

# PENINGKATAN STABILITAS SISTEM SULSELBAR DENGAN DUAL INPUT POWER SYSTEM STABILIZER PADA KONTINGENSI N-1

Muhammad Ruswandi Djalal<sup>1</sup>, Imam Robandi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departemen Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Pembangkit Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang

E-mail: <sup>1</sup>wandi@poliupg.ac.id, <sup>2</sup>robandi@ee.its.ac.id

## ABSTRACT

*Studi kontingensi system tenaga adalah hal yang sangat penting, karena sistem harus dirancang dan dioperasikan sehingga apabila terjadi kontingensi (N-1) atau lepasnya suatu elemen sistem baik generator maupun saluran transmisi tidak akan mengalami kehilangan beban. Penelitian tentang analisis kontingensi N-1 pada sistem tenaga listrik perlu dilakukan, karena memiliki karakteristik yang berbeda dengan kondisi saat sistem beroperasi secara normal. Ketidakstabilan sistem Sulselbar dalam kondisi normal akan menjadi acuan bagi peneliti untuk membahas kondisi sistem saat sistem tidak beroperasi secara normal seperti kontingensi N-1. Analisis kontingensi N-1 di sini berada di tengah-tengah garis Sidrap-Maros. Garis tengah Sidrap-Maros adalah garis yang menghubungkan daerah-daerah pusat beban. Salah satu metode yang diusulkan disini adalah penambahan Dual Input Power System Stabilizer (DIPSS). Dari hasil simulasi didapatkan kinerja sistem Sulselbar saat kontingensi N-1 lebih optimal dengan menggunakan DIPSS, hal tersebut ditinjau dari karakteristik osilasi kecepatan generator yang minimum, deviasi respon sudut rotor yang baik, serta nilai eigenvalue yang semakin negatif. Untuk membandingkan kinerja sistem yang diusulkan, digunakan PSS konvensional dengan satu input.*

**Kata kunci:** DIPSS, Overshoot, Sudut Rotor, Kontingensi N-1, Eigenvalue.

## 1. PENDAHULUAN

Untuk memberikan pelayanan yang handal, sistem tenaga listrik harus tetap utuh dan mampu mengatasi berbagai masalah yang mungkin terjadi. Dengan demikian merupakan suatu hal yang sangat penting bahwa sistem harus

dirancang dan dioperasikan sehingga apabila terjadi kontingensi (N-1) atau lepasnya suatu elemen sistem baik generator maupun saluran transmisi tidak akan mengalami kehilangan beban (Djalal, Yunus, Setiadi, & Krismanto, 2018). Selain itu, kemungkinan besar

keadaan kontinjensi yang merugikan tidak menyebabkan pemutusan aliran listrik yang tidak terkendali dan meluas sehingga mengakibatkan lepasnya gedung bertingkat dan pemadaman total.

Gangguan berupa osilasi daya listrik umumnya diatasi dengan menggunakan peralatan tambahan seperti Conventional Power System Stabilizer (PSS). PSS akan meningkatkan batas stabilitas dengan memberikan redaman untuk osilasi generator. Redaman PSS berarti PSS akan menghasilkan komponen torsi listrik yang sefasa dengan perubahan kecepatan. Namun penggunaan PSS memiliki banyak kesalahan yaitu nilai yang diinginkan berbeda dengan nilai keluaran PSS yang terukur. Hal ini disebabkan komponen gerak poros seperti poros lateral run out atau osilasi torsional (Sharma & Kothari, 2003). Munculnya komponen ini akan menambah sinyal eksitasi dan komponen puntir sehingga akan menimbulkan variasi torsi listrik.

Masalah yang dihadapi terletak pada bagaimana menjaga stabilitas dan mengurangi sinyal yang mengganggu (noise) agar tidak terjadi kesalahan pada sistem eksitasi dalam keadaan gangguan. Dengan kondisi diatas maka diusulkan suatu peralatan yaitu Dual Input Power System Stabilizer (DIPSS) yang dapat mereduksi noise sinyal sehingga sistem

tetap stabil (Chatterjee, Ghoshal, & Mukherjee, 2009). Pengaturan parameter yang tepat pada DIPSS membuat kinerja sistem lebih optimal.

Penelitian tentang analisis kontinjensi N-1 pada sistem tenaga listrik perlu dilakukan, karena memiliki karakteristik yang berbeda dengan kondisi saat sistem beroperasi secara normal. Ketidakstabilan sistem Sulselrabar dalam kondisi normal akan menjadi acuan bagi peneliti untuk membahas kondisi sistem saat sistem tidak beroperasi secara normal seperti kontinjensi N-1. Analisis kontinjensi N-1 disini berada di jalur tengah transmisi Sidrap-Maros.

