

BAB IV

HASIL DAN ANALISIS

4.1 Studi Kasus Simulasi Stabilitas Transien

Dalam penelitian tugas akhir ini akan dibahas tentang analisis stabilitas transien sistem tenaga listrik PT Pertamina RU IV Cilacap. Simulasi gangguan yang digunakan adalah lepasnya beberapa generator dari sistem tenaga listrik. Ketika generator lepas maka jumlah suplai daya aktif dari pembangkit lebih kecil daripada kebutuhan daya aktif beban. Penurunan suplai daya aktif tersebut mengakibatkan penurunan frekuensi sistem tenaga listrik. Setelah dirancang sistem pelepasan beban akibat penurunan frekuensi diharapkan frekuensi sistem tenaga listrik dapat kembali stabil. Untuk dapat mengamati perubahan stabilitas sistem tenaga listrik, setiap simulasi dijalankan selama 150 detik. Pada setiap studi kasus simulasi yang dijalankan, hal yang diamati adalah sebagai berikut:

- a. Perubahan daya aktif setiap generator yang masih bekerja.
- b. Perubahan frekuensi sistem tenaga listrik PT Pertamina RU IV Cilacap.
- c. Perubahan tegangan sistem tenaga listrik PT Pertamina RU IV Cilacap.
- d. Besar beban yang dilepas untuk menstabilkan frekuensi sistem.

Pada simulasi ini dilakukan perbandingan frekuensi saat terjadi gangguan tanpa pelepasan beban dan setelah pelepasan beban menggunakan UFR (*Under Frequency Relay*). Kondisi tersebut dilakukan dengan menggunakan pola operasi pembangkitan minimum generator 51G1 “OFF” dengan menggunakan studi kasus sebagai berikut:

Tabel 4.1 Studi kasus pembangkitan minimum dan generator trip

| No | Kasus | Keterangan |
|-----------|--------------|---|
| 1 | TS 1 | Pembangkitan minimum, Generator 51G2 (8 MW) Trip |
| 2 | TS 2 | Pembangkitan minimum, Generator 51G2 (8 MW) dan 51G3 (8 MW) Trip |
| 3 | TS 3 | Pembangkitan minimum, Generator 51G2 (8 MW), 51G3 (8 MW), dan 51G301 (8 MW) Trip |
| 4 | TS 4 | Pembangkitan minimum, Generator 051G101 (20 MW) Trip |
| 5 | TS 5 | Pembangkitan minimum, Generator 051G101 (20 MW), dan 051G102 (20 MW) Trip |
| 6 | TS 6 | Pembangkitan minimum, Generator 51G2 (8 MW), dan 051G103 (20 MW) Trip |
| 7 | TS 7 | Pembangkitan minimum, Generator 51G3 (8 MW), 51G301 (8 MW), dan 051G102 (20 MW) Trip |
| 8 | TS 8 | Pembangkitan minimum, Generator 51G2 (8 MW), 051G101 (20 MW), dan 051G103 (20 MW) Trip |
| 9 | TS 9 | Pembangkitan minimum, Generator 51G2 (8 MW), 51G3 (8 MW), 51G301 (8 MW), dan 051G102 (20 MW) Trip |
| 10 | TS 10 | Pembangkitan minimum, Generator 051G101 (20 MW), 051G102 (20 MW), dan 051G103 (20 MW) Trip |

4.2 Simulasi Stabilitas Transien

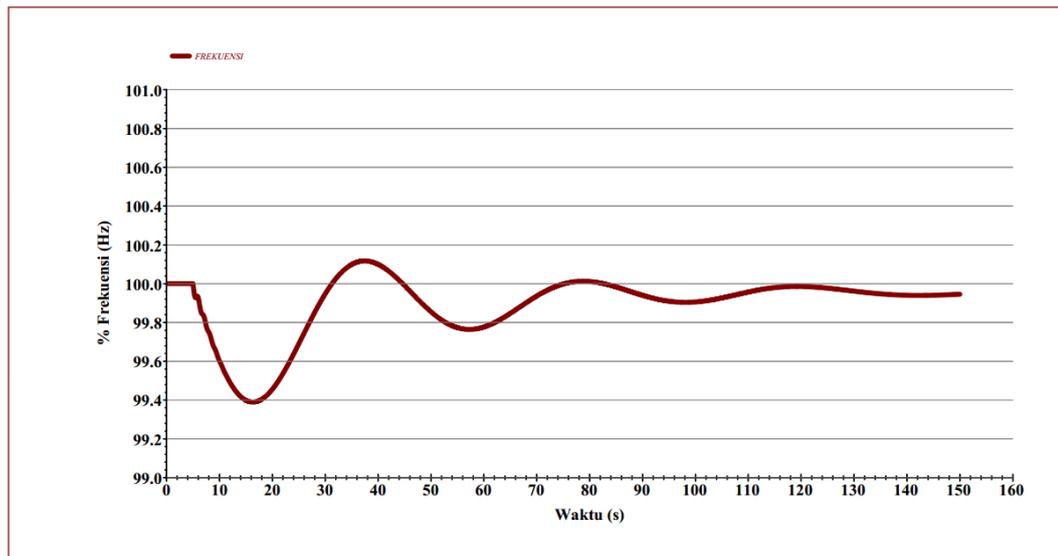
Pada tugas akhir ini membahas tentang stabilitas transien sistem tenaga listrik PT Pertamina RU IV Cilacap. Simulasi gangguan yang dilakukan adalah lepasnya beberapa generator pada saat pembangkitan minimum generator 51G1 “OFF”. Berikut akan dijelaskan mengenai hasil simulasi yang dilakukan serta analisis stabilitas transien sistem tenaga listrik PT Pertamina RU IV Cilacap.

4.2.1 Studi Kasus TS 1

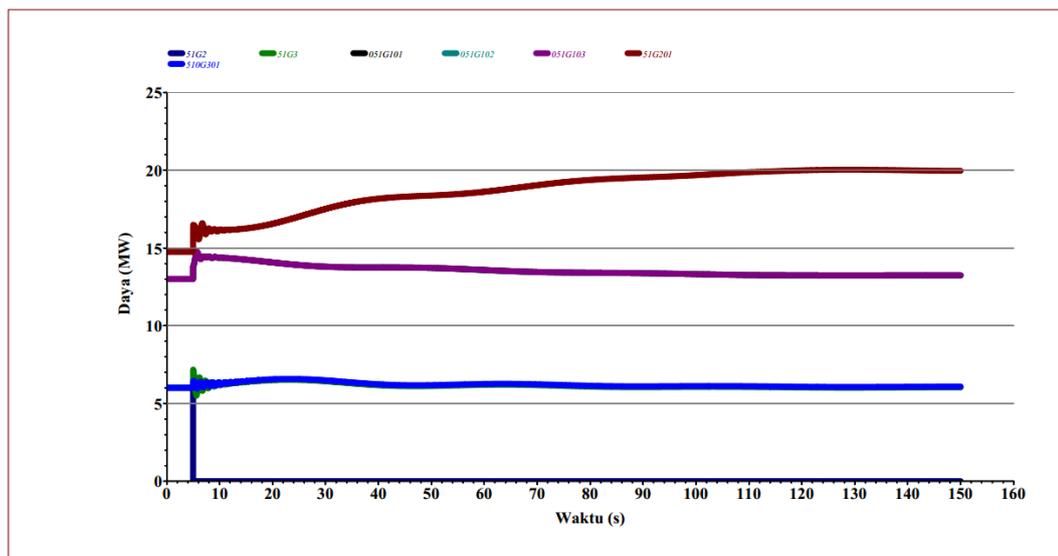
Pada studi kasus pertama terdapat satu unit generator lepas pada saat $t = 5s$ yaitu generator 51G2. Generator ini terletak di utilities I PT Pertamina RU IV Cilacap. Generator ini berkapasitas 8 MW dan rating operasi sebesar 6 MW dalam pembangkitan minimum generator 51G1 “OFF”. Berikut merupakan data hasil pengamatan pada saat simulasi stabilitas transien mengenai perubahan daya aktif generator, perubahan frekuensi, perubahan tegangan, dan pelepasan beban pada saat terjadi gangguan.

Tabel 4.2 Kondisi sistem tenaga listrik saat generator 51G2 trip

| No | Kondisi | Suplai Daya (MW) | Kebutuhan Beban (MW) | Frekuensi (Hz) | Tegangan (kV) | Beban Lepas (MW) |
|----|------------------|------------------|----------------------|----------------|---------------|------------------|
| 1 | Sebelum gangguan | 71,72 | 71,72 | 50 | 13,8 | ----- |
| 2 | Setelah gangguan | 71,77 | 71,72 | 49,97 | 13,8 | ----- |



Gambar 4.1 Respon frekuensi pada saat generator 51G2 trip

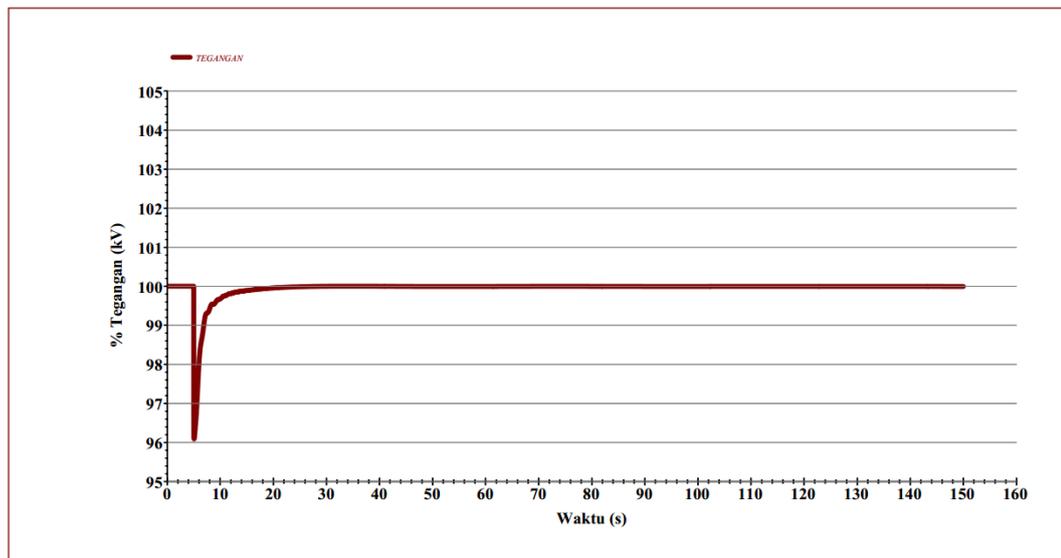


Gambar 4.2 Perubahan daya aktif generator 51G3, 51G301, 51G201, 051G101, 051G102, dan 051G103 pada saat generator 51G2 trip

Berdasarkan hasil simulasi stabilitas transien pada saat $t = 5$ s pertama generator 51G2 lepas pada kondisi pembangkitan minimum yaitu generator 51G1 “OFF”. Daya aktif yang dihasilkan pembangkit sesaat sebelum terjadi gangguan

pada saat $t = 5s$ adalah 71,72 MW dan beban yang harus disuplai tanpa memperhitungkan rugi-rugi daya adalah 71,72 MW. Pada saat terjadi gangguan generator 51G2 lepas pada saat $t = 5s$ yang menyuplai daya sebesar 6 MW, maka sistem kehilangan suplai daya sebesar 6 MW, sehingga beban yang ditanggung generator 51G2 harus ditanggung oleh generator yang bekerja dengan mode *isochronous* dalam simulasi ini adalah generator 51G201 yang mempunyai daya operasi dalam keadaan normal sebesar 14,72 MW dan governor pada simulasi ini diset maksimal 20 MW, akan tetapi karena harus menanggung beban generator 51G2 yang lepas sebesar 6 MW maka generator 51G201 harus bekerja maksimal yaitu dengan aksi dari governor untuk memenuhi suplai beban. Namun, karena daya operasi dari generator 51G201 sebesar 14,72 MW dan masih mempunyai *spinning reserve* 5,28 MW maka tidak mencukupi untuk menanggung beban dari generator 51G2 yang lepas, untuk memenuhi suplai beban tersebut maka generator yang berada pada mode *droop* harus ikut menanggung beban tersebut, sehingga dari peningkatan daya aktif yang dihasilkan generator menyebabkan frekuensi sistem mulai turun karena daya aktif yang dihasilkan melebihi rating kerja dari generator. Namun, penurunan frekuensi masih dalam batas normal sehingga pada studi kasus ini pemutus tenaga 52-A10 dan 52-C7 tidak bekerja sehingga mekanisme pelepasan beban tidak terjadi ketika terjadi gangguan generator 51G2 lepas. Sedangkan lonjakan daya aktif sesaat yang dihasilkan oleh pembangkit merupakan respon sesaat ketika generator 51G2 lepas. Setelah sistem tenaga listrik stabil, daya aktif yang digunakan untuk menyuplai kebutuhan beban yang dihasilkan dari generator yang berada pada mode *droop* masih di bawah rating maksimal generator.

Sedangkan untuk respon tegangan sendiri ketika terjadi gangguan generator 51G2 lepas pada saat $t = 5s$ adalah sebagai berikut:



Gambar 4.3 Respon tegangan pada saat generator 51G2 trip

Berdasarkan gambar 4.3 di atas dapat dijelaskan bahwa ketika terjadi gangguan generator 51G2 lepas pada kondisi pembangkitan minimum yaitu generator 51G1 “OFF” respon tegangan sesaat setelah ada gangguan mengalami osilasi turun sampai 96% namun hanya terjadi sesaat setelah gangguan. Selanjutnya untuk kondisi tegangan sistem kembali normal seperti semula yaitu 13,8 kV.

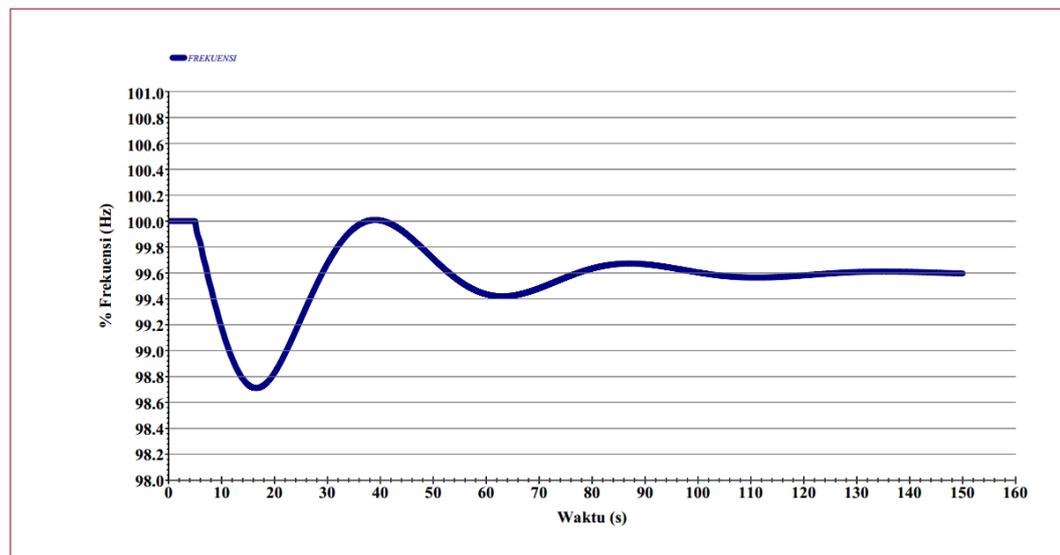
4.2.2 Studi Kasus TS 2

Pada studi kasus kedua terdapat dua unit generator lepas pada saat $t = 5s$ yaitu generator 51G2 dan 51G3. Generator ini terletak di utilities I PT Pertamina RU IV Cilacap. Generator ini berkapasitas masing-masing 8 MW dan rating operasi

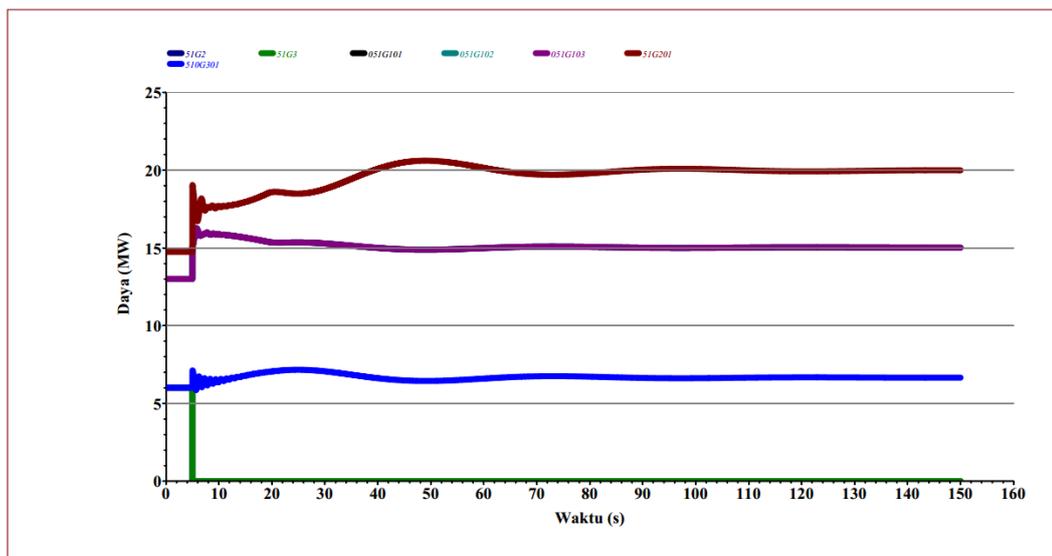
sebesar 6 MW dalam pembangkitan minimum generator 51G1 “OFF”. Berikut merupakan data hasil pengamatan pada saat simulasi stabilitas transien mengenai perubahan daya aktif, perubahan frekuensi, perubahan tegangan dan pelepasan beban pada saat terjadi gangguan.

Tabel 4.3 Kondisi sistem tenaga listrik saat generator 51G2 dan 51G3 trip

| No | Kondisi | Suplai Daya (MW) | Kebutuhan Beban (MW) | Frekuensi (Hz) | Tegangan (kV) | Beban Lepas (MW) |
|----|------------------|------------------|----------------------|----------------|---------------|------------------|
| 1 | Sebelum gangguan | 71,72 | 71,72 | 50 | 13,8 | ----- |
| 2 | Setelah gangguan | 71,67 | 71,72 | 49,80 | 13,04 | ----- |



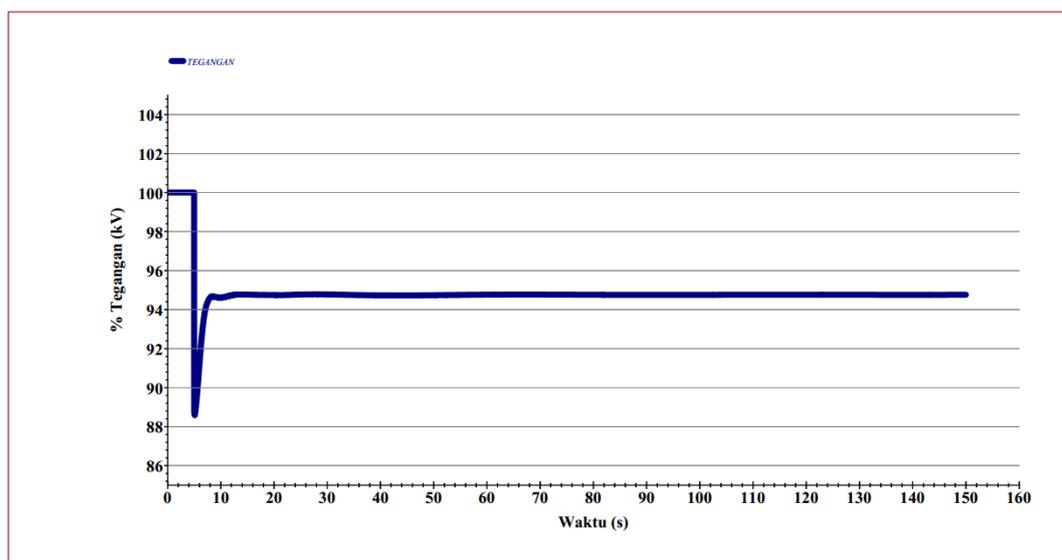
Gambar 4.4 Respon frekuensi pada saat generator 51G2 dan 51G3 trip



Gambar 4.5 Perubahan daya aktif generator 51G301, 51G201, 051G101, 051G102, dan 051G103 pada saat generator 51G2 dan 51G3 trip

Berdasarkan gambar 4.4 dan gambar 4.5 menunjukkan bahwa hasil simulasi pada studi kasus kedua ini terdapat dua unit generator lepas pada saat $t = 5s$ yang menyuplai daya masing-masing sebesar 6 MW. Sesuai dengan sifat dari generator 51G201 yang bekerja dengan mode *isochronous*, beban yang tadinya menjadi tanggungan generator 51G2 dan 51G3 harus tanggung oleh generator 51G201. Namun, karena pada pembangkitan normal generator tersebut sudah menyuplai daya sebesar 14,72 MW, maka sisa dari *spinning reserve* hanya tinggal 5,28 MW dan tidak cukup untuk menanggung beban yang dipikul oleh dua generator yang lepas. Sehingga kekurangan daya aktif untuk beban tersebut harus disuplai oleh generator yang beroperasi dengan mode *droop*, sesuai gambar 4.5 diatas menunjukkan bahwa semua generator mode *droop* ketika generator *isochronous* telah beroperasi dalam batas maksimum, maka kebutuhan beban akan ditanggung oleh generator *droop*. Peningkatan suplai daya aktif yang dihasilkan oleh generator

tersebut meningkat namun peningkatan tersebut masih dalam batas rating operasi kerja dari generator, sehingga peningkatan dari batas operasi generator yang menyebabkan penurunan frekuensi sistem tenaga listrik hingga 99,6% atau 49,8 Hz. Namun, penurunan frekuensi pada studi kasus generator lepas pada kondisi pembangkitan minimum generator 51G1 “OFF” masih dalam batas normal, sehingga mekanisme pelepasan beban tidak bekerja. Artinya, sistem tenaga listrik PT Pertamina RU IV Cilacap ketika terjadi gangguan dalam kondisi pembangkitan minimum generator 51G1 “OFF” yaitu berupa lepasnya generator 51G2 dan 51G3 yang menyuplai daya masing-masing sebesar 6 MW tidak mengakibatkan sistem memberlakukan pelepasan beban. Sedangkan untuk respon tegangan sistem pada saat terjadi gangguan berupa lepasnya generator 51G2 dan 51G3 yang berada di utilities I PT Pertamina RU IV Cilacap pada saat $t = 5s$ adalah seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.6 di bawah ini.



