

Analisis Stabilitas Transien Tegangan dan Frekuensi pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Uap

Anang Dasa Novfowan^{a)}, Mochammad Mieftah^{a)}, dan Wijaya Kusuma^{a)}

(Artikel diterima: Januari 2021, direvisi: Februari 2021)

Abstrak: *Electrical energy generated also comes from several energy, namely water, steam, nuclear, etc. In Indonesia the type of steam power plant is a type of power plant that is widely used, where one of the crucial problems that are often encountered in this generation system, namely the problem of stability. The stability of the electric power system is the ability of the system to return to normal or steady operation after a large load load switching or interference. Disruption or load switching that exist in the system must be muted and aligned in a certain time to be said to be stable. Causes of instability are disruptions in the form of large capacity load switching, and the type of interference. One aspect that affects the stability itself is the transient stability. The transient stability is related to the sudden influx of large-capacity loads and affect the performance of the generator, therefore it is necessary to analyze the voltage and frequency transient stability for the evaluation of the capability of the electrical system so that the system maintains the continuity of the supply of electrical energy to the load normally. Based on the research results, the current flowing before the disturbance of 98.9 A and current disturbance of 145.2 kA. This causes the voltage response to decrease 50% of the nominal, and the frequency increases to 50.36 Hz. The time required from the disturbance condition to a stable condition within 5 seconds. Thus, the voltage response does not meet the standards and the frequency is still within the standard according to the 2007 EMR Energy Regime during an emergency. So to keep the transient stability of voltage and frequency can be adjusted voltage with AVR, setting speed droop governing and release and connection of load.*

Keyword : *Stability, Transient, Voltage, Frequency*

Abstrak: *Energi listrik yang dihasilkan juga berasal dari beberapa energi yaitu air, steam, nuklir, dll. Di Indonesia jenis pembangkit listrik tenaga uap merupakan jenis pembangkit yang banyak digunakan, dimana salah satu masalah krusial yang sering dijumpai di sistem pembangkitan ini, yaitu masalah stabilitas. Stabilitas sistem tenaga listrik adalah kemampuan sistem untuk kembali beroperasi normal atau stabil setelah terjadi peralihan beban atau gangguan yang besar. Gangguan atau pemindahan beban yang ada pada sistem harus diredam dan disejajarkan dalam waktu tertentu agar dapat dikatakan stabil. Penyebab ketidakstabilan adalah gangguan berupa perpindahan beban berkapasitas besar, dan jenis gangguan. Salah satu aspek yang mempengaruhi stabilitas itu sendiri adalah stabilitas transien. Kestabilan transien berkaitan dengan masuknya beban berkapasitas besar secara tiba-tiba dan mempengaruhi kinerja genset, oleh karena itu perlu dilakukan analisis kestabilan transien tegangan dan frekuensi untuk evaluasi kemampuan sistem kelistrikan sehingga sistem dapat mempertahankan kontinuitas suplai energi listrik ke beban secara normal. Berdasarkan hasil penelitian, arus yang mengalir sebelum gangguan sebesar 98,9 A dan arus gangguan sebesar 145,2 kA. Hal ini menyebabkan respon tegangan berkurang 50% dari nominal, dan frekuensi meningkat menjadi 50,36 Hz. Waktu yang dibutuhkan dari kondisi gangguan hingga kondisi stabil dalam 5 detik. Dengan demikian respon tegangan tidak memenuhi standar dan frekuensinya masih dalam standar sesuai dengan Rezim Energi EMR 2007 pada saat keadaan darurat. Sehingga untuk menjaga kestabilan tegangan dan frekuensi transien tegangan dapat diatur dengan AVR, pengaturan kecepatan droop yang mengatur dan pelepasan serta sambungan beban.*

Kata Kunci : *Stabilitas, Transient, Tegangan, Frekuensi.*

1. Pendahuluan

Di Indonesia jenis pembangkit listrik tenaga uap merupakan jenis pembangkit listrik yang banyak digunakan, dimana salah satu masalah krusial yang sering dijumpai dalam sistem pembangkitan ini, yaitu masalah kestabilan. Berdasarkan studi literatur yang ada, terdapat sebuah permasalahan krusial yang sering dijumpai dalam sistem pembangkitan terutama pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap, yaitu masalah kestabilan. Kestabilan sistem tenaga listrik adalah kemampuan sistem tersebut kembali pada operasi normal atau stabil (*steady state*) setelah mengalami *load switching* beban besar atau gangguan. Gangguan atau *load switching* yang ada di sistem harus diredam dan diselarasakan dalam waktu tertentu agar dapat dikatakan stabil.

