

Pemodelan dan Simulasi *Isolated Small Hydroelectric Plant* (SHP)

Yusran^{1*}, Mochamad Ashari², Adi Soeprijanto³

Mahasiswa PPs Teknik Elektro ITS, / Staf Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia^{1*}
e-mail: yusranibnu@yahoo.com, yusran@elect-eng.its.ac.id
Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia^{2,3}

Abstrak

Unit pembangkitan *small hydro* dikenal sebagai *Small Hydroelectric Plant* (SHP) merupakan bagian penting dalam pengembangan potensi sumber daya *small hydro*. Karakteristik *isolated* SHP bisa didapatkan melalui pemodelan dan simulasi. SHP dimodelkan dengan menggunakan transformasi Laplace menjadi fungsi alih dan selanjutnya disimulasikan dengan menggunakan Simulink-MATLAB. Nilai *head* berpengaruh terhadap nilai deviasi pembangkitan, deviasi frekuensi dan deviasi *opening gate*. SHP dengan nilai *head* rendah lebih stabil bila dibandingkan dengan nilai *head* sedang dan tinggi.

Katakunci: pemodelan dan simulasi, *isolated small hydro plant*, simulink-MATLAB

1. Pendahuluan

Energi listrik merupakan jenis energi yang memiliki peranan yang sangat penting bagi kehidupan masyarakat akan tetapi dewasa ini ketersediaan maupun ketersebarannya masih merupakan permasalahan yang belum terpecahkan terutama untuk daerah-daerah yang terpencil dan jauh dari pusat beban. Sejumlah besar desa di Indonesia belum mempunyai sambungan listrik dan sebagian lagi sudah mendapatkan pasokan listrik dari grid walaupun hanya untuk beberapa jam saja dalam sehari. Salah satu solusi permasalahan tersebut adalah dengan mengoptimalkan pemanfaatan sumber energi terbarukan berupa angin, cahaya matahari, biomassa, dan tenaga air atau hidro sebagai pembangkit daya listrik. Salah satu potensi energi terbarukan yang tersebar luas di Indonesia dan masih memungkinkan dikembangkan dengan skala massif adalah potensi minihidro, mikrohidro dan pikohidro. Ketiganya termasuk dalam kategori *small hydro*. Energi yang terkandung dalam aliran air dapat digunakan untuk *small hydro plant*. Sumber daya yang bersih ini oleh karenanya dapat memegang peranan penting dalam elektrifikasi pedesaan di Indonesia. *Small hydro power generation* merupakan yang teknologi yang terbukti efektif dan efisien. Beberapa wilayah geografis di Indonesia mempunyai sejumlah besar aliran *small hydro*, yang dapat digunakan untuk pembangkitan listrik yang beroperasi baik terhubung dengan grid ataupun beroperasi secara *stand alone generation* untuk memenuhi permintaan listrik secara lokal pada lokasi tertentu. Unit pembangkitan *small hydro* ini dikenal dengan nama *Small Hydroelectric Power Plant* (SHP).. Pengetahuan tentang SHP sangat

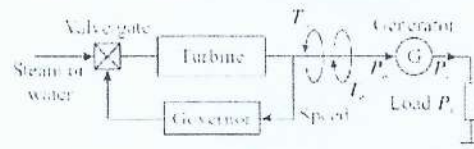
dibutuhkan dalam rangka pengembangan potensi *small hydro* tersebut.

2. Model Matematika Sistem SHF

Model yang sesuai untuk keseluruhan komponen sistem merupakan sesuatu yang fundamental untuk keperluan simulasi dan evaluasi sistem. Konsep dasar untuk modeling sistem dijelaskan sebagai berikut:

2.1 Sistem Generator dengan Beban

Model ini didasarkan pada representasi skematik diagram generator dengan beban sebagaimana gambar 1

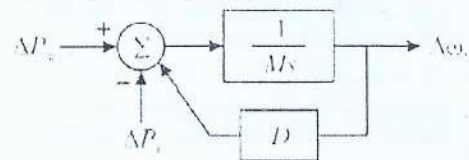


Gambar 1. Diagram Generator dengan Beban

keterangan :