Gambar 4.6 Respon tegangan pada saat generator 51G2 dan 51G3 trip

Lepasnya generator 51G2 dan 51G3 pada kondisi pembangkitan minimum generator 51G1 “*OFF*” menyebabkan respon tegangan sistem sesuai yang ditunjukkan pada gambar 4.6 di atas. Gambar 4.6 memperlihatkan bahwa respon tegangan sistem ketika terjadi generator lepas yang menyuplai total daya aktif sebesar 12 MW, pada saat $t = 5$ s respon tegangan minimum mencapai 88% atau 12,14 kV dari tegangan nominal sistem sebesar 13.8 kV. Penurunan tegangan sistem tersebut merupakan respon sesaat ketika sistem kehilangan total daya sebesar 12 MW, selanjutnya tegangan sistem kembali naik dan mencapai kestabilan pada nilai 94,5% atau 13,04 kV namun masih dalam batas standar nominal sistem tenaga listrik PT Pertamina RU IV Cilacap.

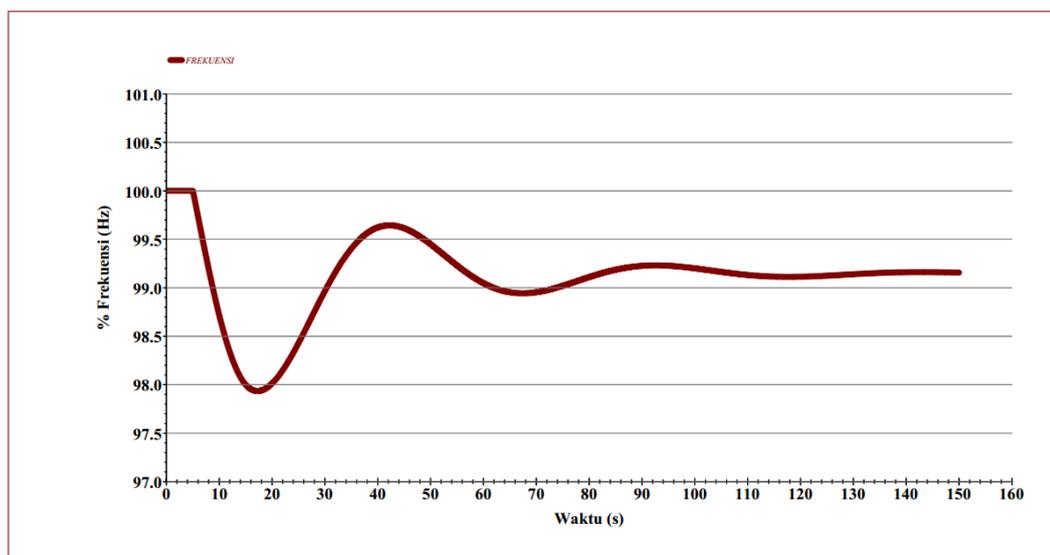
4.2.3 Studi Kasus TS 3

Pada studi kasus ketiga terdapat tiga unit generator lepas pada saat $t = 5$ s yaitu generator 51G2, 51G3 dan 51G301. Generator ini terletak di utilities I dan IIA PT Pertamina RU IV Cilacap. Generator ini berkapasitas masing-masing 8 MW dan rating operasi sebesar 6 MW dalam pembangkitan minimum generator 51G1 “*OFF*”. Berikut merupakan data hasil pengamatan pada saat simulasi stabilitas transien mengenai perubahan daya aktif, perubahan frekuensi, perubahan tegangan dan pelepasan beban pada saat terjadi gangguan.

Tabel 4.4 Kondisi sistem tenaga listrik saat generator 51G2, 51G3, dan 51G301 trip

| No | Kondisi | Suplai Daya (MW) | Kebutuhan Beban (MW) | Frekuensi (Hz) | Tegangan (kV) | Beban Lepas (MW) |
|----|-------------------------|------------------|----------------------|----------------|---------------|------------------|
| 1 | Sebelum gangguan | 71,72 | 71,72 | 50 | 13,8 | ----- |
| 2 | Setelah gangguan | 71,71 | 71,72 | 49,58 | 13,07 | ----- |
| 3 | Setelah pelepasan beban | 69,67 | 69,32 | 49,66 | 13,07 | 2,4 |

a. Tanpa pelepasan beban

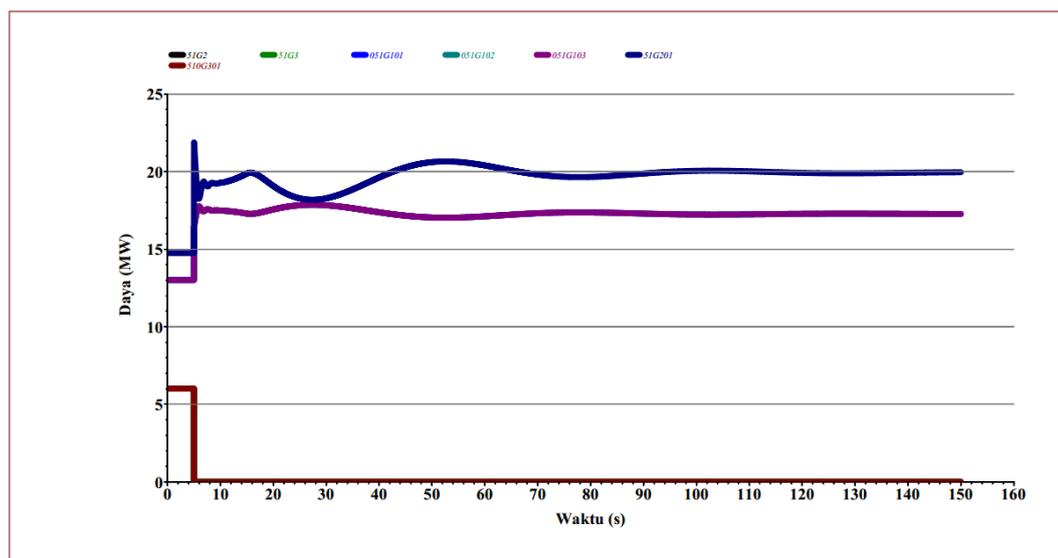


Gambar 4.7 Respon frekuensi pada saat generator 51G2, 51G3, dan 51G301 trip tanpa pelepasan beban

Lepasnya tiga generator pada utilities I dan IIA yang masing-masing mempunyai rating operasi sebesar 6 MW dalam pembangkitan minimum generator 51G1 “OFF” menyebabkan penurunan frekuensi ditunjukkan pada gambar 4.7 di

atas. Laju penurunan frekuensi ketika generator yang ada di utilities I dan IIA lepas pada saat $t = 5s$ mencapai nilai 97,9% atau 48,95 Hz. Gambar 4.7 juga menunjukkan bahwa ketika terjadi penurunan frekuensi melebihi batas minimum standar kerja yang diperbolehkan meski tanpa pelepasan beban namun frekuensi sistem tenaga listrik berangsur kembali normal dan mencapai stabil pada nilai 99,2% atau sekitar 49,6 Hz. Hal ini dikarenakan suplai daya yang hilang akibat lepasnya ketiga generator pada utilities I dan IIA mengakibatkan sistem kehilangan suplai daya sebesar 18 MW, namun kebutuhan suplai daya yang ditanggung masing-masing generator 51G2, 51G3, dan 51G301 dapat ditanggung oleh generator 51G201 yang merupakan generator referensi dengan rating operasi 14,72 MW dengan mode operasi *isochronous*, karena harus menanggung suplai beban ketiga generator yang lepas maka aksi dari governor untuk memenuhi kebutuhan beban telah mencapai batas maksimum pada generator 51G201 yaitu mencapai 20 MW, karena generator referensi sudah mencapai batas maksimum dari rating operasi generator, maka generator yang dalam mode operasi *droop* yang masih beroperasi ikut menanggung kekurangan suplai daya kebutuhan beban, karena aksi dari governor masing-masing generator yang masih beroperasi inilah yang mengakibatkan kebutuhan suplai daya ke beban terpenuhi sehingga ketika semua generator yang ada di utilities I dan IIA lepas suplai daya untuk kebutuhan beban terpenuhi dan frekuensi sistem kembali normal pada batas minimum standar kerja yang diperbolehkan. Akan tetapi, meski kebutuhan suplai beban terpenuhi dan frekuensi sistem berangsur normal pada batas yang diperbolehkan, menurut standar ANSI/IEEE C37.106-1987 ketika nilai frekuensi mencapai batas minimum standar yang diperbolehkan, mekanisme

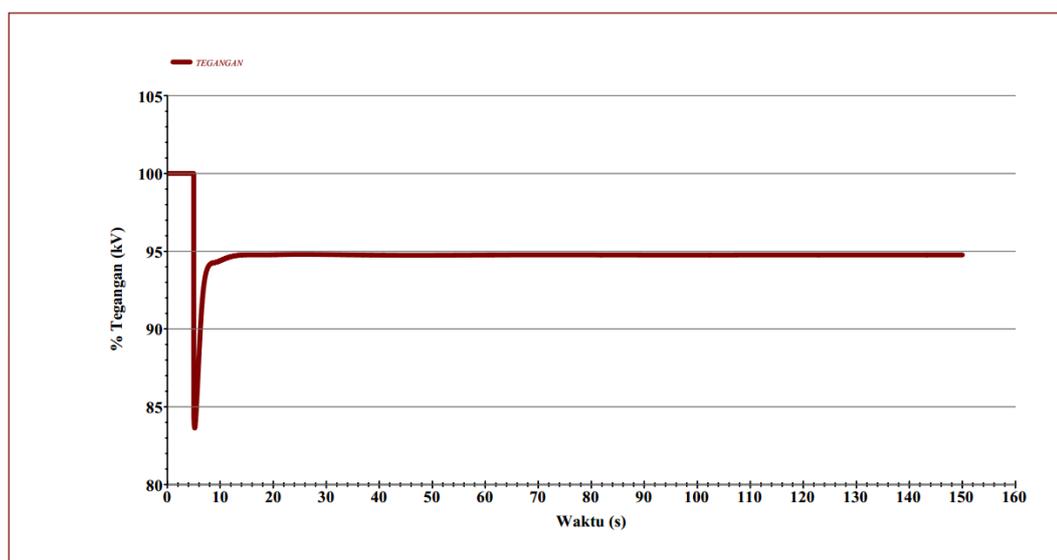
pelepasan beban tahap pertama dilakukan pada saat frekuensi mencapai nilai batas minimum dan selang waktu tunda UFR $t = 0,1s$. Berdasarkan gambar 4.7 di atas yang menyebabkan penurunan frekuensi mencapai batas minimum yaitu 98% atau 49,00 Hz adalah karena suplai daya untuk kebutuhan beban harus ditanggung generator referensi dan generator mode *droop* lainnya yang memerlukan waktu tertentu untuk dapat memenuhi suplai daya kebutuhan beban, sehingga ketika frekuensi mencapai batas minimum lebih dari 0,1s. Pemenuhan kebutuhan suplai daya ke beban ditunjukkan pada gambar 4.8 di bawah ini.



Gambar 4.8 Perubahan daya aktif generator 51G201, 051G101, 051G102, dan 051G103 pada saat generator 51G2, 51G3 dan 51G301 trip tanpa pelepasan beban

Pada gambar 4.8 menunjukkan bahwa perubahan daya aktif generetor yang masih beroperasi mengalami osilasi untuk memenuhi kebutuhan suplai daya yang lepas dari utilities I dan IIA. Generator referensi 51G201 bekerja dalam batas maksimum dan generator yang masih dalam keadaan normal bekerja dengan rating

13 MW, setelah ketiga generator lepas pada utilities I dan IIA, generator 051G101, 051G102, dan 051G103 harus bekerja diatas rating operasi yaitu 18 MW namun masih dalam batas kemampuan generator yaitu 20 MW. Peningkatan daya aktif generator tersebut menyebabkan frekuensi sistem turun karena daya aktif yang dihasilkan melebihi rating kerja generator namun masih dalam batas normal kemampuan generator. Semua kondisi di atas merupakan kondisi tanpa pelepasan beban, selanjutnya untuk perubahan tegangan pada saat semua pembangkit yang ada di utilities I dan IIA lepas dan tanpa pelepasan beban adalah sebagai berikut:

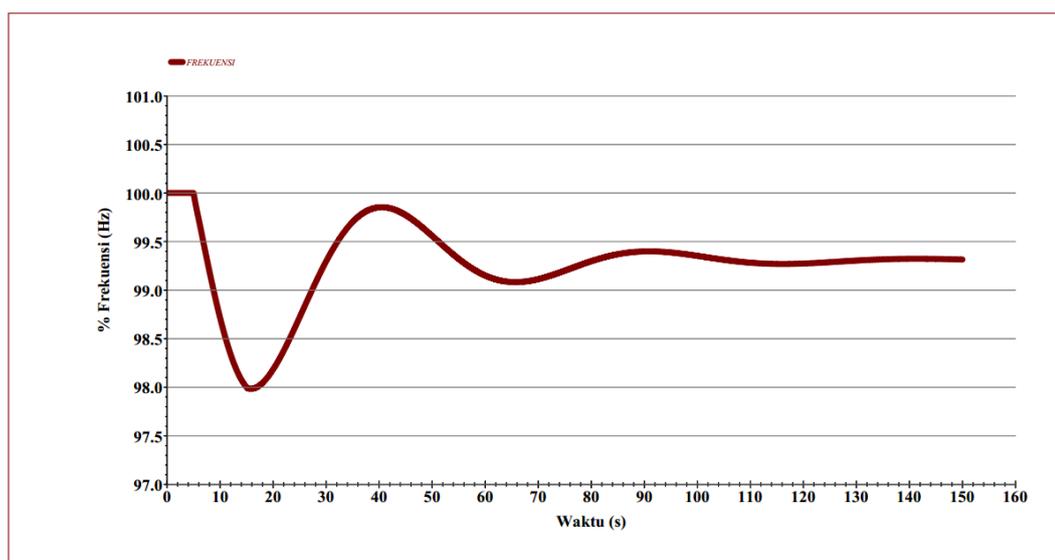


Gambar 4.9 Respon tegangan pada saat generator 51G2, 51G3 dan 51G301 trip tanpa pelepasan beban

Respon tegangan sistem pada saat lepasnya generator 51G2, 51G3, dan 51G301 adalah seperti yang ditunjukkan gambar 4.9 di atas. Dalam kondisi pembangkitan minimum generator 51G1 “OFF” respon tegangan sesaat mencapai batas minimum 83% atau 11,45 kV dari tegangan sistem 13,8 kV, namun hal

tersebut hanya respon sesaat yang kemudian tegangan sistem kembali normal dan mencapai kestabilan pada nilai 95% atau 13,11 kV di bawah tegangan nominal 13,8 kV namun masih dalam batas aman sistem tenaga listrik.

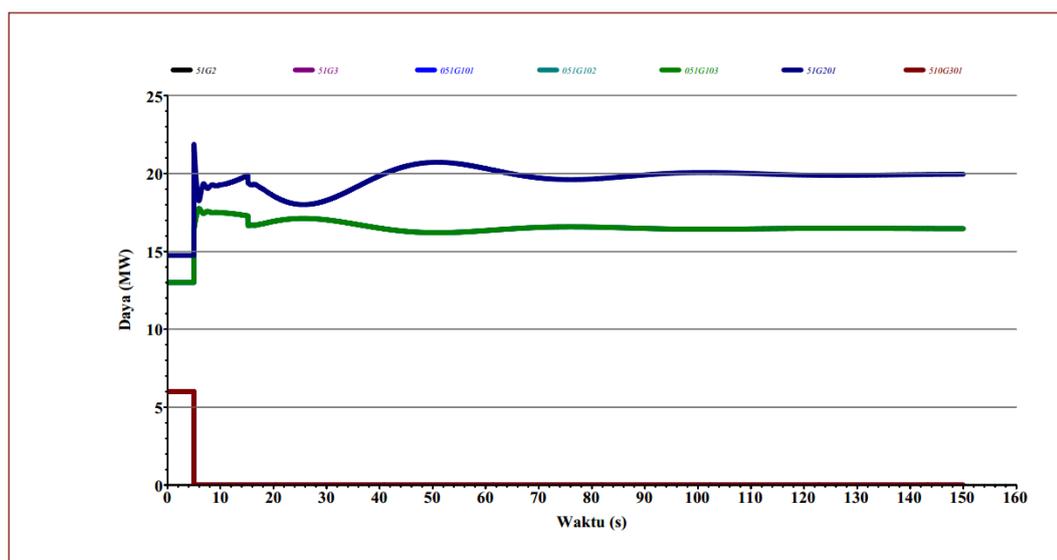
b. Setelah pelepasan beban



Gambar 4.10 Respon frekuensi pada saat generator 51G2, 51G3 dan 51G301 trip setelah pelepasan beban

Kondisi sistem tenaga listrik ditunjukkan pada gambar 4.10 di atas bahwa pada saat $t = 15$ s frekuensi mencapai batas nilai minimum yaitu 98% atau 49 Hz. Berdasarkan standar ANSI/IEEE C37.106-1987, pelepasan beban tahap pertama dilakukan UFR dengan waktu tunda $t = 0,1$ s sehingga pelepasan beban tahap pertama dilakukan pada saat $t_1 = 15,1$ s sesuai dengan standar PT Pertamina RU IV Cilacap pelepasan beban tahap pertama dilakukan pada saat frekuensi sistem tenaga listrik turun mencapai nilai minimum yaitu 98% atau 49 Hz. Beban yang dilepas tahap pertama adalah sebesar 2,4 MW. Setelah dilakukan pelepasan beban frekuensi

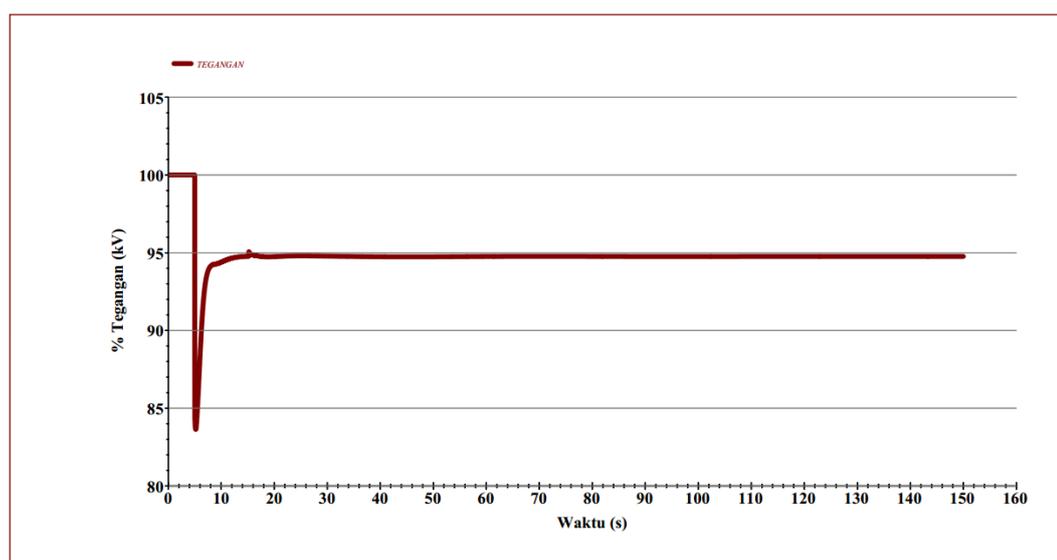
langsung bergerak menuju batas kestabilan minimum dan mencapai nilai kestabilan pada nilai 99,32% atau 49,66 Hz. Setelah dilakukannya pelepasan beban sebesar 2,4 MW pada saat $t_1 = 15,1s$ suplai daya dari masing-masing generator yang masih beroperasi ditunjukkan pada gambar 4.11 di bawah ini.



Gambar 4.11 Perubahan daya aktif generator 51G201, 051G101, 051G102, dan 051G103 pada saat generator 51G2, 51G3 dan 51G301 trip setelah pelepasan beban

Perubahan daya aktif generator setelah dilakukan pelepasan beban tahap pertama sebesar 2,4 MW menunjukkan bahwa generator referensi 51G201 yang beroperasi pada mode *isochronous* masih beroperasi secara maksimum untuk memenuhi suplai daya kebutuhan beban. Sedangkan untuk ketiga generator yang beroperasi pada mode *droop* dengan rating operasi sebesar 13 MW masih beroperasi melebihi rating operasi kerja yaitu 17 MW. Lepasnya pemutus tenaga 52-C7 dan 52-A10 pada saat $t_1 = 15,1s$ menyebabkan suplai daya aktif yang dibangkitkan dari generator *droop* yang masih beroperasi mengalami penurunan,

namun generator tersebut masih beroperasi di atas batas maksimum rating operasinya sehingga frekuensi sistem mengalami pergerakan menuju kestabilan namun hanya sampai pada nilai kestabilan 99,32% atau 49,66 Hz. Sedangkan untuk respon tegangan sistem tenaga listrik setelah dilakukan pelepasan beban sebesar 2,4 MW pada saat $t_1 = 15,1s$ ditunjukkan pada gambar 4.12 di bawah ini.



