

## Pengembangan Pemodelan Pembangkit Mini Hydro untuk Kajian Frekuensi

Herris Yamashika\*, Syafii  
Universitas Andalas, Padang  
E-mail: herris.yamashika@yahoo.com

---



---

### ABSTRACT

*This paper present small hydro power generation modelling for frequency study purpose by Low-order System Frequency Response modelling technique. Neglecting nonlinearity of turbin and governor is the advantages this modelling technique, however still considering essential dynamic parameter. This modelling developed using Simulink-MATLAB. Model simulate by applied generator overload, and then running load shedding shceme after overload occured. Overload simulation result without load shedding shown lowest frequency reach 41.01 Hz for 0.4 pu overload level, with steady state frequency 49.05 Hz. Simulation with load shedding show different response of frequency according to load shedding value applied. Negative overshoot occur if load shedding value less than overload level, and positive overshoot occur if overload level less than load shedding value. Frequency can return to nominal value 50 Hz if overload level equal to load shedding value.*

**Keywords:** System frequency response, under frequency load shedding, modelling, and simulation.

### ABSTRAK

Paper ini mengajukan pemodelan pembangkit tenaga air skala kecil guna keperluan studi frekuensi dengan teknik pemodelan *Low-order System Frequency Response*. Kelebihan teknik pemodelan ini, parameter non linear turbin dan governor akan diabaikan, namun tetap mempertimbangkan parameter dinamis turbin dan governor yang bersifat esensial. Pemodelan dilakukan menggunakan Simulink-MATLAB. Model ini disimulasikan dengan memberikan kondisi *overload* pada pembangkit, dan melepaskan beban (*load shedding*) setelah terjadi *overload*. Hasil simulasi *overload* tanpa *load shedding* menunjukan bahwa frekuensi terendah yang dicapai 41.01 Hz untuk *overload* sebesar 0.4 pu, dengan frekuensi *steady state* adalah 49.05 Hz. Simulasi dengan *load shedding* menunjukan respon frekuensi yang berbeda berdasarkan nilai *load shedding* yang diterapkan. *Overshoot* negatif terjadi pada kondisi *load shedding* lebih kecil dari *overload*, dan *overshoot* positif terjadi ketika *load shedding* lebih besar dari *overload*. *Load shedding* dengan nilai sebesar *overload*, frekuensi dapat kembali pada nilai nominal 50 Hz.

**Kata Kunci:** System frequency response, under frequency load shedding, pemodelan dan simulasi.

---



---

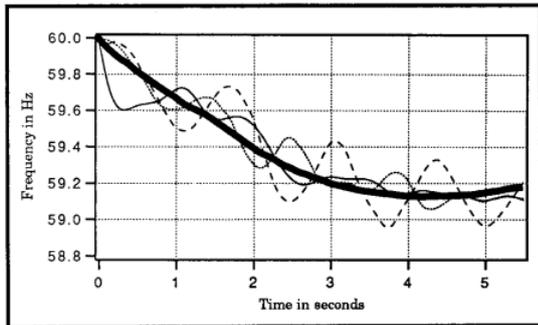
## 1. PENDAHULUAN

Pembangkit air skala kecil (PLTMH) yang terhubung dengan jaringan distribusi telah menjadi salah satu alternatif pola penyediaan tenaga listrik. Manfaat pembangkit PLTMH secara teknis dapat mengurangi jatuh tegangan pada saluran distribusi radial, peningkatan kehandalan, dan mengurangi losses pada jaringan. Mayoritas pembangkit PLTMH memanfaatkan aliran sungai sebagai penggerak turbin, namun kemampuan pembangkit PLTMH sangat bergantung pada debit air aliran sungai, dimana daya yang mampu untuk dibangkitkan berbanding lurus dengan debit air.