T_m = torka mekanik
 P_m = daya mekanik
 P_e = daya listrik
 P_L = daya beban

Fungsi alih sebuah generator dengan beban diperlihatkan pada gambar 2



Gambar 2. Fungsi Alih Generator Berbeban

keterangan :

M_s = konstanta inersia generator

D = konstanta *load damping*

$\Delta\omega_r$ = selisih frekuensi

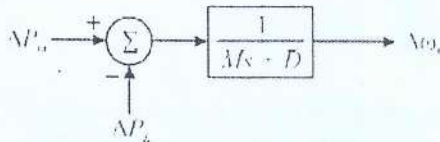
ΔP_m = selisih daya mekanik

ΔP_L = selisih daya beban

Sebuah representasi alternatif dapat dinyatakan jika generator + *load transfer function* dinyatakan sebagai:

$$G_{rg} = \frac{1}{Ms + D} \quad (1)$$

dimana model direduksi hingga menjadi satu blok saja yaitu :



Gambar 3. Model Ekuivalen Generator + Beban

Beban dalam sistem tenaga listrik terdiri atas beberapa tipe. Untuk beban pasif (misalnya impedansi konstan) maka daya listrik tidak tergantung frekuensi. Untuk motor, daya listrik berubah mengikuti kecepatan rotor. Beban tergantung frekuensi dapat dinyatakan dengan :

$$\Delta P_e = \Delta P_L + D\Delta\omega_r \quad (2)$$

keterangan:

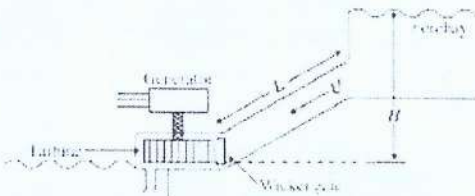
ΔP_L = perubahan beban, tidak tergantung frekuensi

$D\Delta\omega_r$ = frekuensi-tergantung perubahan beban

Konstanta *damping* (D) dinyatakan sebagai persentasi perubahan beban untuk 1 % perubahan frekuensi. $D = 2$ berarti 2 % perubahan pada beban untuk 1 % perubahan frekuensi. Nilai tipikal untuk D antara 1 %- 2 %.

2.2 Turbin

Model matematika untuk mensimulasikan kinerja mekanik turbin didasarkan pada representasi skematik dari sebuah *hydro plant* (gambar 4)



Gambar 4. Representasi skematik dari sebuah *hydro plant*

keterangan :

H = tinggi muka air

U = kecepatan air

L = panjang *penstock*

Daya mekanik turbin adalah perbandingan antara tekanan dan aliran sebagai berikut :

$$P_m = K_p H U \quad (3)$$

dengan K_p = konstanta proporsional

Fungsi alih turbin dinyatakan sebagai berikut :

$$G_t = \frac{\Delta P_m}{\Delta G} = \frac{1 - T_w s}{1 + 0.5 T_w s} \quad (4)$$

keterangan :

T_w = konstanta waktu air

ΔG = selisih pembukaan *gate*

T_w dirumuskan sebagai berikut

$$T_w = \frac{L_r U_r}{a H_r} \quad (5)$$

keterangan :

a = percepatan gravitasi

r = nilai rata-rata

2.3 Kontrol Valve Motor Servo

Metoda paling umum kontrol posisi dengan menggunakan motor servo, yaitu melalui pengontrolan tegangan armatur dan menjaga medan agar konstan. Motor servo memiliki kelebihan antara karakteristik kecepatan linier-torka, respons yang cepat serta tersedia pada seluruh rentang daya. Aliran air dikontrol dengan pengontrolan posisi valve. Fungsi alih motor servo dc diberikan melalui persamaan :

$$\frac{\theta(s)}{E_a(s)} = \frac{K}{s[L_a J s^2 + (L_a b + R_a J)s + R_a b + K K_b]} \quad (6)$$

keterangan :

R_a = resistansi armature (ohm)

L_a = induktansi armatur (henry)

θ = pergeseran angular dari shaft motor (radian)

J = momen inersia ekuivalen motor dan beban (kg m^2)

b = koefisien *viscous-friction* motor dan beban (N m/rad/s)

K = kecepatan angular dan tegangan konstan dalam rpm/tegangan

K_b = konstanta.