Gambar 4.12 Respon tegangan pada saat generator 51G2, 51G3 dan 51G301 trip setelah pelepasan beban

Lepasnya pemutus tenaga 52-C7 dan 52-A10 yang memikul beban sebesar 2,4 MW tidak berpengaruh untuk kondisi tegangan sistem. Tegangan sistem masih berada pada nilai 95% atau 13,11 kV dari tegangan nominal sistem 13,8 kV.

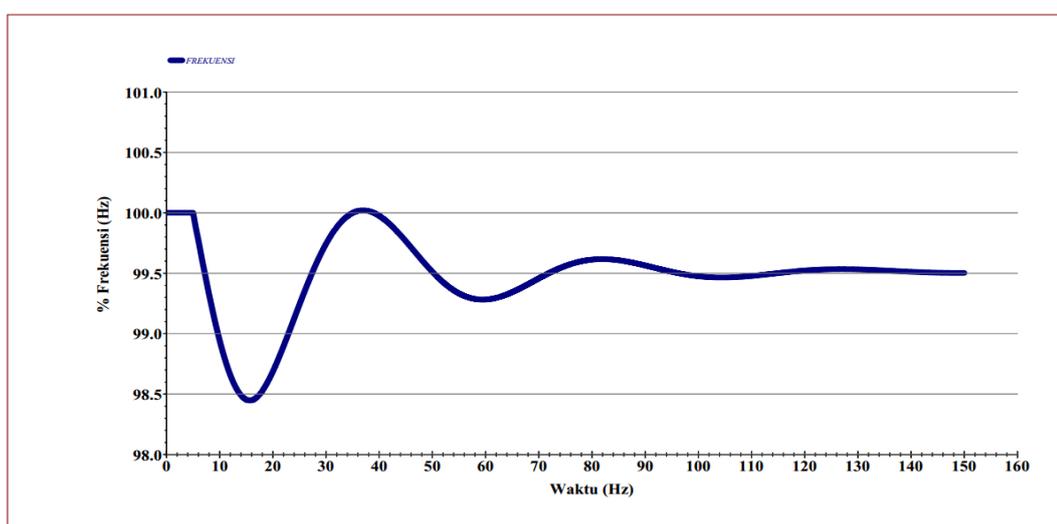
4.2.4 Studi Kasus TS 4

Pada studi kasus ke empat terdapat satu unit generator lepas pada saat $t = 5s$ yaitu generator 051G101. Generator ini terletak di utilities II PT Pertamina RU IV

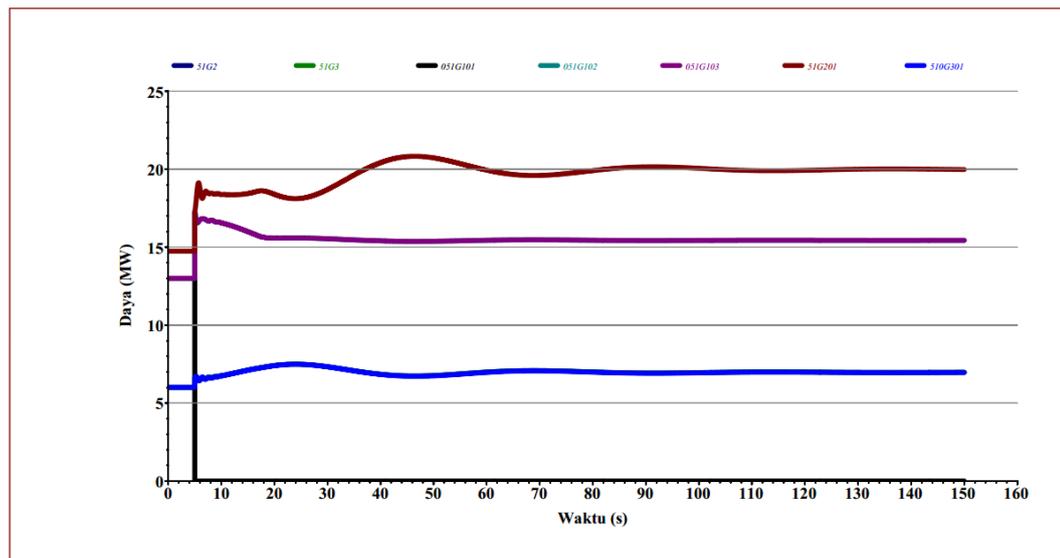
Cilacap. Generator ini berkapasitas 20 MW dan rating operasi sebesar 13 MW dalam pembangkitan minimum generator 51G1 “OFF”. Berikut merupakan data hasil pengamatan pada saat simulasi stabilitas transien mengenai perubahan daya aktif generator, perubahan frekuensi, perubahan tegangan, dan pelepasan beban pada saat terjadi gangguan.

Tabel 4.5 Kondisi sistem tenaga listrik saat generator 051G101 trip

| No | Kondisi | Suplai Daya (MW) | Kebutuhan Beban (MW) | Frekuensi (Hz) | Tegangan (kV) | Beban Lepas (MW) |
|----|------------------|------------------|----------------------|----------------|---------------|------------------|
| 1 | Sebelum gangguan | 71,72 | 71,72 | 50 | 13,8 | ----- |
| 2 | Setelah gangguan | 69,39 | 71,72 | 49,75 | 13,8 | ----- |



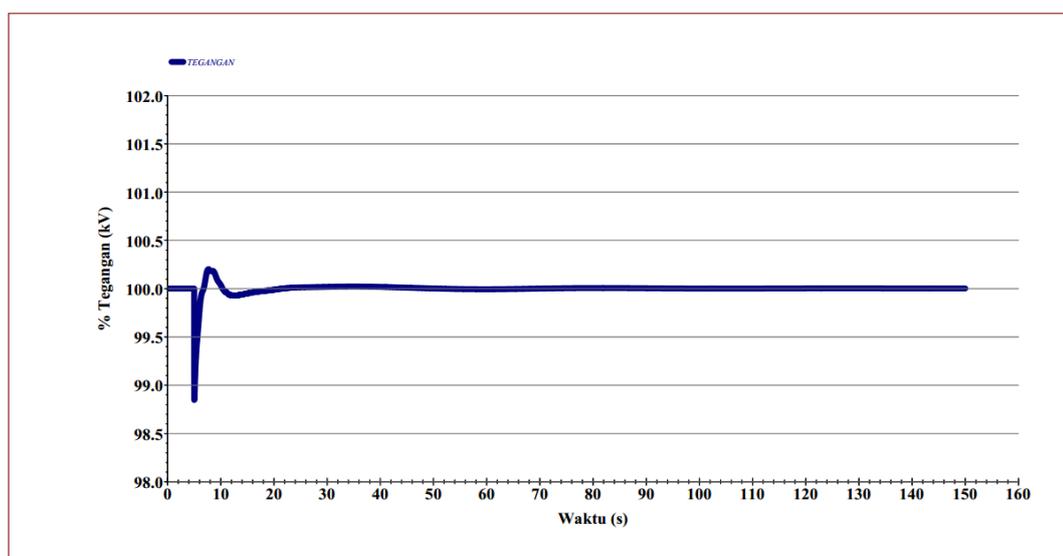
Gambar 4.13 Respon frekuensi pada saat generator 051G101 trip



Gambar 4.14 Perubahan daya aktif generator 51G2, 51G3, 51G301, 51G201, 051G102, dan 051G103 pada saat generator 051G101 trip

Berdasarkan hasil simulasi pada saat $t = 5$ s pertama generator 051G101 lepas pada kondisi pembangkitan minimum yaitu generator 51G1 “OFF”. Daya aktif yang dihasilkan pembangkit sesaat sebelum terjadi gangguan pada saat $t = 5$ s adalah 71,72 MW dan beban yang harus disuplai tanpa memperhitungkan rugi-rugi daya adalah 71,72 MW. Pada saat terjadi gangguan generator 051G101 lepas pada saat $t = 5$ s yang menyuplai daya sebesar 13 MW, maka sistem kehilangan suplai daya sebesar 13 MW, sehingga beban yang ditanggung generator 051G101 harus ditanggung oleh generator yang bekerja dengan mode *isochronous* dalam simulasi ini adalah generator 51G201 yang mempunyai daya operasi dalam keadaan normal sebesar 14,72 MW dan governor pada simulasi ini diset maksimal 20 MW, akan tetapi karena harus menanggung beban generator 051G101 yang lepas sebesar 13 MW maka generator 51G201 harus bekerja maksimal yaitu dengan aksi dari governor untuk memenuhi suplai beban. Namun, karena daya operasi dari generator

51G201 sebesar 14,72 MW dan masih mempunyai *spinning reserve* 5,28 MW maka tidak mencukupi untuk menanggung beban dari generator 051G101 yang lepas, untuk memenuhi suplai beban tersebut maka generator yang berada pada mode *droop* harus ikut menanggung beban tersebut, sehingga dari peningkatan daya aktif yang dihasilkan generator menyebabkan frekuensi sistem mulai turun karena daya aktif yang dihasilkan melebihi rating kerja dari generator. Namun, penurunan frekuensi masih dalam batas normal sehingga pada studi kasus ini pemutus tenaga 52-A10 dan 52-C7 tidak bekerja sehingga mekanisme pelepasan beban tidak terjadi ketika terjadi gangguan generator 051G101 lepas. Sedangkan lonjakan daya aktif sesaat yang dihasilkan oleh pembangkit merupakan respon sesaat ketika generator 051G101 lepas. Setelah sistem tenaga listrik stabil, daya aktif yang digunakan untuk menyuplai kebutuhan beban yang dihasilkan dari generator yang berada pada mode *droop* masih di bawah dari kapasitas maksimum generator namun di atas rating operasi kerja generator.



Gambar 4.15 Respon tegangan pada saat generator 051G101 trip

Sedangkan untuk respon dari tegangan ketika terjadi gangguan generator 051G101 lepas pada saat $t = 5s$ adalah ditunjukkan oleh gambar 4.15 di atas. Respon tegangan sesaat setelah ada gangguan mengalami osilasi turun sampai batas minimum 98,8% dan berosilasi sampai batas maksimum 100,3% namun hanya terjadi sesaat setelah gangguan. Selanjutnya untuk kondisi tegangan sistem kembali normal seperti semula yaitu 100% atau 13,8 kV.

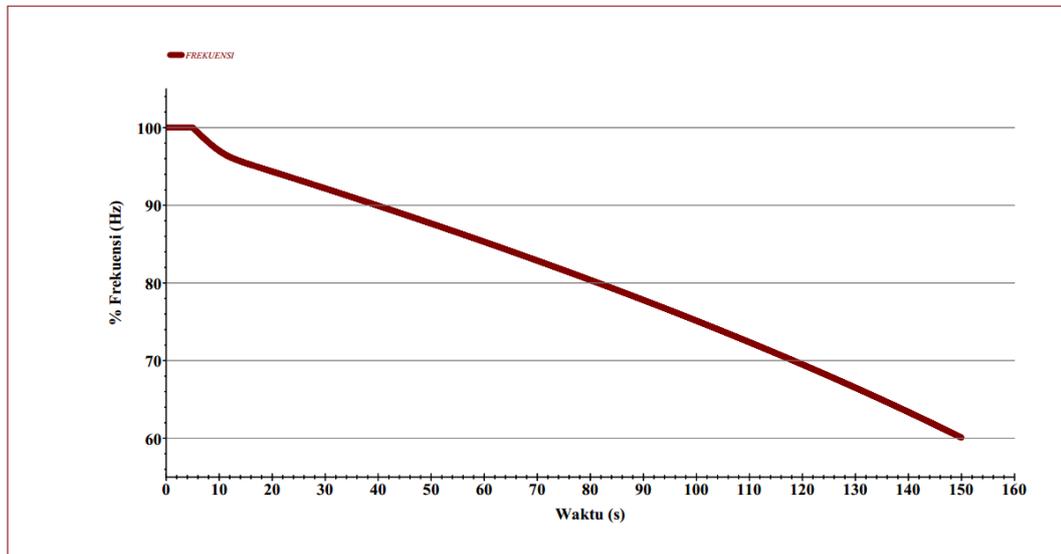
4.2.5 Studi Kasus TS 5

Pada studi kasus kelima terdapat dua unit generator lepas yaitu 051G101 dan 051G102. Berikut merupakan data hasil pengamatan pada saat simulasi stabilitas transien mengenai perubahan daya aktif generator, perubahan frekuensi, perubahan tegangan, dan pelepasan beban pada saat terjadi gangguan.

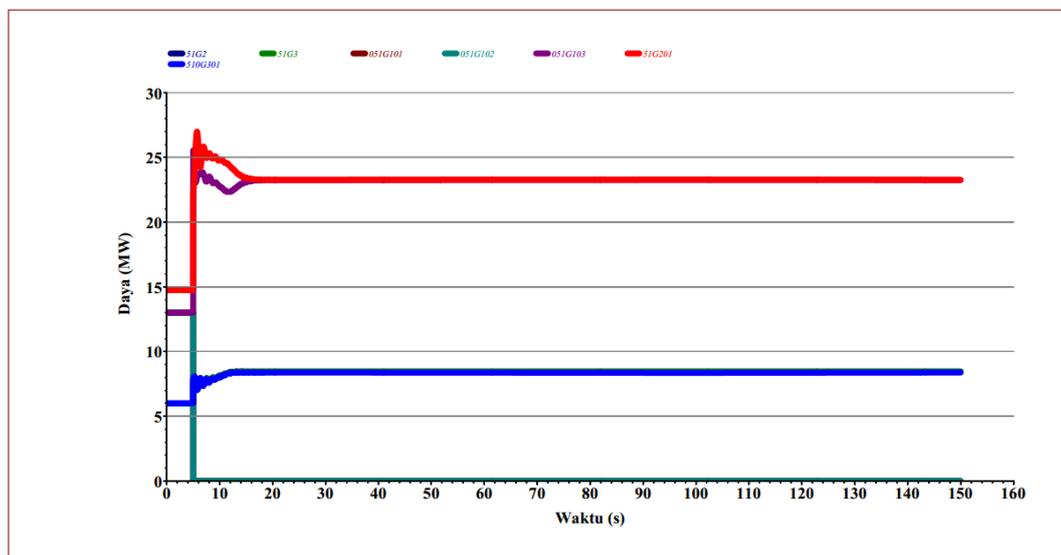
Tabel 4.6 Kondisi sistem tenaga listrik saat generator 051G101 dan 051G102 trip

| No | Kondisi | Suplai Daya (MW) | Kebutuhan Beban (MW) | Frekuensi (Hz) | Tegangan (kV) | Beban Lepas (MW) |
|----|-------------------------|------------------|----------------------|----------------|---------------|------------------|
| 1 | Sebelum gangguan | 71,72 | 71,72 | 50 | 13,8 | ----- |
| 2 | Setelah gangguan | 71,76 | 71,72 | 30,03 | 13,8 | ----- |
| 3 | Setelah pelepasan beban | 52,06 | 53,74 | 49,96 | 13,8 | 17,98 |

a. Tanpa pelepasan beban

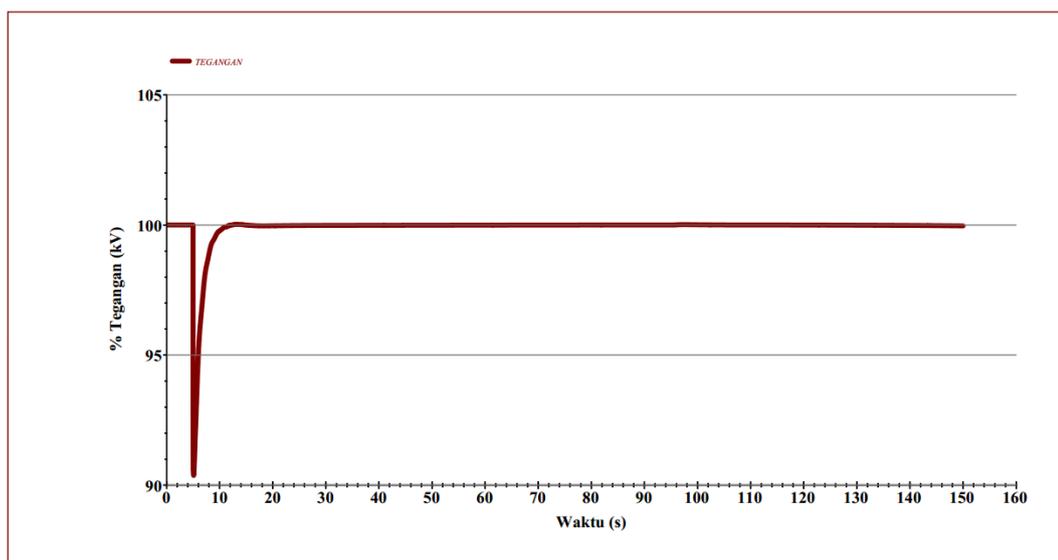


Gambar 4.16 Respon frekuensi pada saat generator 051G101 dan 051G102 trip tanpa pelepasan beban



Gambar 4.17 Perubahan daya aktif generator 51G2, 51G3, 51G301, 51G201, dan 051G103 pada saat generator 051G101, 051G102 trip tanpa pelepasan beban

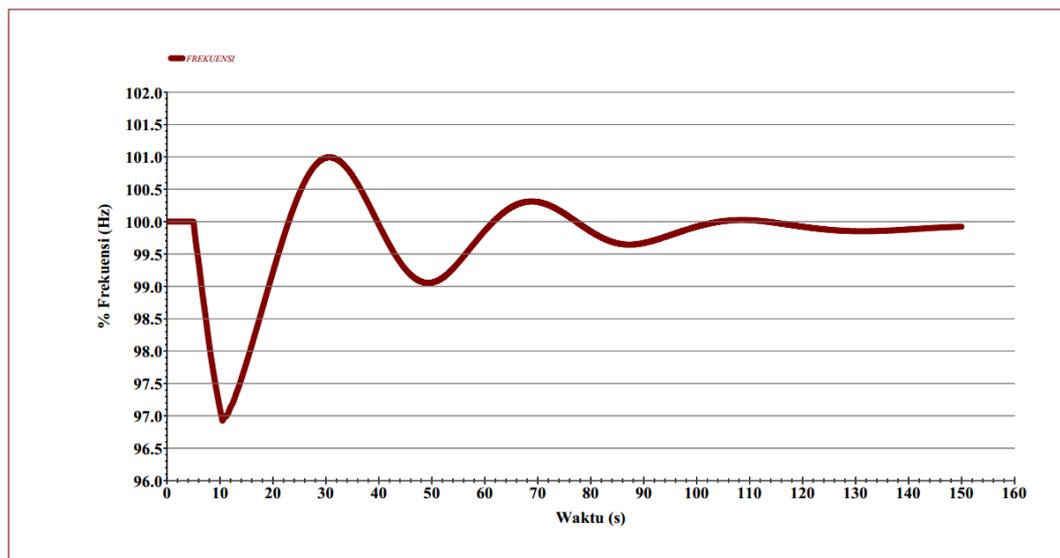
Lepasnya kedua generator pada utilities II pada studi kasus ini membuat sistem tenaga listrik kehilangan daya aktif sebesar 26 MW. Hal ini menyebabkan terjadinya penurunan suplai daya aktif dari pembangkit utilities II yang menyebabkan generator yang masih beroperasi berada pada kondisi tidak normal ditunjukkan pada gambar 4.17 di atas. Semua generator yang masih beroperasi beresilasi untuk memenuhi suplai kebutuhan beban namun melebihi batas kemampuan dari generator, sehingga pada gambar 4.16 menunjukkan laju penurunan frekuensi sistem begitu cepat dan terus menurun hingga pada saat $t = 150$ s frekuensi turun mencapai 60% atau 30 Hz. Frekuensi sistem dipastikan akan turun secara terus-menerus, sehingga menyebabkan sistem tenaga listrik akan terganggu atas penurunan frekuensi tersebut bahkan bisa terjadi pemadaman total (*black out*). Sedangkan untuk respon tegangan sistem ketika terjadi gangguan dua generator pada utilities II lepas ditunjukkan gambar 4.18 di bawah ini.