PLTMH yang terhubung dengan penyulang (*on grid*), dapat memenuhi kebutuhan daya untuk seluruh atau sebagian beban pada penyulang tersebut. Permasalahan akan timbul jika pasokan dari sistem utama (*grid*) terputus, sehingga pembangkit small hydro akan beroperasi pada mode *isolated*. Apabila kemampuan pembangkitan PLTMH lebih kecil daripada jumlah beban pada penyulang yang dilayani, maka perbedaan tersebut akan menyebabkan terjadinya *under frequency*,

sehingga dapat menyebabkan *trip* pembangkit dan pemadaman akan meluas. Skema pelepasan beban (*under frequency load shedding/UFLS*) diterapkan sebagai salah satu upaya untuk mengatasi gangguan frekuensi. Besaran beban yang akan dilepaskan harus ditetapkan dengan jumlah yang tepat.

Perkembangan teknologi perangkat lunak saat ini telah mendukung upaya untuk memodelkan sistem kelistrikan dan melakukan kajian *UFLS*. Setiap komponen dalam sistem kelistrikan dimodelkan sesuai dengan karatekistik masing-masing melalui persamaan matematika. Salah satu model yang digunakan dalam melakukan kajian *UFLS* adalah model *Low-order System Frequency Response (SFR)*. Pengembangan model *SFR* muncul dari pemikiran untuk mendapatkan responses frekuensi tanpa osilasi, dimana gejala osilasi antar generator yang beroperasi sinkron difilter, sehingga hanya menyisakan nilai respons rata-rata frekuensi sistem [1]. Seperti yang terlihat pada Gambar 1, yang menggambarkan o silasi frekuensi antar 2 pembangkit, sehingga diperlukan mencari nilai rata-



**Gambar 1** Osilasi frekuensi antar 2 generator, dan frekuensi rata-rata.

rata repons masing mesin tanpa osilasi yang dapat mewakili kondisi frekuensi rata-rata sistem, seperti yang ditunjukkan oleh kurva dengan garis tebal pada Gambar 1.

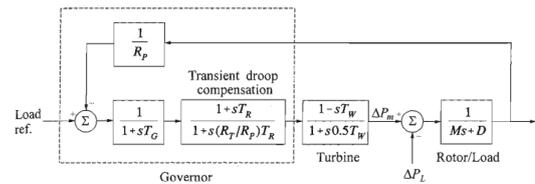
Model SFR telah digunakan para peneliti untuk mengembangkan skema *UFLS*, diantaranya pada penelitian [2][3][4]. Penelitian [2] melakukan pemodelan untuk mendapat optimasi *UFLS* pada sistem SESCO di Serawak Malaysia. Hasil yang diperoleh memperlihatkan kecocokan dengan kejadian yang sebenarnya. Penggunaan model SFR untuk melihat kinerja *Primary Frequency Regulation (PFR)* dan *Overspeed Frequency Control (OPC)* dilakukan pada penelitian [3]. Penelitian [4] juga menggunakan model *SFR* untuk mengembangkan *UFLS* adaptif pada sistem *isolated*.

Tulisan ini akan menjelaskan pemodelan *SFR* menggunakan Simulink MATLAB, untuk melihat karakteristik frekuensi PLTMH pada kondisi operasi *islanding*. Pemodelan akan membandingkan respon frekuensi pada beberapa kondisi overload, dengan dan tanpa *load shedding*.

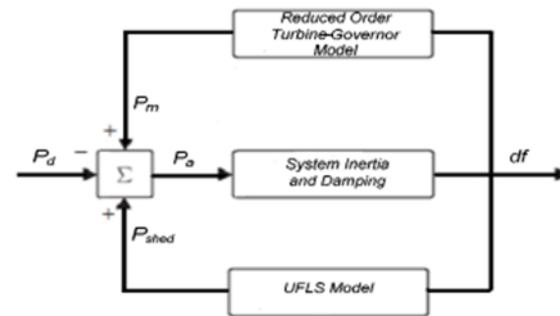
**2. TINJAUAN PUSTAKA**

Penggunaan model SFR akan mengabaikan parameter non linear sistem, dimana unit pembangkit dimodelkan terhubung pada satu bus tunggal yang memiliki lump load. Pemodelan SFR terdiri dari pemodelan governor, turbin, dan generator dan perubahan beban. Setiap model dinyatakan dalam persamaan matematik yang berbentuk fungsi alih.

