

## PENGGUNAAN POWER SYSTEM STABILIZER BERBASIS-RECURRENT NEURAL NETWORK TERHADAP GANGGUAN KECIL (STUDI KASUS SISTEM KELISTRIKAN LOMBOK)

*Use Of Power System Stabilizer Based On Recurrent Neural Network On Small Interruption (Case Study Of Lombok Electrical System)*

Rangga Akbar 1<sup>1</sup>, I Made Ginarsa 2<sup>1</sup>, Agung Budi Muljono 3<sup>1</sup>

### ABSTRAK

Perubahan beban dan gangguan kecil dapat menyebabkan kecepatan putaran rotor mengalami percepatan atau perlambatan sesaat pada sistem tenaga listrik. Fenomena ini akan membuat kualitas daya listrik yang dihasilkan menjadi menurun secara signifikan. Untuk mengatasi hal tersebut, maka diperlukan sebuah kontroler tambahan yang dinamakan power system stabilizer (PSS). Penelitian ini mengusulkan desain PSS berbasis-recurrent neural network (RNN). Konfigurasi RNNPSS terdiri dari dua neuro yaitu neuro identifier dan neuro controller. Neuro identifier digunakan untuk mengidentifikasi keluaran plant (single machine infinite bus, SMIB) dan neuro controller digunakan sebagai sinyal kontrol untuk memperbaiki stabilitas plant. Plant yang diteliti yaitu SMIB dan sistem kelistrikan Lombok yang disederhanakan dengan bus pembangkit Taman sebagai bus generator (machine). Hasil penelitian menunjukkan bahwa plant yang dilengkapi dengan RNNPSS mampu memperbaiki stabilitas dinamik STL yang paling baik dengan rata-rata overshoot sebesar 0,1915 pu (7,04%) dan settling time 5,2995 s.

**Kata kunci:** Stabilitas dinamik, RNN, perbaikan stabilitas, PSS, SMIB

### ABSTRACT

Small disturbance and load change occur in a power system cause the rotor speed is accelerated or decelerated instantaneously. This phenomenon makes power electric quality is decreasing significantly. Recurrent neural network-based power system stabilizer (RNNPSS) is proposed to cope this problem. In this research, single machine infinite bus (SMIB) is used as a plant. The RNNPSS consist of neuro identifier and neuro controller. Function of the neuro identifier is to identify output of the plant. Meanwhile, the function of the neuro controller is to improve dynamic stability of the plant. The results show that the RNNPSS is able to improve the dynamical stability with the overshoot at the value of 0,1915 pu (7,04%) and settling time at the time of 5,2995 s, respectively.

**Keywords :** dynamic stability, RNN, stability improved, PSS, SMIB

### PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan suatu bentuk energi yang memiliki peran sangat vital dalam aktivitas keseharian manusia. Setiap tahun terjadi peningkatan kebutuhan energi yang signifikan dan menuntut pihak penyedia tenaga listrik untuk memberikan *supply* tenaga yang cukup dan berkualitas. Salah satu faktor penting dalam menghasilkan listrik yang berkualitas adalah kestabilan sistem.

Terdapat dua macam kestabilan sistem yaitu kestabilan transien dan kestabilan dinamik. Kestabilan dinamik adalah kemampuan sistem dalam mempertahankan kondisi sinkron ketika terjadi gangguan kecil

yang sering terjadi. Salah satu penyebab gangguan kecil adalah perubahan beban.

Perubahan daya pada sisi beban harus diikuti dengan perubahan daya pada pembangkit. Peningkatan permintaan daya beban harus diikuti dengan peningkatan daya pembangkitan. Tanpa penyesuaian, maka kenaikan beban akan mengakibatkan penurunan kecepatan putaran rotor generator yang berdampak pada berubahnya frekuensi dan tegangan keluaran generator pada sistem.

