

# Pemodelan Sistem Tenaga Single Machine Menggunakan Matlab

1<sup>st</sup> FE Abednego Simangunsong  
Fakultas Teknik Elektro  
Universitas Telkom  
Bandung, Indonesia  
[Abednegosimangunsong@student.telkomuniversity.ac.id](mailto:Abednegosimangunsong@student.telkomuniversity.ac.id)

2<sup>nd</sup> Basuki Rahmat  
Fakultas Teknik Elektro  
Universitas Telkom  
Bandung, Indonesia  
[basukir@telkomuniversity.ac.id](mailto:basukir@telkomuniversity.ac.id)

3<sup>rd</sup> Erwin Susanto  
Fakultas Teknik Elektro  
Universitas Telkom  
Bandung, Indonesia  
[erwinelektro@telkomuniversity.ac.id](mailto:erwinelektro@telkomuniversity.ac.id)

**Abstrak** — Pada pemodelan sistem ini membahas komponen penyusun dan nilai dari sistem pembangkit. Pembuatan sistem ini dilakukan untuk mendapatkan hasil terbaik dari nilai-nilai komponen penyusun sistem pembangkit sebelum di realisasikan. Hal ini dilakukan agar pada saat pembuatan sistem pembangkit sebenarnya dibuat, sistem dapat beroperasi dengan baik dengan indikasi output sesuai dengan yang diharapkan. Dalam perkembangan sekarang ini pemodelan simulasi sangat dibutuhkan, oleh karena itu dalam pemodelan ini akan dibahas sistem eksitasi, generator, dan mesin sinkron dari sistem pembangkit. Hal ini dilakukan agar generator dapat beroperasi dengan keadaan baik sehingga tidak terjadi kesalahan yang menyebabkan sistem gagal beroperasi.

**Kata kunci**— Sistem eksitasi, Generator, Mesin sinkron.

## I. PENDAHULUAN

Sistem tenaga *single machine* merupakan sistem vital untuk menghasilkan tenaga listrik. Dalam pengoperasiannya energi yang masuk pada turbin dan beban listrik sistem selalu diusahakan seimbang. Pada keadaan tertentu keseimbangan ini dapat berubah meskipun perubahannya kecil. Hal ini dapat terjadi karena adanya pengurangan atau penambahan beban dari pemakai atau pelanggan. Bila keseimbangan tidak terjaga generator dapat mengalami kehilangan keseimbangan dan beresilasi yang menyebabkan kecepatan sistem dan tegangan sistem akan menyimpang dari keadaan normal. Tegangan yang menyimpang akan menyebabkan berkurangnya energi.

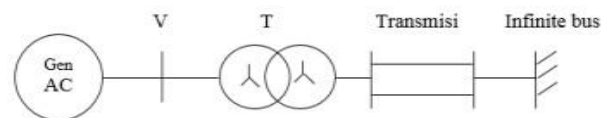
Hal ini dapat dijaga dengan penggunaan PSS pada sistem. PSS merupakan sebuah piranti yang dapat menjaga kestabilan pada sistem eksitasi dan juga generator. Namun untuk pemasangan PSS pada sistem, dibutuhkan pemodelan sistem tenaga listrik yang sudah memiliki keseimbangan antara energi yang masuk dengan beban listrik sistem.

Oleh karena itu dibutuhkan pengembangan model sistem tenaga *single machine* agar gangguan kestabilan dapat ditangani.

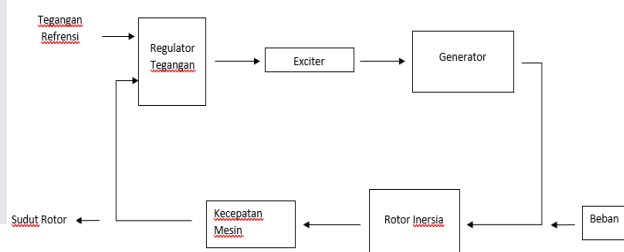
## II. KAJIAN TEORI

### A. Pemodelan Sistem *Single Machine*

Sistem *single machine* yang diterapkan pada penelitian ini merupakan Sistem *Single Machine Infinite Bus* (SMIB), sistem ini merupakan sistem tenaga listrik yang terdiri dari 1 generator yang digambarkan oleh mesin tunggal untuk mewakili sistem pembangkit, pemodelan *single machine* ini dibuat dengan menggunakan software matlab. Dalam pemodelan sistem ini, penulis membuat sebuah sistem *single machine* yang didalamnya terdapat sistem eksitasi, generator, dan sistem governor. Konfigurasi sistem terhubung ke bus yang tak berhingga melalui jaringan transmisi dapat dimodelkan secara matematis.[2]