Beberapa penelitian terkait yang mendukung penelitian ini dilakukan khususnya di system Sulselrabar, antara lain (Luo, Wang, Xiao, Ge, & Systems, 2010), yang membahas distribusi daya pada system tenaga pada kondisi kontinjensi N-1, (Fan, Chen, & Watson, 2012) membahas tentang aliran daya optimal pada kondisi N-1 dengan menggunakan interdirection methods, (Abdi-Khorsand, Sahraei-Ardakani, & Al-Abdullah, 2016; Khanabadi, Ghasemi, & Doostizadeh, 2012) membahas peralihan transmisi yang optimal dengan mempertimbangkan keamanan tegangan dan analisis kontinjensi N-1. Sedangkan

pada studi penggunaan DIPSS pada system multimesin juga sudah mendukung peningkatan stabilitas system, seperti (Ghoshal, Chatterjee, & Mukherjee, 2009; Labdelaoui, Boudjema, & Boukhetala, 2017). Dari penelitian tersebut penulis mengusulkan penerapan Dual Input Power System Stabilizer pada studi kasus kontingensi N-1 pada jalur tengah transmisi Maros-Sidrap system Sulselrabar.

## 2. PEMODELAN SISTEM TENAGA

### A. Pemodelan Generator

Persamaan generator linier sinkron ditulis dalam model matriks berikut pada (1) (Yunus, Djalal, & Marhatang, 2017).

$$\begin{bmatrix} \Delta v_d \\ -\Delta v_F \\ 0 \\ \Delta v_q \\ 0 \\ 0 \\ \Delta T_m \\ 0 \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} r & 0 & 0 & \omega_0 L_q & \omega_0 kM_Q & \lambda_{q0} & 0 \\ 0 & rF & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & rD & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\omega_0 L_d & -\omega_0 kM_F & -\omega_0 kM_D & r & 0 & -\lambda_{d0} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & rQ & 0 & 0 \\ \frac{\lambda_{q0} - L_d i_{q0}}{3} & \frac{-kM_F i_{q0}}{3} & \frac{-kM_D i_{q0}}{3} & \frac{-kM_Q i_{d0}}{3} & \frac{kM_Q i_{d0}}{3} & -D & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta i_d \\ \Delta i_F \\ \Delta i_D \\ \Delta i_q \\ \Delta i_Q \\ \Delta \omega \\ \Delta \delta \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} L_d & kM_F & kM_D & 0 & 0 & 0 & 0 \\ kM_F & L_F & M_R & 0 & 0 & 0 & 0 \\ kM_D & M_R & L_D & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & L_q & kM_Q & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & kM_Q & L_Q & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\tau_j & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta' u \\ \Delta' r \\ \Delta' L \\ \Delta' q \\ \Delta' Q \\ \Delta' c \\ \Delta' c \end{bmatrix} \quad (1)$$

Di mana:

- $V_d V_q$  = Tegangan Stator sumbu d q
- $V_F$  = Rotor Field Voltage
- $V_D V_Q$  = Tegangan Rotor sumbu d q
- $r$  = Resistansi Stator
- $L_d L_q$  = Induktansi Rotor sumbu d q
- $\lambda_{q0} \lambda_{d0}$  = Fluks awal sumbu d dan q

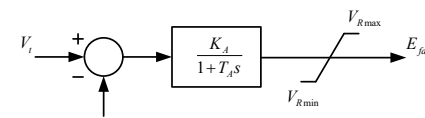
- $kM_F$  = Medan Magnet putar
- $M_D M_Q$  = Induktansi sendiri
- $\Delta i_d \Delta i_q$  = Arus Stator sumbu d q
- $\Delta i_F$  = Arus medan Rotor
- $\Delta i_D \Delta i_Q$  = Arus rotor sumbu d q
- $\Delta \omega$  = Perubahan kecepatan Generator
- $\Delta \delta$  = Perubahan sudut rotor generator

### B. Pemodelan Eksitasi

Sistem eksitasi digunakan untuk mengontrol keluaran generator, seperti tegangan, arus dan faktor daya. Pada penelitian ini digunakan jenis fast exciter, karena memiliki respon yang cepat (Saadat, 2009).

$$E_{fd} = K_A (V_t - V_{ref}) / (1 - T_A s) \quad (2)$$

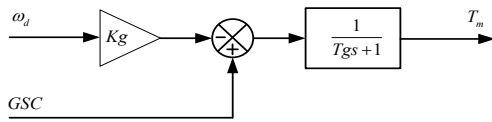
$K_A$  adalah parameter penguatan dan  $T_A$  adalah nilai konstanta waktu. Keluaran eksitasi dibatasi oleh,  $V_{Rmin} < E_{fd} < V_{Rmax}$ . Gambar 1 adalah pemodelan eksitasi.



Gambar 1. Diagram Blok Exciter

### C. Pemodelan Governor

Governor berfungsi untuk memberikan umpan balik untuk keseimbangan sistem baru jika terjadi perubahan putaran rotor generator. Gambar 2 adalah pemodelan governor (Kundur).