Sistem kelistrikan Lombok terdiri dari beberapa pembangkit listrik yang tersebar. Setiap pembangkit akan terhubung pada

<sup>1</sup>.Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Mataram, Nusa Tenggara Barat, Indonesia

suatu bus yang besar yang pada umumnya disebut bus *infinite* dimana pada sistem kelistrikan Lombok adalah bus 20 kV. Pada suatu sistem pembangkitan SMIB, perubahan beban akan menyebabkan kecepatan sudut rotor berubah. Perubahan tersebut menyebabkan sistem pengendalinya mengatur kembali kecepatan sudut rotor tersebut kembali ke kecepatan sinkronnya. Oleh karena itu, kondisi perubahan beban tersebut perlu diredam. Peredaman dilakukan untuk mengembalikan kecepatan sudut rotor kembali ke nilai nominalnya akibat adanya gangguan berupa perubahan beban (Stevenson, W. D., 1983)

*Power sistem stabilizer* (PSS) merupakan peralatan tambahan yang dapat memberikan redaman tambahan terhadap osilasi kecepatan sudut rotor. Untuk menghasilkan redaman yang baik, parameter-parameter PSS tersebut harus disesuaikan dengan kondisi sistem tenaga yang akan dipasangkan PSS (Wibisono, M. Y).

Perkembangan sistem tenaga listrik yang semakin cepat dan masalah yang semakin beragam, menuntut penyelesaian waktu nyata (Aribowo, W., 2010). Oleh karena itu, pada penelitian ini diusulkan menerapkan PSS berbasis jaringan syaraf tiruan berulang (*recurrent neural network*, RNN) untuk menggantikan PSS konvensional pada sistem tenaga yang dapat merespon perubahan performa sistem secara langsung. Pengaplikasian RNNPSS dititik beratkan pada kinerja RNNPSS terhadap osilasi perubahan kecepatan sudut dan perbaikan performa sistem dilihat dari *overshoot* dan *settling time*. Model penerapan RNNPSS pada *plant* dibuat dalam bentuk *simulink* sedangkan untuk pelatihan *recurrent neural network* dibuat dalam bentuk *m.file* pada *software matlab* versi 7.8.0.(R2009a).

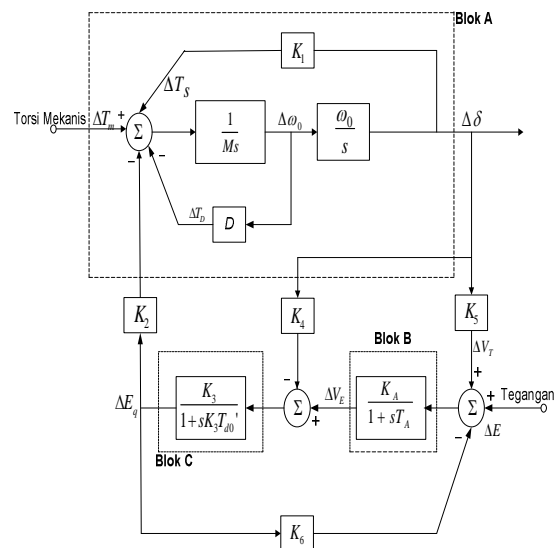
**Model mesin tunggal.** Dalam penelitian ini permasalahan yang diangkat, yaitu mengenai kestabilan dinamik pada sistem tenaga listrik. gangguan pada kestabilan dinamik diakibatkan oleh perubahan beban pada sistem. Untuk melakukan pengujian kestabilan dinamik digunakan pemodelan linier sistem tenaga listrik. Analisis kestabilan dinamik dapat dilihat pada Persamaan (1) (Kundur, P., 1993).

$$2H\omega_p \frac{d\omega_r}{dt} = T_m - T_e - K_D \frac{d\delta}{dt} \quad (1)$$

dengan,  $H$ ,  $K_D$  dan  $\delta$  adalah konstanta inersia, faktor redaman dan posisi sudut. Dari

Persamaan (1) terbaca bahwa perubahan kecepatan generator dapat dipengaruhi oleh selisih daya beban dan torsi mekanik dengan elektrik, yang kemudian akan berdampak pada perubahan kecepatan dan perubahan sudut rotor.

