

ANALISIS STABILITAS *TRANSIENT* SISTEM TENAGA LISTRIK PADA PT. KEBON AGUNG MALANG

Agam Rido Priawan¹, Ir. Mahfudz Shidiq, M.T. ², Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D.³

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro, ^{2,3}Dosen Jurusan Teknik Elektro, Universitas Brawijaya

Jalan MT Haryono 167, Malang 65145, Indonesia

E-mail: agamrido@gmail.com

Abstrak— PT. Kebon Agung Malang adalah perusahaan yang bergerak dalam bidang produksi gula. Saat ini PT. Kebon Agung Malang memiliki dua unit generator pembangkit yang aktif, masing-masing berkapasitas 4,5 MW dan 1,7 MW. Pada tahun 2015 PT. Kebon Agung Malang berencana melakukan penambahan kapasitas generator dengan mengganti kinerja generator kapasitas 1,7 MW dengan generator berkapasitas 4,5 MW baru. Dengan kondisi sistem baru tersebut maka sistem PT. Kebon Agung Malang masih belum diketahui kestabilannya ketika terjadi gangguan. Kestabilan sudut rotor, kestabilan tegangan dan frekuensi setelah terjadi gangguan sangat berpengaruh pada kinerja sistem yang baru. Sehingga perlu dilakukan analisis stabilitas *transient* pada kondisi sebelum dan setelah penambahan kapasitas generator. Menurut Permen ESDM tahun 2007 mensyaratkan selama keadaan darurat (*emergency*) dan gangguan, frekuensi sistem diijinkan turun hingga 47,5 Hz atau naik hingga 52 Hz. Tegangan sistem harus dipertahankan dalam batas atas +5% dan batas bawah -10%. Pada saat sebelum penambahan kapasitas generator, sistem dapat kembali ke kondisi normal setelah gangguan dihilangkan. Begitu pula pada sistem yang baru, menunjukkan sudut rotor, tegangan dan frekuensi dapat kembali ke kondisi normal setelah mengalami gangguan. Dibuktikan juga setelah penambahan kapasitas generator, waktu pemutusan kritis lebih lama jika dibandingkan dengan sebelum penambahan kapasitas generator.

Kata kunci—stabilitas *transient*, sudut rotor, tegangan, frekuensi, sistem kebon agung

I. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan energi sekunder yang banyak dimanfaatkan oleh berbagai sektor, salah satunya adalah sektor industri. Dalam sektor industri banyak menggunakan mesin-mesin dan berbagai macam peralatan listrik yang memerlukan input daya listrik yang besar. PT. Kebon Agung Malang adalah industri yang bergerak dalam produksi gula.

PT. Kebon Agung Malang memiliki dua unit generator pembangkit yang aktif, masing-masing berkapasitas 4,5 MW dan 1,7 MW. Pada tahun 2015 PT. Kebon Agung berencana melakukan penambahan kapasitas generator dengan mengganti kinerja generator kapasitas 1,7 MW dengan generator berkapasitas 4,5 MW baru. Spesifikasi dari generator baru tersebut sama dengan generator 4,5 MW yang telah terpasang. Dengan kondisi sistem baru tersebut maka sistem PT. Kebon Agung Malang masih belum diketahui kestabilannya ketika terjadi gangguan.

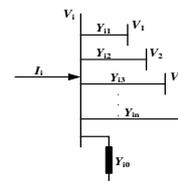
Salah satu masalah dalam sistem tenaga listrik adalah kestabilan. Secara umum stabilitas sistem tenaga listrik dapat didefinisikan sebagai sifat sistem yang memungkinkan mesin bergerak serempak dalam sistem untuk memberikan reaksinya terhadap gangguan dalam keadaan kerja normal serta balik kembali ke keadaan semula bila keadaan menjadi normal [1]. Gangguan hubung singkat sangat mempengaruhi stabilitas dari sistem kelistrikan pada industri. Sehingga pada tugas akhir ini akan dilakukan analisis stabilitas transien sistem tenaga listrik pada PT. Kebon Agung Malang dengan menganalisis karakteristik mesin yaitu kestabilan sudut rotor, kestabilan tegangan dan kestabilan frekuensi ketika terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa pada salah satu bus.