Induktansi L_a pada rangkaian armatur umumnya kecil dan dapat diabaikan. Jika L_a diabaikan maka fungsi alih dari persamaan (6) dinyatakan sebagai :

$$\frac{\theta(s)}{E_a(s)} = \frac{K_v}{s(T_v s + 1)} \quad (7)$$

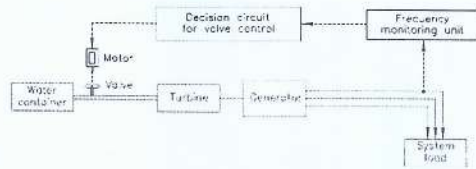
dimana :

$$K_v = \frac{K}{R_a b + K K_b} \quad (\text{konstanta gain motor}) \quad (8)$$

$$T_v = \frac{R_a J}{R_a b + K K_b} \quad (\text{konstantawaktu motor}) \quad (9)$$

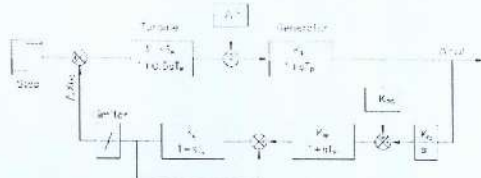
3. Rangkaian Simulasi

Blok diagram lengkap sebuah unit SHP diperlihatkan pada gambar 5 berikut ini



Gambar 5. Blok diagram unit SHP

Fungsi alih sebuah unit SHP diperlihatkan pada gambar 6 berikut ini

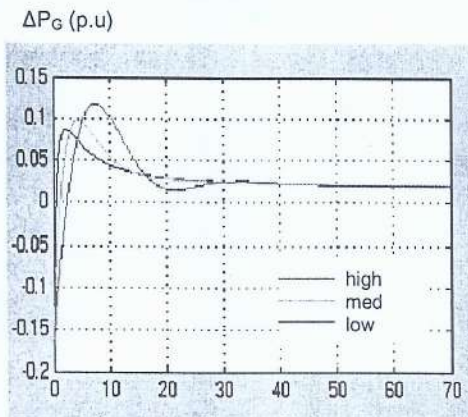


Gambar 6. Fungsi alih unit SHP

4. Hasil Simulasi dan Analisis

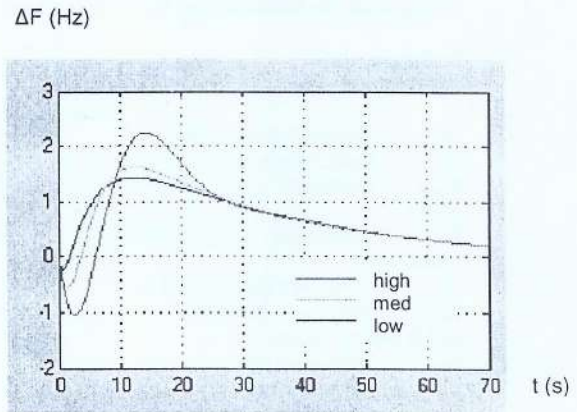
Simulasi dilakukan pada beban nominal 900 kW dengan bervariasi variabel T_w yang merupakan fungsi ketinggian muka air, nilai T_w dipilih sebagai berikut 1.0 s (*low*), 2.2 s (*medium*) dan 4.0 s (*high*). Hasil simulasi diperlihatkan untuk tiga parameter yaitu deviasi daya pembangkitan (ΔP_G), deviasi frekuensi (ΔF) dan deviasi pembukaan *gate* (ΔX_s). Hasil simulasi diperlihatkan sebagai berikut :

4.1 Deviasi daya pembangkitan (ΔP_G)



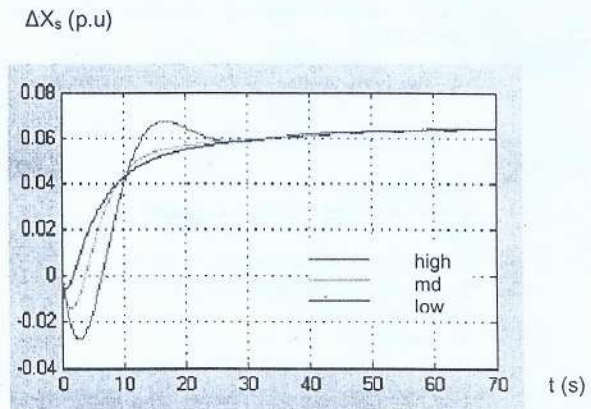
Gambar 7. Deviasi daya pembangkitan untuk beberapa nilai head