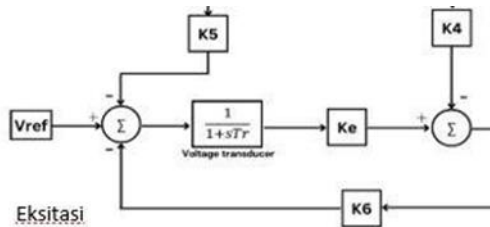
GAMBAR 1  
Sistem SMIB



GAMBAR 2  
Blok Sistem

B. Sistem Eksitasi

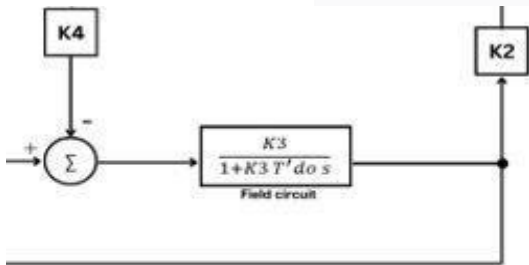
Secara keseluruhan, sistem eksitasi merupakan komponen penting dalam pembangkit listrik yang menghasilkan medan magnet pada generator. Berbagai jenis sistem eksitasi, seperti eksitasi terpisah, eksitasi sendiri, dan eksitasi penguatan diri, digunakan sesuai dengan kebutuhan aplikasi dan ukuran generator. Perkembangan teknologi juga menghadirkan sistem eksitasi yang lebih canggih, seperti pengaturan elektronik dan eksitasi penskalaan variabel, untuk meningkatkan kinerja dan efisiensi pembangkit listrik.



GAMBAR 3 Blok Eksitasi

C. Generator

Generator merupakan sebuah alat yang digunakan untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Prinsip kerja generator didasarkan pada induksi elektromagnetik, dimana medan magnet bergerak melalui kumparan stator menghasilkan arus listrik. Generator terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu stator, rotor, kumparan medan, kumparan stator, dan sistem eksitasi. Stator merupakan bagian yang tetap dan rotor merupakan bagian yang berputar.



Generator

GAMBAR 3 Blok Generator

III. METODE

Pada bagian ini terdapat beberapa langkah dalam membuat pemodelan sistem generator.

A. Analisis data

Studi kasus yang di gunakan merupakan sistem single machine infinite bus (SMIB) penelitian sebelumnya oleh Manish Kuswaha, Mrs. Ranjeeta Khare. Dynamic Stability Enhancement of Power System using Fuzzy Logic Based Power System Stabilizer. International Conference on Power, Energy and Control (ICPEC), 2013.

B. Persamaan

Berikut persamaan dinamis yang sesuai dengan pemodelan sistem tenaga listrik single machine,sesuaidengan IEEE Model 1.0

$$\delta = \omega_b S_m \tag{1}$$

$$\frac{ds_m}{dt} = \frac{1}{2H} [-D(s_m) + T_m + T_e] \tag{2}$$

$$\frac{dE'_q}{dt} = \frac{1}{T'_{do}} [-E'_q + (x_d - x'_d)i_d + E_{fd}] \tag{3}$$

$$T_e = E'_q i_q + (x'_d - x'_q)i_d i_q \tag{4}$$

Untuk penurunan fluks pada kumparan medan dapat di tulis persamaan berikut

$$T'_{do} \frac{dE'_{fd}}{dt} = E_{fd} - E'_q + (x_d + x'_d)i_d \tag{5}$$

Linearitas dengan kondisi operasi awal yang di presentasikan dengan  $\delta = \delta_0$  menghasilkan

$$\Delta T_e = \frac{\partial T_e}{\partial \delta} \Delta \delta = \frac{E'_q E_b}{x_t} \cos \delta_o (\Delta \delta) = K_s \Delta \delta$$

$$K_s = \frac{E'_q E_b}{x_t} \cos \delta_o \tag{6}$$

Dengan satuan gerak per unit :