Permasalahan *power quality* erat kaitannya dengan kestabilan, kestabilan itu sendiri adalah stabilitas transien. Stabilitas transien berhubungan dengan masuknya beban berkapasitas besar secara tiba-tiba dan dapat mempengaruhi performa kinerja generator, oleh sebab itu dalam penelitian ini, akan diteliti analisa stabilitas transien tegangan dan frekuensi untuk evaluasi kemampuan sistem tenaga listrik agar sistem mempertahankan kontinuitas suplai energi listrik ke beban secara normal dan dapat memproteksi kerja dari generator.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik adalah rangkaian sistem yang terdiri dari pembangkitan, saluran transmisi dan sistem distribusi yang dioperasikan secara serentak. Komponen utama yang

* Korespondensi: anang.dasa@polinema.ac.id

a) Prodi Sistem Kelistrikan, Jurusan Teknik Elektro, Polinema.
Jalan Soekamo-Hatta No. 9 Malang 65141

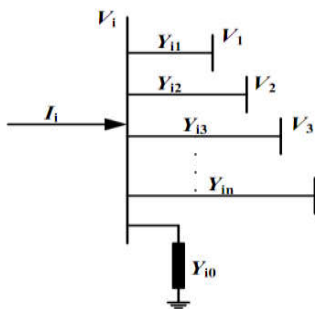
membentuk sistem tenaga listrik adalah generator, transformator, saluran transmisi, dan beban.

2.2 Studi Aliran Daya

Studi aliran daya merupakan hal yang sangat penting dalam desain dan perencanaan pengembangan sistem daya agar dapat menjalankan operasi yang baik untuk sistem tenaga listrik. Proses yang didapatkan dari studi aliran daya adalah besar dan sudut fasa tegangan, daya reaktif, daya aktif, yang dibangkitkan oleh generator dan daya aktif dan daya reaktif yang mengalir pada setiap saluran cabang. Studi aliran daya juga digunakan untuk mengevaluasi sistem tenaga listrik terhadap pengaruh kondisi pembebanan yang berbeda beda. Studi studi seperti hubungan singkat, stabilitas, pembebanan ekonomis juga memerlukan studi aliran daya terlebih dahulu.

2.3 Metode Aliran Daya

Dalam menganalisa sistem jaringan yang memiliki lebih dari satu sumber listrik ataupun pada sistem jaringan kompleks maka diperlukan suatu metode analisa daya yang sesuai untuk memudahkan perhitungan. Pada langkah untuk mempermudah perhitungan akan digunakan metode Newton-Raphson.[2].



Gambar 1. Tipikal Bus pada Sistem Tenaga Listrik [2]

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

$$I_i = \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j \dots\dots\dots (2.1)$$

Dari persamaan diatas (2.1), apabila dibentuk polar akan didapatkan persamaan :

$$I_i = \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \angle \theta_{ij} + \delta_j \dots\dots\dots (2.2)$$

Dengan $\theta_{ij} = \theta_i - \theta_j$ dan δ_j adalah sudut tegangan pada bus j.

2.4 Stabilitas Sistem Daya

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

Kemampuan komponen pada sistem tenaga listrik dalam memberikan keseimbangan disebut kestabilan. Masalah kestabilan diklasifikasikan menjadi tiga tipe berdasarkan sifat dan besar gangguan, yaitu [4] :

- a. Stabilitas *Steady State*
- b. Stabilitas Transient
- c. Stabilitas Dinamis

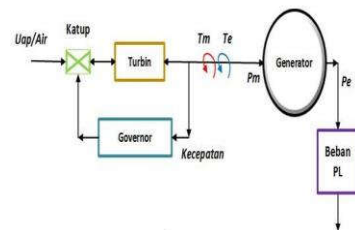
2.5 Klasifikasi Stabilitas Sistem Daya

Ketidakstabilan sistem daya didapatkan dalam berbagai bentuk dan dipengaruhi oleh berbagai faktor. Analisis masalah stabilitas, termasuk identifikasi faktor faktor penting yang berkontribusi terhadap ketidakstabilan dan merancang metode untuk meningkatkan operasi stabilitas dapat difasilitasi oleh klarifikasi stabilitas ke dalam kategori yang tepat.

2.6 Pengaturan Frekuensi

Saat terjadi perubahan beban, terjadi pada torsi elektrik pada generator secara instan. Hal ini menyebabkan perbedaan antara torsi mekanik dan torsi elektrik yang menyebabkan perbedaan kecepatan. Pengaturan pemberian bahan bakar ini dilakukan oleh governor. Governor akan mengurangi kapasitas bahan bakar ketika frekuensi naik dari nominalnya, dan menambah kapasitas bahan bakar ketika frekuensi turun dari nominalnya.