Untuk melakukan simulasi dalam penelitian ini digunakan software *PSS@E (Power System Simulator for Engineering)*, dengan tampilan maksimum jumlah bus terbatas pada 50 bus. Simulasi bertujuan untuk mengetahui kondisi stabilitas transien pada PT. Kebon Agung Malang sebelum dan setelah penambahan kapasitas generator.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Analisis Aliran Daya

Studi aliran daya merupakan hal penting dalam desain dan perencanaan pengembangan sistem daya guna menentukan operasi terbaik pada sistem. Analisis aliran daya dilakukan untuk mengetahui sudut dan besar tegangan pada tiap bus, impedansi saluran, daya aktif, dan daya reaktif yang mengalir pada saluran transmisi. Representasi dari saluran transmisi ditunjukkan seperti pada Gambar 1 [2] :



Gambar 1. Tipikal bus pada sistem tenaga

Dalam metode ini persamaan aliran daya dirumuskan dalam bentuk polar. Dari gambar 1, arus yang memasuki bus i dapat dicari dengan menggunakan persamaan berikut [2]:

$$I_i = \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j \quad (1)$$

Dari Persamaan (1) diatas, apabila diubah dalam bentuk polar akan didapatkan Persamaan (2):

$$I_i = \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \angle \theta_{ij} + \delta_j \quad (2)$$

Dengan : $P_i - jQ_i = V_i^* I_i$, maka

$$P_i - jQ_i = |V_i| \angle -\delta_i I_i \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \angle \theta_{ij} + \delta_j \quad (3)$$

Dengan memisahkan bagian *real* dan imajiner, maka didapatkan :

$$P_i = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (4)$$

$$Q_i = - \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (5)$$

Dengan I_i adalah arus pada bus i , V_i merupakan tegangan pada bus i , V_j merupakan tegangan pada bus j , Y_{ij} adalah admitansi antara bus i dan j , P_i adalah daya aktif pada bus i , Q_i adalah daya reaktif pada bus i , θ_{ij} adalah sudut polar admitansi Y_{ij} , dan δ_j merupakan sudut tegangan V_j .

Matriks Jacobian memberikan hubungan antara perubahan kecil pada sudut tegangan $\Delta\delta^{(k)}_i$ dan *magnitude* tegangan $\Delta|V^{(k)}_i|$ dengan perubahan kecil pada daya aktif dan reaktif $\Delta P^{(k)}_i$ dan $\Delta Q^{(k)}_i$. Dalam bentuk yang lebih singkat, matriks di atas dapat ditulis sebagai :

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\delta \\ \Delta|V| \end{bmatrix} \quad (6)$$

$\Delta P^{(k)}_i$ dan $\Delta Q^{(k)}_i$ adalah selisih antara nilai yang diharapkan dan nilai sebenarnya atau dikenal sebagai daya residu, dirumuskan dengan :

$$\Delta P^{(k)}_i = P^{(k)}_i - P^{(k)}_i^{sch} \quad (7)$$

$$\Delta Q^{(k)}_i = Q^{(k)}_i - Q^{(k)}_i^{sch} \quad (8)$$

sehingga didapatkan nilai tegangan dan sudut baru, yaitu :

$$\delta_i^{(k+1)} = \delta_i^{(k)} + \Delta\delta_i^{(k)} \quad (9)$$

$$|V_i^{(k+1)}| = |V_i^{(k)}| + \Delta|V_i^{(k)}| \quad (10)$$

B. Stabilitas Sistem Daya

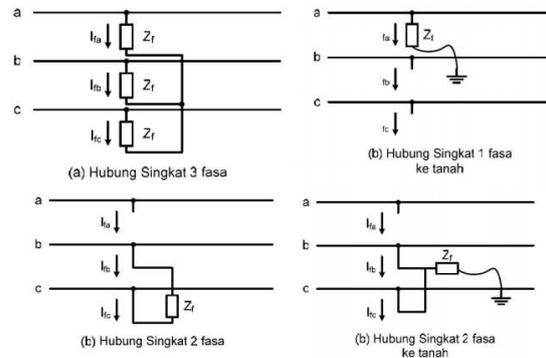
Stabilitas sistem daya didefinisikan sebagai sifat sistem yang memungkinkan generator bergerak sinkron dalam sistem dan bereaksi terhadap gangguan dalam keadaan kerja normal serta kembali ke kondisi kerja semula (keseimbangan) bila keadaan menjadi normal kembali [3].