$$p \Delta \omega_r = \frac{1}{2H} (T_m - T_e - K_d \Delta \omega_r)$$

$$p \delta = \omega_o \Delta \omega_r \tag{7}$$

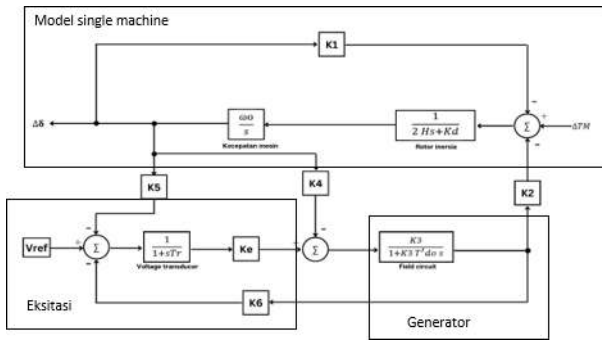
Linearisasi persamaan ke-7 dan mensubstitusi  $\Delta T_e$  dari persamaan ke-6 :

$$p \Delta \omega_r = \frac{1}{2H} (\Delta T_m - K_s \Delta \delta - K_d \Delta \omega_r)$$

$$p \Delta \delta = \omega_o \Delta \omega_r \tag{8}$$

Dari persamaan ke-8,memiliki persamaan matrix :

$$\frac{d}{dt} \begin{pmatrix} \Delta \omega \\ \Delta \delta \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{K_d}{2H} & -\frac{K_s}{2H} \\ \omega_o & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \omega_r \\ \Delta \delta \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{2H} \\ 0 \end{bmatrix} \Delta T_m \tag{9}$$



GAMBAR 4  
Diagram Sistem eksitasi,generator,model machine

Dari blog diagram tersebut :

$$\Delta\delta = \frac{\omega_0}{s} \left( \frac{1}{2Hs} (-K_s\Delta\delta - K_d\Delta\omega_r + \Delta T_m) \right)$$

$$= \frac{\omega_0}{s} \left( \frac{1}{2Hs} (-K_s\Delta\delta - K_d \frac{\Delta\delta}{\omega_0} + \Delta T_m) \right) \quad (10)$$

Persamaan karakteristik sistem :

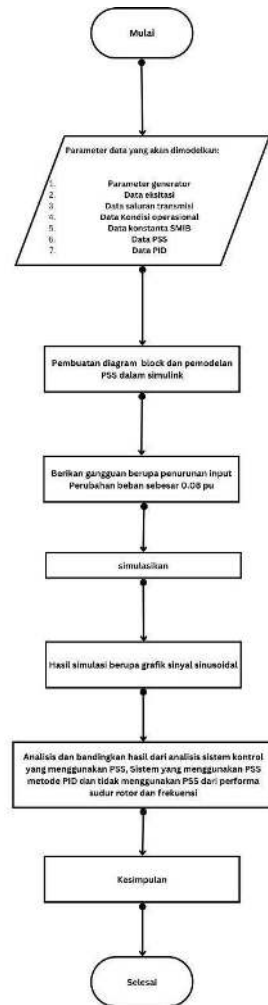
$$s^2 + \frac{K_d}{2H}s + \frac{K_s\omega_0}{2H} \quad (11)$$

Perbandingan dalam bentuk umum

$$\omega_n = \sqrt{\frac{K_s\omega_0}{2H}}$$

$$\xi = \frac{1}{2} \frac{K_d}{\sqrt{K_s 2H\omega_0}} \quad (12)$$

C. ALUR ANALISIS

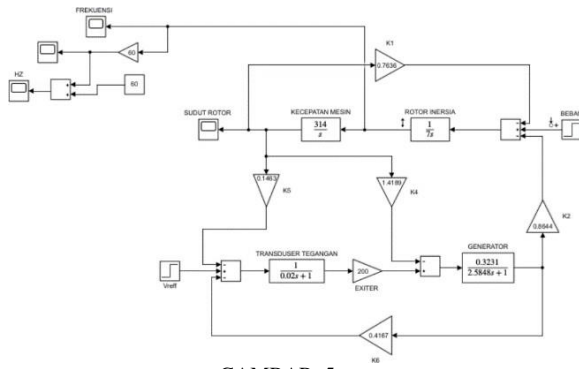


IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan dengan menganalisis respon sudut rotor untuk melihat kestabilan sistem, dimana pada sistem diberi gangguan beban berupa 0.8 P.u.