**Gambar 2.** Pemodelan Governor

**Di mana:**

- $T_m$  = Torsi mekanik
- $\omega_d$  = Perubahan kecepatan
- GSC = Governor Speed Changer (GSC=0)
- $K_g$  = Konstanta Gain =  $1/R$
- $T_g$  = Governor time constant
- $R$  = Droop governor constant

**D. Pemodelan Power System Stabilizer**

Konsep Power System Stabilizer (PSS) sebenarnya berkaitan dengan bagaimana memperbaiki redaman osilasi elektromekanis pada generator (Hartono et al., 2018). Perbaikan ini selalu melibatkan perubahan berupa osilasi kecepatan dan daya listrik generator di daerah tunak, sedangkan hubungan antara komponen di atas dapat dirumuskan dalam persamaan Swing di bawah ini (Kumar, 2016).

$$\frac{2H}{\omega_o} \frac{d^2\delta}{dt} = \bar{T}_m - \bar{T}_e - K_D \Delta\omega_r \quad (3)$$

Untuk gangguan kecil, persamaan di atas menjadi:

$$\Delta T_e = T_s \Delta \delta + T_D \Delta \omega \quad (4)$$

Di mana:

- $\delta$  = sudut rotor
- $\omega$  = kecepatan rotor sudut dasar
- $\omega_r$  = kecepatan sudut rotor

$T_m$  = torsi mekanik

$T_e$  = torsi listrik

$H$  = konstanta inerti

$K_D$  = koefisien damping

$\Delta T_e$  = perubahan torsi listrik

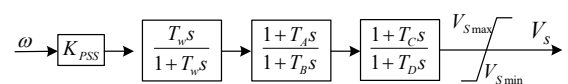
$T_s$  = sync coefficient

$T_D$  = damping coefficient

$\Delta \delta$  = perubahan sudut rotor

$\Delta \omega$  = perubahan kecepatan

Diagram blok yang mengilustrasikan PSS ini dijelaskan pada Gambar 1. Penyetelan yang tepat dari parameter PSS ini akan memberikan karakteristik fasa lead yang digunakan untuk mengkompensasi jeda fasa antara Automatic Voltage Regulator (AVR) dan torsi listrik. Hasil ini akan memperbaiki redaman akibat komponen torsi listrik sefasa dengan variasi kecepatan (Bhattacharya, Kumari, & Choudhary, 2016).



**Gambar 3.** Power System Stabilizer

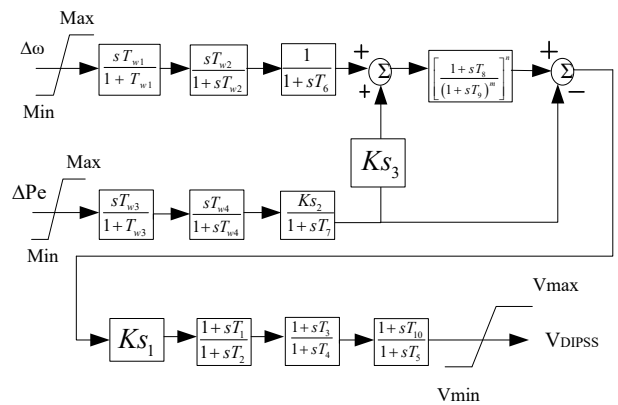
block diagram

Pada Gambar 3, PSS terdiri dari Gain Block yang berfungsi sebagai penguat untuk mendapatkan besaran torsi. Besaran tersebut sesuai dengan redaman yang diinginkan, maka blok Wasout berfungsi sebagai high pass filter dan memberikan bias steady state untuk output PSS. Bias ini terkait dengan

tegangan terminal generator. PSS diharapkan untuk menanggapi variasi transien dari sinyal kecepatan rotor generator dan bukan sinyal offset DC, dan Blok Lead-lag untuk menyediakan lead fasa untuk mengkompensasi jeda fasa antara referensi AVR dan torsi listrik.

**E. Dual Input Power Sistem Stabilizer**

Salah satu fungsi Dual Input Power System Stabilizer (DIPSS) adalah untuk meredam sinyal noise. Sinyal noise ini dapat menyebabkan kesalahan referensi input untuk sistem tenaga listrik. Sinyal noise dapat bersumber dari gerakan poros seperti run-out poros lateral yang menyebabkan modulasi berlebih pada eksitasi generator, atau juga dari osilasi torsional yang disebabkan oleh perubahan torsi listrik. Timbulnya noise pada sistem tenaga listrik, dapat mempengaruhi eksitasi generator dan menimbulkan efek torsi listrik. Perubahan kecepatan sudut rotor ( $\Delta\omega$ ) dan perubahan daya listrik ( $\Delta Pe$ ) merupakan input untuk jenis stabilizer ini. Washout digunakan untuk memberikan kondisi kontinu pada output stabilizer, sedangkan transduser digunakan untuk mengubah sinyal input menjadi sinyal tegangan. Sinyal input ini memasuki sirkuit washout dan transduser. Gambar 2 menunjukkan pemodelan DIPSS yang digunakan dalam penelitian ini.



**Gambar 4.** Block Diagram of Dual Input Power System Stabilizer (IEEE type PSS2B)

Setiap sinyal input akan dilewatkan ke dalam diagram blok washout ( $T_{w1}-T_{w4}$ ) dan satu transduser ( $T_6-T_7$ ) dan untuk torsi filter konstanta waktu ditandai dengan konstanta waktu  $T_8$  dan  $T_9$ .