Fungsi alih yang akan digunakan untuk memodelkan SFR PLTMH pada kondisi isolated seperti yang terlihat pada Gambar 2. Dari Gambar 2 tersebut dapat dilihat bahwa parameter non linear turbin dan pipa pesat diabaikan. Governor dimodelkan dengan mempertimbangkan permanent droop (RP), main servo time constant (TG), temporary droop (RT), dan reset time (TR). Sedangkan turbin dimodelkan hanya



**Gambar 2** Model SFR pembangkit hidro.



**Gambar 3** Model UFLS

mempertimbangkan water starting time (TW). Beban dan generator dimodelkan sebagai fungsi putaran generator terhadap ketidak seimbangan beban.

Skema UFLS dimodelkan dengan memberikan step *step input*  $\Delta P_L$  sebagai perubahan beban yang merupakan fungsi dari frekuensi sistem, seperti yang terlihat pada Gambar3.

Besaran DPL adalah besarnya beban load shedding, dengan aturan aljabar sebagai berikut:

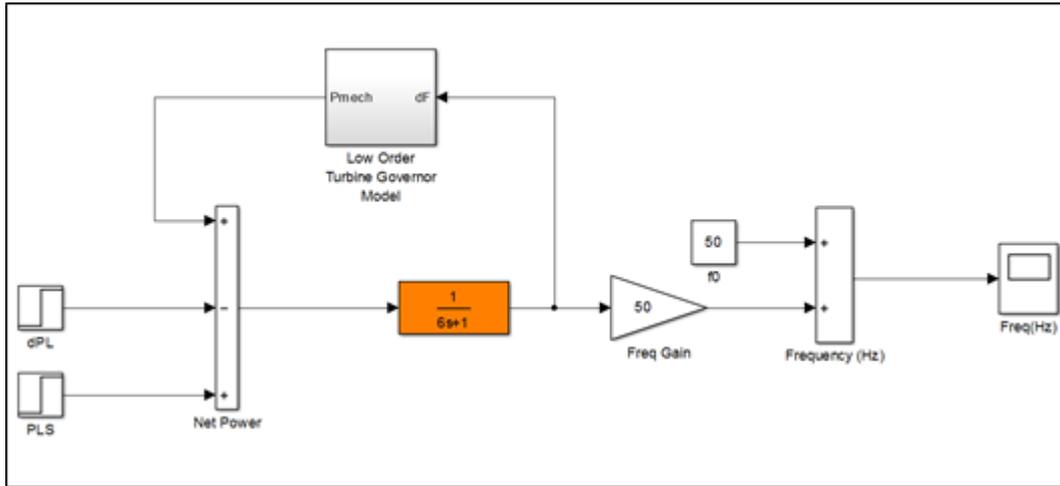
- $\Delta P_L > 0$ , untuk penambahan beban atau pengurangan pasokan daya.
- $\Delta P_L < 0$  untuk pengurangan beban atau penambahan pasokan daya.

Besaran *load shedding* tersebut ditentukan oleh suatu algoritma tersendiri. Tulisan ini tidak akan membahas mekanisme perhitungan beban load shedding, hanya melihat kelayakan model *SFR* dapat digunakann untuk melakukan kajian *UFLS*.

**3. PEMODELAN DAN SIMULASI**

Pemodelan SFR akan dilakukan dengan Simulink MATLAB menggunakan fungsi alih seperti pada Gambar 2 dengan parameter yang ditunjukkan oleh Tabel 1, dan parameter load reference diberi nilai nol. Pemodelan sistem seperti yang terlihat pada gambar 4, dan gambar 5 menunjukkan pemodelan Simulink-MATLAB dari model Low-order SFR dari gambar 2.