Mode operasi *speed governor* dibagi menjadi mode droop dan *isochronous*. Mode droop governor sudah memiliki set point daya mekanik yang besarnya sesuai dengan rating generator atau menurut kebutuhan. Dengan adanya *fixed setting*, nilai output daya listrik generator akan tetap sehingga perubahan beban tidak mempengaruhi putaran turbin. Pada mode *isochronous* set point putaran governor ditentukan berdasarkan kebutuhan daya pada saat itu seara *real time*. Governor akan menyesuaikan nilai output daya mekanik turbin agar sesuai dengan kebutuhan daya listrik. Caranya dengan mengatur governor berdasarkan *logic control* dari pabrik generator. Mode ini dapat menjaga frekuensi sistem tetap berada dalam batas yang diijinkan sehingga generator tidak mengalami *loss of synchronization* [1].



Gambar 2. Diagram Konsep Dasar Speed Governing [5]

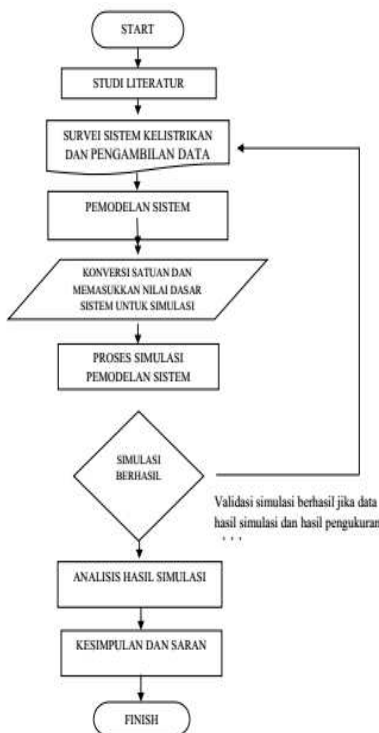
2.7 Stabilitas Tegangan

Stabilitas tegangan merupakan kemampuan suatu sistem tenaga untuk menjaga tegangan tetap stabil di semua bus saat kondisi operasi normal dalam suatu sistem setelah mengalami gangguan [3]. Faktor utama yang menyebabkan ketidakstabilan adalah ketidakmampuan dari sistem tenaga untuk menyuplai daya reaktif beban. Jika stabilitas tegangan terjaga, tegangan dan daya pada sistem akan dapat dikendalikan setiap saat. Secara umum, ketidakmampuan sistem untuk memasok kebutuhan yang diperlukan menyebabkan ketidakstabilan tegangan.

2.8 Stabilitas Frekuensi

Stabilitas frekuensi merupakan suatu kemampuan sistem daya untuk menjaga frekuensi tetap stabil dalam kirsan normal pada keadaan gangguan yang dapat mengakibatkan ketidakseimbangan antara pembangkitan dan beban [6]. Gangguan sistem yang parah pada umumnya mengakibatkan perubahan besar terhadap frekuensi, arus, aliran daya, tegangan, dan variable sistem lainnya, sehingga memerlukan tindakan proses, kontrol, dan proteksi yang tidak dimodelkan dalam stabilitas yang konvensional atau studi stabilitas tegangan. Umumnya, masalah stabilitas frekuensi berkaitan dengan ketidakmampuan tanggapan peralatan, koordinasi yang butuk dalam kontrol dan peralatan proteksi, atau cadangan generator

3. Metode Penelitian



Gambar 3. Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian

Urutan langkah – langkah metode pengerjaan penelitian ini ditunjukkan sesuai dengan diagram alir penelitian seperti pada Gambar 3. Adapun urutan langkah-langkah proses pengerjaan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Survei Sistem Kelistrikan dan Pengambilan Data
Survei sistem kelistrikan dan pengambilan data ini dilakukan di Pembangkit Listrik Tenaga Uap.
2. Pemodelan dan Penentuan Nilai dasar Sistem
Pemodelan dan penentuan nilai dasar dilakukan menggunakan perangkat lunak Etap yang berfungsi untuk memodelkan sistem dan memasukkan parameter-parameter peralatan dan mensimulasikan. Setelah memodelkan sistem pada perangkat lunak selanjutnya mengolah dengan cara memasukkan nilai-nilai parameter kedalam pemodelan tersebut.
3. Simulasi Pemodelan Sistem yaitu Mensimulasikan pemodelan sistem setelah nilai-nilai dari parameter peralatan dimasukkan

4. Analisis Data Hasil Simulasi

Dari data hasil simulasi yang dilakukan selanjutnya adalah menganalisa hasil tersebut sesuai dengan rumusan masalah dan tujuan dalam penelitian ini, meliputi stabilitas transien tegangan dan frekuensi pada sistem Pembangkit Listrik Tenaga Uap, serta waktu peralihan dari transien ke *steady state*.