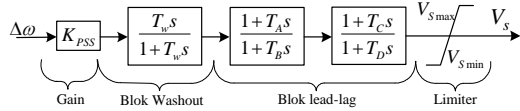
Pemodelan linier sistem *single machine infinite bus* (SMIB) yang terdapat pada buku "*Power System Analysis*" karya Hadi Saadat dan SMIB kelistrikan Lombok yang memiliki beberapa bagian antara lain: pemodelan governor, *prime mover* dan turbin, AVR, *exciter*, pemodelan mesin sinkron, sensor tegangan, dan pemodelan inersia generator. Respon yang dapat diamati dari sistem tersebut antara lain perubahan deviasi kecepatan sudut ( $\Delta\omega$ ). Umumnya  $\Delta\omega$  ini dianggap sebagai sinyal *error* yang digunakan sebagai input PSS untuk menghasilkan sinyal kontrol pada *plant*. Pemodelan sistem SMIB ditunjukkan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Pemodelan *single machine*

Blok A pada Gambar 1 menyatakan dinamika gerak mekanik generator. Fungsi transfer dalam blok ini berdasarkan Persamaan (1). Blok B menyatakan proses yang terjadi pada AVR. Blok C menyatakan hubungan tegangan generator dengan tegangan pada rangkaian medan. Reaksi jangkar diwakili oleh umpan balik  $K_4$ , dan pengaruh perubahan tegangan terminal oleh umpan balik  $K_5$ . Sedangkan variabel-variabel  $K_1$  sampai dengan  $K_6$  merupakan variabel transfer yang besarnya tergantung dari konfigurasi jaringan dan pembebanan.

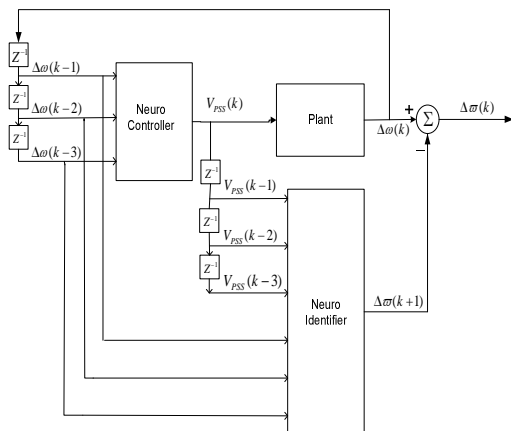
**Model power system stabilizer.** Power system stabilizer (PSS) merupakan sebuah kontroler yang dapat mengubah sinyal error berupa  $\Delta\omega$  menjadi sinyal kontrol yang diumpanbalikkan pada sistem eksitasi generator. Blok diagram dari sistem PSS ini ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram blok power system stabilizer

PSS konvensional memiliki beberapa bagian, yaitu *Gain*, *Washout*, *Lead-Lag*, dan *Limiter*. *Gain* berfungsi untuk mengatur besar penguatan agar diperoleh besaran torsi sesuai dengan yang diinginkan. *Washout* berfungsi untuk memberikan kondisi secara kontinyu pada *output stabilizer*. Rangkaian *Lead-Lag* berfungsi untuk memberikan kompensasi fasa sesuai yang diinginkan. *Limiter* berfungsi menghindari sinyal *stabilizer* dari perubahan tegangan yang tajam dan tetap mempertahankan pengatur tegangan pada kondisi yang baik selama terjadi gangguan (Robandi, I., 2006).

**PSS berbasis recurrent neural network (RNN).** PSS konvensional umumnya dibangun berdasar pemodelan linier dari sistem tenaga listrik, sehingga piranti ini tidak akan bekerja dengan baik saat diaplikasikan pada sistem tenaga listrik yang sesungguhnya bersifat sangat tidak linier. Oleh karena itu, diperlukan pemodelan PSS baru yang mempertimbangkan sifat ketidaklinieran sistem tenaga listrik. Maka pada penelitian ini dilakukan pemodelan PSS berbasis recurrent neural network (RNNPSS).



