

PENGGUNAAN RADIAL BASIS FUNCTION (RBF) PADA GENERATOR TUNGGAL UNTUK OPTIMASI KINERJA POWER SYSTEM STABILIZER

Subuh Isnur Haryudo^(1,2), Adi Soeprijanto⁽¹⁾, Mauridhi Hery Purnomo⁽¹⁾

⁽¹⁾Jurusan Teknik Elektro-FTI, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Keputih-Sukolilo, Surabaya-60111

⁽²⁾Jurusan Teknik Elektro-FT, Universitas Hang Tuah, Keputih-Sukolilo, Surabaya-60111

Abstrak

Power System Stabilizer (PSS) telah secara luas dipergunakan untuk meningkatkan stabilitas sistem tenaga listrik. Istilah stabilitas sistem tenaga listrik yang didefinisikan sebagai kemampuan suatu sistem tenaga listrik atau bagian komponennya untuk mempertahankan sinkronisasi dan keseimbangan dalam sistem. Bila sistem mengalami kenaikan atau penurunan beban atau mungkin mengalami gangguan maka akan terjadi perbedaan antara daya input mekanis dan daya output listrik dari generator. Perbedaan yang cukup besar ini bila tidak segera diatasi maka sistem tersebut akan kehilangan kestabilan atau sinkronisasinya. Dalam penelitian ini akan disajikan suatu kombinasi untuk penalaan parameter dari PSS konvensional dengan Artificial Neural Network (ANN) PSS menggunakan jaringan Radial Basis Function (RBF) atau dikenal dengan istilah Radial Basis Function Adaptive Power System Stabilizer (RBFAPSS).

Kata Kunci: stabilitas sistem tenaga listrik, Power System Stabilizer (PSS), Radial Basis Function.

1. PENDAHULUAN

Setiap kenaikan atau penurunan beban harus diikuti dengan perubahan daya input mekanis *prime mover* dari generator. Dalam sistem tenaga listrik dikenal istilah stabilitas sistem tenaga listrik yang didefinisikan sebagai kemampuan suatu sistem tenaga listrik atau bagian komponen untuk mempertahankan sinkronisasi dan keseimbangan sistem [1,2,8]. Dari keadaan operasional yang stabil dari sistem tenaga listrik, terdapat keseimbangan antara daya input mekanis pada *prime mover* dengan daya output listrik pada sistem. Dalam keadaan ini semua generator berputar pada kecepatan sinkron.

Penggunaan *Power System Stabilizer (PSS)* pada sistem tenaga listrik secara luas telah banyak digunakan untuk meningkatkan stabilitas sistem. PSS konvensional yang telah dikembangkan, didesain menggunakan pemodelan linier yang diperoleh dengan linierisasi model nonlinier disekitar nilai nominal yang menghasilkan nilai optimal untuk kondisi dan parameter sistem yang nominal. Akan tetapi hasilnya menjadi tidak optimal mengikuti penyimpangan pada parameter sistem dan kondisi pembebanan dari sistem [3].

Sekarang telah dikembangkan teknologi *Artificial Intelligence (AI)* berbasis PSS seperti halnya *self-tuning PSS*, *variable structure PSS*, *Artificial Neural Network (ANN) PSS* dan *Fuzzy Logic PSS* untuk menghasilkan peredaman yang optimal dari osilasi sistem dengan batasan parameter sistem dan kondisi pembebanan yang lebih luas.

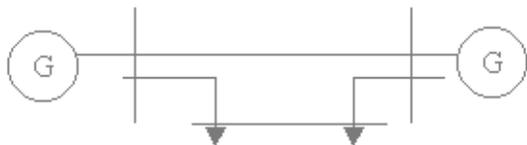
Pada ANN berbasis PSS [3-5], identifikasi jaringan tersebut dilakukan dengan pembelajaran menggunakan metode *back-propagation*. Penggunaan Jaringan Syaraf Tiruan (*Artificial Neural Network*) dikembangkan menyerupai