4. Hasil Penelitian dan Pembahasan

4.1 Sistem Ketenagalistrikan

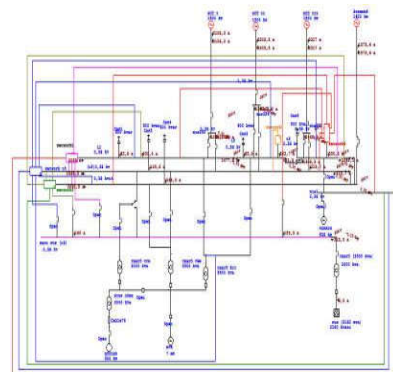
Sistem kelistrikan dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap yang digunakan dalam penelitian ini adalah berdasarkan data yang terdapat di PG Krebet Baru II Malang. Sistem kelistrikan PG Krebet Baru Unit II Malang dapat disuplai oleh beberapa generator. Generator terdiri dari generator ECC 1,2 dan 3 dengan kapasitas 1875 kVA/380 V, generator siemens 2000 kVA/380 V, Generator AVK 8645 kVA/6.3 kV. Generator tersebut terhubung oleh 5 bus utama yang selanjutnya bus tersebut terhubung ke beban-beban motor yang ada di beberapa stasiun pengolahan tebu. PG Krebet Baru Unit II Malang memiliki 3 unit transformator tenaga untuk mensuplai kebutuhan listrik sejumlah beban yang ada di industri tersebut.

4.2 Pemodelan Aliran Daya Sistem

Dalam penelitian ini gambar *single line* pabrik akan disimulasikan dan nantinya akan dilihat dan dianalisa bagaimana aliran dayanya dan stabilitas transien saat gangguan dan variasi *switching* beban. Selain dari gambar simulasi didapatkan hasil aliran daya melalui *load flow result analyzer* pada simulasi.

4.3 Simulasi Aliran Daya

Simulasi aliran daya yang dilakukan untuk mengetahui kondisi awal sistem atau kondisi real sebelum dilakukan analisis stabilitas transien sistem tenaga listrik. Proses simulasi aliran daya ini berdasarkan diagram segaris yang telah digambar di simulasi dan data data yang telah dimasukkan sebelumnya meliputi generator, saluran, dan beban .



Gambar 4. Simulasi Aliran Daya

Gambar 4 adalah hasil simulasi aliran daya berdasarkan data pabrik. Pengoperasian kondisi pada simulasi aliran daya ini mengacu pada konfigurasi giling. Dimana konfigurasi ini menggunakan 3 generator ECC, SIEMENS, dan PLN. Beban yang terpasang tidak *full load* namun hanya disesuaikan kebutuhan saja.

Tabel 1. General Info Load Flow Analyzer

Study ID	Load Flow
Study Case ID	LF
Data Revision	Base
Configuration	Normal
Loading Cat	Design
Generation Cat	Design
Diversity Factor	Normal Loading
Buses	83
Branches	85
Generators	4
Power Grids	1
Loads	23
Load-MW	4,472
Load-Mvar	2,732
Generation-MW	4,472
Generation-Mvar	2,732
Loss-MW	0,021
Loss-Mvar	0,025
Mismatch-MW	0
Mismatch-Mvar	0

Tabel 1 merupakan garis besar sistem yang berdasarkan hasil simulasi. Daya yang dibangkitkan oleh sumber sebesar 4,471 MW dan 2,732 MVAR. Rugi rugi pada sistem sebesar 0,021 MW dan 0,025 MVAR. Total pembebanan merupakan hasil dari : Total Daya Dibangkitkan – Rugi rugi Sistem. Jadi total pembebanan adalah sebesar 4,450 MW dan 2,707 MVAR

Tabel 2 merupakan data hasil pemeriksaan yang dilakukan oleh PG Kregbet Baru Unit II Malang pada musim giling setiap jam dan diambil beban puncak pada jam 03:00 WIB pagi.

Tabel 2. Hasil Perbandingan Data dan Simulasi

NAMA BEBAN	kW		Volt		Ampere	
	DATA	SIMULASI	DATA	SIMULASI	DATA	SIMULASI
ASEA (1-3)	105	105	380	380	200	199,73
ASEA 4	263	263	380	380	500	501,81
BACTH MIRELESS	274	274	380	380	520	522,33
BOILER CCJT	52	52	380	380	100	98,86
BOILER YOSH	210	210	380	380	400	401,42
BROADBENT BARU	263	263	380	380	500	505,12
CANE YARD	236	236	380	380	450	449,43
CLARIFICATION	184	184	380	380	370	351,12
DFD YOSH	110	110	380	380	210	210,14
GRAINING	158	158	380	380	300	301,15
GUDANG AMPAS	189	189	380	380	360	361,24
HUGGLINDS	850	850	380	380	1600	1625,41
INJEKSI_2	221	221	380	380	420	421,42
INJEKSI 4	241	241	380	380	460	459,44
INJEKSI_5	231	231	380	380	440	440,73
KONTI	158	158	380	380	300	301,32
LIGHTING	73	73,32	380	380	160	153,32
MCCB 5	105	105	380	380	200	200,82
MILL	105	105	380	380	200	199,99
PENERANGAN KB 1	71	71,08	380	380	160	160,65
SPREYND TGH	142	142	380	380	270	270,64
SPREYND UTR	147	147	380	380	280	281,21
WS	63	63	380	380	120	120,31

Pembebanan peralatan yang akan dianalisa merupakan pembebanan generator ECC dan Siemens pada stasiun listrik PG Kregbet Baru Unit II Malang selama beroperasi. Berdasarkan hasil simulasi pembebanan generator, Generator ECC 1 dibebani 66,7 %, ECC 2 dibebani 73,3 %, ECC 3 dibebani 81,3 %, dan Siemens dibebani 62,8 %. Berdasarkan ISO 8528 yang

menyebutkan standar pembebanan generator antara 60% - 70%, maka generator ECC yang beroperasi pada musim giling bulan Agustus 2016 yang disimulasikan, masih memenuhi standart pembebanan. Sedangkan untuk generator Siemens pembebanannya 81,3 %, tidak aman karena melebihi batas standar pembebanan generator. Untuk pembebanan 100 % diperbolehkan jika dalam kurun waktu kurang dari 20% waktu total operasional.

4.4 Kronologi Gangguan

Berdasarkan data total jam berhenti pada PG Kregbet Baru Unit II Malang adalah generator ECC 1 Trip. Di stasiun pembangkitan terdapat monitor yang mengontrol generator. Generator trip dikarenakan frekuensi yang turun. Dilaporkan dari operator gudang ampas bahwa frekuensi tersebut turun dikarenakan *electro motor* pakan Boiler CCJT yang membawa ampas tebu kering terjadi *short circuit*. Sehingga pasokan uap pembakaran ampas tebu di dalam boiler tekanannya kurang sehingga daya mekanis dan daya listrik generator tidak sinkron dan terjadi trip pada generator ECC 1.

4.5 Data Generator

Dalam melakukan perhitungan mengenai parameter sistem dalam satuan p.u. akan dilakukan nilai dasar $MVA_{base} = 100$ MVA sebagai daya dasar sistem dengan maksud mempermudah perhitungan dan $KV_{base} = 0,38$ kV sebagai tegangan dasar sistem. Data yang diperlukan untuk melakukan analisis stabilitas meliputi daya, tegangan, dan frekuensi dari data dinamik generator. Nilai reaktansi generator dalam satuan p.u. dapat diperoleh dengan suatu konversi satuan sesuai dengan persamaan [1] :

$$X_{p.u. (baru)} = X_{p.u. (lama)} \left[\frac{KV \text{ lama dasar}}{KV \text{ baru dasar}} \right]^2 \left[\frac{MVA \text{ baru dasar}}{MVA \text{ lama dasar}} \right]$$

Dengan menggunakan persamaan diatas, nilai reaktansi baru dari beberapa jenis generator dapat diperoleh. Data generator setelah proses konversi satuan ditunjukkan dalam tabel di bawah ini :

Tabel 3. Data Parameter Dinamik Generator

PARAMETER	ECC (1,2,3)	AVK	SIEMENS	Satuan
S	1875	8645	2000	VA
Xd	1,45	0,22	1,48	p.u.
Xd'	0,12	0,03	0,11	p.u.
Xd''	0,07	0,01	0,06	p.u.
Xq	0,68	0,15	0,69	p.u.
Xq'	0,68	0,15	0,69	p.u.
Xq''	0,08	0,13	0,07	p.u.
Td'o	0,15	0,06	0,15	p.u.
Td''o	0,01	0,00	0,01	p.u.
Tq'o	0,12	0,08	0,10	p.u.
Tq''o	0,10	0,04	0,11	p.u.
H	40,4	640	56,3	Kg/m ²

4.6 Simulasi Stabilitas Transien

Analisis stabilitas transien digunakan untuk menginvestigasi batas stabilitas sistem tenaga pada saat sebelum, sesudah , maupun saat terjadi perubahan atau gangguan pada sistem. Pada simulasi stabilitas transien ini sistem dimodelkan secara dinamik, *event*, dan *action* yang terjadi akan disesuaikan dengan kondisi real. Penyelesaian diselesaikan secara interaktif untuk melihat respon sistem dalam waktu tertentu. Dari respon sistem tersebut didapat bagaimana kondisi transien untuk studi stabilitas serta mengaplikasikan suatu perubahan untuk meningkatkan stabilitas. Studi stabilitas digunakan untuk menentukan sudut daya mesin / pergeseran kecepatan, respon frekuensi sistem, aliran daya aktif dan reaktif, dan respon tegangan bus.