**3. METODE PENELITIAN**

Dalam penelitian ini kestabilan sistem dianalisis dengan menggunakan analisis nilai eigen. Metode analisis eigenvalue membutuhkan model matematis dari sistem yang dianalisis. Dari model matematis yang diperoleh diubah ke dalam bentuk persamaan matriks keadaan seperti pada (5) dan (6).

$$\Delta \dot{x} = B\Delta u \tag{5}$$

$$\Delta y = C\Delta x + D\Delta u \tag{6}$$

Di mana:

$\Delta x$  = State matrix ( $n \times 1$ )

$\Delta y$  = Output variable matrix ( $m \times 1$ )

$u$  = Input variable matrix ( $r \times 1$ )

$A$  = System matrix ( $n \times n$ )

- B = Input Matrix ( $n \times r$ )
- C = Measurement matrix ( $m \times n$ )
- D = Input matrix for output ( $m \times r$ )

Melalui matriks sistem A, stabilitas sistem dapat dipantau:

$$\det(sI-A)=0 \tag{7}$$

Dimana I adalah matriks identitas dan s adalah nilai eigen dari matriks A. Matriks A adalah  $n \times n$ , maka banyaknya nilai eigen yang diperoleh adalah  $n$ ,  $\lambda = \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n$ .

$$\lambda_i = \sigma_i + j\omega_i \tag{8}$$

Frekuensi osilasi dalam Hz adalah:

$$f = \frac{\omega}{2\pi} \tag{9}$$

Di mana,

- $\lambda_i$  = Eigenvalue ke-i
- $\sigma_i$  = Komponen real eigenvalue
- $\omega_i$  = Komponen Imajiner eigenvalue

Berdasarkan matriks Eigenvalue A, kestabilan sistem dapat diketahui. Sistem dikatakan stabil jika bagian real dari nilai eigennya negatif. Pemeriksaan stabilitas ini sangat penting ketika memasang peralatan kontrol pada suatu sistem. Dengan kata lain, sebelum memberikan kendali pada suatu sistem, sistem yang akan dikendalikan harus stabil. Jika sistem stabil, kontrol baru dipasang. Bagian nyata dari nilai eigen adalah komponen redaman, sedangkan bagian imajiner adalah komponen osilasi. Nilai redaman dapat ditentukan dengan

menggunakan nilai rasio redaman (10). Sedangkan sistem redaman secara keseluruhan dapat diketahui dari nilai Comprehensive Damping Index (CDI) yang dirumuskan pada (11).

$$\zeta_i = \frac{-\sigma_i}{\sqrt{\sigma_i^2 + \omega_i^2}} \tag{10}$$

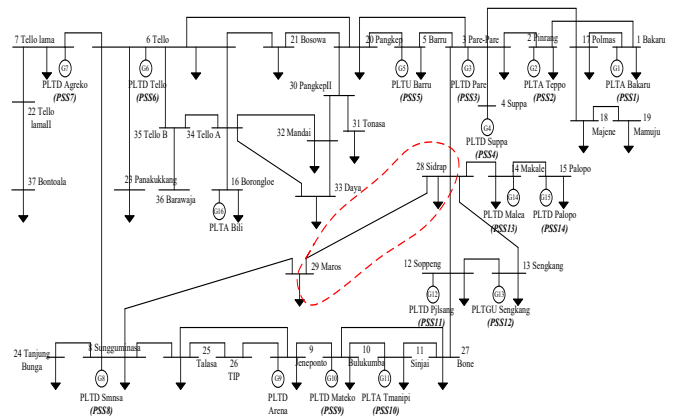
$$CDI = \sum_{i=1}^n (1 - \zeta_i) \tag{11}$$

Di mana,

$$\zeta_i = \text{Damping ratio}$$

$$n = \text{number of eigenvalue}$$

Gambar 5 menunjukkan single line diagram system Sulselrabar yang mengalami kondisi kontingensi N-1 pada jalur tengah transmisi Maros-Sidrap.



**Gambar 5.** Single Line Diagram

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk menganalisis stabilitas system, hal pertama yang dilakukan adalah melihat profil karakteristik aliran daya saat kondisi kontingensi N-1 pada jalur transmisi Maros-Sidrap. Hasil analisa

aliran daya ditunjukkan pada tabel 1 berikut.

**Tabel 1.** Hasil Analisis Aliran Daya

Bu s	V (pu)	Angle (°)	Bu s	V (pu)	Angle (°)
1	1.10 0	0.000	20	0.97 5	- 18.60 4
2	1.00 0	-2.346	21	0.98 0	- 21.29 7
3	1.00 0	- 14.42 2	22	0.98 7	- 25.10 6
4	1.00 0	- 12.36 2	23	0.96 0	- 26.96 3
5	1.00 0	-0.417	24	0.99 3	- 25.55 7
6	1.99 0	5.564	25	0.99 3	- 23.53 0
7	1.00 0	-8.100	26	0.99 3	- 22.10 7
8	1.00 0	- 10.10 9	27	0.98 8	-8.526
9	1.00 0	- 24.84 6	28	0.99 6	-1.390