4.2 Deviasi frekuensi (ΔF)



Gambar 8. Deviasi frekuensi untuk beberapa nilai head

4.3 Deviasi opening gate (ΔX_s)



Gambar 9 Deviasi opening gate untuk beberapa nilai head

Gambar tersebut menunjukkan nilai *head* berpengaruh terhadap nilai deviasi pembangkitan, deviasi frekuensi dan deviasi *opening gate*. Makin tinggi nilai *head* maka akan menyebabkan nilai deviasi pembangkitan, deviasi frekuensi dan deviasi *opening gate* juga semakin tinggi. SHP dengan nilai *head* rendah lebih stabil bila dibandingkan dengan *head* yang lebih tinggi ditandai dengan nilai puncak deviasi frekuensi yang lebih rendah.

5. Kesimpulan

Dalam paper ini sebuah unit SHP dimodelkan dengan menggunakan fungsi alih Laplace dan selanjutnya disimulasikan dengan menggunakan Simulink-MATLAB. Hasil simulasi menunjukkan bahwa *head* berpengaruh terhadap deviasi pembangkitan daya, deviasi frekuensi dan deviasi *opening gate*. Makin tinggi nilai *head* maka akan menyebabkan nilai deviasi pembangkitan, deviasi frekuensi dan deviasi

opening gate juga semakin tinggi. SHP dengan nilai *head* rendah lebih stabil bila dibandingkan dengan *head* yang lebih tinggi ditandai dengan nilai puncak deviasi frekuensi yang lebih rendah.

6. Appendix

6.1 Daftar Simbol

ΔF	deviasi frekuensi (Hz)
H	konstanta inersia sistem pembangkitan
K_{IS}	konstanta gain integral untuk sistem servo
K_M	konstanta gain rangkaian <i>error and measuring</i>
K_P	konstanta gain sistem daya
K_{PS}	konstanta controller gain proporsional untuk sistem servo
K_V	konstanta gain untuk sistem servo
p.u	per unit daya
ΔP_G	deviasi daya pembangkitan (p.u)
ΔP_L	deviasi beban (p.u)
T_M	waktu yang * digunakan untuk pengukuran data (s)
T_P	konstanta waktu sistem daya (s)
T_V	konstanta waktu motor servo (s)
T_W	waktu <i>starting</i> nominal air dalam penstock (s)
ΔX_S	perubahan pada motor servo yang dikontrol posisi valve (p.u)

6.2 Rating dan data SHP

Kapasitas SHP, $P_R = 1200$ kW
Beban nominal maksimum sistem, $P_{L \max} = 1000$ kW
Frekuensi nominal sistem, $f = 50$ Hz
Konstanta inersia generator, $H = 5$ s
Konstanta waktu :
 $T_M = 0,02$ s, $T_V = 0,1$ s
 $T_W = 1,0$ s (*low head*), $2,2$ s (*medium head*), $4,0$ s (*high head*)
Konstanta gain
 $K_M = 0,004$, $K_V = 2,5$, $K_{IS} = 0,4$ dan $K_{PS} = 8,52$
Paramater untuk beban nominal = 900 kW
 $D = 0,015$ p.u/Hz
 $K_P = 66,667$ Hz/p.u
 $T_P = 13,333$ s
Initial state servo motor = 400 kW = $0,3333$ p.u
Limiter valve kontrol motor servo = $-0,333$ s/d
 $0,0833$ p.u

7. Pustaka

- Bolde, I. Synchronous Generators, (2006), *Taylor and Francis, London*
- Doola, S., Bhatti, T. S., (2006). Automatic generation control of an isolated small hydro power plant, *Electric Power Systems Research* 76 (2006) 889-896
- Falleiros, J. A. B., Melo, M. A. A., Silva, M. A., Shinzato, P., et al., (2008), Impact of dispersed generation in power system performance, *IEEE*
- Saadat, H., (2002), Power system analysis, *Mc-Graw Hill, Boston*