kemampuan manusia dalam melakukan keputusan, atau dengan kata lain sistem tersebut mempunyai kecerdasan buatan (*Artificial Intelligent*). Pembelajaran dari Jaringan Syaraf Tiruan ini terus dikembangkan untuk identifikasi parameter penalaan berdasarkan pada teknik optimasi nonlinier dan perkiraan parameter dari sistem dinamik, mungkin terletak pada local minimum dari kriteria optimasi yang terpilih selama prosedur pembelajaran. Alternatif pemecahan dari parameter nonlinier *neural network* yang cukup baik adalah dengan *Radial Basis Function (RBF) Network* [3,6]. Sistem pembelajaran RBF seperti topologi dari *feed-forward* pada umumnya dengan menggunakan metode pembelajaran *back-propagation*, akan tetapi operasi dari masing-masing metode ini memiliki perbedaan secara mendasar. Pada Jaringan RBF dapat diperoleh sistem pembelajaran yang sederhana dengan menyajikan jumlah pola-pola pelatihan yang relatif lebih kecil, ditunjukkan secara acak dan disebarkan diseluruh domain operasi.

2. POWER SYSTEM STABILIZER DAN TEORI DASAR ANALISA KESTABILAN SISTEM

2.1 Sistem Tenaga Listrik

Yang dimaksud dengan sistem tenaga listrik yaitu komponen-komponen tenaga listrik yang membentuk suatu sistem terpadu dan terhubung. Ada tiga komponen penting yang membentuk sistem tenaga listrik itu yaitu komponen pembangkitan, komponen distribusi dan komponen yang berkaitan dengan pembebanan.



Gambar 1. Sistem Tenaga Listrik

Dasar dari kestabilan adalah bagaimana sistem pembangkitan mampu untuk menyesuaikan kondisi yang terjadi pada pembebanan ataupun jaringan transmisinya dan pembangkit tersebut mampu untuk menciptakan besaran baru sehingga perubahan yang terjadi tidak membuat sistem terganggu atau terhenti.

2.1.1 Analisa Kestabilan Dengan State Space [1]

Segala gejala dari sistem yang dinamik, seperti halnya sistem tenaga, dapat direpresentasikan dalam kesatuan dari n non linear orde pertama dari persamaan differensial yang mengikuti persamaan berikut:

$$\dot{x}_i = f_i(x_1, x_2, \dots, x_n; u_1, u_2, \dots, u_r; t) \quad (1)$$

dengan $i = 1, 2, \dots, n$

dan n disebut orde dari sistem tersebut, r adalah menyatakan banyaknya input. Atau bentuk lain yang lebih ringkas dari persamaan di atas adalah,

$$\dot{x} = f(x; u; t) \quad (2)$$

Kolom dari x disebut dengan variabel keadaan, sedangkan u adalah variabel inputan dan t adalah waktu. Kolom input adalah segala masukan dari dalam atau luar sistem yang mempengaruhi sistem tersebut.

Jadi konsep dari *state space* ini dapat diimplementasikan dalam sistem tenaga dengan memperhatikan persamaan umum dari *state space* ini terhadap sistem yang besar, yaitu

$$\dot{x} = A \Delta x + B \Delta u \quad (3)$$

$$\Delta y = C \Delta x + D \Delta u \quad (4)$$

Persamaan di atas dapat mengatasi analisa mengenai kestabilan saat gangguan kecil, dengan variabel-variabelnya adalah sebagai berikut:

- Δx adalah vektor keadaan dengan dimensi n
- Δy adalah vektor keluaran dengan dimensi m
- Δu adalah vektor masukan dengan dimensi r
- A adalah matriks keadaan dari sistem dengan ukuran $n \times n$
- B adalah matriks pengontrol masukan dengan ukuran $n \times r$
- C adalah matriks keluaran dengan ukuran $m \times n$

D adalah matriks *feedforward* antara input dan output dengan ukuran $m \times r$

Dari variabel-variabel inilah kemudian sistem akan dianalisa dengan menggunakan nilai *eigenvalues* dari matriks A .

2.1.2 Analisa Nilai Eigen [1]

Jika studi sistem telah diungkapkan ke dalam analisa *state space* atau melalui blok diagram, maka analisa kestabilan sistem tersebut dapat diketahui melalui nilai *eigennya*.