Gambar 3. Struktur *neuro identifier* dan *neuro controller*

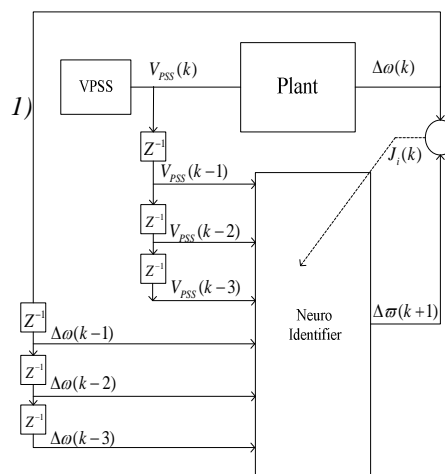
RNNPSS terdiri dari dua *neural networks* yang memiliki tugas berbeda. Kedua *neural networks* ini masing-masing disebut sebagai *neuro identifier* dan *neuro controller*. *Neuro identifier* berfungsi untuk mengidentifikasi perilaku *plant* sedangkan keluaran dari *neuro controller* adalah sinyal kontrol yang akan menggantikan  $V_{PSS}$  untuk di kirim ke *neuro identifier* dan *plant*. Struktur *neuro identifier* dan *neuro controller* pada RNNPSS ditunjukkan pada Gambar 3 (Liu, W., Venayagamoorthy, K.G., II, Wunsch C. D., 2003).

**Pelatihan off line neuro identifier dan neuro controller.** Pelatihan off line merupakan pelatihan yang dilakukan sebelum RNNPSS diterapkan pada *plant*. Pelatihan off line dilakukan untuk menghindari kemungkinan terjadi ketidakstabilan di awal penerapan RNNPSS karena jaringan yang masih belum terlatih.

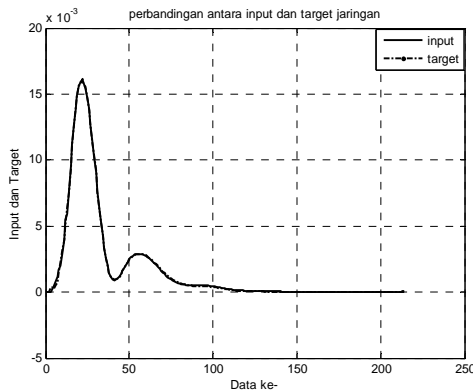
Proses pelatihan dari *neuro identifier* selama fase off line ditunjukkan pada Gambar 4 dan hasil pelatihan ditunjukkan pada Gambar 5. Input dari *neuro identifier* pada fase ini adalah:

$$\Delta\omega(k-1), \Delta\omega(k-2), \Delta\omega(k-3), V_{PSS}(k-1),$$

$V_{PSS}(k-2)$ , dan  $V_{PSS}(k-3)$ . Keluaran dari *neuro identifier* ini adalah hasil identifikasi terhadap perubahan kecepatan pada *plant*, yang disebut  $\Delta\omega(k+1)$ . Target pelatihan *neuro identifier* ini adalah perubahan kecepatan pada *plant* ( $\Delta\omega(k)$ ).



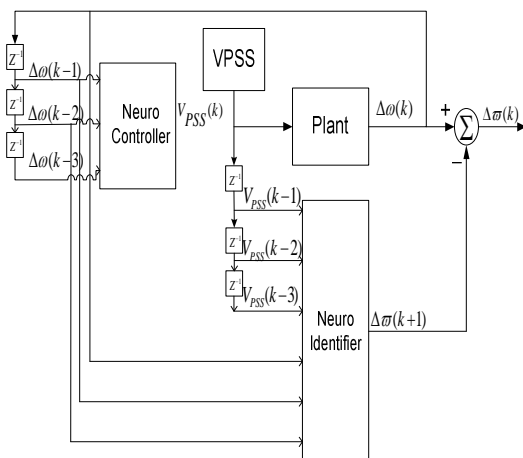
Gambar 4 Struktur *neuro identifier* saat off line



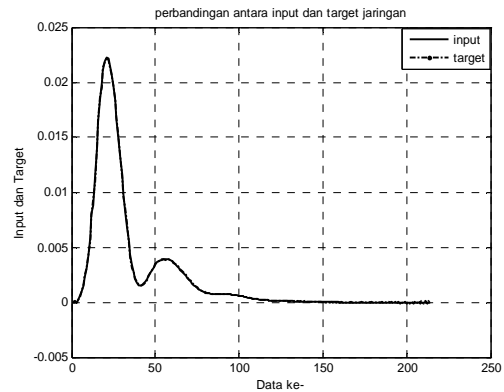
Gambar 5. Struktur *neuro identifier* saat off line

Dari hasil identifikasi yang ditunjukkan pada Gambar 5 dapat dilihat bahwa *neuro identifier* dapat melakukan identifikasi pada perilaku *plant* dengan sangat baik. Pelatihan dilakukan sebanyak 4 kali dengan meng-*update* bobot yang terdapat pada jaringan untuk menghasilkan pelatihan secara sempurna. *Error* terkecil yang terjadi pada proses pelatihan ini mencapai  $9,61 \times 10^{-9}$ .