Masalah kestabilan biasanya diklasifikasikan menjadi 3 tipe, yaitu [4]:

- Stabilitas Steady State Sistem Tenaga Listrik
Kestabilan steady state merupakan keadaan dimana sistem tenaga mencapai kondisi stabil pada kondisi operasi baru yang sama atau identik dengan kondisi sebelum terjadi gangguan setelah sistem mengalami gangguan kecil.
- Stabilitas Transien Sistem Tenaga Listrik
Stabilitas transien adalah kemampuan sistem untuk tetap pada kondisi sinkron (sebelum terjadi aksi dari kontrol governor) yang mengikuti gangguan pada sistem.
- Stabilitas Dinamis Sistem Tenaga Listrik
Stabilitas dinamis adalah kemampuan sistem untuk tetap pada kondisi sinkron setelah ayunan pertama (periode stabilitas transien)

hingga sistem mencapai kondisi equilibrium steady-state yang baru.

Dalam suatu operasi sistem daya, ada kalanya sistem mengalami gangguan hubung singkat yang dapat menyebabkan sistem tidak beroperasi secara seimbang. Adapun gangguan-gangguan hubung singkat pada sistem tiga fasa dapat ditunjukkan pada Gambar 3.



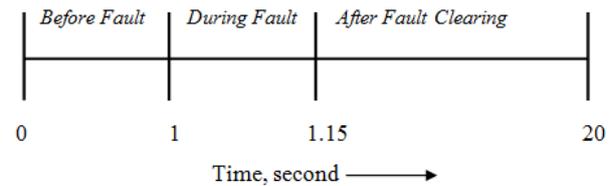
Gambar 3. Jenis-jenis gangguan hubung singkat

C. Program Komputer Digital untuk Studi Stabilitas

Program komputer digital masa kini untuk studi stabilitas berkembang dari dua kebutuhan dasar [5], yaitu:

- Keperluan untuk mempelajari sistem yang sangat besar yang saling berhubungan dengan jumlah mesin yang sangat banyak,
- Kebutuhan untuk melukiskan mesin dan sistem pengaturannya berkaitan dengan model yang lebih terperinci

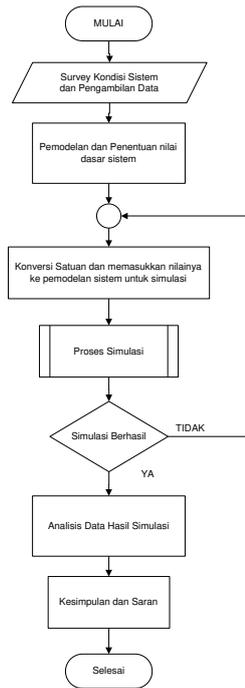
Dalam melakukan analisis terhadap stabilitas terdapat suatu tipe waktu simulasi [5] yang dapat ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Estimasi waktu gangguan pada analisis stabilitas

III. METODE PENELITIAN

Metode penelitian memberikan gambaran urutan langkah-langkah yang dilaksanakan untuk mencapai tujuan penyusunan penelitian. Langkah-langkah pengerjaan metode penelitian pada skripsi ini digambarkan sesuai dengan diagram alir seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram Alir Secara Keseluruhan

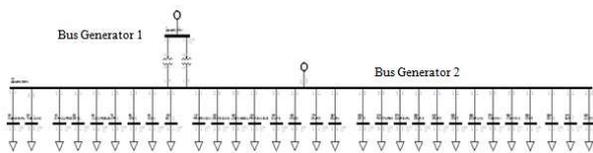
Data-data yang digunakan adalah data primer yang didapat dari hasil pengamatan dan survey lapangan. Sedangkan data sekunder bersumber dari buku referensi, jurnal, skripsi, dan internet.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pemodelan Sistem

1. Sistem daya PT. Kebon Agung sebelum penambahan kapasitas generator

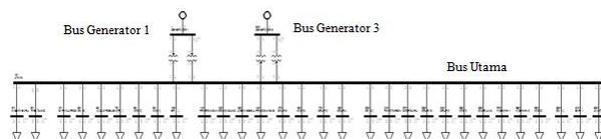
Dalam operasi ini terdapat 2 buah generator dan 2 buah transformator yang bekerja. Bus beban pada operasi ini berjumlah 30 bus.