Kestabilan sistem non linier dari gangguan kecil diberikan oleh akar-akar (*eigen*) dari persamaan karakteristik matriks A , yaitu:

- (a) Jika nilai-nilai *eigennya* negatif, maka sistem tersebut dikatakan stabil
- (b) Jika setidaknya ada satu nilai positif, maka sistem tersebut dapat dikatakan tidak stabil
- (c) Jika nilai real dari *eigenvalue* tersebut mendekati nol, maka tidak dapat dikatakan sistem tersebut stabil atau tidak (*critical*)

Sedangkan *eigenvalues* suatu matriks itu sendiri didapat dari nilai skalar parameter λ yang berasal dari persamaan:

$$A\phi = \lambda\phi \quad (5)$$

Sedangkan A adalah matriks $n \times n$ dan ϕ adalah matriks $n \times 1$. Jika sebuah nilai *eigenvalues* real berhubungan dengan sebuah mode non osilasi maka nilai *eigenvalues* negatifnya menandakan sistem tersebut berosilasi menuju stabil. Semakin besar nilai *magnitudenya* maka semakin cepat mode tersebut berosilasi menuju stabil. Sedangkan nilai *eigenvalues* positif menunjukkan sistem yang berada dalam kondisi tidak stabil.

Namun jika *eigenvalues* tersebut terdiri dari bilangan kompleks, maka akan terdapat nilai konjugasi yang berpasangan. Bilangan kompleks tersebut mempunyai bentuk:

$$\lambda = \sigma \pm j\omega \quad (6)$$

Dengan frekuensi osilasi dalam Hz

$$f = \frac{\omega}{2\pi} \quad (7)$$

Frekuensi di atas menandakan frekuensi teredam. Rasio redaman ditentukan oleh persamaan:

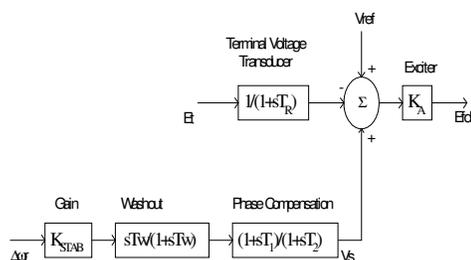
$$\zeta = \frac{-\sigma}{\sqrt{\sigma^2 + \omega^2}} \quad (8)$$

2.2 Konsep Dasar Power System Stabilizer [7]

Konsep dasar dari kerja *PSS* adalah peredaman osilasi rotor yang terjadi akibat perubahan yang terjadi pada beban. Tanpa *PSS*, untuk mengatasi adanya perubahan beban baik yang terjadi secara mendadak atau pun berkala sebenarnya adalah dengan meningkatkan kecepatan pengeksitasi rotor. Namun tanpa adanya pengendali untuk membatasi kecepatan eksitasi tersebut maka terjadilah osilasi dari sudut rotor yang semakin lama semakin besar.

Jadi fungsi dasar *PSS* adalah untuk memperluas batas stabilitas dengan mengontrol eksitasi generator untuk menyediakan peredaman pada osilasi rotor-rotor (mesin sinkron), terutama untuk mesin-mesin yang saling berhubungan (untuk sistem multi mesin). Sehingga untuk menghasilkan redaman komponen torsi maka *PSS* harus menghasilkan sinyal yang digunakan untuk mengatur eksitasi generator yaitu sinyal $\Delta\omega$.

Blok diagram *PSS* dan letaknya dapat dilihat pada gambar berikut.



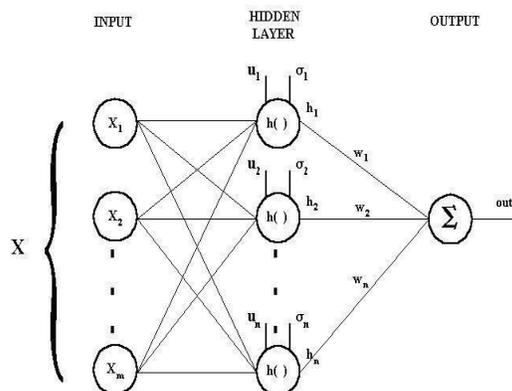
Gambar 2. Letak PSS terhadap Eksiter

Dari blok diagram tersebut dapat diperhatikan bahwa *PSS* akan memperbaiki kerja dari eksiter sehingga mampu memperbaiki gain ataupun fasa dari putaran rotor dengan mengontrol eksiter tersebut. Sehingga generator akan mencapai titik keseimbangan baru terhadap perubahan kecil yang terjadi.