Simulasi akan dilakukan dengan dan tanpa load shedding. Kondisi operasi *islanding* PLTMH



Gambar 4 Model Simulink MATLAB

Tabel 1 Parameter pemodelan

Parameter	Nilai
$R_P$	0.05
$T_W$	1.56
$T_G$	0.20
$R_T$	0.38
$H$	3.00
$T_R$	5.00
$D$	1.00

Tabel 2 Skenario simulasi

simulasi	over load (pu)	load shedding (pu)
<b>Tanpa Load shedding</b>	0.20 pu	-
	0.30 pu	-
	0.40 pu	-
<b>Dengan Load Shedding</b>		0.10 pu
		0.20 pu
		0.30 pu
		0.15 pu
	0.30 pu	0.30 pu
	0.40 pu	0.45 pu
	0.20 pu	
	0.40 pu	
	0.60 pu	

disimulasikan dengan  $\square PL = 0$  pu, untuk  $t < 2$  detik, dimana kondisi ini menunjukkan frekuensi sistem harus berada pada nilai 50 Hz. Pada  $t = 2$  detik, nilai  $\square PL > 0$ , yang mencerminkan terputus pasokan dari grid, simulasi akan berhenti pada  $t = 100$  detik.

Simulasi dengan *load shedding* dilakukan dengan memberikan nilai positif dari blok *load shedding control*, dan waktu tundanya adalah 0,2 detik. Skenario simulasi yang menjelaskan *overload*

yang terjadi, dan besaran *load shedding* yang diberikan dapat pada Tabel 2.

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Respons transient dan steady state dari hasil simulasi seperti tabel 2 akan dianalisa. Parameter yang diamati yaitu: frekuensi maximum ( $f_{max}$ ), frekuensi minimum ( $f_{min}$ ), frekuensi steady state ( $f_{ss}$ ), settling time ( $t_s$ ), dan steady state error ( $e_s$ ).

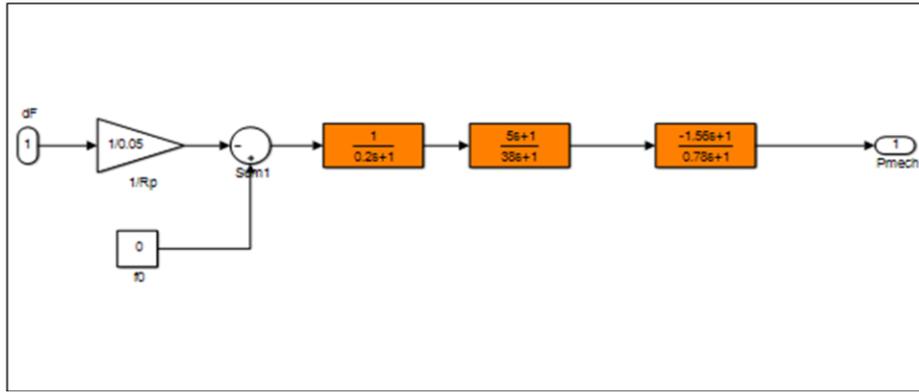
Kriteria batas bawah dan batas atas frekuensi tersebut mengacu pada kriteria yang diterapkan untuk proteksi generator [6], yaitu 47,5 Hz untuk batas bawah, dan 52,5 Hz untuk batas atas. Kejadian under frequency juga akan menimbulkan overflux [7], sehingga menyebabkan pemanasan pada rotor.

Selain penyuplai utama di atas terdapat sebuah generator diesel seperti pada gambar 4, berfungsi untuk menyuplai peralatan-peralatan esensial, yakni peralatan yang harus tetap beroperasi ketika unit mengalami gangguan/pemadaman dan *firing*. Untuk beberapa peralatan juga terdapat dua sumber suplai listrik yang di-*interlock* oleh relay. Sebagai contoh adalah *feeder 01LGA* yang disuplai

##### 4.1. Hasil simulasi tanpa load shedding.

Gambar 5 menunjukkan respons frekuensi kondisi *overload* tanpa *load shedding*. Osilasi frekuensi yang ditunjukkan oleh gambar 5 merupakan respon governor terhadap perubahan beban. Hasil analisa respon frekuensi tanpa *load shedding* dapat dilihat pada tabel 3.