10	1.00 0	-2.315	29	0.99 7	- 25.24 1
11	1.00 0	-4.223	30	0.95 4	- 18.28 7
12	1.00 0	-3.751	31	0.92 7	- 19.31 8
13	1.10 0	-2.668	32	0.98 0	- 25.03 7
14	1.00 0	- 10.24 0	33	0.98 4	- 25.09 8
15	1.00 0	- 24.72 2	34	0.99 3	- 24.62 3
16	1.00 0	- 25.12 2	35	0.99 7	- 24.67 3
17	1.05 1	- 24.82 1	36	0.99 7	- 24.67 3
18	1.03 5	- 19.21 7	37	0.97 5	- 26.40 6
19	1.02 6	-5.259			

Pada penelitian ini penalaan parameter DIPSS dilakukan secara trial and error,

dan hasil penalaan ditunjukkan pada tabel 2 berikut.

**Tabel 2.** Parameter DIPSS Parameter

Power Plant	Kpss	T1	T2	T3	T4
Bakaru	137.4531	150	25.0693	0.5	1.4948
Pinrang	88.3912	135.4669	30	0.3993	1.5
Pare - Pare	149.8041	147.1300	10	0.1569	0.8574
Suppa	68.2314	112.5593	24.0482	0.1183	0.8167
Barru	200	130.3815	10	0.5	0.7206
Tello	117.2987	100.9902	29.0969	0.1	1.5
Tello lama	178.3077	129.9152	10	0.4840	0.6588
Sgmnsa	193.1077	115.8160	10.9353	0.5	1.5
Bulukumba	192.2981	100.2091	10.0726	0.4288	1.1545
Sinjai	186.4572	144.5962	15.8443	0.1883	1.4418
Soppe ng	51.2258	83.6854	10	0.2838	0.8717
Sengkang	197.1624	116.6751	10	0.2308	0.3182
Makale	189.3572	150	13.2137	0.1	0.8426
Palopo	63.6321	109.9810	29.8541	0.3528	1.2970

Setelah mendapatkan nilai parameter PSS, proses selanjutnya adalah menguji stabilitas sistem. Tabel 3 menunjukkan respon overshoot dari kecepatan generator untuk setiap skema operasi. Analisis sistem selanjutnya adalah meninjau respon grafik overshoot dari masing-masing skema kontrol. Dari analisis time domain ini akan terlihat respon kecepatan dan sudut rotor generator. Ditampilkan dalam gambar 6 dan 7.

**Tabel 3.** Overshoot of Speed Generator

Power Plant	No PSS	PSS	PSS
Bakaru	-0.0201 & 0.0049	-0.0163 & 0.0022	-0.010 & 0.0001
Pinrang	-0.0210 & 0.0063	-0.0180 & 0.0034	-0.011 & 0.0002
Pare - Pare	-0.0217 & 0.0051	-0.0195 & 0.0037	-0.011 & 0.0001
Suppa	-0.0217 & 0.0055	-0.0195 & 0.0039	-0.018 & 0.0009
Barru	-0.0786 & 0.0336	-0.0630 & 0.0180	-0.019 & 0.0006
Tello	-0.2063 & 0.0533	-0.203 & 0.0502	-0.195 & 0.0443
Tello lama	-0.2223 & 0.0911	-0.1652 & 0.0189	-0.0546 & 0.001
Sgmnsa	-0.0575 & 0.0080	-0.0488 & 0.0004	-0.031 & 0.0002
Jenepon to	-0.0249 & 0.0059	-0.0229 & 0.0037	-0.018 & 0.0017



Buluku mba	-0.0235 & 0.0094	-0.0211 & 0.0069	-0.013 & 0.0011
Sinjai	-0.0250 & 0.0168	-0.0225 & 0.0140	-0.015 & 0.0050
Soppeng	-0.0230 & 0.0104	-0.0171 & 0.0036	-0.013 & 0.0021
Sengkan g	-0.0246 & 0.0042	-0.0222 & 0.0046	-0.009 & 0.0001
Makale	-0.0219 & 0.0155	-0.0182 & 0.0107	-0.0124 & 0.004
Palopo	-0.0223 & 0.0172	-0.0194 & 0.0132	-0.013 & 0.0065
Borongl oe	-0.0682 & 0.0161	-0.0619 & 0.010	-0.047 & 0.0027

Analisis sistem selanjutnya adalah melihat sistem nilai eigen kritis untuk setiap skema kendali. Hasil eigenvalue kritis dan mode osilasi ditunjukkan pada Tabel 4.