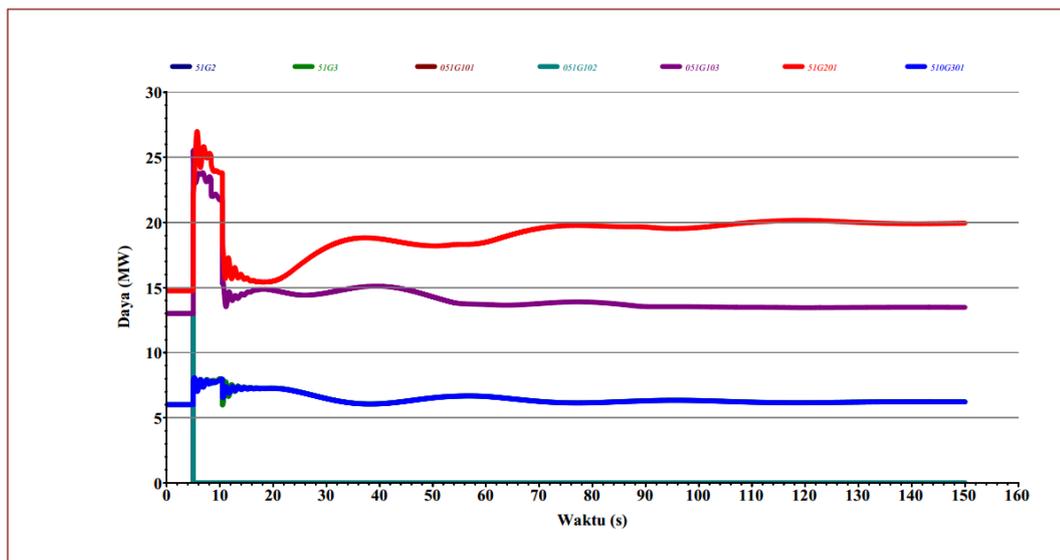
Gambar 4.18 Respon tegangan pada saat generator 051G101 dan 051G102 trip tanpa pelepasan beban

Berdasarkan gambar 4.18 di atas dapat dijelaskan bahwa ketika terjadi gangguan generator 051G101 dan 051G102 lepas pada kondisi pembangkitan minimum yaitu generator 51G1 “OFF” respon tegangan sesaat setelah ada gangguan mengalami osilasi turun sampai batas minimum 90% atau 12,42 kV namun hanya terjadi sesaat setelah gangguan. Selanjutnya untuk kondisi tegangan sistem kembali normal seperti semula yaitu 13,8 kV sesuai standar sistem tenaga listrik PT Pertamina RU IV Cilacap.

b. Setelah pelepasan beban



Gambar 4.19 Respon frekuensi pada saat generator 051G101 dan 051G102 trip setelah pelepasan beban

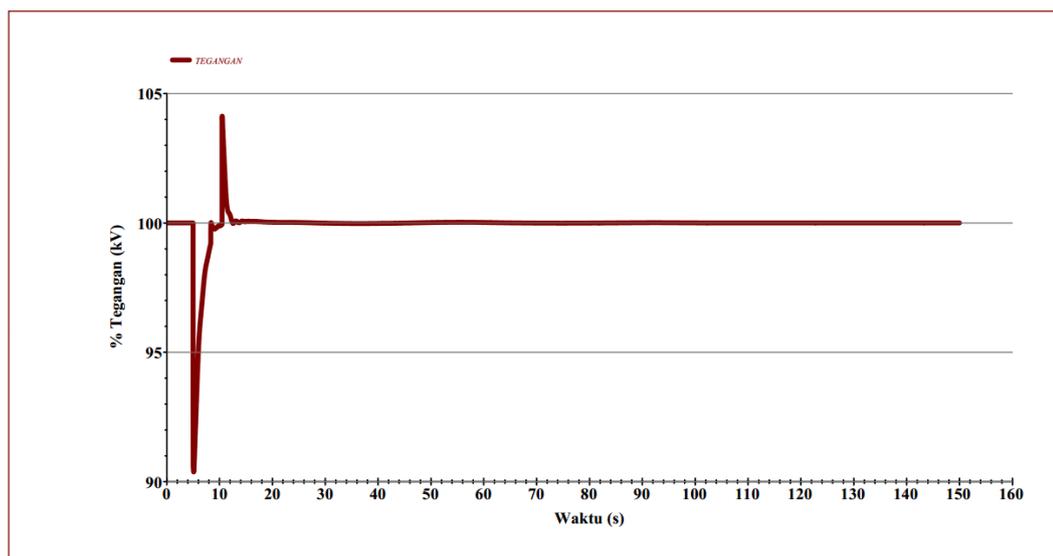


Gambar 4.20 Perubahan daya aktif generator 51G2, 51G3, 51G301, 51G201, dan 051G103 pada saat generator 051G101, 051G102 trip setelah pelepasan beban

Lepasnya generator 051G101 dan 051G102 yang menyuplai daya aktif sebesar 26 MW mengakibatkan meningkatnya suplai daya aktif semua generator yang masih beroperasi baik itu generator 51G201 yang merupakan generator referensi dengan mode operasi *isochronous* maupun generator yang beroperasi secara *droop*. Peningkatan daya aktif yang terjadi hingga 25 MW untuk generator yang berkapasitas 20 MW dan peningkatan sebesar 8 MW untuk generator yang berkapasitas 8 MW. Peningkatan daya aktif yang melebihi rating kerja generator menyebabkan frekuensi terus-menerus turun ditunjukkan gambar 4.16 di atas. Penurunan frekuensi hingga mencapai batas minimum yaitu pada saat $t = 8,2s$ mencapai nilai 98% atau 49 Hz. Berdasarkan standar ANSI/IEEE C37.106-1987, pelepasan beban tahap pertama dilakukan UFR (*Under Frequency Relay*) dengan waktu tunda $t = 0,1s$ sehingga pelepasan beban tahap pertama dilakukan pada saat $t_1 = 8,3s$ sebesar 2,4 MW. Sesuai dengan standar PT Pertamina RU IV Cilacap

pelepasan beban tahap pertama dilakukan pada saat nilai frekuensi mencapai nilai minimum 98% atau 49 Hz. Setelah dilakukan pelepasan beban sebesar 2,4 MW pada saat $t_1 = 8,3s$ frekuensi belum kembali normal dan mengalami penurunan sampai batas minimum pelepasan beban tahap kedua yaitu 97% atau 48,5 Hz pada saat $t = 10,3s$ sehingga menurut standar sistem tenaga listrik PT Pertamina RU IV Cilacap dilakukan pelepasan beban tahap kedua selang tunda waktu 0,1s sesuai pengaturan UFR, jadi pelepasan beban tahap kedua dilakukan pada saat $t_2 = 10,4s$ sebesar 15,58 MW. Gambar 4.19 di atas menunjukkan bahwa setelah dilakukan pelepasan beban tahap kedua respon frekuensi berangsur mencapai nilai kestabilan pada batas aman standar operasi yang diperbolehkan sistem tenaga listrik PT Pertamina RU IV Cilacap. Hal itu dikarenakan setelah dilakukan pelepasan beban tahap pertama sebesar 2,4 MW dan pelepasan beban tahap kedua sebesar 15,58 MW sehingga total beban yang di lepas sebesar 17,98 MW. Pelepasan beban tersebut mengurangi suplai daya aktif yang harus ditanggung seluruh generator yang masih beroperasi. Gambar 4.20 di atas menunjukkan perubahan daya aktif generator setelah dilakukan pelepasan beban untuk generator 51G201 yang merupakan generator referensi masih beroperasi dalam batas maksimum yang merupakan generator yang beroperasi dalam mode *isochronous* untuk memenuhi kebutuhan beban, sedangkan untuk generator yang beroperasi dalam mode *droop* beroperasi pada batas maksimum dari rating operasi sesuai pengaturan dari governor. Sehingga dengan generator beroperasi sesuai dengan rating kerja maka frekuensi mencapai nilai kestabilan 99,9% atau 49,95 Hz. Sedangkan untuk respon tegangan sistem setelah terjadi gangguan dua generator utilities II lepas yaitu generator 051G101

dan 051G102 dan setelah dilakukan pelepasan beban tahap pertama pada saat $t_1 = 8,3s$ sebesar 2,4 MW dan pelepasan beban pada saat $t_2 = 10,4s$ sebesar 15,58 MW ditunjukkan pada gambar 4.21 di bawah ini.



Gambar 4.21 Respon tegangan pada saat generator 051G101 dan 051G102 trip setelah pelepasan beban

Lepasnya generator 051G101 dan 051G102 mengakibatkan respon tegangan ditunjukkan pada gambar 4.21 di atas, dapat dijelaskan bahwa ketika terjadi gangguan generator 051G101 dan 051G102 lepas pada kondisi pembangkitan minimum yaitu generator 51G1 “OFF” respon tegangan sesaat setelah ada gangguan mengalami osilasi turun sampai batas minimum 90% atau 12,42 kV namun hanya terjadi sesaat setelah gangguan. Selanjutnya setelah dilakukan pelepasan beban tahap pertama dan pelepasan beban tahap kedua respon tegangan menunjukkan osilasi yang meningkat hingga mencapai batas maksimum 104% atau 14,35 kV lonjakan tersebut merupakan respon ketika terjadi pelepasan

beban tahap pertama dan kedua sebesar 17,98 MW. Selanjutnya untuk kondisi tegangan sistem kembali normal seperti semula yaitu 13,8 kV sesuai standar sistem tenaga listrik PT Pertamina RU IV Cilacap.

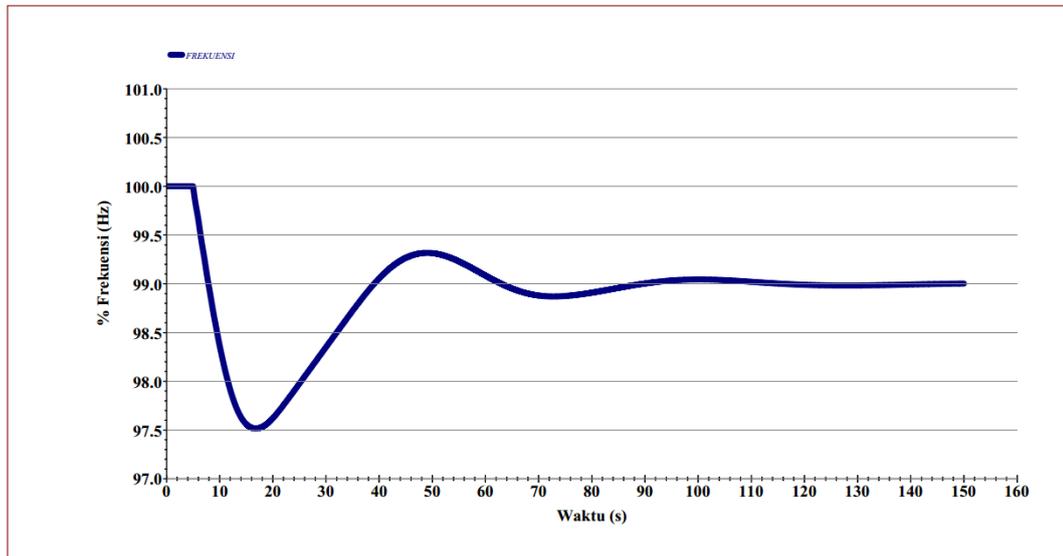
4.2.6 Studi Kasus TS 6

Pada studi kasus ke enam terdapat dua unit generator lepas pada saat $t = 5s$ yaitu generator 51G2 dan 051G103. Generator ini berkapasitas masing-masing 8 MW dan 20 MW dan rating operasi sebesar 6 MW dan 13 MW dalam pembangkitan minimum generator 51G1 “OFF”. Berikut merupakan data hasil pengamatan pada saat simulasi stabilitas transien mengenai perubahan daya aktif generator, perubahan frekuensi, perubahan tegangan, dan pelepasan beban pada saat terjadi gangguan.

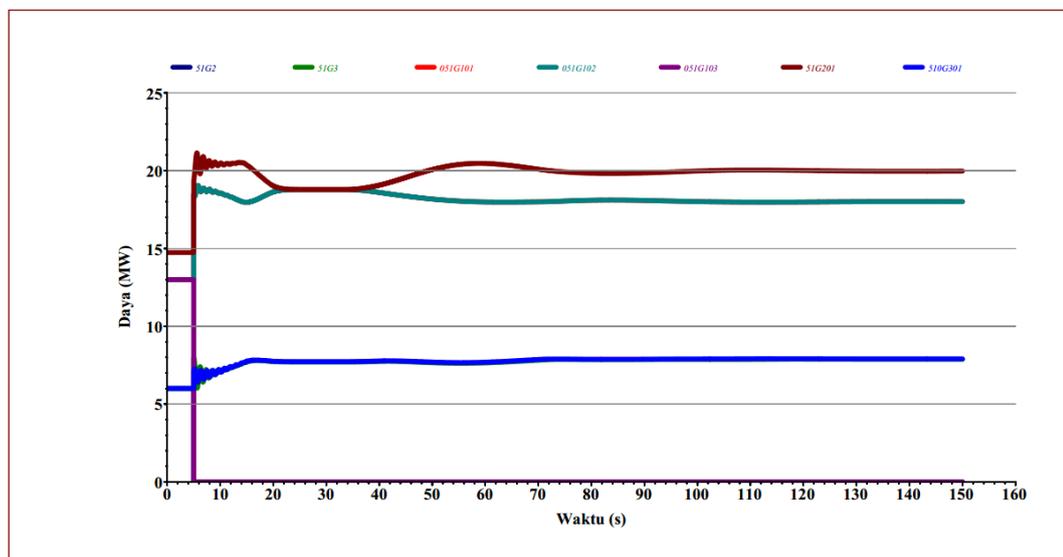
Tabel 4.7 Kondisi sistem tenaga listrik saat generator 51G2 dan 051G103 trip

| No | Kondisi | Suplai Daya (MW) | Kebutuhan Beban (MW) | Frekuensi (Hz) | Tegangan (kV) | Beban Lepas (MW) |
|----|-------------------------|------------------|----------------------|----------------|---------------|------------------|
| 1 | Sebelum gangguan | 71,72 | 71,72 | 50 | 13,8 | ----- |
| 2 | Setelah gangguan | 66,98 | 71,72 | 49,50 | 13,8 | ----- |
| 3 | Setelah pelepasan beban | 69,75 | 69,32 | 49,60 | 13,8 | 2,4 |

a. Tanpa pelepasan beban

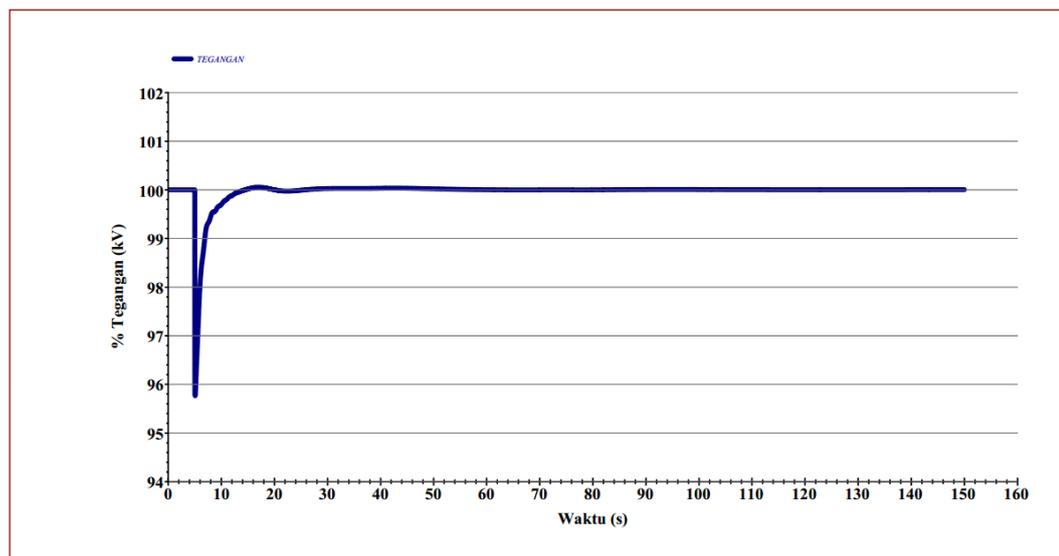


Gambar 4.22 Respon frekuensi pada saat generator 51G2 dan 051G103 trip tanpa pelepasan beban



Gambar 4.23 Perubahan daya aktif generator 51G3, 51G301, 51G201, 051G101, dan 051G102 pada saat generator 51G2 dan 051G103 trip tanpa pelepasan beban

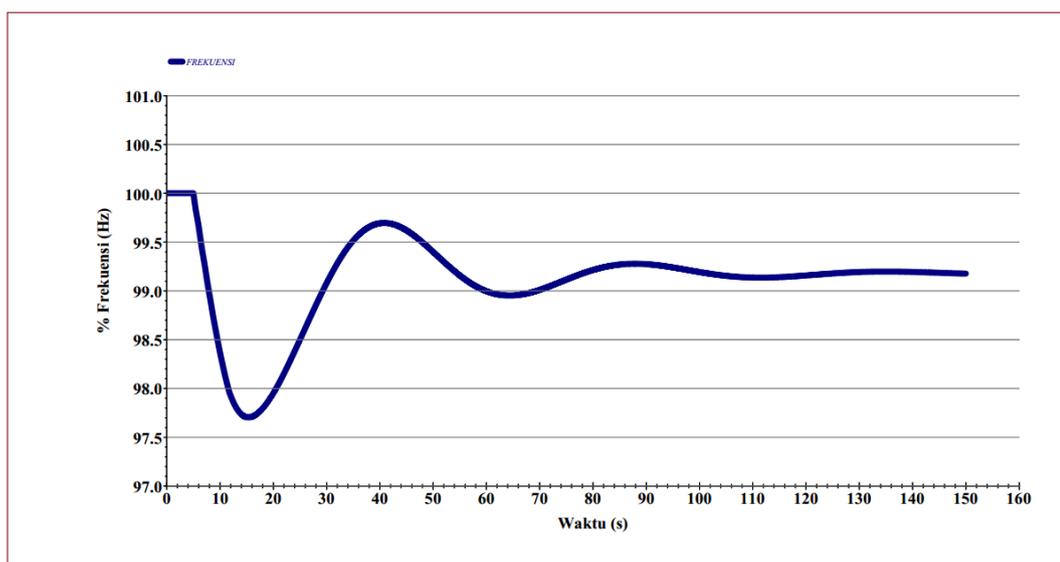
Lepasnya generator 51G2 dan 051G103 pada utilities I dan utilities II pada studi kasus ini membuat sistem tenaga listrik kehilangan daya aktif sebesar 19 MW. Hal ini menyebabkan terjadi penurunan suplai daya dari pembangkit utilities I dan II yang menyebabkan generator yang beroperasi berada pada kondisi di atas rating operasi generator tersebut ditunjukkan gambar 4.23 di atas. Semua generator yang masih beroperasi beresilasi untuk memenuhi suplai kebutuhan beban namun melebihi batas rating operasi dari generator sehingga pada gambar 4.22 menunjukkan laju penurunan frekuensi sistem mencapai nilai 97,5% atau 48,75 Hz. Namun, frekuensi sistem berangsur normal dan mencapai kondisi stabil pada nilai 99% atau 49,5 Hz. Sedangkan untuk respon tegangan sistem ketika terjadi gangguan generator 51G2 dan 051G103 adalah ditunjukkan gambar 4.24 di bawah ini.



Gambar 4.24 Respon tegangan pada saat generator 51G2 dan 051G103 trip tanpa pelepasan beban

Respon tegangan pada saat generator 51G2 dan 051G103 lepas, dari gambar 4.24 di atas dapat dijelaskan bahwa ketika terjadi gangguan dalam kondisi pembangkitan minimum yaitu generator 51G1 “OFF” respon tegangan sesaat setelah ada gangguan mengalami osilasi turun sampai batas minimum 95,8% atau 13,22 kV namun hanya terjadi sesaat setelah gangguan. Selanjutnya untuk kondisi tegangan sistem kembali normal seperti semula yaitu 13,8 kV sesuai standar sistem tenaga listrik PT Pertamina RU IV Cilacap.