Nilai  $f_{max}$  terbesar dan  $f_{min}$  terkecil dicapai ketika terjadi *overload* sebesar 0.4 pu. Semakin besar *overload* yang terjadi, maka  $f_{max}$  yang terjadi semakin tinggi,  $f_{min}$  yang terjadi juga semakin rendah. Frekuensi *steady state* yang tercapai akan semakin rendah jika *overload* yang terjadi semakin besar, dimana  $f_{ss}$  untuk *overload* tertinggi sebesar



Gambar 5 Model Low-order SFR Turbin Governor

Tabel 3 Analisa respon transient dan steady state kondisi overload tanpa load shedding

Over load (pu)	$f_{max}$ (Hz)	$f_{min}$ (Hz)	$f_{ss}$ (Hz)	$t_s$ (sec)	$e_s$ (%)
0.2	50.52	45.50	49.52	67.65	0.96
0.3	50.79	43.25	49.29	72.75	1.42
0.4	51.05	41.01	49.05	63.50	1.90

0.4 pu,  $f_{ss}$  yang dicapai adalah 49,05 Hz dengan  $t_s$  adalah 63.5 detik. Sementara itu, untuk overload terendah sebesar 0.2 pu,  $f_{ss}$  yang tercapai adalah 49.52 Hz dengan  $t_s$  selama 67.65 detik.

4.2. Hasil simulasi dengan load shedding

Simulasi kondisi overload dengan *load shedding* dilakukan sesuai dengan skenario pada tabel 2. Respon frekuensi untuk *overload* sebesar 0.2 pu, 0.3 pu, dan 0.4 pu ditunjukkan oleh gambar 6, gambar 7, dan gambar 8 berturut-turut. Analisa respon frekuensi ditunjukkan oleh tabel 4, tabel 5, dan tabel 6 untuk untuk *overload* sebesar 0.2 pu, 0.3 pu, dan 0.4 pu berturut-turut.

Respon frekuensi kondisi overload sebesar 0.2 pu memperlihatkan bahwa ketika dilakukan load shedding sebesar 0.1 pu, terjadi *overshoot* negatif sampai 47,73 Hz, dan mencapai  $f_{ss}$  49,76 Hz selama 49.35 detik. Ketika *load shedding* dilakukan sebesar *overload* yang terjadi (0.2 pu), frekuensi dapat kembali ke nilai nominal 50 Hz, selama 37.4 detik. Osilasi yang diperlihatkan tidak terjadi *overshoot* yang begitu besar. Untuk *load shedding* lebih besar dari *overload* yang terjadi (0.3 pu),  $f_{ss}$  lebih besar dari nominal yaitu 50.24 Hz, dengan waktu yang diperlukan adalah 50.10 detik. Osilasi frekuensi menunjukkan bahwa terjadi *overshoot* positif sebesar 52.35 Hz.

Respon frekuensi untuk *overload* sebesar 0.3 pu dan 0.4 pu menunjukkan karakteristik yang tidak

Tabel 4 Analisa respon transient dan steady state kondisi overload 0.2 pu dengan load shedding

$P_{LS}$ (pu)	$f_{max}$ (Hz)	$f_{min}$ (Hz)	$f_{ss}$ (Hz)	$t_s$ (sec)	$e_s$ (%)
0.10	50.28	47.73	49.76	49.35	0.48
0.20	50.32	49.61	50.00	37.40	0.00
0.30	52.32	49.67	50.24	50.10	-0.48

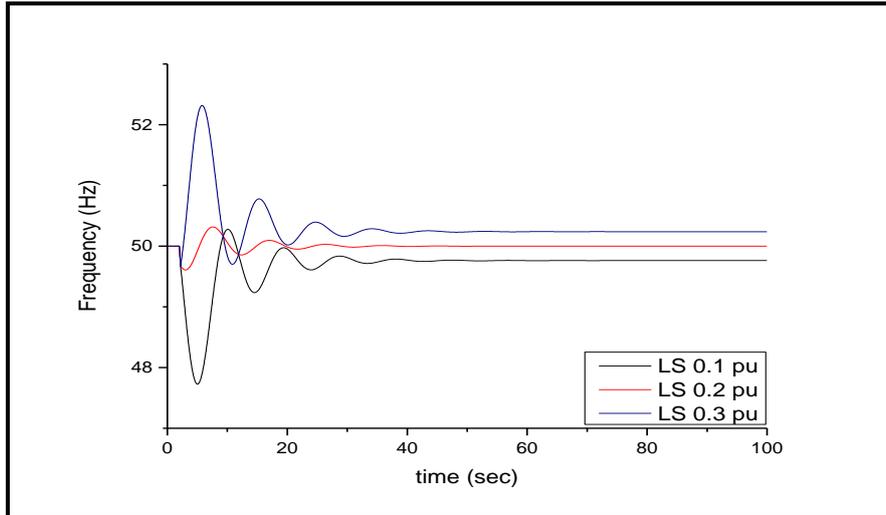
Tabel 5 Analisa respon transient dan steady state kondisi overload 0.3 pu dengan load shedding