**Tabel 4.** *Critical Eigenvalue System*

No PSS (1.0e+02*)	PSS (1.0e+02*)	DIPSS (1.0e+02*)
-0.5094 + 6.5474i	-0.5093 + 6.5474i	-0.5048 + 6.5303i
-0.5094 - 6.5474i	-0.5093 - 6.5474i	-0.5048 - 6.5303i
-0.4436 + 5.3193i	-0.4436 + 5.3187i	-0.4398 + 5.2753i
-0.4436 - 5.3193i	-0.4436 - 5.3187i	-0.4398 - 5.2753i
-0.4145 + 5.0618i	-0.4143 + 5.0614i	-0.3951 + 5.0312i
-0.4145 - 5.0618i	-0.4143 - 5.0614i	-0.3951 - 5.0312i

5.0618i	5.0614i	5.0312i
-0.3056 + 4.6944i	-0.3056 + 4.6946i	-0.3055 + 4.6946i
-0.3056 - 4.6944i	-0.3056 - 4.6946i	-0.3055 - 4.6946i
-0.3123 + 4.5315i	-0.3127 + 4.5314i	-0.3127 + 4.5335i
-0.3123 - 4.5315i	-0.3127 - 4.5314i	-0.3127 - 4.5335i
-0.1971 + 4.4656i	-0.1970 + 4.4652i	-0.1865 + 4.4247i
-0.1971 - 4.4656i	-0.1970 - 4.4652i	-0.1865 - 4.4247i
-0.1228 + 4.3282i	-0.0832 + 4.1589i	-0.1235 + 4.3060i
-0.1228 - 4.3282i	-0.0832 - 4.1589i	-0.1235 - 4.3060i
-0.0845 + 4.1601i	-0.1230 + 4.3264i	-0.1965 + 4.3142i
-0.0845 - 4.1601i	-0.1230 - 4.3264i	-0.1965 - 4.3142i
-0.1965 + 4.3135i	-0.1965 + 4.3136i	-0.2990 + 4.2430i
-0.1965 - 4.3135i	-0.1965 - 4.3136i	-0.2990 - 4.2430i
-0.2594 + 4.1886i	-0.2610 + 4.1909i	-0.0413 + 3.9001i
-0.2594 - 4.1886i	-0.2610 - 4.1909i	-0.0413 - 3.9001i
-0.0412 + 3.9001i	-0.0412 + 3.9001i	-0.0706 + 4.1509i
-0.0412 - 3.9001i	-0.0412 - 3.9001i	-0.0706 - 4.1509i

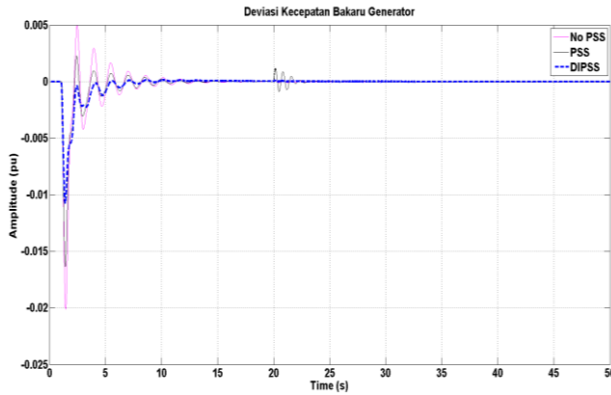
-0.0825 +	-0.0827 +	-0.0812 +
4.0439i	4.0445i	4.0453i
-0.0825 -	-0.0827 -	-0.0812 -
4.0439i	4.0445i	4.0453i
-0.0389 +	-0.0390 +	-0.0418 +
3.5546i	3.5542i	3.5519i
-0.0389 -	-0.0390 -	-0.0418 -
3.5546i	3.5542i	3.5519i
-0.1003 +	-0.0935 +	0.0661 +
2.3007i	2.2985i	2.2623i
-0.1003 -	-0.0935 -	0.0661 -
2.3007i	2.2985i	2.2623i
1.7356 +	1.7332 +	1.7161 +
0.0000i	0.0000i	0.0000i
-0.1487 +	-0.1485 +	-0.1446 +
1.5167i	1.5166i	1.5106i
-0.1487 -	-0.1485 -	-0.1446 -
1.5167i	1.5166i	1.5106i
-0.1171 +	-0.1167 +	-0.1154 +
1.3752i	1.3745i	1.3728i
-0.1171 -	-0.1167 -	-0.1154 -
1.3752i	1.3745i	1.3728i
-0.0033 +	-0.0032 +	-0.0046 +
0.0410i	0.0414i	0.0661i
-0.0033 -	-0.0032 -	-0.0046 -
0.0410i	0.0414i	0.0661i
-0.0045 +	-0.0043 +	-0.0039 +
0.0462i	0.0463i	0.0411i
-0.0045 -	-0.0043 -	-0.0039 -
0.0462i	0.0463i	0.0411i

Hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai eigen sistem lebih baik. Nilai eigenvalue menunjukkan stabilitas dan

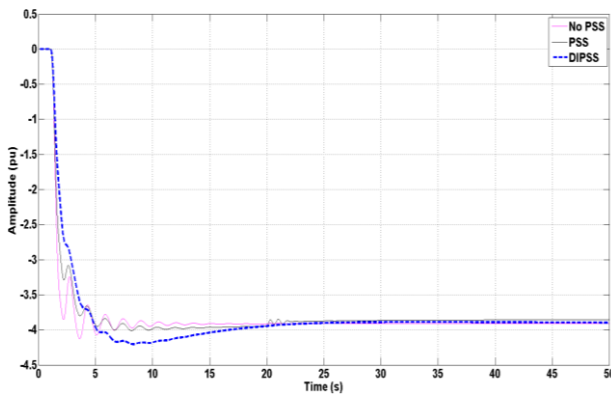
ketidakstabilan suatu sistem. Sistem dikatakan stabil jika nilai eigen sistemnya negatif. Sedangkan rasio redaman menunjukkan seberapa cepat penurunan osilasi overshoot atau redaman pada rotor. Nilai damping ratio sebenarnya berasal dari komponen eigenvalue itu sendiri.