Proses pelatihan dari *neuro controller* selama fase pre-kontrol ditunjukkan pada Gambar 6 dan hasilnya ditunjukkan pada Gambar 7. Input dari *neuro controller* pada fase ini adalah  $\Delta\omega(k-1)$ ,  $\Delta\omega(k-2)$ , dan  $\Delta\omega(k-3)$ . Keluaran dari *neuro controller* ini adalah sinyal kontrol yang menggantikan  $V_{PSS}$ . Target pelatihan *neuro controller* ini adalah perubahan  $V_{PSS}$ . Proses pelatihan dari *neuro controller* ditunjukkan pada Gambar 6 berikut.



Gambar 6. Struktur *neuro controller* saat off line



Gambar 7 Hasil pelatihan *neuro controller*

Pelatihan dilakukan sebanyak 4 kali dengan meng-*update* bobot yang terdapat pada jaringan untuk menghasilkan pelatihan secara sempurna. Pada pelatihan ke-4 *neuro controller* mampu menghasilkan sinyal kontrol yang baik. *Error* yang didapat pada pelatihan sebesar  $1,21 \times 10^{-8}$  pada iterasi ke 2000. Karena *neuro controller* sudah mampu menghasilkan sinyal kontrol dengan baik maka pelatihan dihentikan sampai pelatihan ke-4.

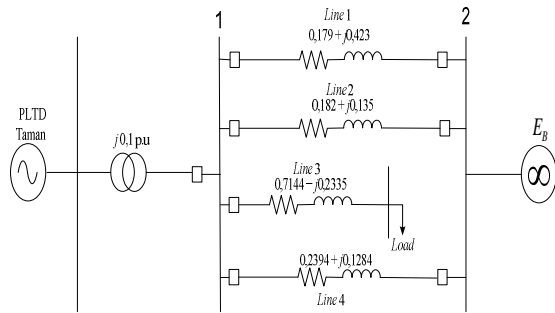
## METODE PENELITIAN

**Alat dan Bahan Penelitian.** Dalam penelitian ini, simulasi yang dilakukan menggunakan software simulink pada Matlab 7.8.0.347 (R2009a).

**Langkah-langkah Penelitian.** Rincian proses penelitian yang akan dilakukan antara lain: proses pengumpulan literatur pendukung yang berhubungan dengan studi stabilitas dinamik SMIB, data-data pendukung untuk pemodelan SMIB, dan metode pelatihan *recurrent neural network*.

Langkah awal yang dilakukan adalah mengumpulkan data yang dilakukan dengan mencari literatur yang berkaitan dengan penelitian ini. Kemudian melakukan pelatihan *recurrent neural network* setelah dilakukan pelatihan dilakukan penerapan pada simulink SMIB. Perbandingan yang dilakukan terdiri dari perbandingan sistem RNNPSS, PSS konvensional dan tanpa PSS dengan melihat *overshoot* dan *settling time*

**Pemodelan Sistem.** Parameter-parameter plant yang digunakan dalam penelitian ini adalah Data pada buku "Power System Analysis" karya Haadi Saadat (1999) pp. 568, dan sistem kelistrikan Lombok yang disederhanakan dalam SMIB (Gambar 8).