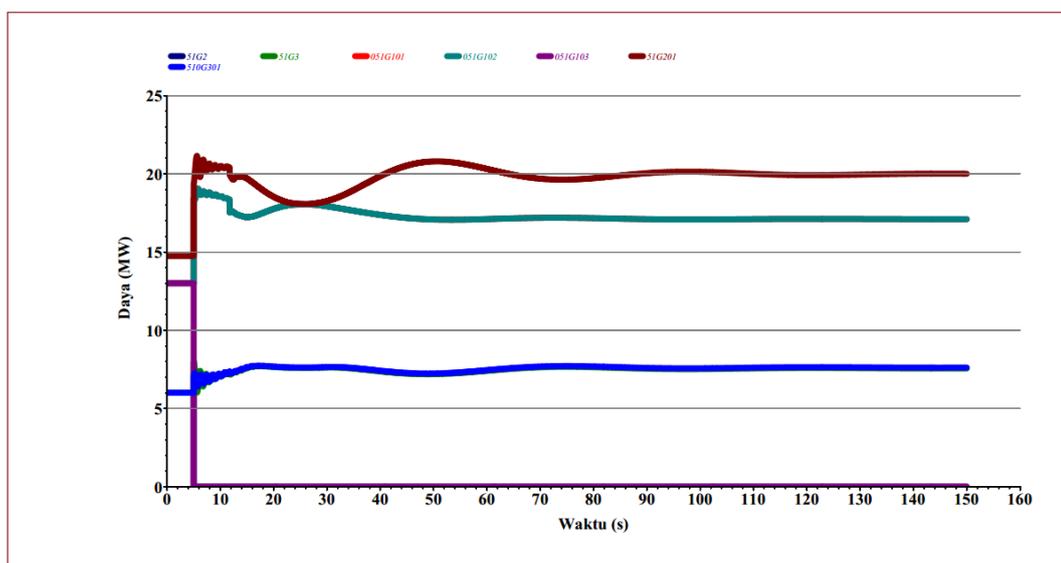
b. Setelah pelepasan beban



Gambar 4.25 Respon frekuensi pada saat generator 51G2 dan 051G103 trip setelah pelepasan beban

Lepasnya generator 51G2 dan 051G103 ditunjukkan gambar 4.25 di atas terjadi penurunan frekuensi hingga batas minimum 98% atau 49 Hz pada saat $t = 11,6s$. Berdasarkan standar ANSI/IEEE C37.106-1987, pelepasan beban tahap pertama dilakukan UFR (*Under Frequency Relay*) dengan tunda waktu $t = 0,1s$

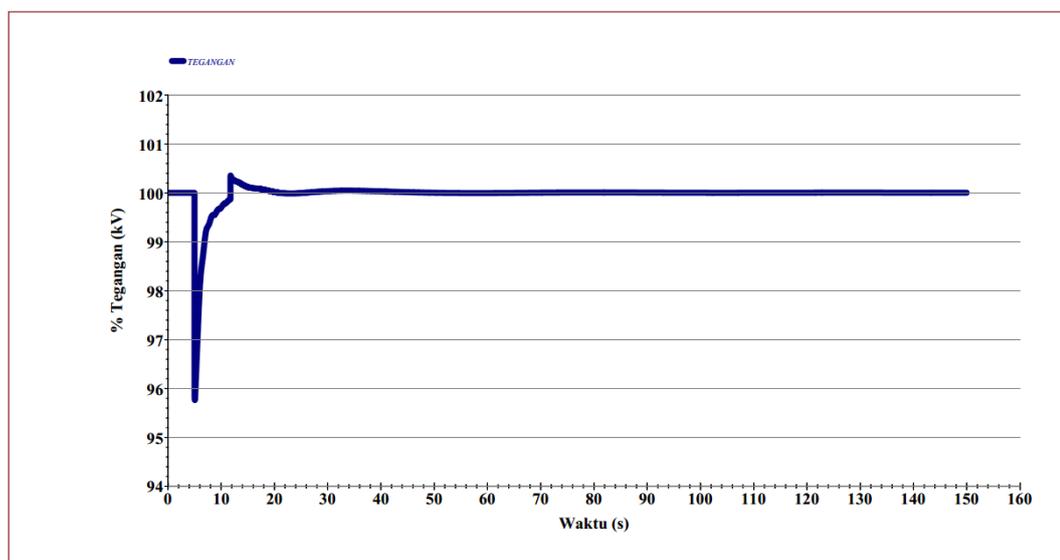
sehingga pelepasan beban tahap pertama dilakukan pada saat $t_1 = 11,7s$ sebesar 2,4 MW. Sesuai dengan standar PT Pertamina RU IV Cilacap pelepasan beban tahap pertama dilakukan pada saat frekuensi mencapai batas minimum 98% atau 49 Hz. Setelah dilakukan pelepasan beban tahap pertama sebesar 2,4 MW frekuensi ditunjukkan sesuai gambar 4.25 di atas, menunjukkan bahwa respon frekuensi berangsur kembali menuju titik kestabilan dan stabil pada nilai 99,2% atau 49,6 Hz. Frekuensi tidak mencapai titik kestabilan 100% ditunjukkan pada gambar 4.26 di bawah ini dijelaskan bahwa masih ada generator yang beroperasi di atas rating dari generator, namun masih di bawah batas kemampuan maksimum generator.



Gambar 4.26 Perubahan daya aktif generator 51G3, 51G301, 51G201, 051G101, dan 051G102 pada saat generator 51G2 dan 051G103 trip setelah pelepasan beban

Dari gambar 4.26 di atas menunjukkan bahwa suplai daya aktif yang dibangkitkan generator 51G201 yang merupakan generator referensi setelah dilakukan pelepasan beban tahap pertama sebesar 2,4 MW masih beroperasi

maksimum sesuai kapasitas dari generator tersebut yaitu 20 MW dengan mode operasi *isochronous*. Namun, tidak bagi generator yang beroperasi dengan mode *droop*, setelah dilakukan pelepasan beban tahap pertama sebesar 2,4 MW mengalami penurunan operasi kerja meski masih di atas batas operasi kerja yaitu 6 MW dan 13 MW. Namun, frekuensi tidak mencapai kestabilan pada 100% setelah dilakukan pelepasan beban sebesar 2,4 MW dikarenakan masih ada generator yang dalam operasi mode *droop* beroperasi di atas rating kerja, sehingga frekuensi berada di bawah nilai kestabilan sistem 100%. Sedangkan untuk respon tegangan sistem pada saat terjadi gangguan dan setelah pelepasan beban ditunjukkan gambar 4.27 di bawah ini.



Gambar 4.27 Respon tegangan pada saat generator 51G2 dan 051G103 trip setelah pelepasan beban

Lepasnya generator 51G2 dan 051G103 mengakibatkan respon tegangan ditunjukkan pada gambar 4.27 di atas. Respon tegangan sesaat setelah ada gangguan mengalami osilasi turun sampai batas minimum 95,8% atau 13,22 kV

namun hanya terjadi sesaat setelah gangguan. Selanjutnya setelah dilakukan pelepasan beban tahap pertama sebesar 2,4 MW, respon tegangan menunjukkan osilasi yang meningkat hingga mencapai batas maksimum 100,5% atau 13,86 kV lonjakan tersebut merupakan respon ketika terjadi pelepasan beban tahap pertama sebesar 2,4 MW. Selanjutnya kondisi tegangan sistem kembali normal seperti semula yaitu 13,8 kV sesuai standar sistem tenaga listrik PT Pertamina RU IV Cilacap.

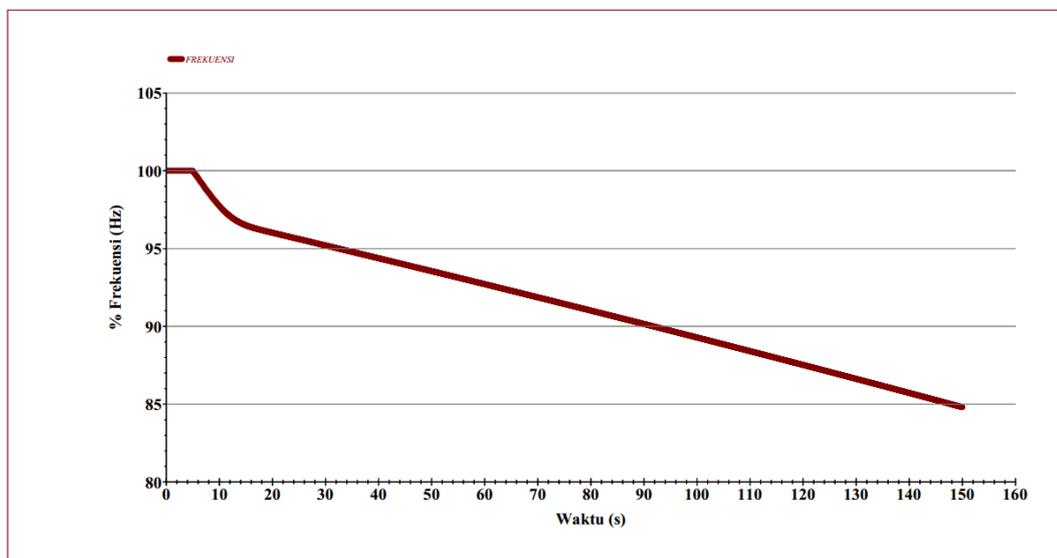
4.2.7 Studi Kasus TS 7

Pada studi kasus ke tujuh terdapat tiga unit generator lepas pada saat $t = 5s$ yaitu generator 51G3, 51G301, dan 051G102. Berikut merupakan data hasil pengamatan pada saat simulasi stabilitas transien mengenai perubahan daya aktif generator, perubahan frekuensi, perubahan tegangan, dan pelepasan beban pada saat terjadi gangguan.

Tabel 4.8 Kondisi sistem tenaga listrik saat generator 51G3, 51G301, dan 051G102 trip

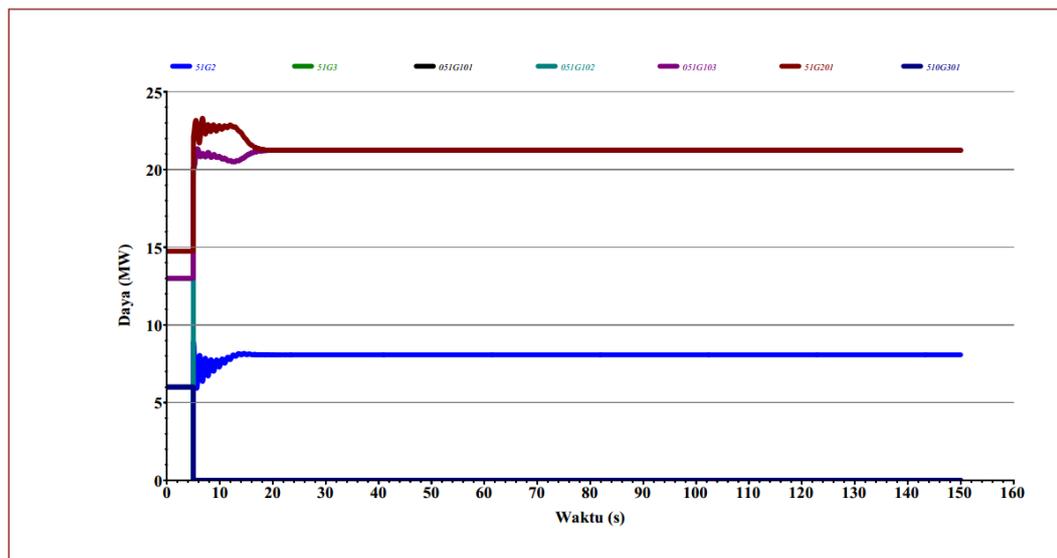
| No | Kondisi | Suplai Daya (MW) | Kebutuhan Beban (MW) | Frekuensi (Hz) | Tegangan (kV) | Beban Lepas (MW) |
|----|-------------------------|------------------|----------------------|----------------|---------------|------------------|
| 1 | Sebelum gangguan | 71,72 | 71,72 | 50,00 | 13,8 | ----- |
| 2 | Setelah gangguan | 64,52 | 71,72 | 42,40 | 13,8 | ----- |
| 3 | Setelah pelepasan beban | 53,51 | 53,74 | 50,00 | 13,8 | 17,98 |

a. Tanpa pelepasan beban



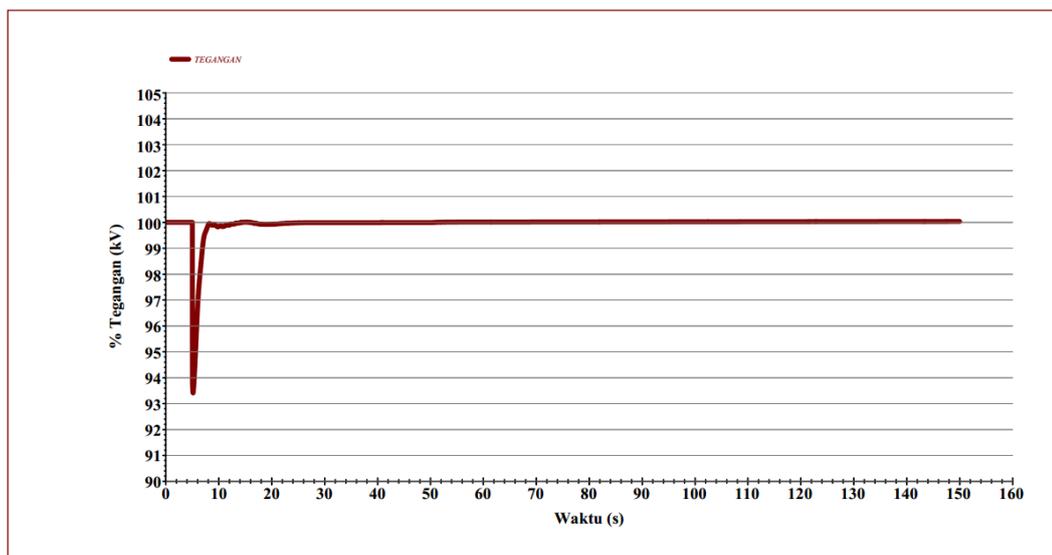
Gambar 4.28 Respon frekuensi pada saat generator 51G3, 51G301, dan 051G102 trip tanpa pelepasan beban

Lepasnya tiga generator pada utilities I, IIA dan II PT Pertamina RU IV Cilacap, membuat sistem tenaga listrik kehilangan daya aktif sebesar 25 MW. Hal ini menyebabkan terjadinya penurunan suplai daya dari pembangkit utilities I, IIA, maupun II yang menyebabkan generator yang masih beroperasi berada pada kondisi tidak normal, ditunjukkan gambar 4.29 di bawah. Semua generator yang masih beroperasi beresilasi untuk memenuhi suplai kebutuhan beban namun melebihi batas kemampuan generator, sehingga gambar 4.28 menunjukkan laju penurunan frekuensi sistem begitu cepat dan terus menurun hingga pada saat $t = 150s$ frekuensi turun mencapai 85% atau 42,5 Hz. Frekuensi sistem dipastikan akan turun secara terus-menerus, sehingga menyebabkan sistem tenaga listrik akan terganggu atas penurunan frekuensi tersebut bahkan bisa terjadi pemadaman total (*black out*).



Gambar 4.29 Perubahan daya aktif generator 51G2, 51G201, 051G101, dan 051G103 pada saat generator 51G3, 51G301, dan 051G102 trip tanpa pelepasan beban

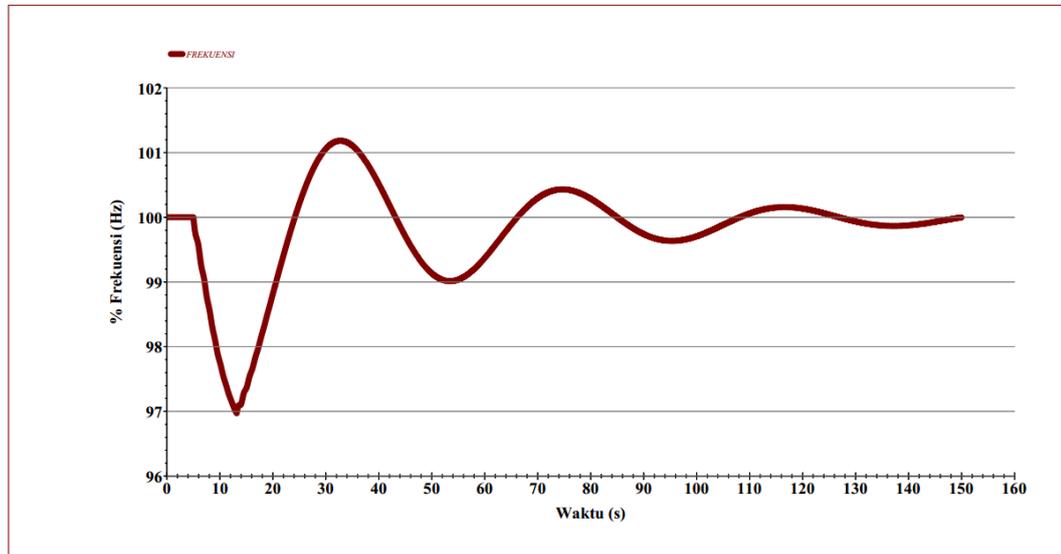
Dalam kondisi pembangkit yang ditunjukkan pada gambar 4.29 di atas kalau dibiarkan terus menerus tanpa dilakukan pelepasan beban, dapat dipastikan sistem tenaga listrik akan terganggu akibat generator yang masih beroperasi kelebihan beban dan bekerja melampaui batas kemampuan dari masing-masing generator tersebut, daya aktif yang dihasilkan lebih kecil dari kebutuhan suplai beban. Sedangkan untuk respon tegangan sistem seperti ditunjukkan oleh gambar 4.30 di bawah ini.



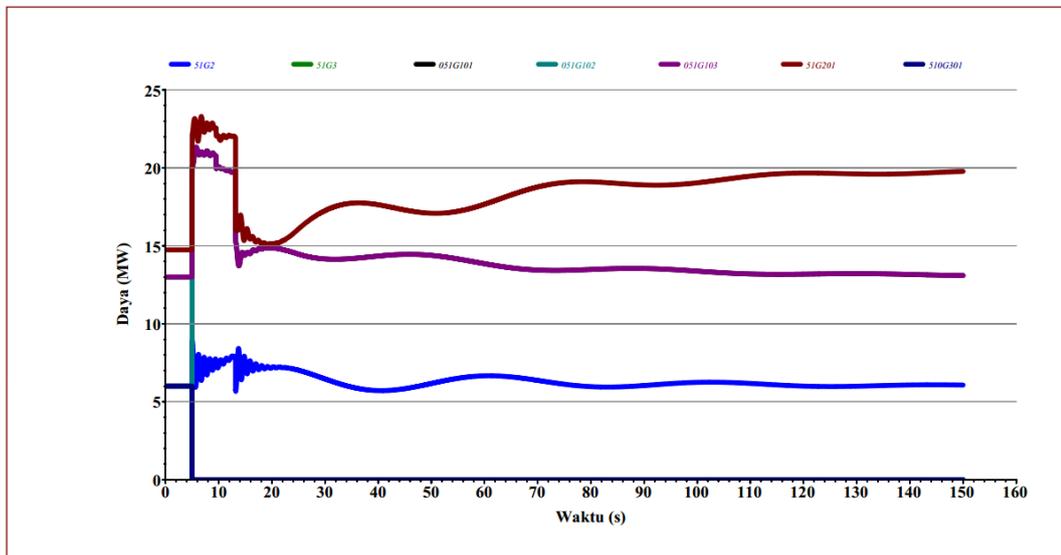
Gambar 4.30 Respon tegangan pada saat generator 51G3, 51G301, dan 051G102 trip tanpa pelepasan beban

Respon tegangan pada saat generator 51G3, 51G301 dan 051G102 lepas, dari gambar 4.30 di atas dapat dijelaskan bahwa ketika terjadi gangguan dalam kondisi pembangkitan minimum yaitu generator 51G1 “OFF” respon tegangan sesaat setelah ada gangguan mengalami osilasi turun sampai batas minimum 93,4% atau 12,6 kV namun hanya terjadi sesaat setelah gangguan. Selanjutnya kondisi tegangan sistem kembali normal seperti semula yaitu 13,8 kV sesuai standar sistem tenaga listrik PT Pertamina RU IV Cilacap.

b. Setelah pelepasan beban



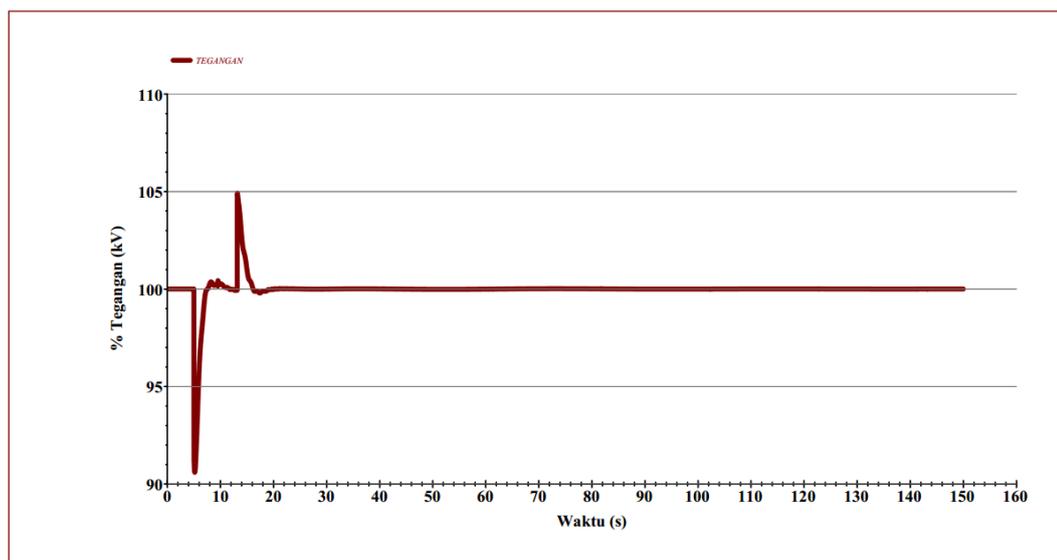
Gambar 4.31 Respon frekuensi pada saat generator 51G3, 51G301, dan 051G102 trip setelah pelepasan beban



Gambar 4.32 Perubahan daya aktif generator 51G2, 51G201, 051G101, dan 051G103 pada saat generator 51G3, 51G301, dan 051G102 trip setelah pelepasan beban

Lepasnya generator 51G3, 51G301 dan 051G102 yang menyuplai daya aktif sebesar 25 MW mengakibatkan meningkatnya suplai daya aktif semua generator yang masih beroperasi baik itu generator 51G201 yang merupakan generator referensi dengan mode operasi *isochronous* maupun generator yang beroperasi dengan mode *droop*. Peningkatan daya aktif yang terjadi hingga 23 MW untuk generator yang berkapasitas 20 MW dan peningkatan sebesar 8 MW untuk generator yang berkapasitas 8 MW. Peningkatan daya aktif yang melebihi rating kerja generator yang menyebabkan frekuensi terus-menerus turun ditunjukkan pada gambar 4.31 di atas. Penurunan frekuensi hingga mencapai batas minimum yaitu pada saat $t = 9,4s$ mencapai nilai 97,98% atau 48,99 Hz. Berdasarkan standar ANSI/IEEE C37.106-1987, pelepasan beban tahap pertama dilakukan UFR (*Under Frequency Relay*) dengan waktu tunda $t = 0,1s$ sehingga pelepasan beban tahap pertama dilakukan pada saat $t_1 = 9,5s$ sebesar 2,4 MW. Sesuai dengan standar PT Pertamina RU IV Cilacap pelepasan beban tahap pertama dilakukan pada saat nilai frekuensi mencapai nilai minimum 98% atau 49 Hz. Setelah dilakukan pelepasan beban sebesar 2,4 MW pada saat $t_1 = 9,5s$ frekuensi belum kembali normal akan tetapi masih terus turun dan mencapai batas minimum pelepasan beban tahap dua yaitu 97% atau 48,5 Hz pada saat $t = 13s$ sehingga menurut standar sistem tenaga listrik PT Pertamina RU IV Cilacap dilakukan pelepasan beban tahap kedua selang tunda waktu 0,1s sesuai pengaturan UFR, jadi pelepasan beban tahap kedua dilakukan pada saat $t_2 = 13,1s$ sebesar 15,58 MW. Ditunjukkan pada gambar 4.31 di atas bahwa setelah dilakukan pelepasan beban tahap kedua respon frekuensi berangsur mencapai nilai kestabilan pada batas aman standar operasi yang

diperbolehkan sistem tenaga listrik PT Pertamina RU IV Cilacap. Setelah dilakukan pelepasan beban tahap pertama sebesar 2,4 MW dan pelepasan beban tahap kedua sebesar 15,58 MW sehingga total beban yang di lepas sebesar 17,98 MW. Pelepasan beban tersebut mengurangi suplai daya aktif yang harus ditanggung seluruh generator yang masih beroperasi. Gambar 4.32 di atas menunjukkan perubahan daya aktif generator setelah dilakukan pelepasan beban, untuk generator 51G201 yang merupakan generator referensi masih beroperasi dalam batas maksimum, dan merupakan generator yang beroperasi dalam mode *isochronous* untuk memenuhi kebutuhan beban, sedangkan untuk generator yang beroperasi dalam mode *droop* sesuai yang ditunjukkan pada gambar 4.32 di atas beroperasi pada batas maksimum dari rating operasi sesuai pengaturan dari governor. Sehingga dengan generator beroperasi sesuai dengan rating kerja maka frekuensi mencapai nilai kestabilan 100% atau 50 Hz. Sedangkan untuk respon tegangan sistem tenaga listrik PT Pertamina RU IV Cilacap setelah terjadi gangguan generator utilities I, IIA, dan II lepas yaitu generator 51G3, 51G301 dan 051G102 pada kondisi pembangkitan minimum generator 51G1 “OFF” dan setelah dilakukan pelepasan beban tahap pertama pada saat $t_1 = 9,5s$ sebesar 2,4 MW dan pelepasan beban tahap kedua pada saat $t_2 = 13,1s$ sebesar 15,58 MW adalah ditunjukkan pada gambar 4.21 di bawah ini.