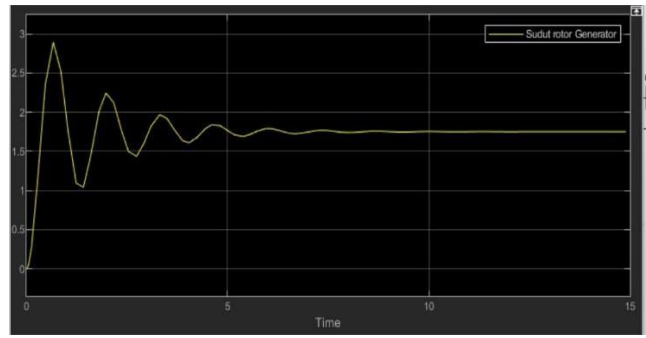
A. Pembuatan Pemodelan Sistem Single Machine

Sistem ini merupakan sistem tenaga listrik yang terdiri dari 1 generator yang digambarkan oleh mesin tunggal untuk mewakili sistem pembangkit. Sistem SMIB adalah sebuah sistem yang terhubung melalui saluran transmisi dengan beban yang memiliki jarak yang membuat ikatan yang terjadi sangatlah lemah. Pembentukan sistem ini menggunakan simulink matlab R2020 dengan menggunakan nilai parameter yang sudah di tentukan dengan ketentuan spesifikasi yang sudah ditentukan dan dikatakan berhasil apabila setiap parameter dapat menghasilkan output sinyal sesuai dengan spesifikasi sistem dan adanya perubahan beban tetap mendapatkan hasil yang di inginkan pada spesifikasi sistem.



