108	0,54	99,90	1,74

Tabel 2 Respon frekuensi dan respon tegangan setelah adanya penambahan beban

Beban	Respon frekuensi				Respon tegangan	
	Penurunan (%)	t (s)	Kenaikan (%)	t (s)	Penurunan (%)	t (s)
629	97,38	3,70	101,68	5,08	99,04	4,38
666	97,33	3,64	101,74	4,94	99,03	4,28
573	97,49	3,78	101,55	5,26	99,06	4,52
657	97,34	3,66	101,73	4,98	99,03	4,30
576	97,48	3,78	101,56	5,26	99,06	4,50
650	97,35	3,68	101,72	5,00	9,03	4,32
450	97,62	3,92	101,36	5,76	99,08	4,82
745	97,36	3,50	101,72	4,68	99,04	4,08

Tabel 3 Respon frekuensi dan respon tegangan setelah adanya pengurangan beban

Beban	Respon frekuensi				Respon tegangan	
	Kenaikan (%)	t (s)	Penurunan (%)	t (s)	Kenaikan (%)	t (s)
629	101,21	3,56	97,64	4,94	100,88	4,24
666	100,96	3,50	97,78	4,84	100,84	4,16
573	101,58	3,62	97,47	5,10	100,94	4,36
657	101,02	3,5	97,74	4,86	100,85	4,2
576	101,56	3,62	97,47	5,12	100,93	4,36
650	101,06	3,50	97,72	4,88	100,86	4,20
450	102,10	3,88	97,42	5,72	101,00	4,74
745	100,54	3,54	97,98	4,72	100,78	4,12

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari simulasi dan analisis yang telah dilakukan setelah mengetahui respon frekuensi dan respon tegangan, dapat disimpulkan bahwa semua

perubahan beban baik penambahan maupun pengurangan beban dapat menyebabkan osilasi. Namun pada simulasi, sistem mampu melakukan *recovery* sehingga tidak membahayakan kestabilan sistem. Besar perubahan beban sangat mempengaruhi kemampuan sistem untuk melakukan *recovery*. Semakin besar

perubahan beban makan akan semakin sulit juga bagi sistem untuk melakukan *recovery*.

REFERENSI

- [1] Baghazta Akbar A, dkk. 2017. Analisis Kestabilan Transien dan Mekanisme Pelepasan Beban di PT. Pusri Akibat Penambahan Generator dan Penambahan Beban. JURNAL TEKNIK ITS Vol. 6, No. 1, (2017) ISSN: 2337-3539.
- [2] Chairy Wahyu Winanti. 2011. Analisis Statis dan Dinamis Stabilitas Tegangan Sistem Tenaga Listrik CNOOC SES Ltd. Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- [3] David Firdaus, dkk, 2016. Simulasi dan Analisis Stabilitas Transien dan Pelepasan Beban pada Sistem Kelistrikan PT. Semen Indonesia Pabrik Aceh. JURNAL TEKNIK ITS Vol. 5 No. 2 (2016) ISSN: 2337-3539
- [4] Grigsby, Leonard., "Power System Stability and Control, 3rd edition", CRC Press, Taylor and Francis Group, 2012.
- [5] H. X. Zhang. 2004. The Effects of Speed Variations on Transient Stability - Simulation Study and Mechanism Analysis. 0-7803-8386-9/104/920.00 a2004 IEEE.
- [6] Kundur, Prabha, "Power System Stability and Control", McGrawHill Companies Inc, 1994.
- [7] Muhammad Afifai dan Muhammad Hadi Satria. 2017. Analisis Kestabilan Frekuensi dan Tegangan Sistem Tenaga Listrik PT. Aneka Tambang (PERSERO) TBK UBPB Sulawesi Tenggara. Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
- [8] Muhammad Rizal Fauzy, dkk. 2014. Analisis Kestabilan Transien dan Mekanisme Pelepasan Beban di PT. Badak NGL. JURNAL TEKNIK POMITS Vol. 1, No. 1, (2014) 1-6.
- [9] Prabha Kundur, dkk. 2004. Definition and Classification of Power System Stability. IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS, VOL. 19, NO. 2, MAY 2004.
- [10] Pujo Santoso. 2014. ANALISIS KESTABILAN TRANSIEN PENERAPAN DISTRIBUTED GENERATION PADA SISTEM KELISTRIKAN WILAYAH BENGKULU. UNIVERSITAS BENGKULU.
- [11] Winarso dan Yoga Yunarto. 2017. Analisis dan Simulasi Stabilitas Transien dengan Pelepasan Beban pada Sistem Pembangkit Tenaga Listrik PT. Indo Bharat Rayon. Vol. 13 No. 2 (2017) Hal. 61-68 p-ISSN 1858-3075 | e-ISSN 2527-6131.
- [12] Ying Wang, dkk. 2014. A Power System Trensient Stability Analysis Based on MATLAB. 978-1-4799-7537-2/14/\$31.00©2014 IEEE.
- [13] Yudiestira. 2016. Analisis Kestabilan Transien dan Mekanisme Pelepasan Beban di PT. PERTAMINA RU V Balikpapan Akibat Penambahan Generator 2 x 15 MW dan Penambahan Beban 25 MW. Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember.