

STUDI KESTABILAN FREKWENSI PENGOPERASIAN DUA UNIT GENSET PADA INSTALASI KELISTRIKAN KAPAL MENTARI EXPRESS MENGGUNAKAN SOFTWARE ETAP

¹Achmad Faris Rachmatilah, ²Widodo Pudji Muljanto, ³Ni Putu Agustini

Teknik Elektro S1 Institut Teknologi Nasional Malang

¹farisrachmad95@gmail.com, ²widodopm@yahoo.com, ³ni_putu_agustini@lecturer.itn.ac.id

Abstrak— Kontinuitas suplai energi listrik pada sektor industri merupakan salah satu kebutuhan yang sangat vital, khususnya pada beberapa jenis Industri seperti; Industri Pabrik, Industri Pemerintahan Dan Industri Perkapalan, dan lain-lain. Kegagalan dalam proses suplai energi dapat menyebabkan terganggunya proses produksi bahkan dapat menyebabkan kerugian yang signifikan karena gagal produksi, misalkan pada industri baja.

Kegagalan atau Masalah dalam suplai energi listrik bisa disebabkan oleh terganggunya saluran distribusi atau saluran transmisi, rusaknya trafo penyulang atau trafo distribusi, atau karena terganggunya peralatan-peralatan pada Gardu Induk. Untuk meminimalisir waktu jeda beberapa pabrik menyiapkan satu atau lebih unit Genset dan adakalanya sumber energi listrik hanya berasal dari beberapa generator sesuai kapasitas pabrik atau industri. Apabila suatu pabrik memiliki dua atau lebih Genset yang harus beroperasi secara paralel akan muncul permasalahan kestabilan frekwensi terutama pada saat-saat perubahan beban. Untuk itu diperlukan strategi yang tepat dalam merencanakan sistem pengoperasian pembangkit cadangan seperti ini.

Pada Penelitian ini akan dibahas tentang studi awal yang akan digunakan sebagai bahan penyusunan perencanaan sistem operasi dua unit Diesel generator-set pada Kapal Mentari Express di pelabuhan Tanjung Perak Surabaya.

Kata kunci – Generator, Frekwensi, Governor, Software ETAP

I. PENDAHULUAN

Mengoperasikan secara paralel dua unit Pembangkit Listrik untuk memikul beban bersama bukanlah suatu pekerjaan yang sederhana. Kesalahan dalam menentukan parameter mode operasi pada masing-masing unit dapat menyebabkan permasalahan vital yaitu lepasnya (trip) salah

satu unit, atau bahkan bisa trip dua-duanya. Salah satu penyebab terjadinya trip pada pembangkit adalah pembebanan yang melebihi kapasitas. Pada pengoperasian dua pembangkit secara paralel diperlukan pembagian beban yang proporsional terhadap kapasitas masing-masing pembangkit. Apabila salah satu pembangkit mengalami trip dan sisa pembangkit yang beroperasi tidak mampu menanggung pelimpahan beban dari pembangkit yang trip maka terjadilah total-trip pada sistem. Proses pembagian beban akan selalu terjadi setiap terjadi perubahan beban pada jaringan. Untuk itu pada tahap perencanaan sistem operasi harus diketahui dari awal tentang perilaku pembangkit dalam hal pembagian beban terutama pada saat terjadi perubahan beban. Perilaku ini bersifat dinamis, sehingga untuk menganalisisnya juga diperlukan analisa dinamik yang melibatkan proses iterasi. Untuk membantu proses analisa dinamik yang cukup rumit digunakan perangkat lunak ETAP Power Station ver.12.6.0 yang sudah banyak digunakan dikalangan akademisi maupun praktisi.

Seperti diketahui bahwa pada ilmu ketenaga listrikan dikenal tiga macam daya yaitu; daya aktif, daya reaktif dan daya semu. Penelitian ini difokuskan pada analisa kestabilan frekwensi jaringan, sehingga berkaitan langsung dengan aspek daya nyata (kW), dimana seperti diketahui pengendalian daya nyata pada suatu pembangkit dilakukan melalui komponen peralatan “Governor” yang berhubungan langsung dengan pengaturan jumlah bahan bakar atau daya luaran dari prime-mover (mis; diesel engine, turbin, dsb). Pada peralatan Governor terdapat dua mode pilihan mode operasi; mode Droop dan mode Isocronous. Pemilihan mode operasi serta setting parameternya sangat menentukan

kinerja operasi paralel dari sistem pembangkit termasuk keberhasilan dalam pembagian beban masing-masing pembangkit serta osilasi frekwensi yang terjadi pada saat terjadi perubahan beban pada jaringan. Osilasi frekwensi yang berlebihan tentunya merupakan indikasi ketidakstabilan suatu jaringan, dan kondisi ini harus dihindari. Suatu perencanaan oprasi yang baik tentunya dari awal harus sudah mempertimbangkan aspek ini dengan baik

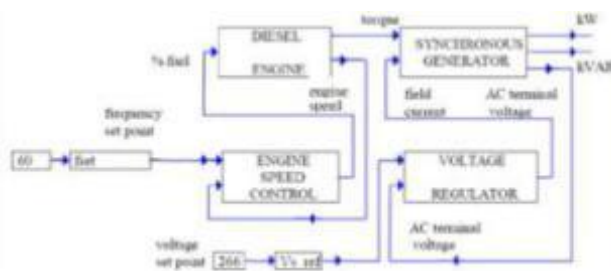
II. KAJIAN PUSTAKA

A. Generator Sinkron

Sebagian besar energi listrik yang dipergunakan oleh konsumen untuk kebutuhan sehari hari dihasilkan oleh gnerator sinkron fasa banyak “pholypase” yang ada di pusat pembangkit tenaga listrik. Generator sinkron yang dipergunakan ini mempunyai rating dari ratusan sampai ribuan mega Volt Ampere (MVA) Disebut mesin sinkron karena bekerja pada kecepatan dan frekwensi konstan di bawah kondisi “steady state” Mesin sinkron bisa dioperasikan baik motor mau.pun generator mesin sinkron bila difungsikan sebagai motor berputar dalam keadaan konstan. Apabila dikehendaki kecepatan yang bersifat variabel. maka motor sinkron dilengkapi dengan pengubah frekwensi seperti inverter atau cycle-converter [1]

B. Pembangkit Energi Diesel

Komponen dasar dari sistem pembangkit diesel adalah: mesin, governor, eksitasi dan generator sinkron



Gambar 1. Blok diagram Diesel Generator

Perangkat DG (unit mesin diesel dan pengatur) adalah sebuah perangkat yang mengubah energi bahan bakar (minyak diesel) menjadi energi mekanik di mesin diesel dan kemudian mengubah energi mekanik menjadi energi listrik di governor. Sebuah governor dapat didefinisikan sebagai

perangkat mekanik atau elektromekanis untuk mengendalikan kecepatan mesin secara otomatis dengan menghubungkan asupan bahan bakar. Pengontrol untuk mesin adalah pengatur kecepatan sederhana yang menjaga turbin beroperasi dengan kecepatan yang dirancang. Itu output dari pengatur kecepatan adalah sinyal throttle yang mengontrol bahan bakar masuk ke mesin [2] Ada 2 Mode Operasi engine diesel

- Isochronous mempertahankan setpoint kecepatan konstan sementara Output MW bervariasi dari tanpa beban hingga berbeban.
- Droop saat output MW meningkat, kecepatan menurun. Sehubungan dengan pengaturan droop persen preset [3]

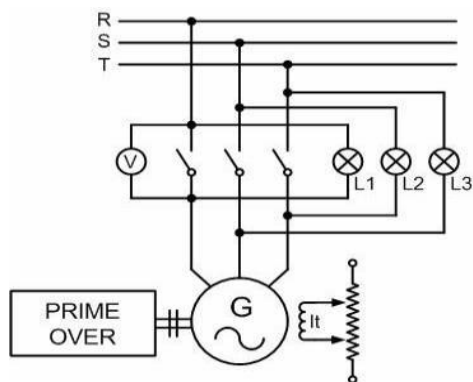
C. Pembagian Beban Pada Generator Diesel

Respons frekwensi sistem bergantung pada governor kontrol dalam generator diesel dalam sistem tenaga. Pembangkit listrik ke-1 dan ke-2 memberikan inisia penting bagi generator dan governor untuk menstabilkan frekwensi sistem di dalam pembagian beban generator. Sistem kontrol terdiri dari kotak kontrol, aktuator dan mesin. Kontrol engine menggunakan prinsip droop untuk memberikan operasi yang stabil [4]

D. Paralel Generator

Untuk melayani beban yang meningkat ada kondisi dimana kita harus memparalel 2 atau lebih generator dengan maksud menambah kapasitas daya yang diperlukan untuk menjaga kontinuitas pelayanan apabila ada geerator yang harus dimatikan misalnya untuk maintenance atau standby. A dapun syarat paralel generator adalah

- Tegangan harus sama
- Frekwensi harus sama
- Urutan fasa harus sama



Gambar 2. sinkronisasi sistem

R, S, dan T adalah urutan fasa tegangan jala-jala U, V dan W adaah urutan fasa tegangan generator . Saat memparalelkan, lampu L1 mati sedangkan L2 dan L3 nyala sama terangnya. Dan keadaan ini berlangsung agak lama. Posisi semua fasa sistem tegangan jala-jala berhimpit dengan semua fasa sistem tegangan generator [1]

E. Genset (Generator Set)

Adalah suatu mesin yang merubah energi kimia pada bahan bakar ke bentuk energi listrik dan panas. Gabungan antara engine, generator, dan kontrolernya disebut juga generator set (genset) [1]

F. Konsep tenaga genset

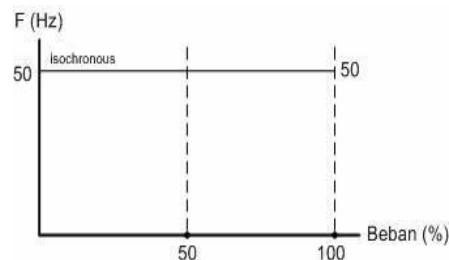
Engine merubah campuran udara da bahan bakar (eneri kimia) ke dalam energi mekanik . Generator mengmbil tenaga dari engine (Brake HP atau KW) dan merubahnya ke dalam energi listrik (Electrical kW). BHP adalah daya yang tertera pada nameplate engine. Tenaga engine (kW) selalu lebih besar antara 105%-110% dibanding tenaga nyata geneator (eKW) [1]



Gambar 3. konsep energi kimia ke energi mekanis kemudian listrik

G. Sistem Isochronous

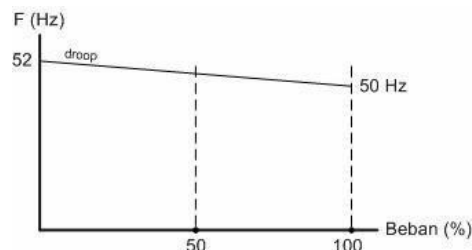
Metode *isochronous* atau dengan istilah *speed droop 0%* digunakan untuk kecepatan tetap kostan pada *prime mover* di berbagai tingkat pembebanan baik aplikasi single operation atau dua atau lebih *prime mover* yang dikontrol oleh *load sharing control*



Gambar 4. Fungsi beban terhadap frekwensi dengan *isochronous*

H. Sistem Speed droop

Metode *droop* digunakan untuk pengendali kecepatan sebagaimana fungsi pembebanan, artinya kecepatan *prime mover* berubah sesuai tingkat pembebanan baik dengan aplikasi single operation mover atau operasi paralel dua atau lebih *prime mover*



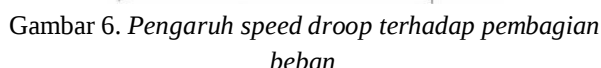
Gambar 5. fungsi beban terhadap frekwensi dengan *speed droop (speed droop 4%)*

I. Hubungan antara speed droop dan pembagian beban

Terdapat dua unit pembangkit dan bekerja secara paralel dan melayani beban sebesar P . hanya saja untuk pembangkit 2, garis beban berarah ke kiri dan sumbu frekwensinya ada di kanan untuk memudahkan penggambaran bahwa beban P , selalu sama dengan jumlah daya yang dibangkitkan yakni P_1 ditambah P_2 .Unit pembangkit 1 mempunyai *speed droop* S_1 sedangkan pembangkit P_2 *speed droop*-nya S_2 .

Mula-mula masing-masing unit mempunyai beban P_1 dan P_2 sedangkan frekwensinya F_1 dan jumlah beban adalah P .

Sistem yang terdiri dari banyak unit pembangkit sesungguhnya dapat dianalogikan dengan sebuah unit pembangkit besar yang memiliki *speed droop* tertentu [1]



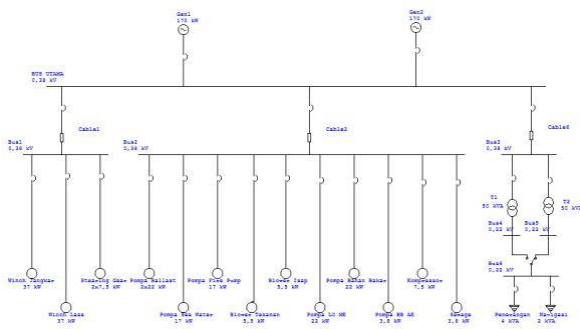
Metode penelitian yang di lakukan dalam penelitian ini berupa metode simulasi menggunakan perangkat lunak yang sudah proven dan sudah digunakan oleh kalangan akademisi maupun praktisi bidang ketenagalistrikan secara internasional, yaitu ETAP Power Station, ver.12.6.0.

1. Mengumpulkan data-data; Nama plate Generator, Parameters dinamik Genset, Data Governor, Gambar single line diagram, List beban di Kapal Mentari Express di pelabuhan Tanjung Perak Surabaya
2. Memodelkan sistem Instalasi kelistrikan Kapal Mentari Express menggunakan software *ETAP Power Station, ver.12.6.0*.
3. Melakukan analisa dinamik proses perubahan beban pada sistem kelistrikan yang telah dimodelkan.
4. Pada simulasi perubahan total beban Kapal dari 0% ke 25%, 25% ke 75% 75% ke 100% mengamati perubahan beban pada masing-masing Generator apakah masih proporsional terhadap kapasitasnya.

5. Mengamati respon dinamika perubahan frekuensi yang terjadi pada jaringan, apakah nilai over-shoot, settling time dan steady-state error yang terjadi sudah memenuhi ambang batas yang dipersyaratkan regulasi. Apabila belum memenuhi melakukan setting ulang modul kontroler masing-masing Governor hingga didapatkan hasil yang memenuhi persyaratan.
6. Mengulangi langkah 4 sampai 6 dengan mengubah variasi perubahan beban dengan beberapa settingan (%) droop pada masing masing Governor
7. Selesai.



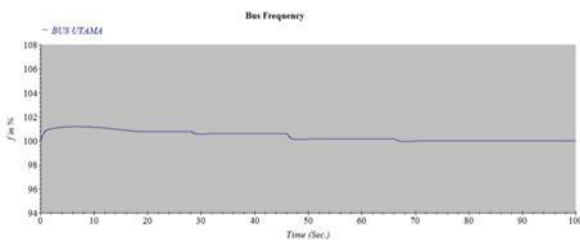
IV. SIMULASI DAN ANALISA



Gambar 8. Pemodelan Single Line Diagram pada instalasi kelistrikan kapal Mentari Express Software ETAP Power Station.

A. Hasil Analisa Kestabilan Frekwensi dan pembagian beban Hasil kestabilan frekwensi dan pembagian beban dengan beberapa tahapan pembebanan dan beberapa settingan droop pada masing masing generator dapat dilihat pada gambar

- Hasil Simulasi kondisi Frekwensi BUS UTAMA Terhadap pembebanan (Droop Governor Generator 1 = 1%) dan (Droop Governor Generator 2 = 1%)

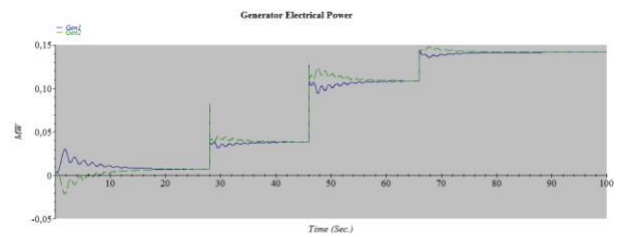


Gambar 9. Respon kestabilan frekwensi BUS UTAMA (Droop Governor Generator 1 = 1%) dan (Droop Governor Generator 2 = 1%)

Tabel 1. Hasil analisa Frekwensi BUS UTAMA Setting (Droop Governor Generator 1 = 1%) dan (Droop Governor Generator 2 = 1%)

No	Pembebanan	Frekwensi BUS Utama (Hz)
1	0%-25%	50,4
2	25%-75%	50,2
3	75%-100%	50

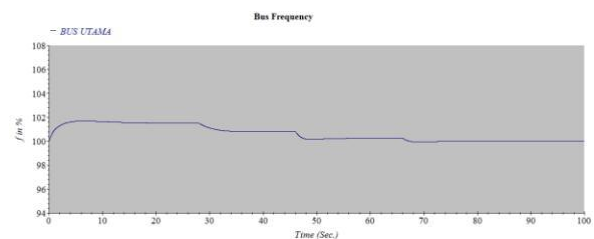
- Hasil simulasi tahapan pembebanan dengan setting Governor (Droop Governor Generator 1 = 1%) dan (Droop Governor Generator 2 = 1%)



Gambar 10. Respon Pembebanan pada masing masing generator (Droop Governor Generator 1 = 1%) dan (Droop Governor Generator 2 = 1%)

Pada saat kedua generator dibebani sebesar 25% beban sistem kedua generator mendapat porsi pembebanan yang berbeda dengan frekwensi sistem di BUS UTAMA sebesar 50,4 Hz dan generator yang mendapat porsi pembebanan lebih besar adalah generator 2 sampai pada saat kondisi *steady state* generator berbagi porsi pembebanan yang sama. pada saat terjadi penambahan beban dari 25% ke 75% frekwensi sitem turun menjadi 50,2 Hz dan geneator 2 mendapat porsi pembebanan yang lebih besar hingga mencapai kondisi *steady state* generator membagi porsi pembebanan yang sama. Penambahan pembebanan beban 75% ke 100% frekwensi sistem menjadi 50 Hz dan saat awal pembebanan 75% ke 100 awal pembebanan geenerator 2 tetap menadapat porsi pembebanan lebih besar hingga pada saat sistem mencapai kondisi *steady state* kedua generator mendapat porsi pembebanan yang sama dan pembagian beban proporsional dikarenakan kapasitas masing masing generator juga sama.

- Hasil Simulasi kondisi Frekwensi BUS UTAMA Terhadap pembebanan (Droop Governor Generator 1 = 1%) dan (Droop Governor Generator 2 = 2%)

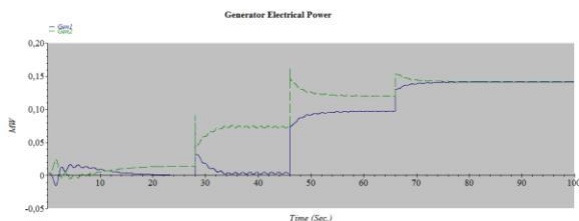


Gambar 11 Respon kestabilan frekwensi BUS UTAMA (Droop Governor Generator 1 = 1%) dan (Droop Governor Generator 2 = 2%)

Tabel 2. Hasil analisa Frekwensi BUS UTAMA Setting (Droop Governor Generator 1 = 1%) dan (Droop Governor Generator 2 = 2%)

No	Pembebanan	Frekwensi BUS Utama (Hz)
1	0%-25%	50,4
2	25%-75%	50,2
3	75%-100%	50

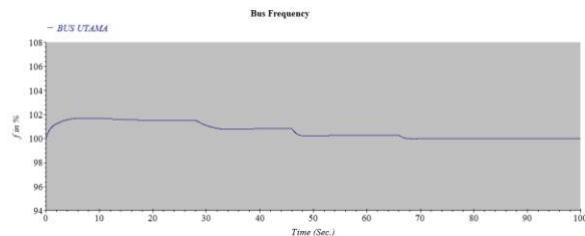
- Hasil simulasi tahapan pembebanan dengan setting Governor (Droop Governor Generator 1 = 1%) dan (Droop Governor Generator 2 = 2%)



Gambar 12. respon Pembebanan pada masing masing generator (Droop Governor Generator 1 = 1%) dan (Droop Governor Generator 2 = 2%)

Pada saat kedua generator dibebani sebesar 25% beban sistem kedua generator mendapat porsi pembebanan yang berbeda dengan frekwensi sistem di BUS UTAMA sebesar 50,4 Hz dan generator yang mendapat porsi pembebanan lebih besar adalah generator 2 dan pada tahap ini pembebanan sistem tidak mencapai kondisi steady state karena sistem pembeban mengalami osilasi. pada saat terjadi penambahan beban dari 25% ke 75% frekwensi sistem turun menjadi 50,2 Hz dan generator 2 mendapat porsi pembebanan yang lebih besar hingga mencapai kondisi *steady state* namun pada tahapan ini generator tidak membagi porsi pembebanan yang sama. Penambahan pembebanan beban 75% ke 100% frekwensi sistem menjadi 50 Hz dan saat awal pembebanan 75% ke 100% awal pembebanan generator 2 tetap menadapat porsi pembebanan lebih besar hingga pada saat sistem mencapai kondisi *steady state* kedua generator mendapat porsi pembebanan yang sama.

- Hasil Simulasi kondisi Frekwensi BUS UTAMA Terhadap pembebanan (Droop Governor Generator 1 = 2%) dan (Droop Governor Generator 2 = 1%)

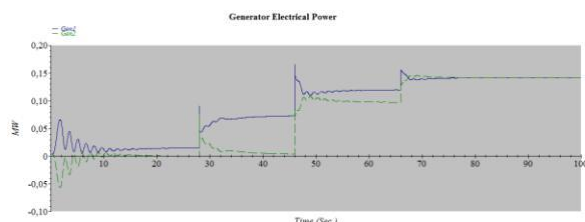


Gambar 13. Respon kestabilan frekwensi BUS UTAMA (Droop Governor Generator 1 = 2%) dan (Droop Governor Generator 2 = 1%)

Tabel 3. Hasil analisa Frekwensi BUS UTAMA Setting (Droop Governor Generator 1 = 2%) dan (Droop Governor Generator 2 = 1%)

No	Pembebanan	Frekwensi BUS Utama (Hz)
1	0%-25%	50,4
2	25%-75%	50,2
3	75%-100%	50

- Hasil simulasi tahapan pembebanan dengan setting Governor (Droop Governor Generator 1 = 2%) dan (Droop Governor Generator 2 = 1%)

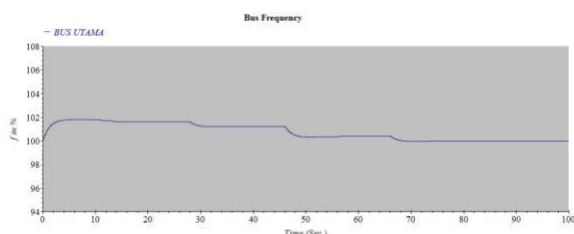


Gambar 14. Respon Pembebanan pada masing masing generator (Droop Governor Generator 1 = 2%) dan (Droop Governor Generator 2 = 1%)

Pada saat kedua generator dibebani sebesar 25% beban sistem kedua generator mendapat porsi pembebanan yang berbeda dengan frekwensi sistem di BUS UTAMA sebesar 50,4 Hz dan generator yang mendapat porsi pembebanan lebih besar adalah generator 1 dan pada tahap ini pembebanan sistem tidak mencapai kondisi steady state karena sistem pembeban mengalami kenaikan pada generator 1 dan penurunan pada generator 2 hingga penambahan beban berikutnya. pada saat terjadi penambahan beban dari 25% ke 75% frekwensi sistem turun menjadi 50,2 Hz dan generator 1 mendapat porsi pembebanan yang lebih

besar hingga mencapai kondisi *steady state* namun pada tahapan ini generator tidak membagi porsi pembebanan yang sama dengan generator 1 mendapat pembebanan yang lebih besar. Penambahan pembebanan beban 75% ke 100% frekwensi sistem menjadi 50 Hz dan saat awal pembebanan 75% ke 100% awal pembebanan generator 2 tetap menadapat porsi pembebanan lebih besar hingga pada saat sistem mencapai kondisi *steady state* kedua generator mendapat porsi pembebanan yang sama.

- Hasil Simulasi kondisi Frekwensi BUS UTAMA Terhadap pembebanan (Droop Governor Generator 1 = 2%) dan (Droop Governor Generator 2 = 2%)

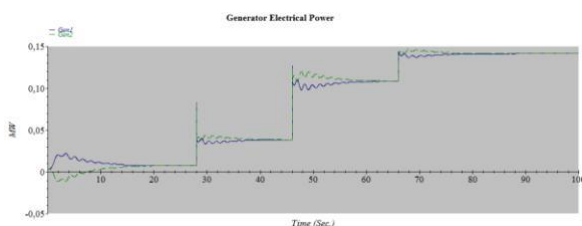


Gambar 15. Respon kestabilan frekwensi BUS UTAMA (Droop Governor Generator 1 = 2%) dan (Droop Governor Generator 2 = 2%)

Tabel 4. Hasil analisa Frekwensi BUS UTAMA Setting (Droop Governor Generator 1 = 2%) dan (Droop Governor Generator 2 = 2%)

No	Pembebanan	Frekwensi BUS Utama (Hz)
1	0%-25%	50,7
2	25%-75%	50,2
3	75%-100%	50

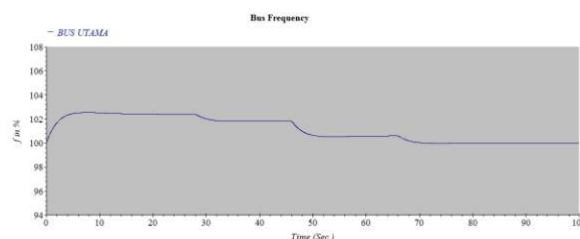
- Hasil simulasi tahapan pembebanan dengan setting Governor (Droop Governor Generator 1 = 2%) dan (Droop Governor Generator 2 = 2%)



Gambar 16. Respon Pembebanan pada masing masing generator (Droop Governor Generator 1 = 2%) dan (Droop Governor Generator 2 = 2%)

Pada saat kedua generator dibebani sebesar 25% beban sistem kedua generator mendapat porsi pembebanan yang berbeda dengan frekwensi sistem di BUS UTAMA sebesar 50,7 Hz dan generator yang mendapat porsi pembebanan lebih besar adalah generator 2 sampai pada saat kondisi *steady state* generator berbagi porsi pembebanan yang sama. Pada saat terjadi penambahan beban dari 25% ke 75% frekwensi sistem turun menjadi 50,2 Hz dan generator 2 mendapat porsi pembebanan yang lebih besar hingga mencapai kondisi *steady state* generator membagi porsi pembebanan yang sama. Penambahan pembebanan beban 75% ke 100% frekwensi sistem menjadi 50 Hz dan saat awal pembebanan 75% ke 100% awal pembebanan generator 2 tetap menadapat porsi pembebanan lebih besar hingga pada saat sistem mencapai kondisi *steady state* kedua generator mendapat porsi pembebanan yang sama dan pembagian beban proporsional dikarenakan kapasitas masing masing generator juga sama.

- Hasil Simulasi kondisi Frekwensi BUS UTAMA Terhadap pembebanan (Droop Governor Generator 1 = 3%) dan (Droop Governor Generator 2 = 3%)

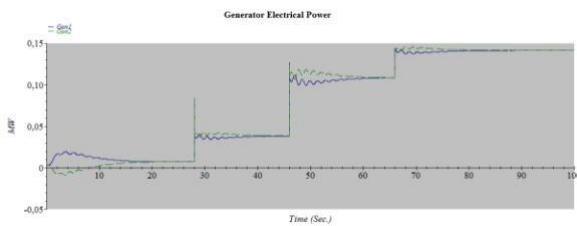


Gambar 17. Respon kestabilan frekwensi BUS UTAMA (Droop Governor Generator 1 = 3%) dan (Droop Governor Generator 2 = 3%)

Tabel 5. Hasil analisa Frekwensi BUS UTAMA Setting (Droop Governor Generator 1 = 3%) dan (Droop Governor Generator 2 = 3%)

No	Pembebanan	Frekwensi BUS Utama (Hz)
1	0%-25%	51
2	25%-75%	50,2
3	75%-100%	50

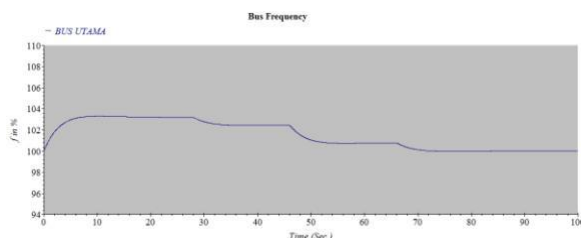
- Hasil simulasi tahapan pembebanan dengan setting Governor (Droop Governor Generator 1 = 3%) dan (Droop Governor Generator 2 = 3%)



Gambar 18. respon Pembebanan pada masing masing generator (Droop Governor Generator 1 = 3%) dan (Droop Governor Generator 2 = 3%)

Pada saat kedua generator dibebani sebesar 25% beban sistem kedua generator mendapat porsi pembebanan yang berbeda dengan frekwensi sistem di BUS UTAMA sebesar 51 Hz dan generator yang mendapat porsi pembebanan lebih besar adalah generator 2 sampai pada saat kondisi *steady state* generator berbagi porsi pembebanan yang sama. pada saat terjadi penambahan beban dari 25% ke 75% frekwensi sitem turun menjadi 50,2 Hz dan geneator 2 mendapat porsi pembebanan yang lebih besar hingga mencapai kondisi *steady state* generator membagi porsi pembebanan yang sama. Penambahan pembebanan beban 75% ke 100% frekwensi sistem menjadi 50 Hz dan saat awal pembebanan 75% ke 100 awal pembebanan geenerator 2 tetap menadapat porsi pembebanan lebih besar hingga pada saat sistem mencapai kondisi *steady state* kedua generator mendapat porsi pembebanan yang sama dan pembagian beban proporsional dikarenakan kapasitas masing masing generator juga sama.

- Hasil Simulasi kondisi Frekwensi BUS UTAMA Terhadap pembebanan (Droop Governor Generator 1 = 4%) dan (Droop Governor Generator 2 = 4%)

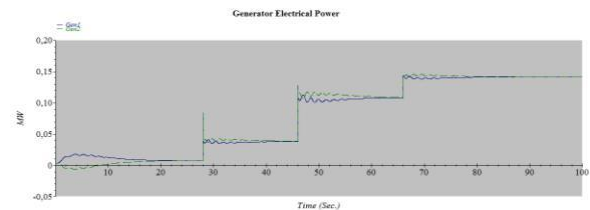


Gambar 19. Respon kestabilan frekwensi BUS UTAMA (Droop Governor Generator 1 = 4%) dan (Droop Governor Generator 2 = 4%)

Tabel 6. Hasil analisa Frekwensi BUS UTAMA Setting (Droop Governor Generator 1 = 4%) Dan (Droop Governor Generator 2 = 4%)

No	Pembebanan	Frekwensi BUS Utama (Hz)
1	0%-25%	51,2
2	25%-75%	50,2
3	75%-100%	50

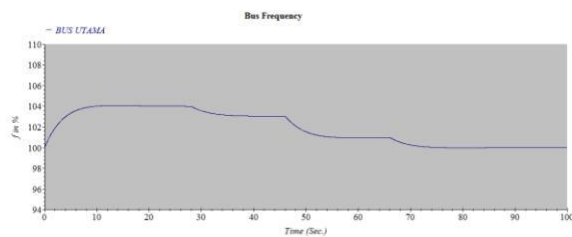
- Hasil simulasi tahapan pembebanan dengan setting Governor (Droop Governor Generator 1 = 4%) dan (Droop Governor Generator 2 = 4%)



Gambar 20. respon Pembebanan pada masing masing generator (Droop Governor Generator 1 = 4%) dan (Droop Governor Generator 2 = 4%)

Pada saat kedua generator dibebani sebesar 25% beban sistem kedua generator mendapat porsi pembebanan yang berbeda dengan frekwensi sistem di BUS UTAMA sebesar 51,2 Hz dan generator yang mendapat porsi pembebanan lebih besar adalah generator 2 sampai pada saat kondisi *steady state* generator berbagi porsi pembebanan yang sama. pada saat terjadi penambahan beban dari 25% ke 75% frekwensi sitem turun menjadi 50,2 Hz dan geneator 2 mendapat porsi pembebanan yang lebih besar hingga mencapai kondisi *steady state* generator membagi porsi pembebanan yang sama. Penambahan pembebanan beban 75% ke 100% frekwensi sistem menjadi 50 Hz dan saat awal pembebanan 75% ke 100 awal pembebanan geenerator 2 tetap menadapat porsi pembebanan lebih besar hingga pada saat sistem mencapai kondisi *steady state* kedua generator mendapat porsi pembebanan yang sama dan pembagian beban proporsional dikarenakan kapasitas masing masing generator juga sama.

- Hasil Simulasi kondisi Frekwensi BUS UTAMA Terhadap pembebanan (Droop Governor Generator 1 = 5%) dan (Droop Governor Generator 2 = 5%)



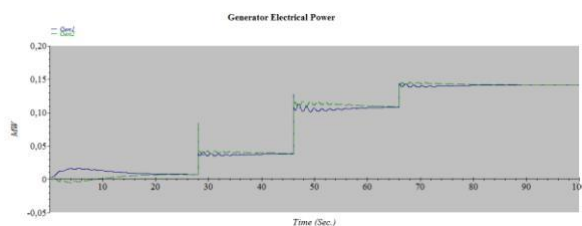
Gambar 21. Respon kestabilan frekwensi BUS UTAMA (Droop Governor Generator 1 = 5%) dan (Droop Governor Generator 2 = 5%)

Hasil nilai Simulasi kondisi Frekwensi BUS UTAMA Terhadap pembebanan (Droop Governor Generator 1 = 5%) dan (Droop Governor Generator 2 = 5%) ditampilkan pada tabel di bawah ini

Tabel 7. Hasil analisa Frekwensi BUS UTAMA Setting (Droop Governor Generator 1 = 5%) Dan (Droop Governor Generator 2 = 5%)

No	Pembebanan	Frekwensi BUS Utama (Hz)
1	0%-25%	51,7
2	25%-75%	50,7
3	75%-100%	50

- Hasil simulasi tahapan pembebanan dengan setting Governor (Droop Governor Generator 1 = 5%) dan (Droop Governor Generator 2 = 5%)