Gambar 5. Pemodelan PT. Kebon Agung sebelum penambahan kapasitas generator

2. Sistem daya PT. Kebon Agung setelah penambahan kapasitas generator

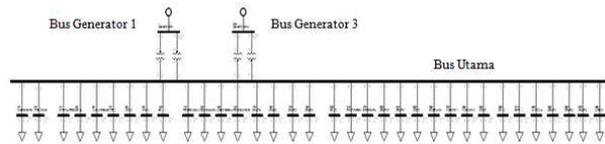
Dalam operasi ini terdapat 2 buah generator dan 4 buah transformator yang bekerja. Bus beban pada operasi ini berjumlah 30 bus.



Gambar 6. Pemodelan PT. Kebon Agung setelah penambahan kapasitas generator

3. Sistem daya PT. Kebon Agung setelah penambahan kapasitas generator dan penambahan beban

Dalam operasi ini terdapat 2 buah generator dan 4 buah transformator yang bekerja. Bus beban pada operasi ini berjumlah 34 bus. Pada operasi ini penambahan beban dilakukan dengan menambah bus beban Grup 1, Grup 2, Grup 3 dan Limbah Base In yang dihubungkan dengan bus Utama.



Gambar 7. Pemodelan PT. Kebon Agung setelah penambahan kapasitas generator dan penambahan beban

B. Hasil Simulasi Aliran Daya

Simulasi aliran daya dan stabilitas dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *PSSE* dengan 3 kondisi sistem sebagai berikut:

Tabel 1. Kondisi Sistem

Nama	Kondisi Sistem
Kondisi 1	Sebelum penambahan kapasitas generator
Kondisi 2	Setelah penambahan kapasitas generator
Kondisi 3	Setelah penambahan kapasitas generator dan beban

1. Hasil Aliran Daya PT. Kebon Agung Malang Kondisi 1

Pada simulasi aliran daya PT. Kebon Agung Malang kondisi 1 ini ditentukan bahwa bus Generator 1 adalah *slack bus* dengan tegangan $1 \angle 0^\circ$ p.u. sedangkan bus Generator 2 merupakan *PV bus*. Sedangkan untuk bus yang lain ditentukan sebagai *PQ bus*.

Tabel 2. Data Hasil Aliran Daya Kondisi 1

Daya	Total Pembangkit	Total Beban	Total Rugi-rugi
P (MW)	4,2845	4,244	0,0405
Q (MVar)	2,7689	2,6116	0,1573

2. Hasil Aliran Daya PT. Kebon Agung Malang Kondisi 2

Pada simulasi aliran daya PT. Kebon Agung Malang kondisi 2 ini ditentukan bahwa bus Generator 1 adalah *slack bus* dengan tegangan $1 \angle 0^\circ$ p.u. sedangkan bus Generator 3 merupakan *PV bus*. Sedangkan untuk bus yang lain ditentukan sebagai *PQ bus*.

Tabel 3. Data Hasil Aliran Daya Kondisi 2

Daya	Total Pembangkit	Total Beban	Total Rugi-rugi
P (MW)	4,2841	4,244	0,0401
Q (MVar)	2,7975	2,6116	0,1859

3. Hasil Aliran Daya PT. Kebon Agung Malang Kondisi 3

Pada simulasi aliran daya PT. Kebon Agung Malang kondisi 3 ini ditentukan bahwa bus Generator 1 adalah *slack bus* dengan tegangan $1 \angle 0^\circ$ p.u. sedangkan bus Generator 3 merupakan *PV bus*. Sedangkan untuk bus yang lain ditentukan sebagai *PQ bus*.