Tabel 4. Kondisi Gangguan Sistem

Kondisi ke	Letak Gangguan	Aksi
1	Bus beban boiler fault	CB beban boiler trip
2	Generator ECC 1 Trip	CB Generator trip
3	Pelepasan beban	CB beban off
4	Penyambungan beban	CB beban on

Tabel 4. merupakan kondisi yang akan dilaksanakan pada *event study case* di *softwaresimulasi* untuk analisis stabilitas transien. Data yang akan ditampilkan berupa data grafik ketika sebelum, saat, dan setelah gangguan yang terjadi dengan kondisi gangguan pada tabel diatas. Secara garis besar akan menampilkan respon tegangan dan respon frekuensi.

4.6.1 Simulasi Stabilitas Transien Kondisi 1

Pada simulasi stabilitas transien kondisi ini bus beban Boiler CCJT trip dikarenakan gangguan *L-G fault*. Beban Boiler CCJT ini tersambung pada bus utama L 1. Kondisi pembebanan pada beban boiler dalam operasional bulan 29 agustus 2016 adalah 52 KW. Berdasarkan data *starting device* PG Kreet Baru Unit 2 Malang beban Boiler CCJT nominal 160 KW Dengan *starter Wye Delta*. Berikut ini adalah tabel hasil simulasi stabilitas transien kondisi ke-1 diatas.

Tabel 5. Hasil Simulasi Stabilitas Transien Kondisi 1

TIME	KONDISI AWAL				KONDISI SAAT KEJADIAN				KONDISI SETELAH KEJADIAN			
	detik ke 0 - detik ke 2 (1,5 sec)				detik ke 2 - detik ke 2,5 (2,5 sec)				detik ke 2,5 - detik ke 10 (10 sec)			
Gen	ECC 1	ECC 2	ECC 3	SIEME NS	ECC 1	ECC 2	ECC 3	SIEME NS	ECC 1	ECC 2	ECC 3	SIEME NS
Volt (kV)	0,38	0,38	0,38	0,38	0,192	0,1917	0,1917	0,1917	0,328	0,328	0,328	0,328
Frek (Hz)	50	50	50	50	50,36	50,36	50,36	50,36	48,99	48,99	48,99	48,99
S (kVA)	1388	1451	1525	1036	2377	2376	2373	1661	6048	6051	6027	6475
P (kW)	1000	1100	1220	1005	436	581	756	216	1418	1283	1264	1727
Q (kVAR)	962	947	915	-251	2356	2304	2249	1647	5879	5893	5893	6241
ARUS (A)	2108	2205	2317	1573,6	6976,4	6964,7	6964,7	4874,6	10630	10600	10594	1382
PUTARAN (rpm)	1500	1500	1500	1500	1511,6	1511,6	1511,6	1508,2	1470	1470	1470	1468

Berdasarkan tabel 5 , pada kondisi awal sebelum terjadi gangguan satu fasa ke tanah pada beban Boiler CCJT, respon tegangan dan respon frekuensi pada nilai nominal yaitu 0,38 kV/50 Hz. Kemudian pada detik ke 2 sampai dengan detik ke 2,5

terjadi pelepasan yang disebabkan CB Boiler CCJT trip dalam kurun waktu 1,5 detik. Hal ini menyebabkan penurunan tegangan menjadi 0,1917 kV atau mengalami penurunan sekitar 50% dan kenaikan frekuensi menjadi 50,36 Hz, serta putaran generator mengalami kenaikan dari nominal seperti tabel diatas. Kemudian pada detik ke 2,5 sampai dengan detik ke 10 dalam kurun waktu 7,5 detik, respon tegangan menjadi 0,328 kV dan respon frekuensi menjadi 48,99 Hz. Berdasarkan uraian diatas respon tegangan masih belum memenuhi standart yaitu -10% dan +5% menurut permen ESDM 2007. Sedangkan respon frekuensi masih memenuhi standar menurut permen ESDM 2007 yaitu tidak lebih rendah dari 47,5 Hz dan tidak lebih tinggi dari 52,0 Hz selama keadaan darurat.

4.6.2 Simulasi Stabilitas Transien Kondisi 2

Pada simulasi stabilitas transien kondisi 2 CB Generator ECC I di posisikan open/delete pada detik ke-2. Kemudian ECC II dan ECC III di posisikan sebagai *drop mode* generator. Berikut ini adalah tabel hasil simulasi stabilitas transien kondisi ke-2 diatas.