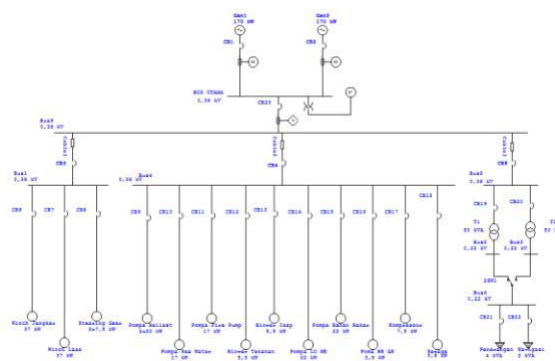


Gambar 22. Respon Pembebanan pada masing masing generator (Droop Governor Generator 1 = 5%) dan (Droop Governor Generator 2 = 5%)

Pada saat kedua generator dibebani sebesar 25% beban sistem kedua generator mendapat porsi pembebanan yang berbeda dengan frekwensi sistem di BUS UTAMA sebesar 51,7 Hz dan generator yang mendapat porsi pembebanan lebih besar adalah generator 2 sampai pada saat kondisi *steady state* generator berbagi porsi pembebanan yang sama. pada saat terjadi penambahan beban dari 25% ke 75% frekwensi sitem turun menjadi 50,7 Hz dan geneator 2

mendapat porsi pembebanan yang lebih besar hingga mencapai kondisi *steady state* generator membagi porsi pembebanan yang sama. Penambahan pembebanan beban 75% ke 100% frekwensi sistem menjadi 50 Hz dan saat awal pembebanan 75% ke 100 awal pembebanan geenerator 2 tetap menadapat porsi pembebanan lebih besar hingga pada saat sistem mencapai kondisi *steady state* kedua generator mendapat porsi pembebanan yang sama dan pembagian beban proporsional dikarenakan kapasitas masing masing generator juga sama.

B. Analisa Setelah melakukan pemasangan relay daya balik dan relay frekwensi



Gambar 23. Pemodelan Single Line Diagram pada instalasi kelistrikan kapal Mentari Express Setelah Pemasangan Relay Daya Balik Dan Relay Frekwensi Software ETAP Power Station.

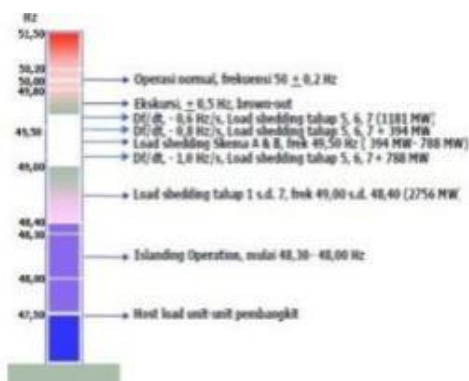
Rele daya balik berfungsi untuk mendeteksi aliran daya balik aktif yang masuk pada generator. Berubahnya aliran daya aktif pada arah generator akan membuat generator menjadi seperti motor [5]

Tabel 8. Acuan untuk setting Relay Daya Balik

Jenis Generator	Daya balik	Dampak Kerusakan
Turbin Uap	0.5% - 3%	Panas lebih /Ledakan
Mesin Diesel	5% - 25%	Terbakar /Ledakan
Turbin Air	0.2 - 2%	Kavitasi
Turbin Gas	> 50%	Kerusakan Gear Box

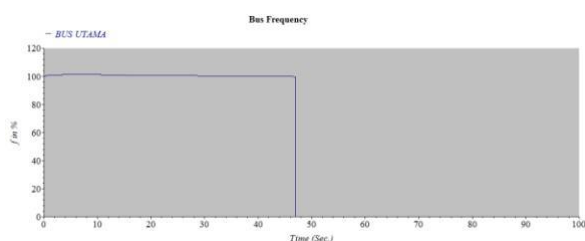
Relay Frekwensi berfungsi membaca besar frekwensi sekaligus memberikan perintah ketika menanggapi terjadinya

perubahan frekwensi yang mencapai nilai diluar batas yang telah diatur. Relay frekwensi dibagi menjadi OFR (*Over Frequency Relay*) yang berfungsi sebagai pengaman pada generator dan UFR (*Under Frequency Relay*) yang berfungsi mengamankan jika frekwensi sistem menurun hingga berada diluar batas yang diijinkan atau nilai setting pada relay UFR [7]



Gambar 24. Acuan untuk setting Relay Frekwensi

- Analisa kinerja generator setelah pemasangan relay frekwensi dan relay daya balik (Droop Governor Generator 1 = 1%) dan (Droop Governor Generator 2=1%)

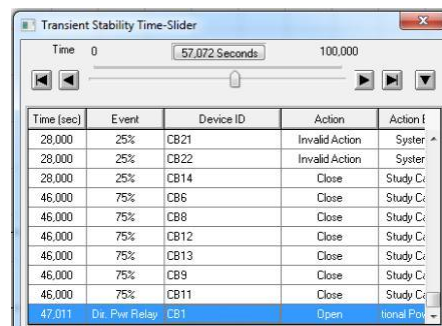


Gambar 25. Frekwensi BUS UTAMA Trip saat setting (Droop Governor Generator 1 = 1%) dan (Droop Governor Generator 2 = 1%)

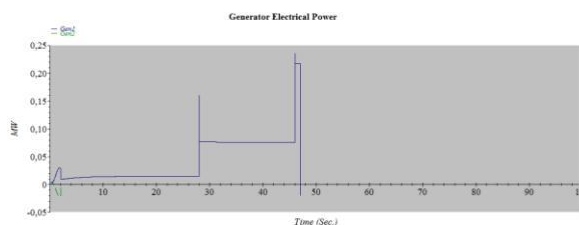
Pada Gambar diatas dapat menunjukkan frekwensi system pada BUS UTAMA Trip. Dan ID peralatan yang bekerja trip terjadinya trip ditunjukkan gambar di bawah ini



Gambar 26. bekerjanya CB 2 Pada detik 2,113 setting (Droop Governor Generator 1 = 1%) dan (Droop Governor Generator 2 = 1%)



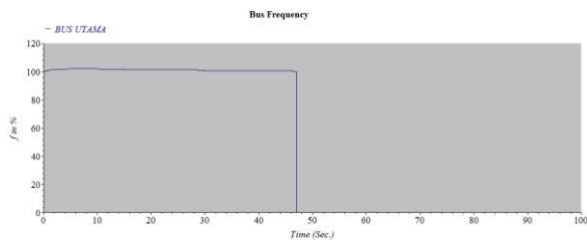
Gambar 27. bekerjanya CB 1 Pada detik 47,011 setting (Droop Governor Generator 1 = 1%) dan (Droop Governor Generator 2 = 1%)



Gambar 28. Generator Trip Saat setting(Droop Governor Generator 1 = 1%) dan (Droop Governor Generator 2 = 1%)