Tabel 4. Data Hasil Aliran Daya Kondisi 3

Daya	Total Pembangkit	Total Beban	Total Rugi-rugi
P (MW)	4,5274	4,4854	0,042
Q (MVar)	2,9672	2,7612	0,206

C. Simulasi Stabilitas Transient

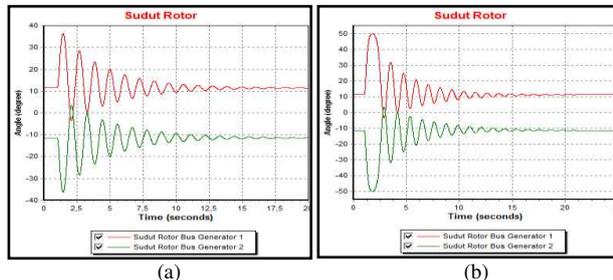
1. Kondisi 1

Dalam melakukan simulasi stabilitas transien ini dilakukan beberapa skenario gangguan pada sistem sesuai dengan tabel 5 berikut:

Tabel 5. Skenario Gangguan Kondisi 1

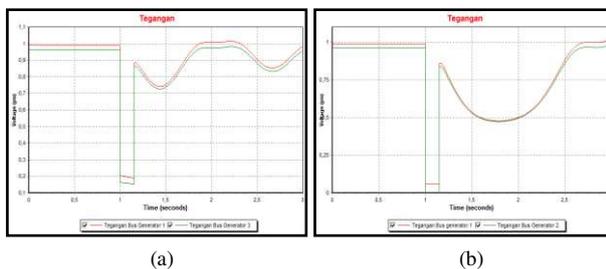
Skenario ke	Letak gangguan
1a	Bus MCC 8
2a	Bus Generator 2

Hasil simulasi pada gambar 8 menunjukkan sudut rotor pada skenario 1a dan 2a.



Gambar 8. Grafik sudut rotor pada bus generator 1 dan generator 2 saat gangguan (a) skenario 1a (b) skenario 2a

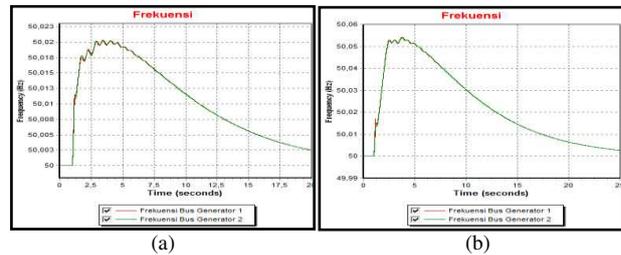
Hasil simulasi untuk tegangan terlihat pada gambar 10 untuk skenario 1a dan 2a.



Gambar 9. Grafik tegangan pada bus generator 1 dan generator 2 saat gangguan (a) skenario 1a (b) skenario 2a

Dari hasil simulasi pada skenario 2a terlihat penurunan tegangan terbesar terletak pada bus generator 2. Hal ini terjadi karena letak gangguan tepat pada bus generator 2. Jatuh tegangan pada bus generator 2 saat terjadi gangguan sebesar $3,6 \times 10^{-9}$ pu. Sedangkan jatuh tegangan pada bus generator 1 sebesar 0,0602 pu.

Hasil simulasi untuk stabilitas frekuensi pada skenario gangguan 1a dan 2a terlihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Grafik frekuensi pada bus generator 1 dan generator 2 saat gangguan (a) skenario 1a (b) skenario 2a

Berdasarkan simulasi didapatkan hasil keseluruhan pada tabel 6 dan 7. Tabel 6 memperlihatkan perubahan sudut rotor pada sistem saat terjadi gangguan. Sedangkan tabel 7 memperlihatkan perubahan tegangan saat terjadi gangguan.

Tabel 6. Stabilitas Sudut Rotor Kondisi 1

Letak Gangguan (Bus)	Generator	δ_{awal} ($^\circ$)	$\delta_{selama\ gangguan}$ ($^\circ$)	
			Maks	Min
MCC 8	Gen 1	11,5727	36,372	-3,5956
	Gen 2	-11,5727	3,5956	-36,372
Gen 2	Gen 1	11,5727	49,872	-3,478
	Gen 2	-11,5727	3,4786	-49,872

Tabel 7. Stabilitas Tegangan Kondisi 1

Letak Gangguan (Bus)	Generator	V_{drop} (p.u.)	t_{drop} (miliidetik)
MCC 8	Gen 1	0,1865	150
	Gen 2	0,1522	150
Gen 2	Gen 1	0,0602	150
	Gen 2	$3,6 \times 10^{-9}$	150