Gambar 4.33 Respon tegangan pada saat generator 51G3, 51G301, dan 051G102 trip setelah pelepasan beban

Lepasnya generator 51G3, 51G301 dan 051G102 mengakibatkan respon tegangan ditunjukkan pada gambar 4.33 di atas, dapat dijelaskan bahwa ketika terjadi gangguan generator 51G3, 51G301 dan 051G102 lepas pada kondisi pembangkitan minimum yaitu generator 51G1 “OFF” respon tegangan sesaat setelah ada gangguan mengalami osilasi turun sampai batas minimum 90% atau 12,42 kV namun hanya terjadi sesaat setelah gangguan. Selanjutnya setelah dilakukan pelepasan beban tahap pertama dan pelepasan beban tahap kedua respon tegangan menunjukkan osilasi yang meningkat hingga mencapai batas maksimum 105% atau 14,49 kV, lonjakan tersebut merupakan respon sesaat ketika terjadi pelepasan beban tahap pertama dan kedua sebesar 17,98 MW. Selanjutnya kondisi tegangan sistem kembali normal seperti semula yaitu 13,8 kV sesuai standar sistem tenaga listrik PT Pertamina RU IV Cilacap.

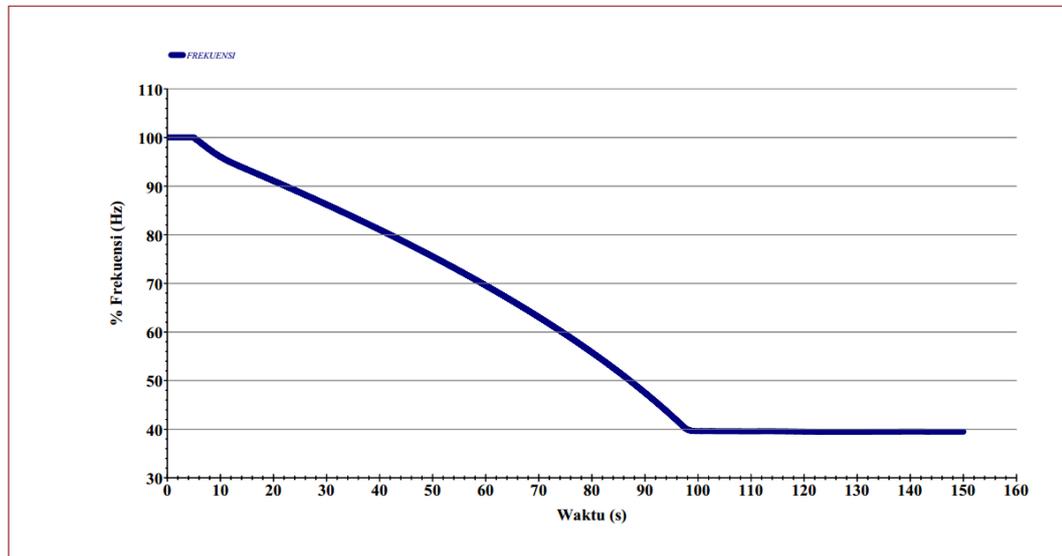
4.2.8 Studi Kasus TS 8

Pada studi kasus ke delapan terdapat tiga unit generator lepas pada saat $t = 5s$ yaitu generator 51G2, 051G101 dan 051G103. Generator ini terletak di utilities I, dan II PT Pertamina RU IV Cilacap. Generator ini mempunyai kapasitas 8 MW (51G2), 20 MW (051G101) dan 20 MW (051G103). Berikut merupakan data hasil pengamatan pada saat simulasi stabilitas transien mengenai perubahan daya aktif generator, perubahan frekuensi, perubahan tegangan, dan pelepasan beban pada saat terjadi gangguan.

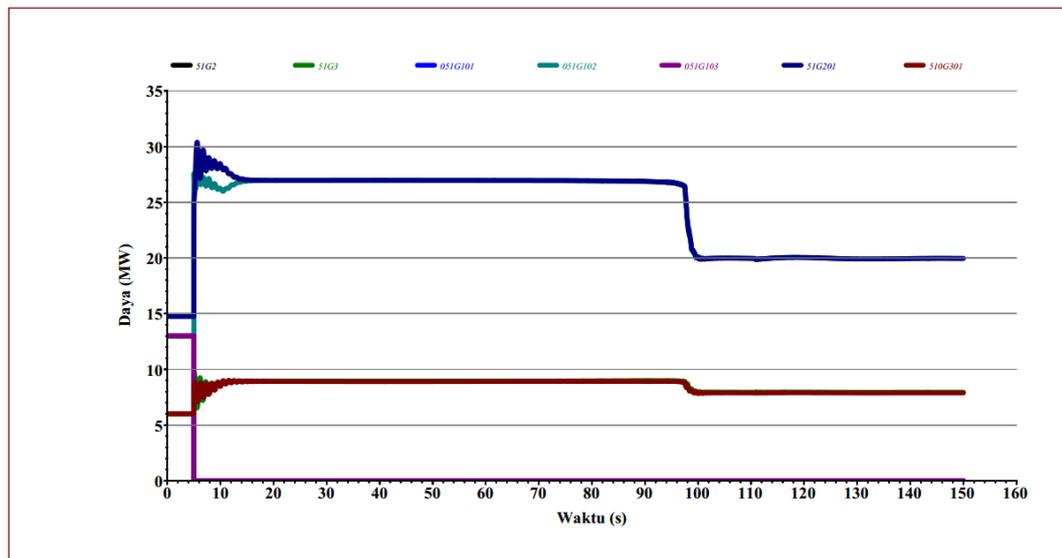
Tabel 4.9 Kondisi sistem tenaga listrik saat generator 51G2, 051G101, dan 051G103 trip

| No | Kondisi | Suplai Daya (MW) | Kebutuhan Beban (MW) | Frekuensi (Hz) | Tegangan (kV) | Beban Lepas (MW) |
|----|-------------------------|------------------|----------------------|----------------|---------------|------------------|
| 1 | Sebelum gangguan | 71,72 | 71,72 | 50,00 | 13,8 | ----- |
| 2 | Setelah gangguan | 61,85 | 71,72 | 19,74 | 11,05 | ----- |
| 3 | Setelah pelepasan beban | 52,04 | 53,74 | 49,61 | 13,8 | 17,98 |

a. Tanpa pelepasan beban

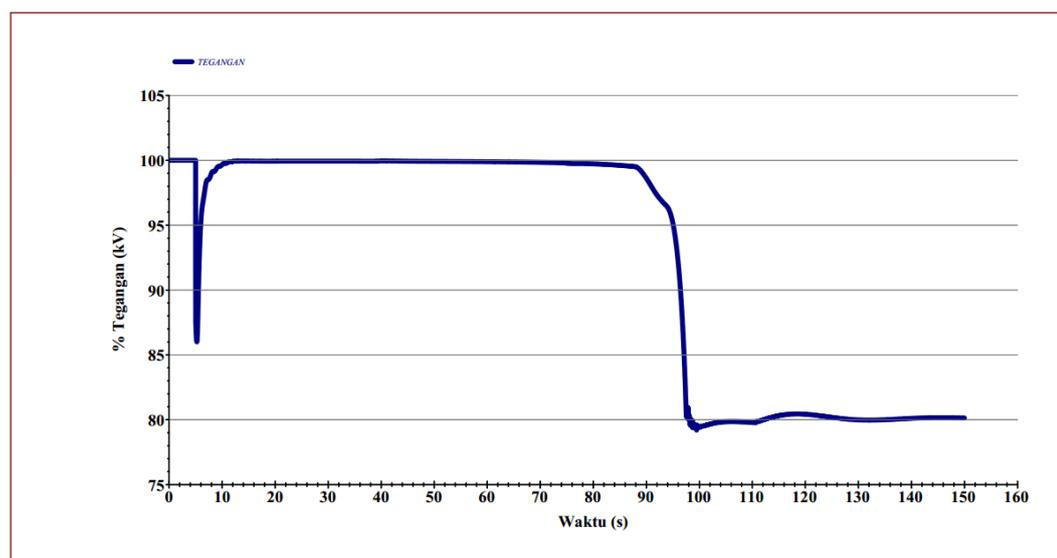


Gambar 4.34 Respon frekuensi pada saat generator 51G2, 051G101, dan 051G103 trip tanpa pelepasan beban



Gambar 4.35 Perubahan daya aktif generator 51G3, 51G301, 51G201, dan 051G102 pada saat generator 51G2, 051G101, dan 051G103 trip tanpa pelepasan beban

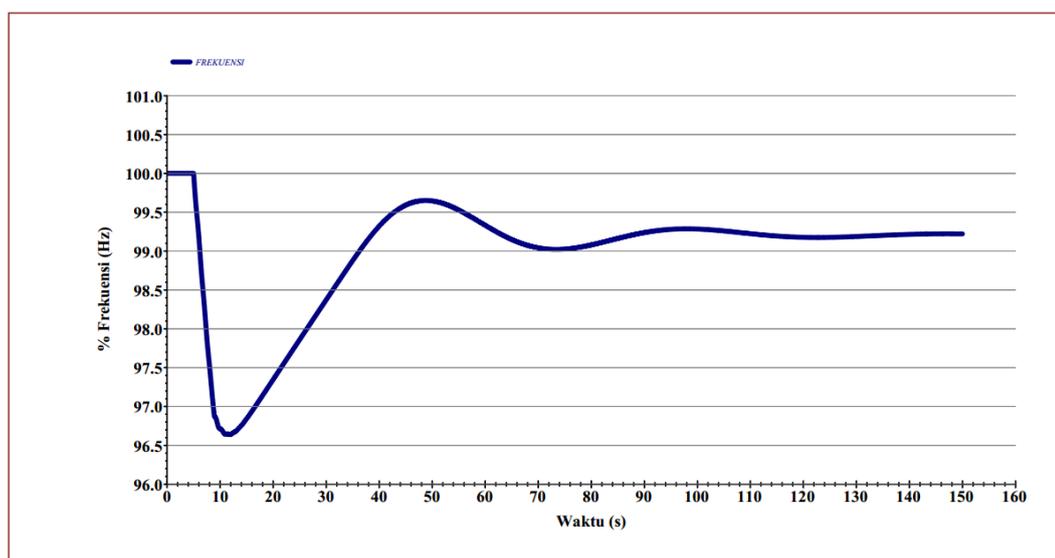
Lepasnya tiga generator pada utilities I dan II pada studi kasus ini membuat sistem tenaga listrik kehilangan daya aktif sebesar 32 MW. Hal ini menyebabkan terjadinya penurunan suplai daya dari pembangkit utilities I dan II yang menyebabkan generator yang masih beroperasi berada pada kondisi abnormal, ditunjukkan gambar 4.35 di atas. Semua generator yang masih beroperasi beresilasi untuk memenuhi suplai kebutuhan beban namun melebihi batas kemampuan generator, sehingga sesuai yang ditunjukkan gambar 4.34 laju penurunan frekuensi sistem begitu cepat dan terus menurun hingga pada saat $t = 100$ s frekuensi turun mencapai 40% atau 20 Hz. Frekuensi sistem mencapai kestabilan pada nilai 40% atau 20 Hz dan tidak mengalami penurunan. Jika terus dalam kondisi ini dapat dipastikan sistem tenaga listrik akan sangat terganggu akibat kurangnya suplai daya aktif untuk memenuhi kebutuhan beban. Sedangkan untuk respon tegangan sistem tenaga listrik ditunjukkan gambar 4.36 di bawah ini.



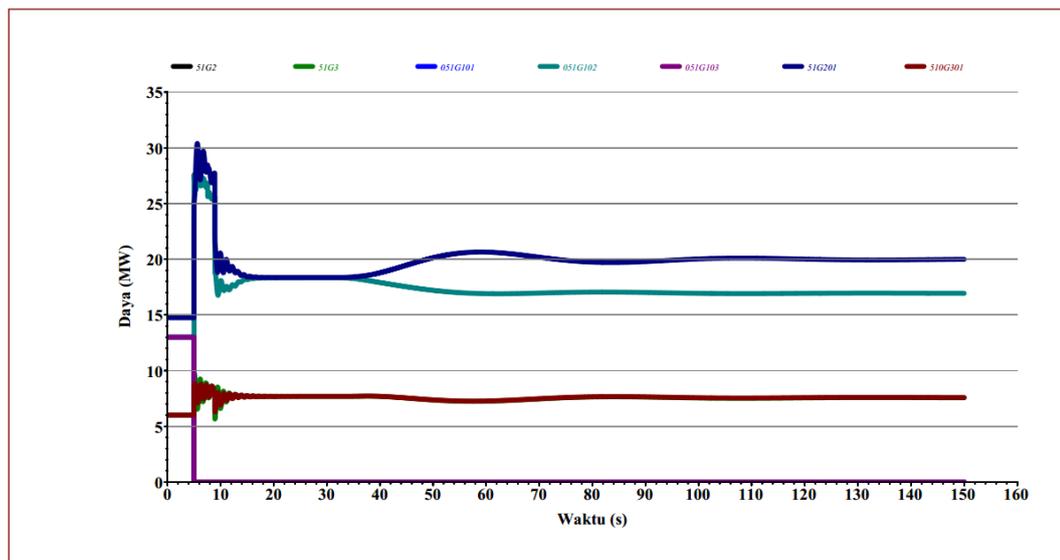
Gambar 4.36 Respon tegangan pada saat generator 51G2, 051G101, dan 051G103 trip tanpa pelepasan beban

Respon tegangan pada saat generator 51G2, 051G101, dan 051G103 lepas, dari gambar 4.36 di atas dapat dijelaskan bahwa ketika terjadi gangguan dalam kondisi pembangkitan minimum yaitu generator 51G1 “OFF” respon tegangan sesaat setelah ada gangguan mengalami osilasi turun sampai batas minimum 86% atau 11,86 kV namun hanya terjadi sesaat setelah gangguan. Selanjutnya kondisi tegangan sistem kembali normal seperti semula yaitu 13,8 kV, akan tetapi pada saat $t = 90s$ tegangan sistem kembali turun hingga 80% atau 11,04 kV dan bertahan pada kondisi tersebut. Artinya, sistem tenaga listrik ketika generator 51G2, 051G101, dan 051G103 lepas mengalami kondisi abnormal.

b. Setelah pelepasan beban



Gambar 4.37 Respon frekuensi pada saat generator 51G2, 051G101, dan 051G103 trip setelah pelepasan beban

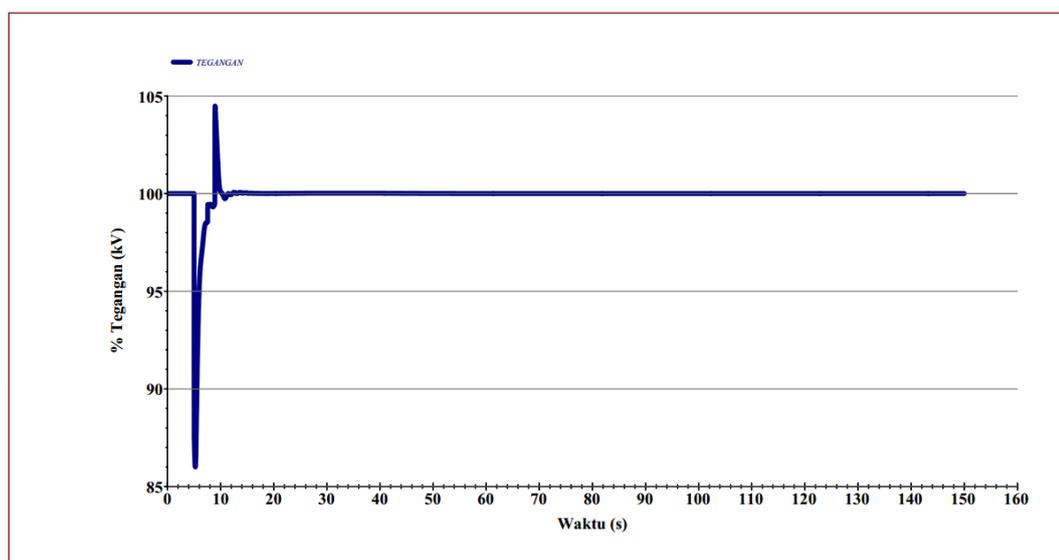


Gambar 4.38 Perubahan daya aktif generator 51G3, 51G301, 51G201, dan 051G102 pada saat generator 51G2, 051G101, dan 051G103 trip setelah pelepasan beban

Berkurangnya suplai daya aktif yang dihasilkan generator 51G2, 051G101, dan 051G103 yang menyuplai daya aktif sebesar 32 MW mengakibatkan peningkatan suplai daya aktif semua generator yang masih beroperasi baik itu generator 51G201 yang merupakan generator referensi dengan mode operasi *isochronous* maupun generator yang beroperasi dengan mode *droop*. Peningkatan daya aktif yang terjadi hingga 30 MW untuk generator yang berkapasitas 20 MW dan peningkatan sebesar 8 MW untuk generator yang berkapasitas 8 MW. Peningkatan daya aktif yang melebihi rating kerja generator yang menyebabkan frekuensi terus-menerus turun ditunjukkan pada gambar 4.37 di atas. Penurunan frekuensi mencapai batas minimum yaitu pada saat $t = 7,4s$ mencapai nilai 97,98% atau 48,99 Hz. Berdasarkan standar ANSI/IEEE C37.106-1987, pelepasan beban tahap pertama dilakukan UFR (*Under Frequency Relay*) dengan waktu tunda $t = 0,1s$ sehingga pelepasan beban tahap pertama dilakukan pada saat $t_1 = 7,5s$ sebesar

2,4 MW. Sesuai dengan standar PT Pertamina RU IV Cilacap pelepasan beban tahap pertama dilakukan pada saat nilai frekuensi mencapai nilai minimum 98% atau 49 Hz. Setelah dilakukan pelepasan beban sebesar 2,4 MW pada saat $t_1 = 7,5s$ frekuensi belum kembali normal, frekuensi terus turun dan mencapai batas minimum pelepasan beban tahap kedua yaitu 97% atau 48,5 Hz pada saat $t = 8,8s$ sehingga menurut standar sistem tenaga listrik PT Pertamina RU IV Cilacap dilakukan pelepasan beban tahap kedua selang tunda waktu 0,1s sesuai pengaturan UFR, jadi pelepasan beban tahap kedua dilakukan pada saat $t_2 = 8,9s$ sebesar 15,58 MW. Ditunjukkan pada gambar 4.37 di atas bahwa setelah dilakukan pelepasan beban tahap kedua respon frekuensi berangsur mencapai nilai kestabilan pada batas aman standar operasi yang diperbolehkan sistem tenaga listrik PT Pertamina RU IV Cilacap. Setelah dilakukan pelepasan beban tahap pertama sebesar 2,4 MW dan pelepasan beban tahap kedua sebesar 15,58 MW sehingga total beban yang di lepas sebesar 17,98 MW, mengurangi suplai daya aktif yang harus ditanggung seluruh generator yang masih beroperasi. Ditunjukkan pada gambar 4.38 di atas perubahan daya aktif generator setelah dilakukan pelepasan beban untuk generator 51G201 yang merupakan generator referensi masih beroperasi dalam batas maksimum yang merupakan generator yang beroperasi dalam mode *isochronous* untuk memenuhi kebutuhan beban, sedangkan untuk generator yang beroperasi dalam mode *droop* ditunjukkan pada gambar 4.38 di atas beroperasi di atas batas maksimum dari rating operasinya sesuai pengaturan dari governor. Sehingga dengan generator beroperasi di atas batas maksimum rating kerja maka frekuensi mencapai nilai kestabilan 99,3% atau 49,65 Hz. Sedangkan untuk respon tegangan sistem tenaga listrik PT

Pertamina RU IV Cilacap setelah terjadi gangguan tiga generator utilities I dan II lepas yaitu generator 51G2, 051G101, dan 051G103 pada kondisi pemngkitan minimum generator 51G1 “OFF” dan setelah dilakukan pelepasan beban tahap pertama pada saat $t_1 = 7,5s$ sebesar 2,4 MW dan pelepasan beban tahap kedua pada saat $t_2 = 8,9s$ sebesar 15,58 MW adalah ditunjukkan pada gambar 4.39 di bawah ini.