Gambar 8. SMIB pembangkit taman yang terhubung ke bus infinite

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Untuk menguji keefektifan RNNPSS dalam memperbaiki deviasi perubahan kecepatan sudut ( $\Delta\omega$ ) sistem tenaga listrik, maka sistem yang telah didesain diuji untuk sistem SMIB dengan menggunakan *simulink* pada *Matlab* 7.8.0.347 (R2009a). Data SMIB sistem kelistrikan Lombok dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter sistem kelistrikan Lombok

No	Parameter	Nilai	Satuan
1	Rating daya (MVA)	4,3	MVA
2	Rating Tegangan (kV)	6,3	kV
3	Line 1	0,179 + j0,423	pu
4	Line 2	0,182 + j0,135	pu
5	Line 3	0,7144 - j0,2331	pu
6	Line 4	0,2394 + j0,1284	pu
5	$X_T$	0,1	pu
6	$X_d$	0,0600	pu
7	$X_d'$	0,7746	pu
8	$X_q$	1,64	pu
9	$M$	2,4	pu
10	$T_{do}$	5,6	s
11	$K_{gu}$	20	pu
12	$T_{gu}$	1	s
13	$D_T$	0,1	s
14	$R$	1	pu
15	$D$	5	pu

Sumber: PT. PLN (Persero) sektor Lombok yang diolah oleh Praja (2008)

Tabel 2 Parameter sistem eksitasi

Generator	$K_A$	$T_A$	$K_f$	$T_f$
PLTD Taman	52	0,01	0,114	0,6

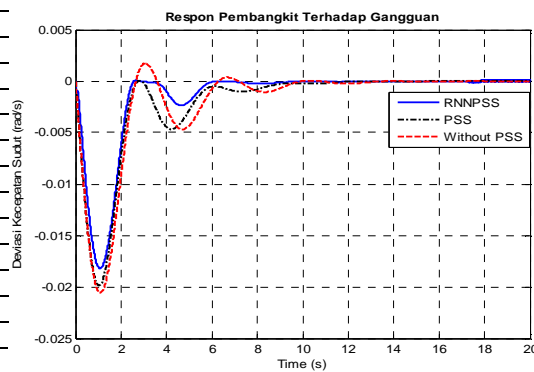
Keterangan: Kapasitas generator @ < 10 MVA  
 Sumber: Parameter dan sampel data IEEE Sistem Eksitasi tipe ST1

**Analisis Hasil.** SMIB yang dipakai dalam simulasi ini merujuk pada pemodelan linier single machine infinite bus (SMIB) Saadat, H., (1999, pp. 568. Jenis gangguan yang terjadi adalah gangguan kecil dengan perubahan step sebesar 0,25 pu dan -0,02 pu. Sedangkan pada pemodelan SMIB sistem kelistrikan Lombok diasumsikan terjadi gangguan berupa perubahan daya beban dengan kondisi awal sebesar  $P= 0,9$ ;  $Q = 0,3$ ;  $Pf 0,95$  dan  $P = 0,75$ ;  $Q = 0,35$ ;  $Pf = 0,90$ .

Tabel 3 Perbandingan respon deviasi kecepatan sudut dengan perubahan step

Step	Metode Kontrol	Overshoot (pu)	Perbaikan overshoot	Settling time (s)
0,25 pu	Tanpa Kontrol	-0,0206	-	9,3219
	PSS konvensional	-0,0199	3,40%	8,6745
	RNNPSS	-0,0182	11,65%	5,8039
-0,02 pu	Tanpa Kontrol	0,0271	-	9,6349
	PSS konvensional	0,0260	4,06%	8,8644
	RNNPSS	0,0111	59,04%	7,2633

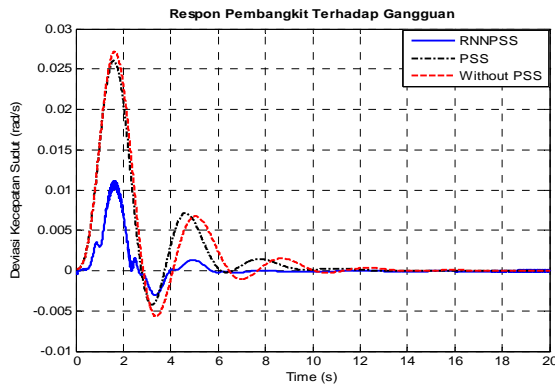
Gambar performa plant dari Tabel 3. dapat dilihat dibawah ini:



Gambar 9. Respon deviasi kecepatan sudut dengan perubahan beban 0,25 pu

Perubahan step sebesar 0,25 pu diberikan pada sistem sehingga menyebabkan perubahan deviasi kecepatan sudut pada sistem. Dari Gambar 9 RNNPSS dapat menurunkan overshoot sebesar -0,0182 rad/s (11,65%) dari kondisi semula yaitu sebesar -0,0206 rad/s dan lebih baik dari PSS konvensional yang hanya mampu menurunkan sebesar -0,0199 rad/s (3,40%). Settling time tercepat diberikan oleh RNNPSS

yaitu sebesar 5,8039 s, sedangkan PSS konvensional dan sistem tanpa kontrol hanya mampu memberikan *settling time* sebesar 8,6745 s dan 9,3219 s. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 3.

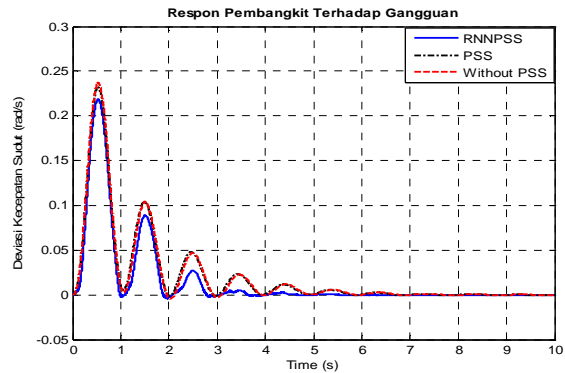


Gambar 10. Respon deviasi kecepatan sudut dengan perubahan beban  $-0,02$  pu

Perubahan step sebesar  $-0,02$  pu diberikan pada sistem sehingga menyebabkan perubahan deviasi kecepatan sudut pada sistem. Dari Gambar 10 RNNPSS dapat menurunkan *overshoot* sebesar  $0,0111$  rad/s (59,04%) dari kondisi semula yaitu sebesar  $0,0271$  rad/s dan lebih baik dari PSS konvensional yang hanya mampu menurunkan sebesar  $0,0260$  rad/s (4,06%). *Settling time* tercepat diberikan oleh RNNPSS yaitu sebesar  $7,2633$  s, sedangkan PSS konvensional dan sistem tanpa kontrol hanya mampu memberikan *settling time* sebesar  $8,8644$  s dan  $9,6349$  s. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 3.

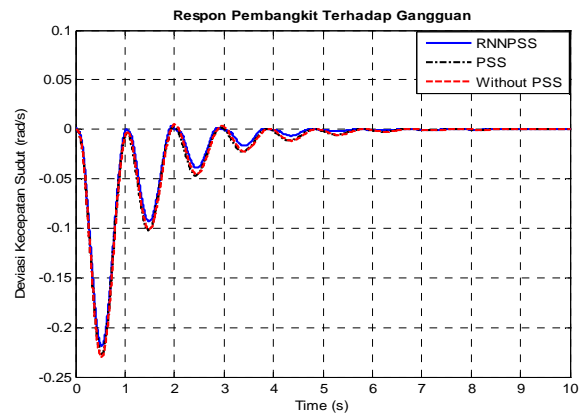
Tabel 4. Perbandingan respon deviasi kecepatan sudut dengan perubahan beban

Beban	Metode Kontrol	Overshoot (pu)	Perbaikan overshoot	Settling time (s)
$P = 0,9$	Tanpa Kontrol	0,2368	-	5,5354
$Q = 0,3$	PSS konvensional	0,2328	1,69%	5,4726
$Pf = 0,95$	RNNPSS	0,2184	9,29%	3,5067
$P = 0,85$	Tanpa Kontrol	$-0,2724$	-	5,0721
$Q = 0,24$	PSS konvensional	$-0,2657$	1,48%	5,0155
$Pf = 0,96$	RNNPSS	$-0,2598$	5,03%	4,8993



Gambar 11. Respon perubahan deviasi kecepatan sudut dengan  $P = 0,9$ ;  $Q = 0,3$  dan  $Pf = 0,95$

Pada Gambar 11 dengan gangguan perubahan beban sebesar  $P = 0,9$  pu,  $Q = 0,3$  pu dan  $Pf = 0,95$  terjadi pada sistem. RNNPSS dapat menurunkan *overshoot* sebesar  $0,2184$  rad/s (9,29%) dari kondisi semula yaitu sebesar  $0,2368$  rad/s dan lebih baik dari PSS konvensional yang hanya mampu menurunkan sebesar  $0,2328$  rad/s (1,69%). *Settling time* tercepat diberikan oleh RNNPSS yaitu sebesar  $3,5067$  s, sedangkan PSS konvensional dan sistem tanpa kontrol hanya mampu memberikan *settling time* sebesar  $5,4726$  s dan  $5,5354$  s. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 4.