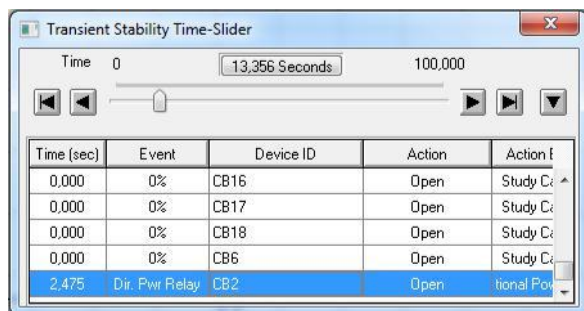
Pada Gambar diatas dapat menunjukkan bahwa saat sistem awal berjalan generator 2 mengalami daya balik sehingga relay daya balik memrintahkan CB 2 Bekerja Pada detik 2,113. sehingga sistem bekerja hanya disuplai dari 1 generator (generator 1) pada penambahan beban 0-25% pada detik ke 28 generator 1 masih mampu menanggung pelimpahan beban yang trip dari generator 2 namun pada saat penambahan 25-75% generator 1 mengalami over kapasitas sehingga relay daya balik memerintahkan CB 1 untuk bekerja CB 1 Pada detik 47,011 memutuskan generator dari sistem sehingga terjadi trip pada kedua generator

- Analisa kinerja generator setelah pemasangan relay frekwensi dan relay daya balik (Droop Governor Generator 1 = 2%) dan (Droop Governor Generator 2 = 2%)

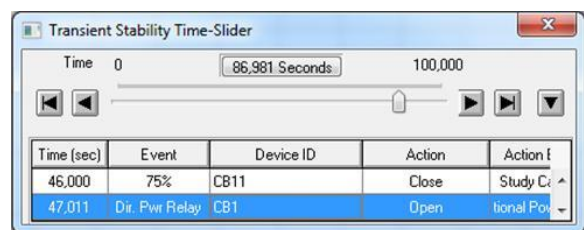


Gambar 29. Frekwensi BUS UTAMA Trip saat setting (Droop Governor Generator 1 = 2%) dan (Droop Governor Generator 2 = 2%)

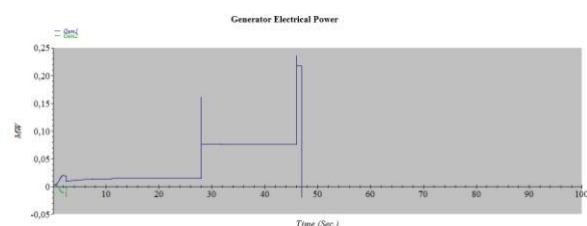
Pada Gambar diatas dapat menunjukkan frekwensi sistem pada BUS UTAMA Trip. Dan ID peralatan yang bekerja trip terjadinya trip ditunjukkan gambar di bawah ini



Gambar 30. bekerjanya CB 2 Pada detik 2,475 setting (Droop Governor Generator 1 = 2%) dan (Droop Governor Generator 2 = 2%)



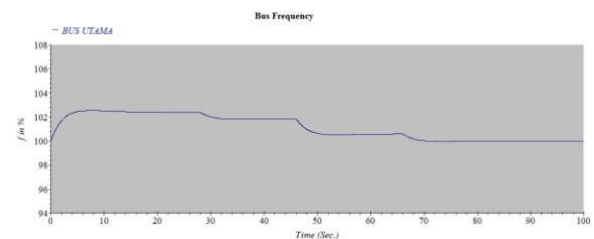
Gambar 31. bekerjanya CB 1 Pada detik 47,011 setting (Droop Governor Generator 1 = 2%) dan (Droop Governor Generator 2 = 2%)



Gambar 32. Generator Trip Saat setting (Droop Governor Generator 1 = 2%) dan (Droop Governor Generator 2 = 2%)

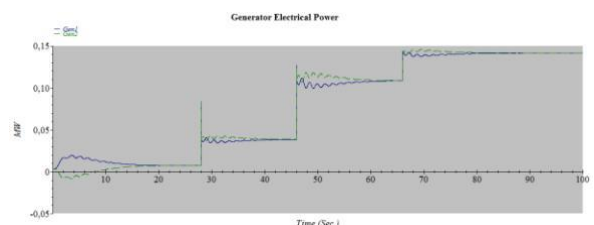
Pada Gambar diatas dapat menunjukkan bahwa saat sistem awal berjalan generator 2 mengalami daya balik sehingga relay daya balik memrintahkan CB 2 Bekerja Pada detik 2,475. sehingga sistem bekerja hanya disuplai dari 1 generator (generator 1) pada penambahan beban 0-25% pada detik ke 28 generator 1 masih mampu menanggung pelimpahan beban yang trip dari generator 2 namun pada saat penambahan 25-75% generator 1 mengalami over kapasitas sehingga relay daya balik memerintahkan CB 1 Pada detik 47,011 memutuskan generator dari sistem sehingga terjadi trip pada kedua generator. Kejadian ini sama pada saat setting masing masing droop governor generator sebesar 1%

- Analisa kinerja generator setelah pemasangan relay frekwensi dan relay daya balik (Droop Governor Generator 1 = 3%) dan (Droop Governor Generator 2 = 3%)



Gambar 33. Frekwensi BUS UTAMA normal saat setting (Droop Governor Generator 1 = 3%) dan (Droop Governor Generator 2 = 3%)

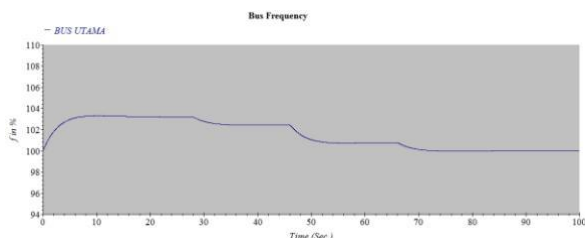
Pada Gambar diatas dapat menunjukkan frekwensi sistem pada BUS UTAMA normal. Dan tidak ada peralatan /CB yang trip pada settingan droop governor ini



Gambar 34. Pembebanan normal (Droop Governor Generator 1 = 3%) dan (Droop Governor Generator 2 = 3%)

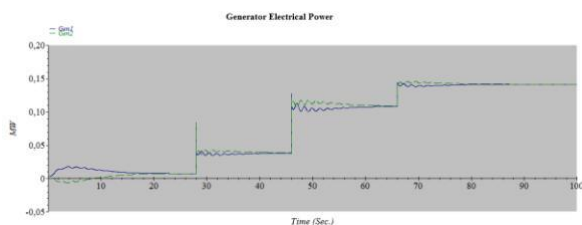
Pada Gambar diatas dapat menunjukkan bahwa saat sistem awal beban 0% berjalan hingga sistem 100% beban penuh pembagian beban selalu terjadi setiap saat penambahan beban dan tidak adanya relay yang bekerja. berdasarkan simulasi ini menunjukkan settingan ini bekerja dengan baik

- Analisa kinerja generator setelah pemasangan relay frekwensi dan relay daya balik (Droop Governor Generator 1 = 4%) dan (Droop Governor Generator 2=4%)



Gambar 35. Frekwensi BUS UTAMA normal saat setting (Droop Governor Generator 1 = 4%) dan (Droop Governor Generator 2 = 4%)