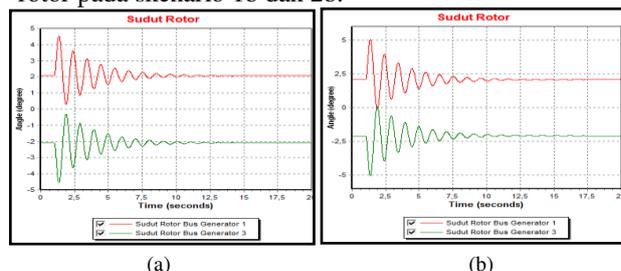
2. Kondisi 2

Dalam melakukan simulasi stabilitas transien ini dilakukan beberapa skenario gangguan pada sistem sesuai dengan tabel 8 berikut:

Tabel 8. Skenario Gangguan Kondisi 2

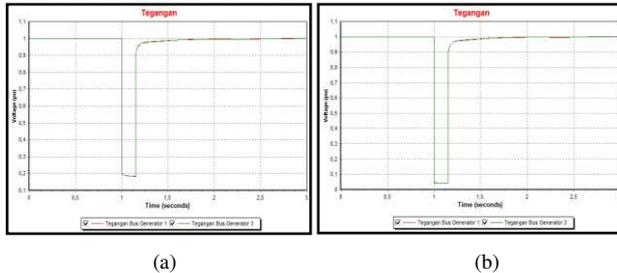
Skenario ke	Letak gangguan
1b	Bus MCC 8
2b	Bus Utama

Hasil simulasi pada Gambar 11 menunjukkan sudut rotor pada skenario 1b dan 2b.



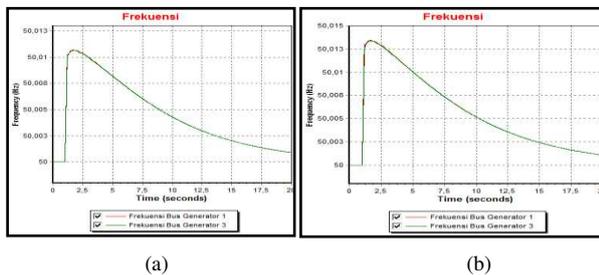
Gambar 11. Grafik sudut rotor pada bus generator 1 dan generator 3 saat gangguan (a) skenario 1b (b) skenario 2b

Hasil simulasi untuk tegangan terlihat pada Gambar 12 untuk skenario 1b dan 2b.



Gambar 12. Grafik tegangan pada bus generator 1 dan generator 3 saat gangguan (a) skenario 1b (b) skenario 2b

Hasil simulasi untuk stabilitas frekuensi pada skenario gangguan 1b dan 2b terlihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Grafik frekuensi pada bus generator 1 dan generator 3 saat gangguan (a) skenario 1b (b) skenario 2b

Berdasarkan simulasi kondisi 2 didapatkan hasil keseluruhan pada tabel 9 dan 10. Tabel 9 memperlihatkan perubahan sudut rotor pada sistem saat terjadi gangguan. Sedangkan tabel 10 memperlihatkan perubahan tegangan saat terjadi gangguan.

Tabel 9. Stabilitas Sudut Rotor Kondisi 2

Letak Gangguan (Bus)	Generator	δ_{awal} (°)	$\delta_{selama\ gangguan}$ (°)	
			Maks	Min
MCC 8	Gen 1	2,0849	4,5331	0,2953
	Gen 3	-2,0849	-0,2953	-4,5331
Utama	Gen 1	2,0849	5,03	-0,0707
	Gen 3	-2,0849	0,0707	-5,03

Tabel 10. Stabilitas Tegangan Kondisi 2

Letak Gangguan (Bus)	Generator	V_{drop} (p.u.)	t_{drop} (milidetik)
MCC 8	Gen 1	0,1837	150
	Gen 3	0,1851	150
Utama	Gen 1	0,0443	150
	Gen 3	0,0425	150