Tabel 6. Hasil Simulasi Stabilitas Transien Kondisi 2

TIME	KONDISI AWAL				KONDISI SAAT KEJADIAN				KONDISI SETELAH KEJADIAN			
	detik ke 0 - detik ke 2 (1,5 sec)				detik ke 2 - detik ke 2,5 (2,5 sec)				detik ke 2,5 - detik ke 10 (10 sec)			
Gen	ECC 1	ECC 2	ECC 3	SIEME NS	ECC 1	ECC 2	ECC 3	SIEME NS	ECC 1	ECC 2	ECC 3	SIEME NS
Volt (kV)	0,38	0,38	0,38	0,38	0	0,371	0,371	0,371	0,38	0,379	0,379	0,379
Frek (Hz)	50	50	50	50	0	49,83	49,83	49,83	0	49	49	49,4
S (kVA)	1388	1451	1525	1036	0	1880	1940	1468	0	1920	1945	1390
P (kW)	1000	1100	1220	1005	0	1371	1489	1466	0	1453	1484	1388
Q (kVAR)	962	947	915	-251	0	1286	1243	78	0	1256	1258	61
ARUS (A)	2108	2205	2317	1573,6	0	2928	3020	2285,7	0	2923	2961	2115
PUTARAN (rpm)	1500	1500	1500	1500	0	1495	1494	1494,8	0	1482	1482	1482

Tabel 6 merupakan hasil simulasi stabilitas transien kondisi 2. Pada kondisi awal atau saat berjalan normal, respon tegangan dan respon frekuensi sistem stabil karena tidak terjadi gangguan pada sistem. Pada kondisi saat gangguan detik ke 2 sampai detik ke 2,5 selama kurun waktu 1,5 detik, sehingga generator ECC 1 trip, respon tegangan menurun menjadi 0,371kV dan respon frekuensi menurun menjadi 49,83 Hz. Kemudian pada saat setelah terjadi gangguan atau ECC 1 trip berangsur angsur selama kurun waktu 7,5 detik respon frekuensi dan respon tegangan menjadi stabil. Artinya generator mampu mempertahankan dalam kondisi stabil dan generator masih mampu menyuplai kebutuhan beban walaupun salah satu generator trip. Akan tetapi hal ini tidak dianjurkan , karena generator lain harus menopang beban dari lepasnya generator ECC 1. Berdasarkan uraian diatas respon tegangan masih dalam batas standar yaitu -10% dan +5% menurut permen ESDM 2007.

4.6.3 Simulasi Stabilitas Transien Kondisi 3

Pada simulasi stabilitas transien skenario ke -3 ini terdiri dari beberapa pelepasan beban. Pelepasan beban ini bertujuan untuk mengurangi pembebanan generator yang berlebih agar generator tetap aman. Untuk pelepasan beban sendiri yaitu beban non prioritas. Beban yang dilepas antara lain adalah beban *Injection Water Pump 4* baru utara, dan beban *Broadbent* baru, dan *Graining*.

Tabel 7. Hasil Simulasi Stabilitas Transien Kondisi 3

TIME	KONDISI AWAL				KONDISI SAAT KEJADIAN				KONDISI SETELAH KEJADIAN			
	detik ke 0 - detik ke 2 (1,5 sec)				detik ke 2 - detik ke 2,5 (2,1 sec)				detik ke 2,5 - detik ke 10 (10 sec)			
	ECC 1	ECC 2	ECC 3	SIEMENS	ECC 1	ECC 2	ECC 3	SIEMENS	ECC 1	ECC 2	ECC 3	SIEMENS
Volt (kV)	0,38	0,38	0,38	0,38	0,388	0,388	0,388	0,388	0,38	0,38	0,38	0,38
Frekuensi (Hz)	50	50	50	50	50,03	50,03	50,03	50,03	50,28	50,28	50,28	50,28
S (kVA)	1388	1451	1525	1036	1185	1243	1316	915	1227	1148	1232	838
P (kW)	1000	1100	1220	1005	843	938	1054	824	836	938	1058	829
Q (kVAR)	962	947	915	-251	834	816	788	824	899	662	632	-124
ARUS (A)	2108	2205	2317	1573,6	1762,5	1848,6	1957,1	1361	1862,5	1742	1870	1271,7
PUTARAN (rpm)	1500	1500	1500	1500	1500,8	1500,8	1500,8	1500,8	1508	1508	1508	1508

Tabel 7 merupakan tabel hasil simulasi stabilitas transien kondisi 3. Pada kondisi awal, respon tegangan dan respon frekuensi dalam kondisi stabil karena system bekerja normal. Pada saat gangguan terjadi pada detik ke 2 dengan pelepasan beban, respon tegangan masih stabil dan respon frekuensi masih dalam batas stabil yaitu 50,03 Hz. Kemudian respon tegangan dan respon frekuensi setelah kejadian, respon tegangan masih tetap stabil, namun respon frekuensi menjadi 50,28 Hz. Hal ini jika berjalan terus menerus tanpa ada pengaturan kestabilan frekuensi dengan mengatur putaran generator, maka generator akan lepas sinkron. Berdasarkan uraian diatas respon tegangan masih dalam batas standar yaitu tidak kurang dari -10% dan tidak lebih dari +5% menurut permen ESDM 2007.