GAMBAR 5 Model Sistem Single Machine

2. Analisis Keluaran Scope

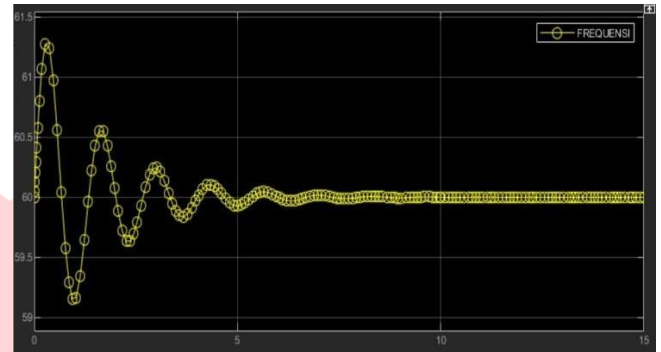


GAMBAR 6 Kluaran Scope Sudut Rotor

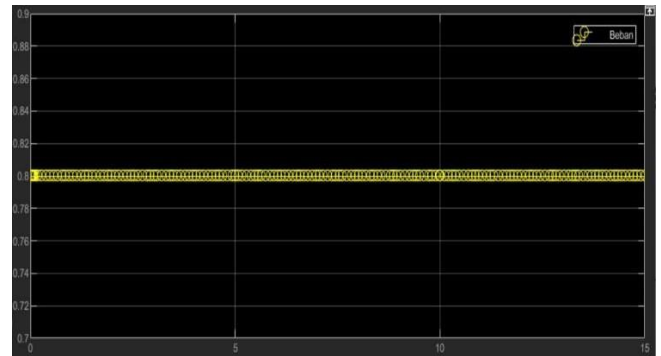
B. Tabel Data Parameter

TABLE 1 Parameter Sistem

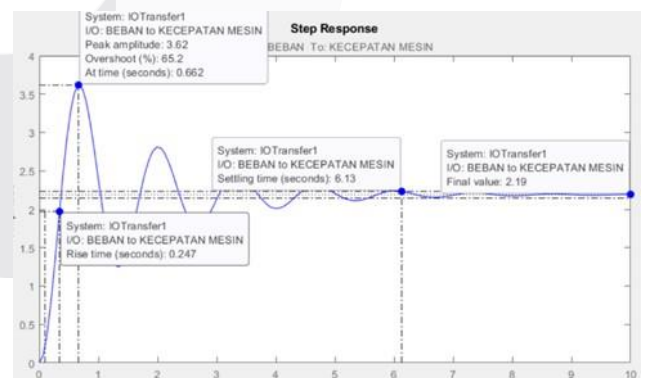
Besaran	Nilai	Definisi
H	3,5	Inertia mesin
Kd	0	Koefisien redaman generator
T'do	8	Konstanta waktu rangkaian hubung buka generator
Xd	1.81	Reaktansi sinkron generator d-axis
X'd	0.3	Reaktansi transien generator d-axis
Xq	1.76	Reaktansi sinkron generator q-axis
Xt	0	Reaktansi transformator
$\omega_0$	314	Kecepatan rotor
XL	0	Reaktansi induktif
Xe	0.65	Reaktansi saluran transmisi
Ra	0,003	Resistansi kumparan rotor
Ke	200	Konstanta elektromotorik
Tr	0,02	Konstanta waktu mekanik
Et	1	Tegangan terminal generator
Re	0	Tahanan saluran transmisi
P	0.9	Suplai daya aktif generator
Q	0.3	Suplai daya reaktif generator
F	60	Frekuensi sistem
Ladu	0.8	Beban
$\psi_1$	0.8	
K1	0.7636	perubahan torsi elektrik untuk perubahan kecil sudut rotor pada fluks sumbu d konstan
K2	0.8644	Perubahan torsi elektrik untuk perubahan kecil fluks sumbu d pada sudut rotor konstan
K3	0.3231	Faktor impedansi yang dibawa ke perhitungan efek beban dari impedansi eksternal
K4	1,4189	Efek demagnetisasi perubahan sudut rotor
K5	0.1463	Perubahan tegangan terminal $\Delta V_t$ untuk perubahan kecil dari sudut rotor pada fluks sumbu d konstan
K6	0.4167	Perubahan tegangan terminal $\Delta V_t$ untuk perubahan kecil dari fluks sumbu d pada sudut rotor konstan



GAMBAR 7 Keluaran Scope Frekuensi



GAMBAR 8 Keluaran Scope Beban



GAMBAR 9 Respon SM

TABEL 2 Hasil Respon Single Machine

Jenis Single Machine	Overshoot (%)	Peak Time (s)	Settling Time (s)	Rise Time (s)	Maksimum Sudut(p.u)	Posisi Stabil(p.u)
Tanpa PSS	65.2	0.662	6.13	0.24	2.89	1.75

Dari (Gambar 5) merupakan sistem single machine dimana didalam sistem terdapat eksitasi,generator,dan mesin, (Gambar 7) dan (Gambar 8) sistem ini dapat dilihat sistem single machine tanpa PSS yang memiliki spesifikasi frekuensi 60 HZ dengan beban 0,8 p.u. Pada (Tabel 2) dan (Gambar 9) merupakan step respon output keluaran darisudut rotor dimana menunjukkan posisi stabil sistem berada di 1.75 p.u dengan menuju kondisi mantap pada settling time 6.13 detik,overshoot 65.2% dengan maksimum sudut 2.89 p.u.

## V. KESIMPULAN

Pembentukan sistem tenaga listrik single machine dengan spesifikasi frekuensi 60Hz, tegangan 200 V,dengan memberikan input beban sebesar 0.8 p.u.Pada penelitian ini penulis melakukan pengamatan terhadap keluaran sudut rotor pada sistem single machine.Pada pengujian ini sistem harus memiliki overshoot rendah dan settling time yang cepat merupakan sistem yang baik yang digunakan dalam sistem tenaga listrik. Pada sistem single machine ini sistem stabil di posisi 1.75, mencapai stabil pada 6.13 detik dengan overshoot 65.2% dan maksimum sudut sebesar 2.8 p.u.

## REFERENSI

- [1] Manish Kuswaha, Mrs. Ranjeeta Khare. Dynamic Stability Enhancement of Power System using Fuzzy Logic Based Power System Stabilizer. International Conference on Power, Energy and Control (ICPEC), 2013.
- [2] Imam Robandi. Modern Power System Control. Yogyakarta: Penerbit Andi. 2009.
- [3] Jibril Yamlecha, Hermawan, dan Susatyo Handoko. Perbandingan Desain Optimal Power System Stabilizer (PSS) Menggunakan PSO (Particle Swarm Optimization) dan GA (Genetic Algorithm) pada Single Line Infinite Bus (SMIB). Transient, 2012, Vol.1 : 2302-9927
- [4] N I Voropai and P V Etingov, "Application of Fuzzy Logic Power System Stabilizers to Transient Stability Improvement in a Large Electric Power System", PowerCon 2002, Vol. 2, Oct 2002, pp. 1223-1227.
- [5] Neeraj Gupta and Sanjay K. Jain. Comparative Analysis of Fuzzy Power System Stabilizer Using Different Membership Function. International Journal of Computer and Electrical Engineering, 2010, Vol. 2 : 1793-8163.
- [6] Shahgholian G, Review of Power System Stabilizer: Application, Modelling, Analysis, and Control Strategy. Penerbit: IOTPE (2013)