Pada Gambar diatas dapat menunjukkan frekwensi sistem pada BUS UTAMA normal. Dan tidak ada peralatan /CB yang trip pada settingan droop governor ini

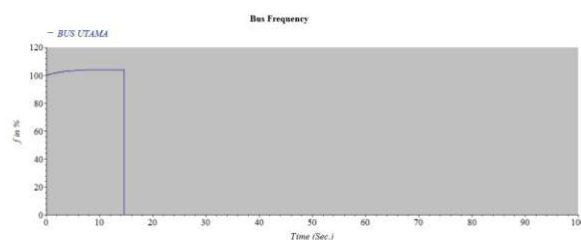


Gambar 36. Pembebanan norma (Droop Governor Generator 1 = 4%) dan (Droop Governor Generator 2 = 4%)

Pada Gambar diatas dapat menunjukkan bahwa saat sistem awal beban 0% berjalan hingga sistem 100% beban penuh pembagian beban selalu terjadi setiap saat penambahan beban dan tidak adanya relay yang bekerja. berdasarkan simulasi ini menunjukkan settingan ini bekerja dengan baik. Sistem ini juga hampir sama saat setting droop masing masing generator disetting 3%

- Analisa kinerja generator setelah pemasangan relay frekwensi dan relay daya balik (Droop Governor

Generator 1 = 5%) dan (Droop Governor Generator 2=5%)

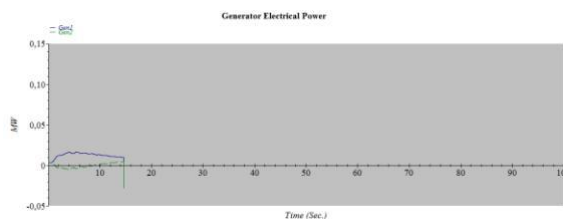


Gambar 37. Frekwensi BUS UTAMA normal trip setting (Droop Governor Generator 1 = 5%) dan (Droop Governor Generator 2 = 5%)

Pada Gambar diatas dapat menunjukkan frekwensi sistem pada BUS UTAMA Trip. Dan ID peralatan yang bekerja trip terjadinya trip ditunjukkan gambar di bawah ini

Time (sec)	Event	Device ID	Action	Action By
14,685	Freq. Relay	CB2	Open	equency Rel.
14,685	Freq. Relay	CB1	Open	equency Rel.

Gambar 38. bekerjanya CB 1 & CB2 Pada detik 14,685 setting (Droop Governor Generator 1 = 5%) dan (Droop Governor Generator 2 = 5%)



Gambar 39. Generator 1 & 2 Trip pada settingan (Droop Governor Generator 1 = 5%) dan (Droop Governor Generator 2 = 5%)

Pada Gambar diatas dapat menunjukkan bahwa saat sistem awal beban 0% frekwensi sistem mengalami over frekwensi pada BUS UTAMA yang mulanya 50 Hz Frekwensi menjadi 52 Hz hal ini dideteksi oleh relay Frekwensi (Over) dan dalam waktu 5 detik frekwensi tidak kunjung kembali normal sehingga pada detik 14,685 relay frekwensi memerintahkan CB1 dan CB2 untuk trip sehingga operasi kerja paralel dari generator gagal pada settingan droop ini

V. KESIMPULAN

A. Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut

1. Simulasi Penambahan beban pada generator kapal mentari Express menurunkan frekwensi yang awal mulanya naik dari nominalnya pada saat beban nol dan kemudian turun hingga beban 100% sistem
2. Pada saat setiap penambahan beban dengan setting persen governor sama awal penambahan beban masing masing generator mengalami pembanan yang berbeda dan mendapatkan porsi pembebanan yang sama saat sudah mencapai kondisi steady state/ Stabil
3. Setelah Pemasangan Relay Daya Balik dan Relay Frekwensi dan Setting persen governor paling baik pada settingan droop 3% dan droop 4% pada masing masing governor generator dikarenakan pada settingan ini tidak terjadi trip/ tidak terjadi gangguan baik dari sistem pembebanan maupun sistem osilasi frekwensi

B. Saran

Dari hasil analisis yang dilakukan pada penelitian tersebut penulis menyarankan untuk pengembangan sebagai berikut: Dilakukan perhitungan pada penyettingan relay daya balik maupaun relay frekwensi, dikarenakan pada penelitian ini penulis hanya menggunakan *example* software ETAP sebagai referensi setting relay daya balik dan relay frekwensi

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Muhammad Hajar Murdana, "Pembagian Beban Dengan Operasi Paralel Generator Set Yang Optimal Dengan Simulasi Beban Resistif", 2010 Depok : Universitas Indonesia
- [2] S. Benhamed, H. Ibrahim , K. Belmokhtar, H. Hosni, A. Iiınca, D. Rousse, A. Chandra, & D. Ramdenee "dynamic modeling of diesel generator based on electrical and mechanical aspect" 2016 IEEE Electrical Power and Energy Conference (EPEC)
- [3] Roy E. Cosse Jr. P. E & Tuyen P. Nguyen, P. E. "Gas Turbine Generator Governor Speed / Voltage Control For Non-Compex, Islanding Operating System" Copyright Material *IEEE*
- [4] Chin-I Wu, Jhin-yao siao, manh-tuan nguyen & ying-yi hong "Sudies On Operation Modes Of Diesel Genertors In A Standalone Power System" 2018 International Conference on Green Technology and Sustainable Development (*GTSD*)
- [5] Fahrul Rozi & Azriyenni Azhari Zakri, "Pemodelan *Resetting Reverse Power Relay* untuk Proteksi Generator", 2018 Jom FTEKNIK Volume 5 Edisi 1
- [6] Bahrama Sakti K.P, Gede Maharata Pemayun & Gede Dayana 2019, Studi analisis UFR (Under Frequency Relay Pada Gardu Induk Pesanggaran), Jurnal Spektrum Vol 6 No 2
- [7] A. R. Cooper, D. J. Morrow & K. D. R. Chambers." Development Of A Diesel Generating Set Model For Large Voltage And Frequency Transients " 2010 *IEEE*
- [8] M. K. G Lakshinta, K.D. M Jayawardhana, M. A. K. S Boralessa, W. G. R. W. Rohita , K.T. M. U. Hemapala, JR Lucas, Narendra De Silva , G. D. Porawangamage "Operation Of A Grid Connected Microgrid With A Variable Load Bus And Diesel Generator Set" 2017 International Conference on Innovations in Power and Advanced Computing Technologies [i- PACT2017]
- [9] Hamzah Hilal, M.A.M Oktaufik, Andhika Prastawa, Budi Prasetyo, Roynaldo Hutahaeen "Smart Diesel Generator to Compensate On - Grid PV Fluctuation: A Case Study in Sumba Island Indonesia" 2016 ICPERE
- [10] Xueyan Zhang, Lijun Fu, Fan Ma & Yi wang," An Emergency Cotrol Strategy For Isolated Power System Of Three- Phae Inverter And Diesel – Engine Generator Operating In Parallel" 2018 IEEE Acces