Pembangkit listrik Bakaru merupakan pembangkit yang akan ditinjau kinerjanya dalam penelitian ini. Generator bakaru adalah generator swing, yaitu generator yang berfungsi sebagai pengontrol sistem. Gambar 6 menunjukkan respon kecepatan generator Bakaru. Kinerja sistem ditinjau berdasarkan dua kasus yaitu penambahan beban pada detik ke-5 sebesar 0,05 pu, dan pelepasan beban kedua pada detik ke-20 sebesar 0,1 pu. Dari grafik tersebut respon kecepatan generator yang dilengkapi DIPSS menghasilkan overshoot kecil yaitu - 0.01077pu sampai 0.0001404pu, menggunakan PSS overshoot sebesar - 0.01634pu sampai 0.002276pu, dan tanpa kontrol menghasilkan overshoot sebesar - 0.0201pu sampai 0.004997pu. Hasil simulasi juga menunjukkan bahwa respon generator menghasilkan settling time yang cepat dengan kontrol DIPSS, sehingga sistem kembali ke kondisi tunak lebih cepat. Gambar 7 menunjukkan respon generator sudut rotor pada setiap

skema kontrol. Dari grafik tersebut, sistem dengan DIPSS menghasilkan respon ayunan sudut rotor yang lebih baik dibandingkan dengan skema kontrol lainnya.



**Gamba 6.** Deviasi Kecepatan ( $\Delta\omega$ ) Generator Bakaru



**Gambar 7.** Deviasi Sudut Rotor Generator Bakaru

Tabel 5 menunjukkan mode osilasi antar daerah dan daerah lokal dari masing-masing metode. Dari hasil simulasi diketahui bahwa karakteristik nilai eigen ditingkatkan dengan metode sistem berbasis DIPSS.

**Tabel 5.** Modus Osilasi Antar-Area dan Area Lokal

Mode Osilasi	No PSS	Conv. PSS	PSS PSO
Inter-Area	-	-	
	0.3324 + 4.0969i	0.5125 + 4.9786i	
	-	-	
	0.4455 + 4.6250i	0.3184 + 4.1426i	-0.5539 + 4.6686i
	-	-	-0.3862 + 4.1118i
	0.5006 + 4.5944i	0.4257 + 4.6315i	
	-	-	
	0.5131 + 4.5342i	0.8786 + 4.8421i	
	-	-	
	-	-	
Local	-	-	-1.3206 + 10.0896i
	1.0033 + 9.4208i	1.1015 + 9.7534i	-1.7476 + 9.1471i
	-	-	-6.4261 + 5.4552i
	1.0046 + 8.4406i	1.0352 + 8.5352i	-0.4638 + 6.6088i
	-	-	-2.3465 + 5.7753i
	1.0502 + 7.0767i	1.3891 + 7.2749i	-1.5786 + 6.1927i
	-	-	-1.6601 + 5.5372i
	0.8534 + 7.0320i	0.9488 + 6.7376i	-1.2399 + 5.7231i
	-	-	
	1.4621 + 6.0622i	1.4762 + 6.1260i	
	-	-	
	0.7893 + 0.7893i	1.3926 + 1.3926i	-1.3260

5.3314i	5.9649i	+ 5.7561i
-	-	-0.9001
1.2483 +	1.4265 +	+ 5.3520i
5.8288i	5.8709i	-1.0069
-	-	+ 5.4822i
0.9420 +	0.8141 +	-1.0027
5.4922i	5.3707i	+ 5.4630i
-	-	
1.1605 +	1.2364 +	
5.7451i	5.7314i	
-	-	
1.1515 +	0.9666 +	
5.6619i	5.6088i	
-	-	
1.1481 +	1.1447 +	
5.6585i	5.6805i	
-	-	
0.9914 +	0.9941 +	
5.4659i	5.4754i	

Studi kasus pertama adalah kondisi sistem sebelum terjadi pelepasan beban. Pada periode ini peningkatan beban menyebabkan  $P_e > P_m$ , sehingga dari grafik pada 5 detik respon pertama kecepatan generator adalah turun, menunjukkan peningkatan beban. Sedangkan untuk respon sudut rotor, karena  $P_e > P_m$  maka rotor mengalami perlambatan sehingga respon sudut rotor menjadi negatif.

Pada studi kasus kedua, pelepasan beban pada generator bakaru, perubahan beban yang terjadi menyebabkan  $P_e$

$< P_m$ , sehingga dari grafik pada 20 detik, respon pertama kecepatan generator adalah ke atas, menunjukkan pelepasan beban. Sedangkan untuk respon sudut rotor, karena  $P_e < P_m$  maka rotor akan mengalami percepatan sehingga respon sudut rotor menjadi ke atas..