Gambar 4.39 Respon tegangan pada saat generator 51G2, 051G101, dan 051G103 trip setelah pelepasan beban

Respon tegangan ditunjukkan pada gambar 4.39 di atas, dijelaskan bahwa ketika terjadi gangguan generator 51G2, 051G101, dan 051G103 lepas pada kondisi pembangkitan minimum yaitu generator 51G1 “OFF” respon tegangan sesaat setelah ada gangguan mengalami osilasi turun sampai batas minimum 86% atau 11,86 kV namun hanya terjadi sesaat setelah gangguan. Selanjutnya setelah dilakukan pelepasan beban tahap pertama dan pelepasan beban tahap kedua respon

tegangan menunjukkan osilasi yang meningkat hingga mencapai batas maksimum 104,5% atau 14,42 kV, lonjakan tersebut merupakan respon ketika terjadi pelepasan beban tahap pertama dan kedua sebesar 17,98 MW. Selanjutnya kondisi tegangan sistem kembali normal seperti semula yaitu 13,8 kV sesuai standar sistem tenaga listrik PT Pertamina RU IV Cilacap.

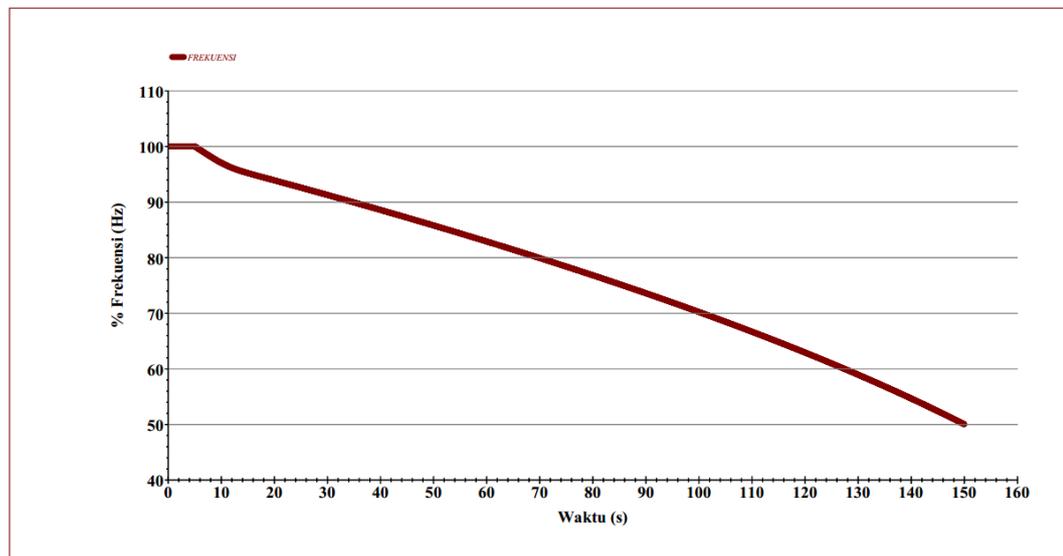
4.2.9 Studi Kasus TS 9

Studi kasus ke sembilan terdapat empat unit generator lepas yaitu generator 51G2 (8 MW), 51G3 (8 MW), 51G301 (8 MW) dan 051G102 (20 MW) pada saat $t = 5s$. Generator ini terletak di utilities I, IIA dan II PT Pertamina RU IV Cilacap. Berikut data hasil pengamatan pada saat simulasi stabilitas transien mengenai perubahan daya aktif generator, perubahan frekuensi, perubahan tegangan, dan pelepasan beban pada saat terjadi gangguan.

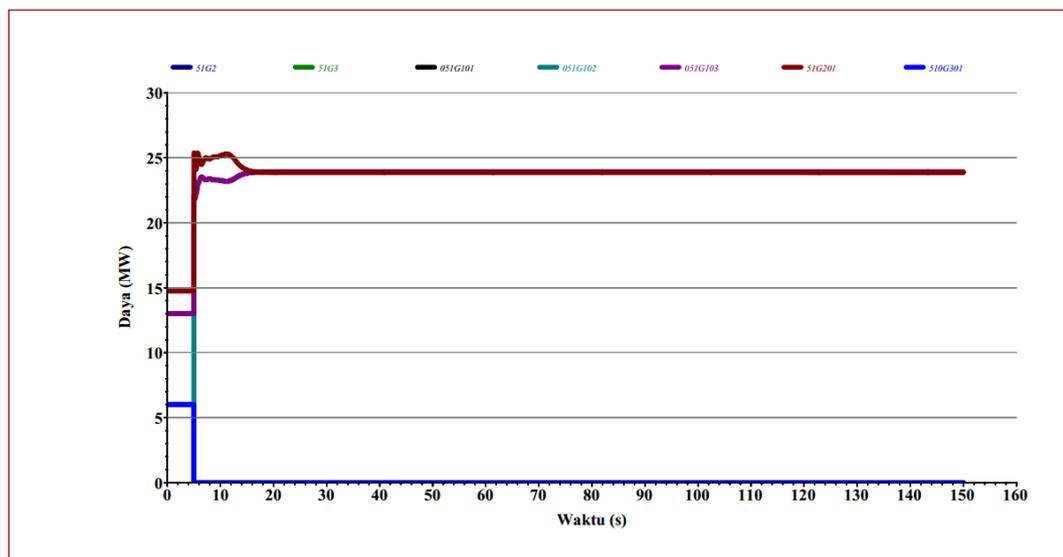
Tabel 4.10 Kondisi sistem tenaga listrik saat generator 51G2, 51G3, 51G301 dan 051G102 trip

| No | Kondisi | Suplai Daya (MW) | Kebutuhan Beban (MW) | Frekuensi (Hz) | Tegangan (kV) | Beban Lepas (MW) |
|----|-------------------------|------------------|----------------------|----------------|---------------|------------------|
| 1 | Sebelum gangguan | 71,72 | 71,72 | 50,00 | 13,8 | ----- |
| 2 | Setelah gangguan | 59,97 | 71,72 | 25,00 | 13,03 | ----- |
| 3 | Setelah pelepasan beban | 61,20 | 53,74 | 49,71 | 13,8 | 17,98 |

a. Tanpa pelepasan beban

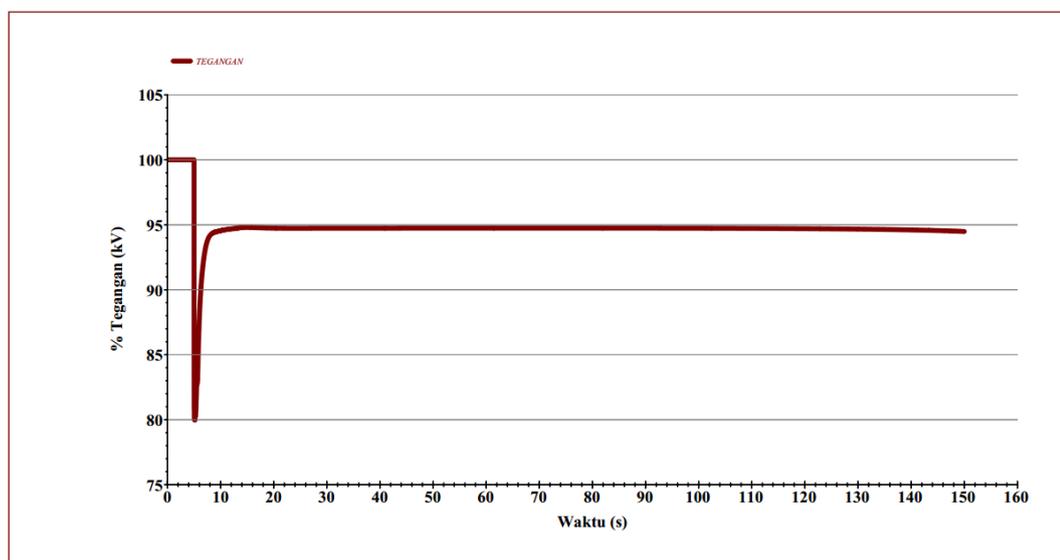


Gambar 4.40 Respon frekuensi pada saat generator 51G2, 51G3, 51G301 dan 051G102 trip tanpa pelepasan beban



Gambar 4.41 Perubahan daya aktif generator 51G201, 051G101 dan 051G103 pada saat generator 51G2, 51G3, 51G301 dan 051G102 trip tanpa pelepasan beban

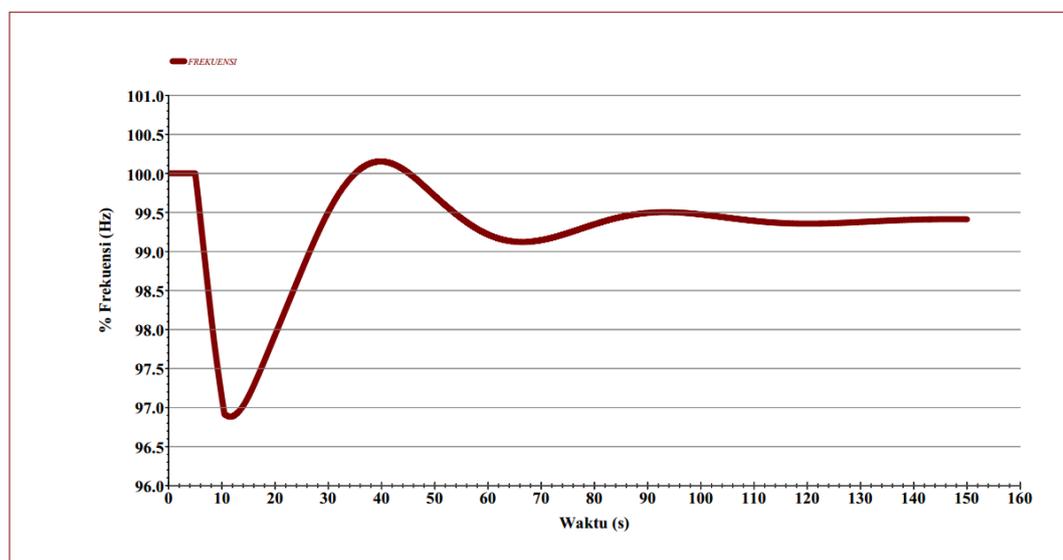
Lepasnya generator 51G2, 51G3, 51G301 dan 051G102 pada studi kasus ini membuat sistem tenaga listrik kehilangan daya aktif sebesar 31 MW. Kondisi tersebut menyebabkan terjadi penurunan suplai daya dari pembangkit utilities I, IIA dan II, menyebabkan generator yang masih beroperasi berada pada kondisi tidak normal. Ditunjukkan pada gambar 4.41 di atas, semua generator yang masih beroperasi beresilasi untuk memenuhi suplai kebutuhan beban namun melebihi batas kemampuan maksimum dari generator, sehingga ditunjukkan gambar 4.40 di atas laju penurunan frekuensi sistem begitu cepat dan terus menurun hingga pada saat $t = 150s$ frekuensi turun mencapai 50% atau 25 Hz. Frekuensi sistem dipastikan akan turun secara terus-menerus. Sedangkan untuk respon tegangan sistem ketika terjadi gangguan ditunjukkan gambar 4.42 di bawah ini.



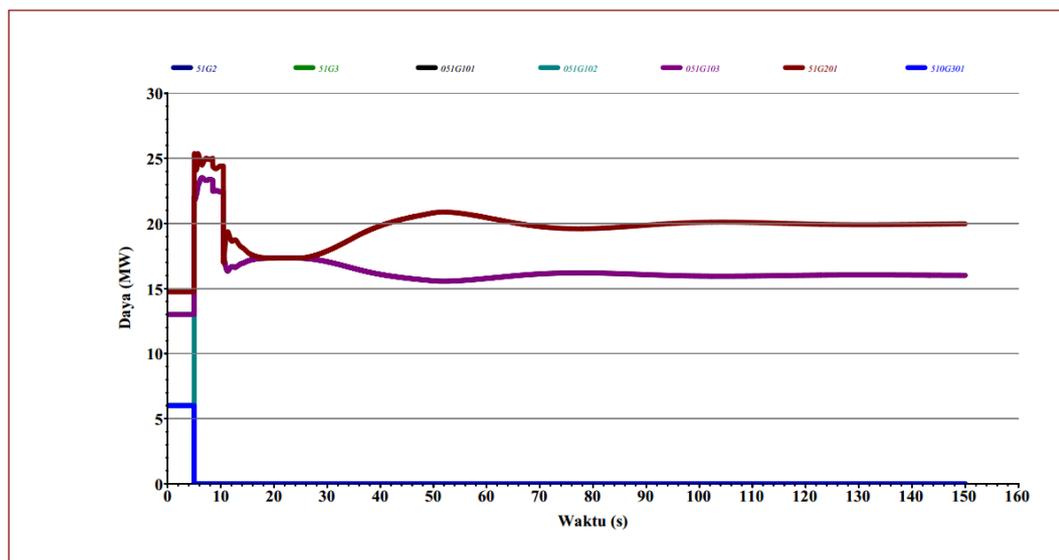
Gambar 4.42 Respon tegangan pada saat generator 51G2, 51G3, 51G301 dan 051G102 trip tanpa pelepasan beban

Respon tegangan pada saat generator 51G2, 51G3, 51G301 dan 051G102 lepas, dari gambar 4.30 di atas dapat dijelaskan bahwa ketika terjadi gangguan dalam kondisi pembangkitan minimum yaitu generator 51G1 “OFF” respon tegangan sesaat setelah ada gangguan mengalami osilasi turun sampai batas minimum 80% atau 11,04 kV namun hanya terjadi sesaat setelah gangguan. Selanjutnya kondisi tegangan sistem kembali normal tetapi sampai batas 95% atau 13,11 kV di bawah tegangan nominal sistem 13,8 kV namun masih dalam batas yang diperbolehkan sesuai standar sistem tenaga listrik PT Pertamina RU IV Cilacap.

b. Setelah pelepasan beban



Gambar 4.43 Respon frekuensi pada saat generator 51G2, 51G3, 51G301 dan 051G102 trip setelah pelepasan beban

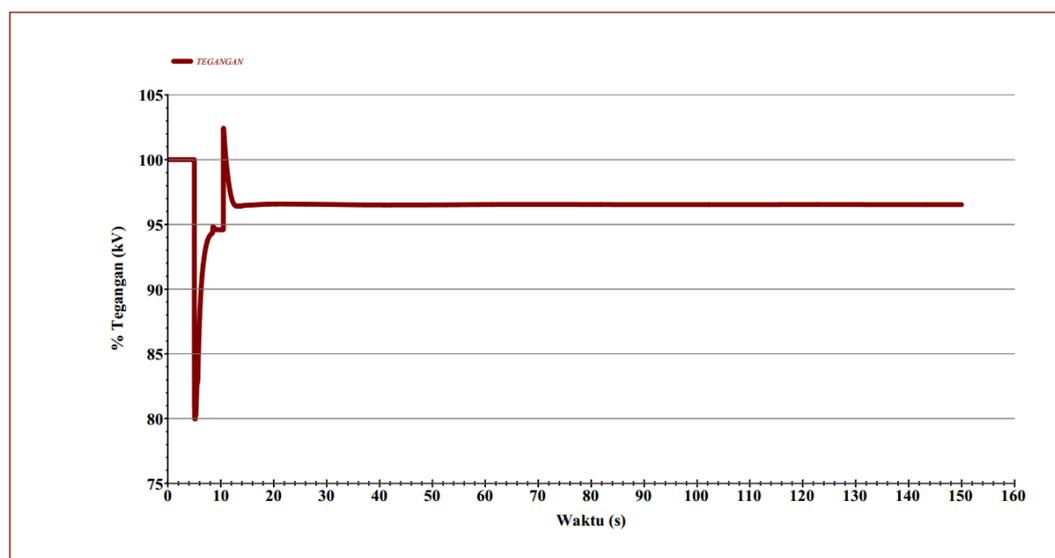


Gambar 4.44 Perubahan daya aktif generator 51G201, 051G101 dan 051G103 pada saat generator 51G2, 51G3, 51G301 dan 051G102 trip setelah pelepasan beban

Lepasnya generator 51G2, 51G3, 51G301 dan 051G102 yang menyuplai daya aktif sebesar 31 MW mengakibatkan suplai daya aktif meningkat untuk semua generator yang masih beroperasi baik itu generator 51G201 yang merupakan generator referensi dengan mode operasi *isochronous* maupun generator yang beroperasi dengan mode *droop*. Peningkatan daya aktif yang terjadi hingga 25 MW untuk generator yang berkapasitas 20 MW. Peningkatan daya aktif yang melebihi rating kerja generator yang menyebabkan frekuensi terus-menerus turun ditunjukkan pada gambar 4.43 di atas. Penurunan frekuensi hingga mencapai batas minimum terjadi pada saat $t = 8,3s$ mencapai nilai 97,98% atau 48,99 Hz. Berdasarkan standar ANSI/IEEE C37.106-1987, pelepasan beban tahap pertama dilakukan UFR (*Under Frequency Relay*) dengan waktu tunda $t = 0,1s$ sehingga pelepasan beban tahap pertama dilakukan pada saat $t_1 = 8,4s$ sebesar 2,4 MW. Sesuai dengan standar PT Pertamina RU IV Cilacap pelepasan beban tahap pertama

dilakukan pada saat nilai frekuensi mencapai nilai minimum 98% atau 49 Hz. Setelah dilakukan pelepasan beban sebesar 2,4 MW pada saat $t_1 = 8,4s$ frekuensi belum kembali normal, frekuensi masih terus turun dan mencapai batas minimum pelepasan beban tahap kedua yaitu 97% atau 48,5 Hz pada saat $t = 10,3s$ sehingga menurut standar sistem tenaga listrik PT Pertamina RU IV Cilacap dilakukan pelepasan beban tahap kedua selang tunda waktu 0,1s sesuai pengaturan UFR, jadi pelepasan beban tahap kedua dilakukan pada saat $t_2 = 10,4s$ sebesar 15,58 MW. Ditunjukkan pada gambar 4.43 di atas bahwa setelah dilakukan pelepasan beban tahap kedua respon frekuensi berangsur mencapai nilai kestabilan pada batas aman standar operasi yang diperbolehkan sistem tenaga listrik PT Pertamina RU IV Cilacap. Hal itu dikarenakan setelah dilakukan pelepasan beban tahap pertama sebesar 2,4 MW dan pelepasan beban tahap kedua sebesar 15,58 MW sehingga total beban yang di lepas sebesar 17,98 MW. Pelepasan beban tersebut mengurangi suplai daya aktif yang harus ditanggung seluruh generator yang masih beroperasi. Gambar 4.44 di atas menunjukkan perubahan daya aktif generator setelah dilakukan pelepasan beban, generator 51G201 yang merupakan generator referensi masih beroperasi dalam batas maksimum dan beroperasi dalam mode *isochronous* untuk memenuhi kebutuhan beban, sedangkan untuk generator yang beroperasi dalam mode *droop* sesuai yang ditunjukkan pada gambar 4.44 di atas beroperasi pada batas maksimal dari rating operasi sesuai pengaturan dari governor. Sehingga dengan generator beroperasi di atas rating kerja maka frekuensi mencapai nilai kestabilan 99,4% atau 49,7 Hz. Sedangkan untuk respon tegangan sistem tenaga listrik PT Pertamina RU IV Cilacap setelah terjadi gangguan pada kondisi

pembangkitan minimum generator 51G1 “OFF” dan setelah dilakukan pelepasan beban tahap pertama pada saat $t_1 = 8,4s$ sebesar 2,4 MW dan pelepasan beban tahap kedua pada saat $t_2 = 10,4s$ sebesar 15,58 MW adalah ditunjukkan pada gambar 4.45 di bawah ini.



Gambar 4.45 Respon tegangan pada saat generator 51G2, 51G3, 51G301 dan 051G102 trip setelah pelepasan beban

Respon tegangan ditunjukkan pada gambar 4.45 di atas, dijelaskan bahwa ketika terjadi gangguan generator 51G2, 51G3, 51G301 dan 051G102 lepas pada kondisi pembangkitan minimum yaitu generator 51G1 “OFF” respon tegangan sesaat setelah ada gangguan mengalami osilasi turun sampai batas minimum 80% atau 11,04 kV namun hanya terjadi sesaat setelah gangguan. Selanjutnya setelah dilakukan pelepasan beban tahap pertama dan pelepasan beban tahap kedua respon tegangan menunjukkan osilasi yang meningkat hingga mencapai batas maksimum 103% atau 14,21 kV, lonjakan tersebut merupakan respon ketika terjadi pelepasan

beban tahap pertama dan kedua sebesar 17,98 MW. Selanjutnya kondisi tegangan sistem kembali normal seperti semula yaitu 13,8 kV sesuai standar sistem tenaga listrik PT Pertamina RU IV Cilacap.