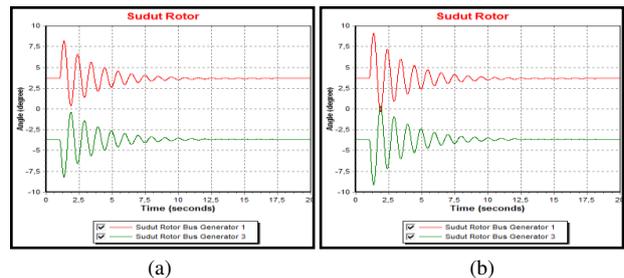
3. Kondisi 3

Dalam melakukan simulasi stabilitas transien ini dilakukan beberapa skenario gangguan pada sistem sesuai dengan tabel 11 berikut:

Tabel 11. Skenario Gangguan Kondisi 3

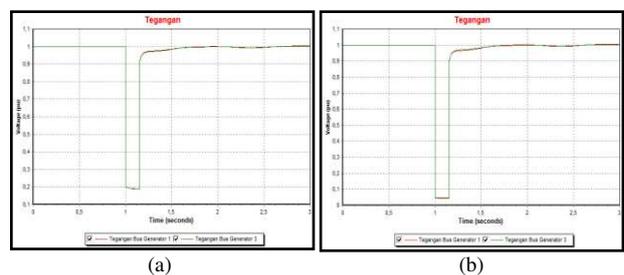
Skenario ke	Letak gangguan
1c	Bus MCC 8
2c	Bus Utama

Hasil simulasi pada Gambar 14 menunjukkan sudut rotor pada skenario 1c dan 2c.



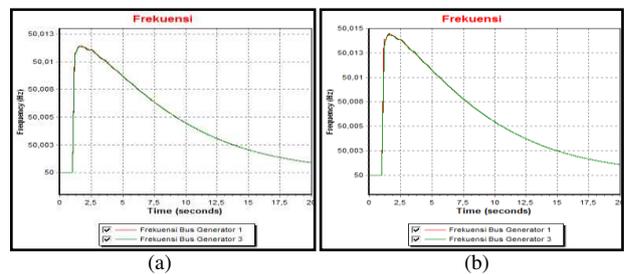
Gambar 14. Grafik sudut rotor pada bus generator 1 dan generator 3 saat gangguan (a) skenario 1c (b) skenario 2c

Hasil simulasi untuk tegangan terlihat pada gambar 16 untuk skenario 1c dan 2c.



Gambar 15. Grafik tegangan pada bus generator 1 dan generator 3 saat gangguan (a) skenario 1c (b) skenario 2c

Hasil simulasi untuk stabilitas frekuensi pada skenario gangguan 1c dan 2c terlihat pada Gambar 16.



Gambar 16. Grafik frekuensi pada bus generator 1 dan generator 3 saat gangguan (a) skenario 1c (b) skenario 2c

Berdasarkan simulasi didapatkan hasil keseluruhan pada tabel 12 dan 13. Tabel 12 memperlihatkan perubahan sudut rotor pada sistem saat terjadi gangguan. Sedangkan tabel 13 memperlihatkan perubahan tegangan saat terjadi gangguan.

Tabel 12. Stabilitas Sudut Rotor Kondisi 3

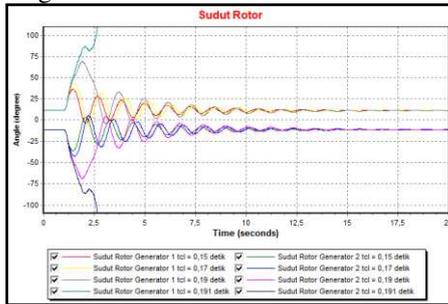
Letak Gangguan (Bus)	Generator	δ_{awal} (°)	$\delta_{selama\ gangguan}$ (°)	
			Maks	Min
MCC 8	Gen 1	3,6751	8,1739	0,3731
	Gen 3	-3,6751	-0,3731	-8,1739
Utama	Gen 1	3,6751	9,1214	-0,3219
	Gen 3	-3,6751	0,321	-9,1214

Tabel 13. Stabilitas Tegangan Kondisi 3

Letak Gangguan (Bus)	Generator	V_{drop} (p.u.)	t_{drop} (milidetik)
MCC 8	Gen 1	0,1871	150
	Gen 3	0,1895	150
Utama	Gen 1	0,0468	150
	Gen 3	0,0434	150