$P_{LS}$ (pu)	$f_{max}$ (Hz)	$f_{min}$ (Hz)	$f_s$ (Hz)	$t_s$ (sec)	$e_s$ (%)
0.15	50.42	46.59	49.64	58.40	0.72
0.30	50.47	49.41	50.00	41.85	0.00
0.45	53.48	49.50	50.36	59.20	-0.72

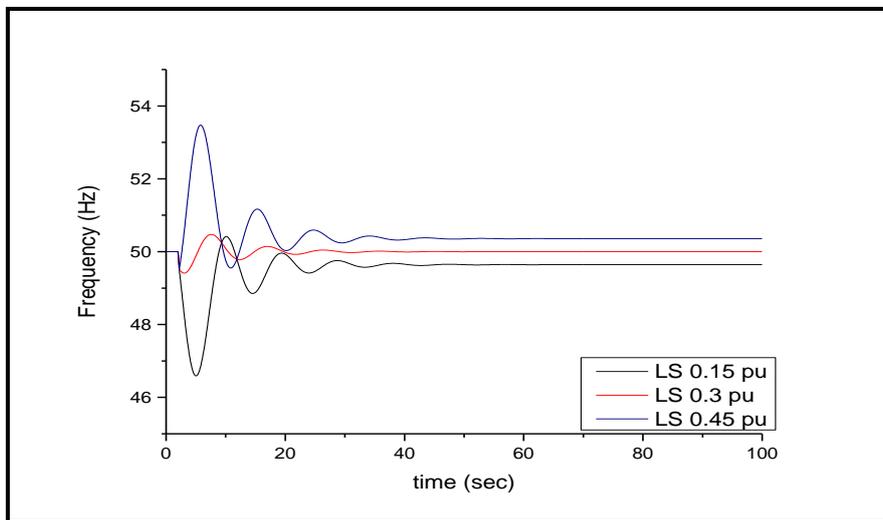
Tabel 6 Analisa respon transient dan steady state kondisi overload 0.4 pu dengan load shedding

$P_{LS}$ (pu)	$f_{max}$ (Hz)	$f_{min}$ (Hz)	$f_s$ (Hz)	$t_s$ (sec)	$e_s$ (%)
0.20	50.55	45.45	49.52	67.45	0.96
0.40	50.63	49.21	50.00	46.10	0.00
0.60	54.63	49.33	50.48	68.25	-0.96