## 5. KESIMPULAN

Performansi sistem ditingkatkan dengan pemasangan Dual Input Power System Stabilizer studi kasus sistem kontingensi N-1 pada jalur tengah maros sidrap. Kinerja sistem ditunjukkan dengan respon kecepatan generator dan sudut rotor yang menghasilkan overshoot yang kecil dan settling time yang lebih cepat ketika terjadi peningkatan beban dan juga pelepasan beban. Peningkatan performansi sistem juga dilihat dari nilai eigen sistem yang negatif, nilai eigen yang negatif menunjukkan sistem tersebut stabil. Contoh kasus pada generator swing bakaru diperoleh, respon kecepatan generator yang dilengkapi DIPSS menghasilkan overshoot kecil yaitu -0.01077pu sampai 0.0001404pu, menggunakan PSS overshoot sebesar -0.01634pu sampai 0.002276pu, dan tanpa kontrol menghasilkan overshoot sebesar -0.0201pu sampai 0.004997pu. Hasil simulasi juga menunjukkan bahwa respon generator menghasilkan settling time

yang cepat dengan kontrol DIPSS, sehingga sistem kembali ke kondisi tunak lebih cepat.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pusat Layanan Pembiayaan Pendidikan (PUSLAPDIK) dan Lembaga Pembiayaan Dana Pendidikan (LPDP) yang telah memberikan bantuan untuk penelitian ini.

### DAFTAR PUSTAKA

- Abdi-Khorsand, M., Sahraei-Ardakani, M., & Al-Abdullah, Y. M. J. I. T. o. P. S. (2016). Corrective transmission switching for N-1-1 contingency analysis. *32(2)*, 1606-1615.
- Bhattacharya, S., Kumari, M. L., & Choudhary, M. M. (2016, 7-8 Jan. 2016). *Design of power system stabilizer by frequency response and state-space methods*. Paper presented at the 2016 10th International Conference on Intelligent Systems and Control (ISCO).
- Chatterjee, A., Ghoshal, S. P., & Mukherjee, V. (2009, 9-11 Dec. 2009). *A comparative study of single input and dual input power system stabilizer by hybrid evolutionary programming*. Paper presented at the 2009 World Congress on Nature & Biologically Inspired Computing (NaBIC).
- Djalal, M. R., Yunus, M. Y., Setiadi, H., & Krismanto, A. U. J. M. J. o. T. (2018). Small-Signal-Stability Enhancement using a Power-System Stabilizer based on the Cuckoo-Search Algorithm against Contingency N-1 in the Sulselrabar 150-kV System. *22(1)*, 1-8.
- Fan, N., Chen, R., & Watson, J.-P. (2012). *N-1-1 contingency-constrained optimal power flow by interdiction methods*. Paper presented at the 2012 IEEE Power and Energy Society General Meeting.
- Ghoshal, S., Chatterjee, A., & Mukherjee, V. J. E. S. w. A. (2009). Bio-inspired fuzzy logic based tuning of power system stabilizer. *36(5)*, 9281-9292.
- Hartono, J., Hariyanto, N., Rahman, F. S., Kerdphol, T., Watanabe, M., & Mitani, Y. (2018, 23-25 April 2018). *Power System Stabilizer Tuning to Enhance Kalimantan Selatan - Tengah and Kalimantan Timur System Interconnection Stability Using Particle Swarm Optimization*. Paper presented at

- the 2018 5th International Conference on Electric Power and Energy Conversion Systems (EPECS).
- Khanabadi, M., Ghasemi, H., & Doostizadeh, M. J. I. T. o. P. S. (2012). Optimal transmission switching considering voltage security and N-1 contingency analysis. *28*(1), 542-550.
- Kumar, A. (2016). Power System Stabilizers Design for Multimachine Power Systems Using Local Measurements. *IEEE Transactions on Power Systems*, *31*(3), 2163-2171. doi:10.1109/TPWRS.2015.2460260
- Kundur, P. *Power system stability and control* (Vol. 7).
- Labdelaoui, H., Boudjema, F., & Boukhetala, D. J. s. (2017). Multiobjective optimal design of dual-input power system stabilizer using genetic algorithms. *17*(8), 1.
- Luo, F., Wang, C., Xiao, J., Ge, S. J. I. J. o. E. P., & Systems, E. (2010). Rapid evaluation method for power supply capability of urban distribution system based on N- 1 contingency analysis of main-transformers. *32*(10), 1063-1068.
- Saadat, H. (2009). *Power System Analysis*: McGraw-Hill.
- Sharma, A., & Kothari, M. L. (2003). Intelligent dual input power system stabilizer. *Electric Power Systems Research*, *64*(3), 257-267. doi:[https://doi.org/10.1016/S0378-7796\(02\)00198-0](https://doi.org/10.1016/S0378-7796(02)00198-0)
- Yunus, M. Y., Djalal, M. R., & Marhatang. (2017). Optimal Design Power System Stabilizer Using Firefly Algorithm in Interconnected 150 kV Sulselrabar System, Indonesia. *International Review of Electrical Engineering (IREE)*, *12*(3), 250-259.