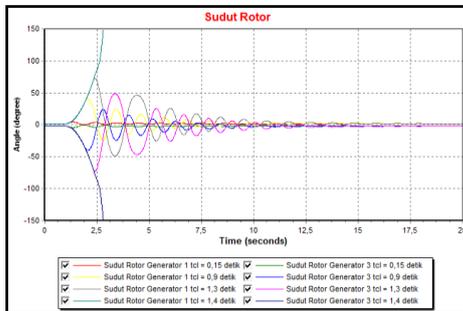
D. Waktu Pemutusan Kritis

Hasil simulasi dari waktu pemutusan kritis dapat dilihat pada Gambar 17, Gambar 18 dan Gambar 19. Gambar 17 merupakan waktu pemutusan kritis generator saat kondisi 1 atau sebelum penambahan kapasitas generator.



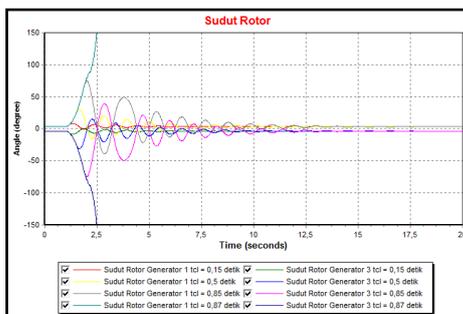
Gambar 17. Grafik sudut rotor pada bus generator 1 dan generator 2 saat kondisi 1.

Gambar 18 merupakan waktu pemutusan kritis generator saat kondisi 2 atau setelah penambahan kapasitas generator.



Gambar 18. Grafik sudut rotor pada bus generator 1 dan generator 3 saat kondisi 2.

Gambar 19 merupakan waktu pemutusan kritis generator saat kondisi 3 atau setelah penambahan kapasitas generator.



Gambar 19. Grafik sudut rotor pada bus generator 1 dan generator 3 saat kondisi 3.

Dari hasil simulasi terlihat jika generator PT. Kebon Agung Malang pada saat sebelum penambahan kapasitas generator akan mengalami lepas sinkron pada gangguan selama 0,191 detik. Setelah penambahan kapasitas generator, generator akan mengalami lepas sinkron pada gangguan selama 1,4 detik. Sedangkan pada kondisi penambahan kapasitas generator dan penambahan empat bus beban, generator akan mengalami lepas sinkron pada gangguan selama 0,87 detik.

V. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Kondisi sistem PT. Kebon Agung Malang sebelum penambahan kapasitas generator, menunjukkan sistem masih dalam kondisi stabil. Hal tersebut terlihat dari sudut rotor, dan tegangan yang dapat kembali ke kondisi normal. Frekuensi juga masih dalam batas toleransi setelah terjadi gangguan selama 0,15 detik.
2. Kondisi sistem PT. Kebon Agung Malang setelah penambahan kapasitas generator masih dalam kondisi stabil. Sudut rotor berosilasi namun dapat kembali ke kondisi normal saat gangguan dihilangkan. Jatuh tegangan pada kondisi ini masih dalam kriteria kestabilan dan frekuensi juga masih dalam batas toleransi yang diperbolehkan.
3. Waktu pemutusan kritis generator pada sistem PT. Kebon Agung Malang setelah penambahan kapasitas generator lebih lama dibandingkan dengan sistem sebelum penambahan kapasitas generator. Pada saat sebelum penambahan kapasitas generator, waktu pemutusan kritis generator adalah 0,19 detik. Sedangkan pada kondisi setelah penambahan kapasitas generator, waktu pemutusan kritis generator adalah 1,3 detik..

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Stevenson, William D. 1996. *Analisis Sistem Tenaga Listrik*. Jakarta: Erlangga.
- [2] Saadat, H. 1999. *Power System Analysis*. McGraw-Hill: International Edition.
- [3] Kundur, P. 1994. *Power System Stability and Control*. New York : McGraw-Hill.
- [4] Robert, H. Milner & James, H. Malinowski. 1994. *Power System Operation*. New York : McGraw-Hill.
- [5] Natarajan, Ramasamy. 2002. *Computer-Aided Power System Analysis*. New York : Marcel Dekker, Inc.