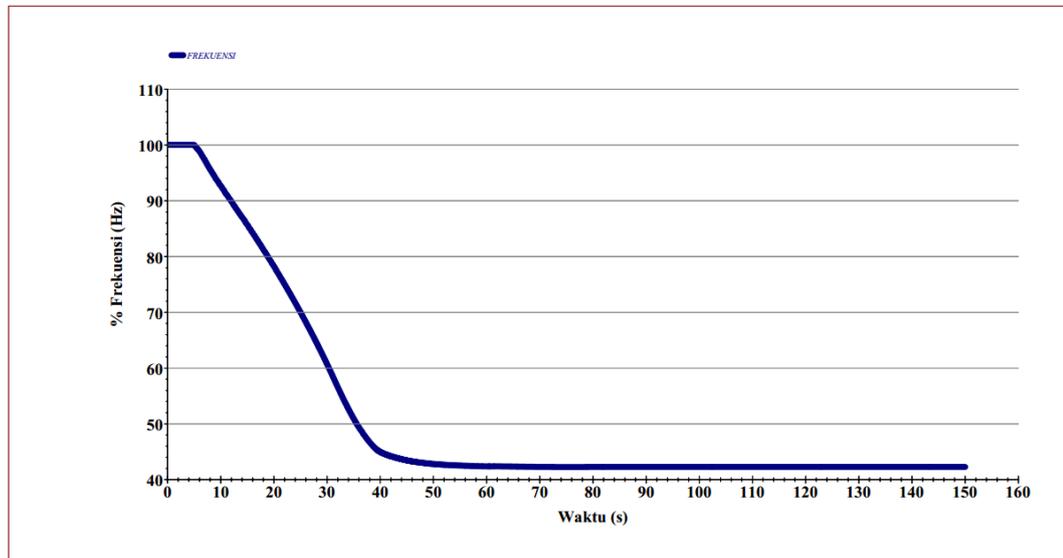
4.2.10 Studi Kasus TS 10

Pada studi kasus terakhir terdapat tiga unit generator lepas yaitu 051G101, 051G102 dan 051G103. Ketiga generator tersebut berada di utilities II PT Pertamina RU IV Cilacap. Kapasitas masing-masing generator sebesar 20 MW dengan rating operasi sebesar 13MW dalam pembangkitan minimum generator 51G1 “OFF”. Berikut ini merupakan data hasil pengamatan pada saat simulasi stabilitas transien mengenai perubahan daya aktif generator, perubahan frekuensi, perubahan tegangan, dan pelepasan beban pada saat terjadi gangguan.

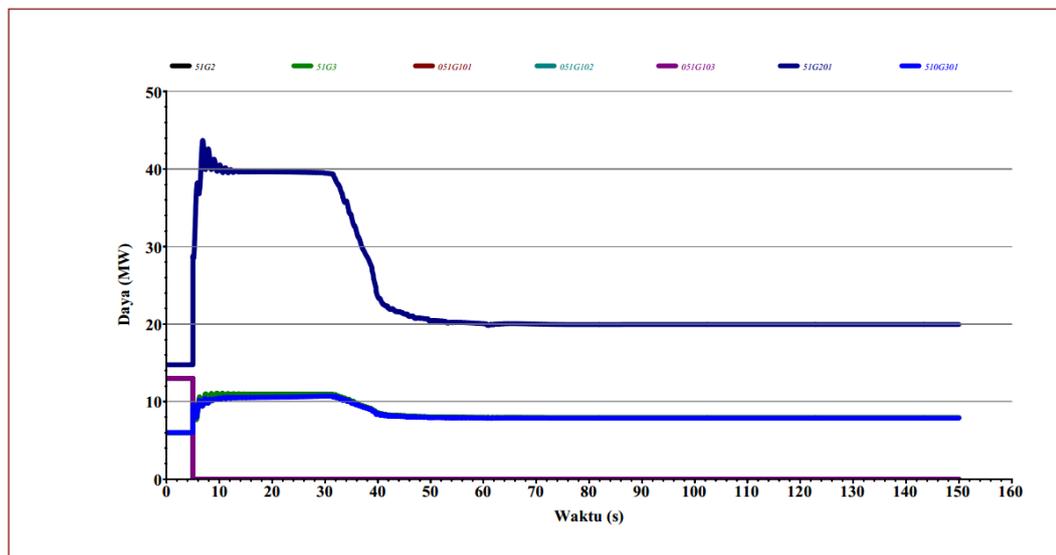
Tabel 4.11 Kondisi sistem tenaga listrik saat generator 051G101, 051G102 dan 051G103 trip

| No | Kondisi | Suplai Daya (MW) | Kebutuhan Beban (MW) | Frekuensi (Hz) | Tegangan (kV) | Beban Lepas (MW) |
|----|-------------------------|------------------|----------------------|----------------|---------------|------------------|
| 1 | Sebelum gangguan | 71,72 | 71,72 | 50 | 13,8 | ----- |
| 2 | Setelah gangguan | 53,87 | 71,72 | 21,13 | 9,97 | ----- |
| 3 | Setelah pelepasan beban | 46,66 | 47,04 | 36,91 | 12,58 | 24,68 |

a. Tanpa pelepasan beban

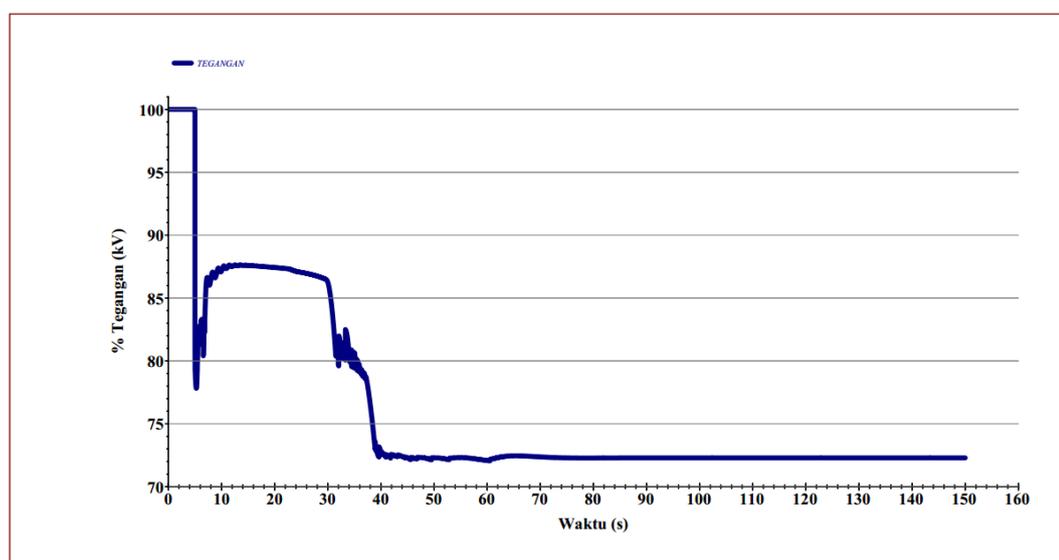


Gambar 4.46 Respon frekuensi pada saat generator 051G101, 051G102 dan 051G103 trip tanpa pelepasan beban



Gambar 4.47 Perubahan daya aktif generator 51G2, 51G3, 51G301 dan 51G201 pada saat generator 051G101, 051G102 dan 051G103 trip tanpa pelepasan beban

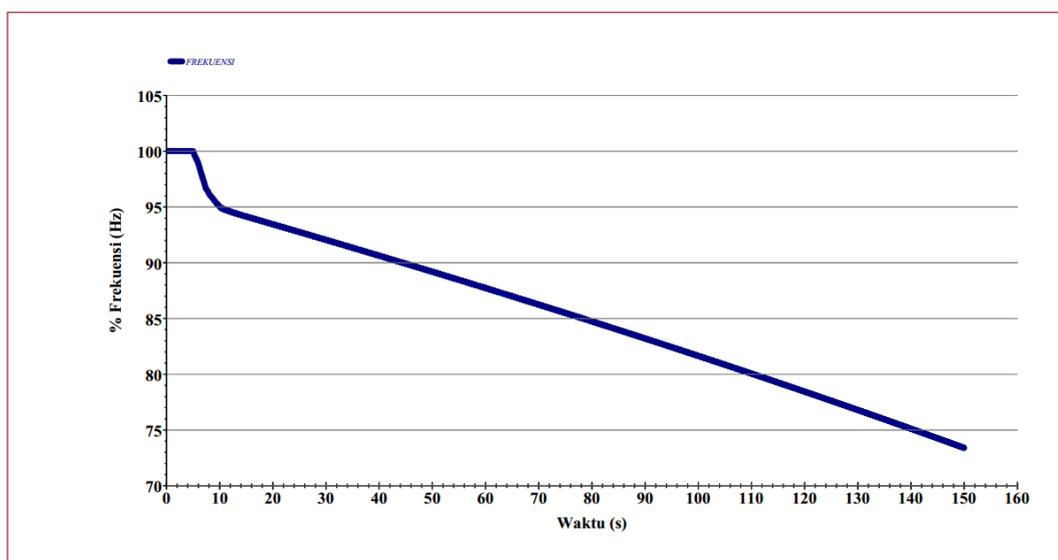
Lepasnya generator 051G101, 051G102 dan 051G103 pada studi kasus ini membuat sistem tenaga listrik kehilangan daya aktif sebesar 39 MW. Kondisi tersebut menyebabkan suplai daya dari pembangkit utilities II hilang dan menyebabkan generator yang masih beroperasi berada pada kondisi tidak normal. Ditunjukkan pada gambar 4.47 di atas, semua generator yang masih beroperasi beresilasi untuk memenuhi suplai kebutuhan beban namun melebihi batas kemampuan maksimum dari generator sehingga sesuai yang ditunjukkan gambar 4.46 di atas laju penurunan frekuensi sistem begitu cepat dan terus menurun hingga pada saat $t = 50s$ frekuensi turun mencapai 42% atau 21 Hz. Sedangkan untuk respon tegangan sistem ketika terjadi gangguan ditunjukkan gambar 4.48 di bawah ini.



Gambar 4.48 Respon tegangan pada saat generator 051G101, 051G102 dan 051G103 trip tanpa pelepasan beban

Respon tegangan pada saat generator 051G101, 051G102 dan 051G103 lepas, dari gambar 4.48 di atas dapat dijelaskan bahwa ketika terjadi gangguan dalam kondisi pembangkitan minimum yaitu generator 51G1 “OFF” respon tegangan sesaat setelah ada gangguan mengalami osilasi turun sampai batas minimum 77% atau 10,62 kV, selanjutnya sistem tenaga listrik dalam kondisi abnormal dan menunjukkan penurunan tegangan sistem sampai mencapai batas minimum 72% dari $t = 40s$ sampai $t = 150s$. kondisi seperti ini tidak diperbolehkan dalam standar sistem tenaga listrik PT Pertamina RU IV Cilacap.

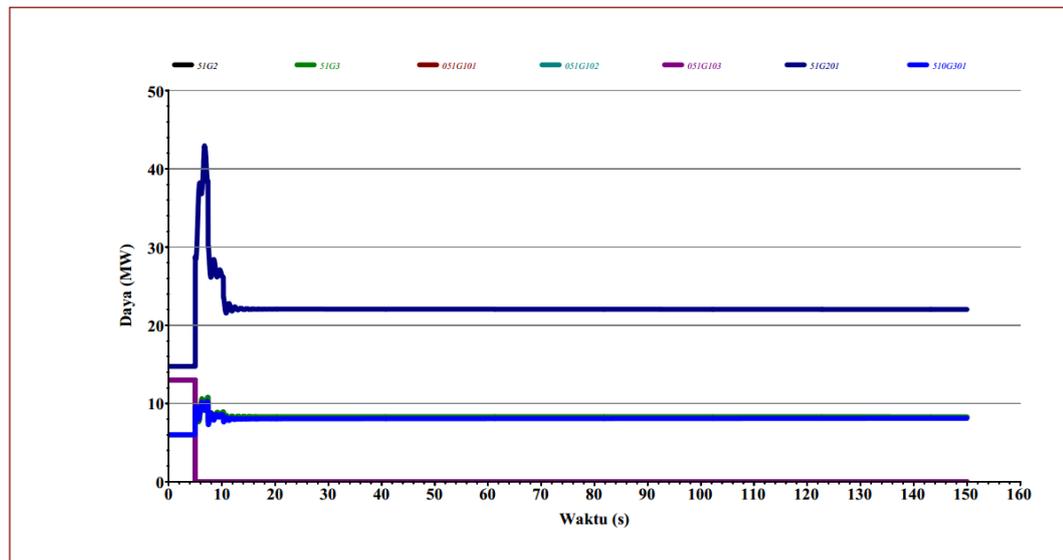
b. Setelah pelepasan beban



Gambar 4.49 Respon frekuensi pada saat generator 051G101, 051G102 dan 051G103 trip setelah pelepasan beban

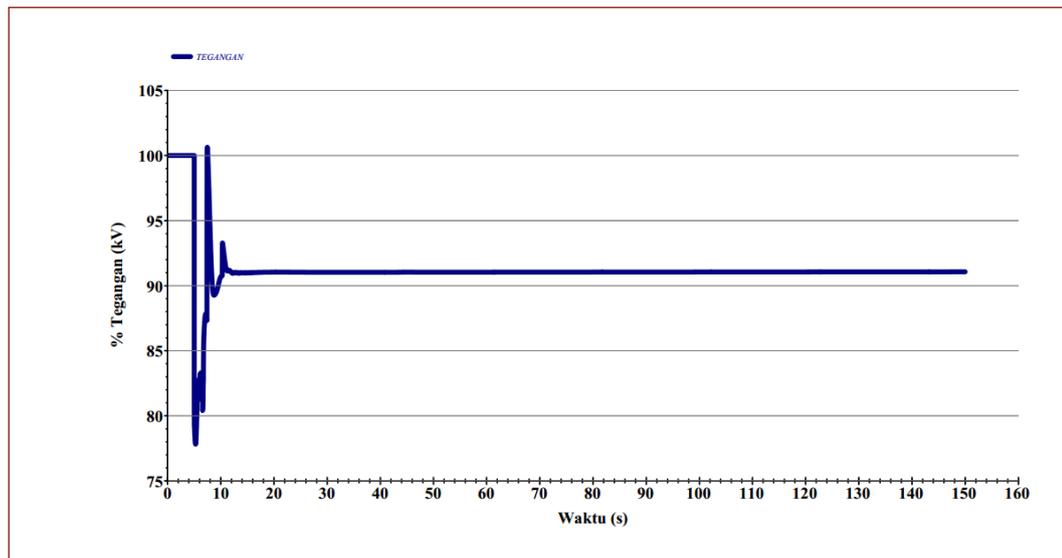
Dari gambar 4.49 di atas, dapat ditunjukkan bahwa terjadi gangguan pada saat $t = 5s$ dengan total simulasi 150s ditunjukkan respon frekuensi sistem terus-menerus turun hingga mencapai batas minimum pelepasan beban tahap pertama

pada saat $t = 6,6s$. Berdasarkan standar ANSI/IEEE C37.106-1987, pelepasan beban tahap pertama dilakukan UFR (*Under Frequency Relay*) dengan waktu tunda $t = 0,1s$ sehingga pelepasan beban tahap pertama dilakukan pada saat $t_1 = 6,7s$ sebesar 2,4 MW. Sesuai dengan standar PT Pertamina RU IV Cilacap pelepasan beban tahap pertama dilakukan pada saat frekuensi sistem tenaga listrik mencapai nilai 98% atau 49 Hz. Namun, setelah dilakukan pelepasan beban tahap pertama pada saat $t_1 = 6,7s$ frekuensi sistem terus-menerus turun hingga mencapai batas minimum pelepasan beban tahap kedua yaitu pada batas 97% atau 48,5 Hz pada saat $t = 7,2s$. Sesuai dengan standar yang diberlakukan PT Pertamina RU IV Cilacap pelepasan beban tahap kedua dilakukan pada saat frekuensi sistem mencapai nilai 97% atau 48,5 Hz selang tunda waktu 0,1s. Sehingga pelepasan beban tahap kedua dilakukan pada saat $t_2 = 7,3s$ sebesar 15,58 MW. Setelah dilakukan pelepasan beban tahap kedua sebesar 15,58 MW, ditunjukkan gambar 4.49 di atas bahwa frekuensi sistem terus-menerus masih turun, sehingga mencapai batas minimum pelepasan tahap ketiga pada saat $t = 10,1s$ sesuai dengan standar PT Pertamina RU IV Cilacap pelepasan beban tahap ketiga dilakukan pada saat frekuensi sistem mencapai batas minimum yaitu pada nilai 95% atau 47,5 Hz selang tunda waktu 0,1s sehingga pelepasan beban tahap ketiga dilakukan pada saat $t_3 = 10,2s$ sebesar 6,7 MW. Namun, setelah dilakukan pelepasan sebesar 6,7 MW pada saat $t_3 = 10,2s$ frekuensi sistem masih turun terus-menerus. Karena hilangnya suplai daya aktif dari pembangkit utilities II, seperti yang ditunjukkan gambar 4.50 dibawah ini.



Gambar 4.50 Perubahan daya aktif generator 51G2, 51G3, 51G301 dan 51G201 pada saat generator 051G101, 051G102 dan 051G103 trip setelah pelepasan beban

Ditunjukkan gambar 4.50 di atas bahwa setelah dilakukan pelepasan beban sampai tiga tahap pelepasan, sistem tenaga listrik masih kekurangan suplai daya aktif, karena generator yang masih beroperasi bekerja di atas batas maksimum kemampuan generator, sehingga dipastikan sistem dalam keadaan abnormal dan kalau dibiarkan tanpa adanya pelepasan beban secara manual pemadaman total dapat terjadi, karena pembangkit utilities II merupakan pembangkit terbesar yang dimiliki PT Pertamina RU IV Cilacap dengan tiga pembangkit yang bisa menyuplai daya aktif maksimum sebesar 60 MW. Sehingga apabila pembangkit tersebut lepas dapat dipastikan sistem mengalami kondisi abnormal seperti ditunjukkan gambar 4.49 dan 4.50 di atas. Sedangkan untuk kondisi tegangan sistem tenaga listrik ditunjukkan gambar 4.51 di bawah ini.



Gambar 4.51 Respon tegangan pada saat generator 051G101, 051G102 dan 051G103 trip setelah pelepasan beban

Respon tegangan ditunjukkan pada gambar 4.51 di atas, dijelaskan bahwa ketika terjadi gangguan generator 051G101, 051G102 dan 051G103 lepas pada kondisi pembangkitan minimum yaitu generator 51G1 “OFF” respon tegangan mengalami osilasi turun sampai batas minimum 77% atau 10,62 kV. Selanjutnya setelah dilakukan pelepasan beban tahap pertama, kedua dan pelepasan beban tahap ketiga respon tegangan menunjukkan osilasi yang meningkat hingga mencapai batas maksimum 101% atau 13,93 kV, lonjakan tersebut merupakan respon ketika terjadi pelepasan beban tahap pertama, kedua dan ketiga sebesar 24,68 MW. Selanjutnya kondisi tegangan sistem kembali turun dan mencapai kestabilan pada nilai 91% atau 12,55 kV, kondisi ini merupakan kondisi abnormal.

4.2.11 Pelepasan Beban Secara Manual

Berdasarkan hasil simulasi studi kasus TS 10 terdapat tiga generator lepas, yaitu generator 051G101, 051G102 dan 051G103 yang menyebabkan kondisi sistem tenaga listrik tidak stabil. Hilangnya suplai daya sebesar 39 MW yang dihasilkan ketiga generator tersebut membuat laju penurunan frekuensi begitu cepat dalam pembangkitan minimum generator 51G1 “OFF”, sehingga setelah dilakukan pelepasan beban menggunakan UFR (*Under Frequency Relay*) sampai tiga tahap pelepasan, sistem tenaga listrik masih dalam kondisi abnormal, sehingga perlu dilakukan pelepasan beban secara manual untuk mengembalikan sistem tenaga listrik kembali stabil dan normal.

Besar beban yang harus dilepas berdasarkan studi kasus TS 10 dengan mempertimbangkan suplai daya aktif yang dihasilkan generator yang masih beroperasi yaitu 51G2 (8 MW), 51G3 (8 MW), 51G301(8 MW) dan 51G201 (20 MW), sehingga total suplai daya yang dapat memenuhi kebutuhan suplai beban adalah 44 MW dalam pembangkitan maksimum. Sedangkan total beban yang dilepaskan pada tahap pertama, tahap kedua dan tahap ketiga menggunakan UFR (*Under Frequency Relay*) adalah sebesar 24,68 MW, sehingga total beban yang masih terpasang adalah sebesar 47,04 MW. Karena besar suplai daya yang dihasilkan generator setelah terjadi gangguan dan pelepasan beban lebih kecil dibanding jumlah kebutuhan beban, maka perlu dilakukan pelepasan beban secara manual. Suplai daya yang tersedia sebesar 44 MW, sedangkan kebutuhan beban sebesar 47,04 MW, untuk mengembalikan sistem dalam keadaan normal perlu dilakukan pelepasan beban secara manual minimum sebesar 3,04 MW. Sehingga

diharapkan setelah dilakukan pelepasan beban secara manual dengan mempertimbangkan prioritas beban yang akan dilepas secara manual, sistem tenaga listrik dapat kembali normal dalam standar sistem tenaga listrik PT Pertamina RU IV Cilacap.