Gambar 12. Respon perubahan deviasi kecepatan sudut dengan  $P = 0,75$ ;  $Q = 0,35$  dan  $Pf = 0,90$

Pada Gambar 12 dengan gangguan perubahan beban sebesar  $P = 0,75$  pu,  $Q = 0,35$  pu dan  $Pf = 0,90$  terjadi pada sistem. Dari hasil dapat dilihat RNNPSS dapat menurunkan *overshoot* sebesar  $0,2189$  rad/s (5,03%) dari kondisi semula yaitu sebesar  $0,2305$  rad/s masih kurang baik dari PSS konvensional yang mampu menurunkan sebesar  $0,2271$  rad/s (1,48%). *Settling time*

tercepat diberikan oleh RNNPSS yaitu sebesar 4,5065 s, sedangkan PSS konvensional dan sistem tanpa kontrol memberikan *settling time* sebesar 5,4101 s dan 5,4615 s. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 4.

## KESIMPULAN

Dilihat dari besarnya *overshoot* dan *settling time* penerapan RNNPSS pada sistem SMIB dapat digunakan untuk meredam gangguan akibat perubahan beban. Dari hasil simulasi data validasi terjadi perubahan signifikan nilai *overshoot* sebesar 22,12%, 25,21% dan 3,97% sedangkan *settling time* sebesar 31,91%, 36,98% dan 7,45% antara RNNPSS terhadap PSS konvensional, RNNPSS terhadap tanpa PSS dan PSS konvensional terhadap tanpa PSS. Pada SMIB sistem kelistrikan Lombok dengan perubahan beban yang faktor daya ( $\cos \varphi$ ) di atas 0,85 RNNPSS mampu memberikan respon perubahan deviasi kecepatan sudut lebih baik dengan perubahan signifikan nilai *overshoot* sebesar 2,80%, 4,80% dan 2,06% sedangkan *settling time* sebesar 19,25%, 20,08% dan 1,03% antara RNNPSS terhadap PSS konvensional, RNNPSS terhadap tanpa PSS dan PSS konvensional terhadap tanpa PSS. Penelitian ini perlu dilanjutkan menggunakan algoritma cerdas yang lain seperti kontrol logika *fuzzy* dan teknik optimasi untuk mendapatkan hasil yang lebih baik.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aribowo, W., 2010, "Stabilisator Sistem Tenaga Berbasis Jaringan Syaraf Tiruan Berulang Untuk Sistem Mesin Tunggal", Telkomnika, Vol.8, No.1, hal 65-72.
- Kundur, P., 1993, "Power System Stability And Control", McGraw-Hill, USA
- Liu, W., Venayagamoorthy, K.G., II, Wunsch C. D., 2003, "Design of an adaptive neural network based power system stabilizer", Department of Electrical and Computer Engineering, University of Missouri-Rolla, Rolla, MO 65409, USA.
- Praja, L. I. W. P., 2008, "Simulasi Penerapan Power System Stabilizer (PSS) Pada Sistem Tenaga Listrik Pulau Lombok", Skripsi, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro.
- Robandi, I., 2006, "Desain Sistem Tenaga Modern", Penerbit Andi, Yogyakarta
- Saadat, H., 1999, "Power System Analysis", Milwaukee School of Engineering, The McGraw-Hill Companies, Inc. USA.
- Stevenson, W. D., 1983, "Analisis Sistem Tenaga Listrik", Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Wibisono, M. Y., "Desain Adaptive PSS Berbasis Artificial Neural Networks (ANN) dan PID Controller Menggunakan Imprealist Competitive Algorithm (ICA)", Jurusan Teknik Elektro, FTI, ITS.

.  
..