4.6.4 Simulasi Stabilitas Transien Kondisi 4

Pada simulasi stabilitas transien kondisi ke-4 adalah bagaimana respon tegangan dan respon frekuensi stabilitas transien terhadap penyambungan beban. Beban yang akan disambung adalah beban terbesar dan berdasarkan grafik perilaku beban. Akan disajikan dengan 3 sampel penyambungan dan pelepasan beban. Pelepasan beban dilakukan pada 48 detik ke-2, dan penyambungan beban dilakukan pada detik ke-4, total simulasi selama kurun waktu 10 detik. Beban yang akan disambung yaitu *Hagglunds, Batch Mirless, dan Cane yard*.

Tabel 8. Hasil Simulasi Stabilitas Transien Kondisi 4

TIME	KONDISI AWAL				KONDISI SAAT KEJADIAN				KONDISI SETELAH KEJADIAN			
	detik ke 0 - detik ke 2 (1,5 sec)				detik ke 2 - detik ke 2,5 (2,5 sec)				detik ke 2,5 - detik ke 10 (10 sec)			
	ECC 1	ECC 2	ECC 3	SIEMENS	ECC 1	ECC 2	ECC 3	SIEMENS	ECC 1	ECC 2	ECC 3	SIEMENS
Volt (kV)	0,38	0,38	0,38	0,38	0,393	0,393	0,393	0,393	0,38	0,38	0,38	0,38
Frekuensi (Hz)	50	50	50	50	50,18	50,18	50,18	50,18	50	50	50	50
S (kVA)	1388	1451	1525	1036	1081	980	1072	747	1360	1454	1526	1022
P (kW)	1000	1100	1220	1005	713	778	903	565	1002	1102	1221	999
Q (kVAR)	962	947	915	-251	812	597	578	-489	920	949	916	-211
ARUS (A)	2108	2205	2317	1573,6	1589,9	1441,9	1575	1099	2066,8	2210	2319	1532,4
PUTARAN (rpm)	1500	1500	1500	1500	1505,3	1505,8	1505,8	1504,9	1500,1	1500	1500	1500

Tabel 8 merupakan hasil simulasi stabilitas transien kondisi 4. Dimana kondisi 4 ini adalah pelepasan dan penyambungan beban besar. Diambil 3 sampel beban berdasarkan grafik perilaku beban terbesar. Pada kondisi awal, respon tegangan dan respon

frekuensi relatif stabil. Pada kondisi saat kejadian pada detik ke 2 pelepasan beban dan penyambungan beban pada detik ke 4 selama kurun waktu 2 detik respon tegangan menjadi 0,393 kV dan respon frekuensi menjadi 50,18 Hz masih dalam batas stabil. Kemudian pada kondisi setelah kejadian respon tegangan dan respon frekuensi menjadi stabil kembali. Berdasarkan uraian diatas respon tegangan masih dalam batas standar yaitu -10% dan +5% menurut permen ESDM 2007. Sedangkan respon frekuensi masih memenuhi standar menurut permen ESDM 2007 yaitu tidak lebih rendah dari 47,5 Hz dan tidak lebih tinggi dari 52,5 Hz.

5. KESIMPULAN

Dalam penelitian ini dapat ditarik kesimpulan berdasarkan analisis dan simulasi Studi Stabilitas Transien Sistem Tenaga Listrik pada PLTU adalah sebagai berikut :

- Berdasarkan beberapa kondisi simulasi yang dilakukan, skenario pelepasan beban (*load switching*) dan gangguan (*fault*) respon tegangan dan respon frekuensi masih dalam batas sesuai standar permen ESDM 2007 yang diijinkan untuk frekuensi tidak lebih rendah dari 49,2 Hz dan tidak lebih tinggi dari 52,0 Hz dalam keadaan darurat. Sedangkan untuk tegangan pada saat kondisi 1 tidak sesuai standart dan untuk kondisi 2, 3 dan 4, tidak mengalami drop tegangan yang signifikan dan pada kondisi peralihan tegangan masih dalam batas yang diijinkan dalam keadaan darurat.
- Berdasarkan dari berbagai kondisi simulasi yang dilakukan waktu yang dibutuhkan dari kondisi gangguan menuju operasi normal kembali setelah gangguan adalah dalam kurun waktu 5 detik.

Daftar Pustaka

- [1] Stevenson, W.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.M & James, H.M, 1994, *Power System Operation*, New York: McGraw-Hill.
- [5] Das, J.C, 2010, *Transient in Electrical System, Analysis, Recognition*,
- [6] Natarajan, R, 2002, *Computer-Aided Power System Analysis*, New York: Marcel Dekker td.
- [7] IEEE, 1987, *Guide for Abnormal Frequency Protection for Power Generating Plants*, IEEE Std C37.106-2003 (Revision of ANSI/IEEE C37.106-1987).
- [8] IEEE, 2004, *Definition and Classification of Power System Stability*, vol. 19, no. 2, (*IEEE Transactions on Power System*).