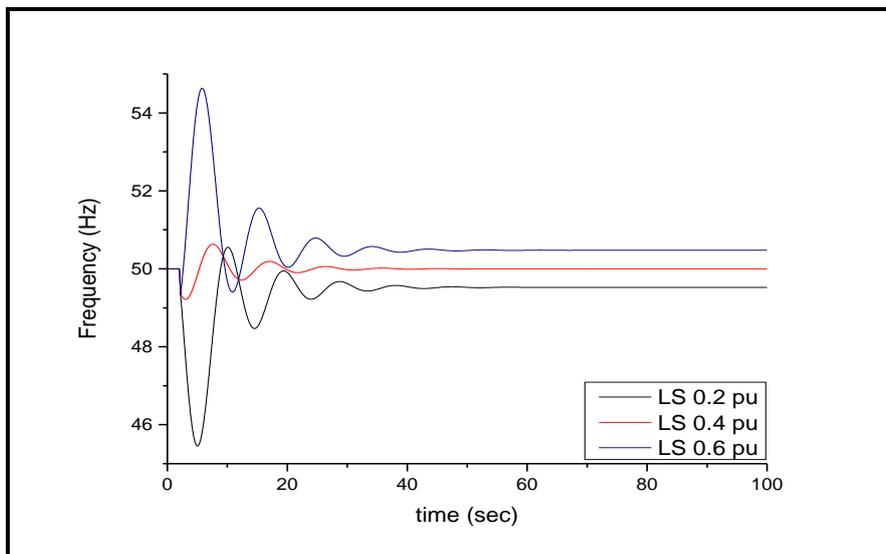
berbeda dengan respon *overload* 0.2 pu. Untuk *load shedding* yang lebih kecil dari *overload*, respon frekuensi sama-sama menunjukkan terjadinya *overshoot* negatif, yaitu sebesar 46.59 Hz untuk overload 0.3 pu, dan 45.45 Hz untuk *overload* 0.4 pu,  $f_{ss}$  yang dicapai lebih kecil dari nominal 50 Hz.



**Gambar 6** Respons frekuensi overload 0.2 pu dengan load shedding



**Gambar 7** Respons frekuensi overload 0.3 pu dengan load shedding



**Gambar 8** Respons frekuensi overload 0.4 pu dengan load shedding

Respon frekuensi untuk *load shedding* sebesar *overload*, frekuensi dapat kembali ke nilai 50 Hz,  $t_s$  yang diperlukan adalah 41.85 detik untuk *overload* 0.3 pu, dan 46.10 detik untuk *overload* 0.4 pu.

*Load shedding* yang diterapkan dengan nilai yang lebih besar dari *overload*, memperlihatkan respon frekuensi yang menunjukkan terjadinya *overshoot* positif, yaitu sebesar 53.48 Hz untuk *overload* 0.3 pu, dan 54.63 Hz untuk *overload* 0.4 pu. Nilai  $f_{ss}$  yang dicapai pun lebih besar dari nominal 50 Hz, yaitu 50.36 Hz untuk *overload* 0.3 pu, dan 50.48 Hz untuk *overload* 0.4 pu.

## 5. KESIMPULAN

Setelah dilakukan pemodelan dan simulasi, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Penerapan *load shedding* dengan nilai lebih kecil dari *overload* yang terjadi akan memberikan respon *overshoot* negatif, frekuensi *steady state*  $f_{ss}$  yang tercapai lebih kecil dari nominal.
2. *Load shedding* dengan nilai yang sama *overload* yang terjadi, frekuensi dapat kembali ke nominal 50 Hz, waktu yang diperlukan untuk mencapai nilai *steady state*  $t_s$  paling cepat dibandingkan dengan *load shedding* lebih besar atau lebih kecil dari *overload*.
2. *Load shedding* dengan nilai lebih besar dari *overload*, menunjukkan respon frekuensi yang

mengalami *overshoot* positif dan  $f_{ss}$  yang tercapai lebih besar dari nominal.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. M. Anderson and M. Mirheydar, "A Low-Order System Frequency Response Model," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 5, no. 3, pp. 720–729, 1990.
- [2] D. L. Hau Aik, "A General-Order System Frequency Response Model Incorporating Load Shedding: Analytic Modeling and Applications," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 21, no. 2, pp. 709–717, 2006.
- [3] C. Wu, L. Gao, and Y. Dai, "Simulation and Optimization of Load Shedding Scheme for Islanded Power System," in *International Conference on Power System Technology*, 2010, pp. 1–6.
- [4] C. Powell, S. Bahadoorsingh, S. A., and C. Sharma, "An Adaptive Under Frequency Load Shedding Scheme for a Small Island Power System," pp. 0–4, 2016.
- [5] P. Kundur, *Power System Stability And Control*. McGraw-Hill, 1994.
- [6] D. Marsudi, *Operasi Sistem Tenaga Listrik*, Edisi ke-2. Graha Ilmu, 2006.
- [7] A. Grid, *Network Protection & Automation Guide Network Protection & Automation Guide*, First. Alstom Grid, 2011.