3. KONSEP DASAR RADIAL BASIS FUNCTION

3.1 Fungsi Radial Basis (Radial Basis Function)

Susunan dari jaringan *RBF* secara umum terdiri dari tiga lapisan, yang samasekali berbeda. Lapisan (*layer*) masukan terbentuk dari titik sumber (*unit sensor*). Lapisan yang kedua adalah lapisan *hidden* yang terdiri dari dimensi yang cukup besar, yang memberikan maksud berbeda dari lapisan *hidden* pada *multilayer perceptron*. Lapisan keluaran memberikan tanggapan dari jaringan terhadap bentuk aktivasi lapisan masukan. Transformasi dari lapisan masukan ke lapisan *hidden* adalah nonlinier, sedangkan transformasi dari lapisan *hidden* ke lapisan keluaran adalah linier.



Gambar 3. Jaringan Radial Basis-Function

Jaringan *basis-function*, ditunjukkan dalam gambar 3 kelihatan seperti topologi dari *feed-forward* pada umumnya dengan menggunakan metode pembelajaran *back-propagation*, akan tetapi operasi dari masing-masing metode ini memiliki perbedaan secara mendasar.

3.2 Struktur Jaringan

Gambar 3 menunjukkan topologi dari jaringan *radial basis function (RBF)*. Dalam hal ini, masukan $x_1, x_2 \dots x_m$, terdiri dari sebuah matrik masukan x , yang diberlakukan pada semua syaraf (*neuron*) dalam lapisan *hidden*.

Masing-masing *neuron* dari lapisan *hidden* menghitung fungsi eksponensial berikut ini:

$$h_i = \exp\left[-D_i^2 / (2\sigma^2)\right] \quad (9)$$

dimana:

- x = matrik masukan
- u_i = matrik pembobot untuk neuron lapisan *hidden* i . (Perlu dicatat bahwa matrik ini sama dengan matrik pembelajaran masukan. Seharusnya ada satu neuron lapisan *hidden* untuk masing-masing matrik pembelajaran.)
- $D_i^2 = (x - u_i)^T(x - u_i)$
- x & u = matrik kolom
- T = menandakan transpose sebuah matrik

Perlu dicatat bahwa pembobot masing-masing *neuron* dari lapisan *hidden* ditentukan nilai dari matrik pembelajaran masukan. *Neuron* keluaran menghasilkan jumlah pembobot linier sebagai berikut:

$$y = \sum_i h_i w_i \quad (10)$$

dimana w_i = pembobot pada lapisan keluaran.

4. IMPLEMENTASI RADIAL BASIS FUNCTION NETWORK DALAM POWER SYSTEM STABILIZER

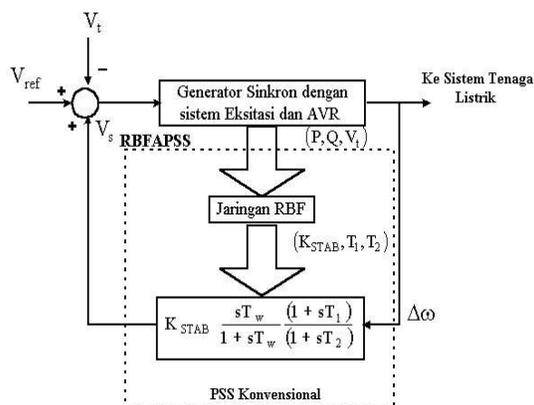
4.1 Simulasi Sistem

Respon dinamik sistem tenaga listrik dalam analisa studi kestabilan sangat dipengaruhi oleh pemilihan model. Model itu sendiri didefinisikan sebagai representasi dari aspek-aspek sistem yang ada atau sistem yang akan dibangun yang dapat menyajikan informasi tentang sistem tersebut dalam bentuk yang dapat digunakan.

4.1.1 Model Matematik Sistem

Untuk mempermudah dalam pembentukan model matematik, diasumsikan bahwa generator sinkron akan direpresentasikan dengan mengabaikan kumparan peredam (*dampers windings*) pada sisi *d* dan *q*. Dan juga, resistansi jangkar dari generator tersebut diabaikan.

Sinyal masukan untuk jaringan *Radial Basis Function* adalah nilai terukur pada terminal dari generator sinkron, yakni daya nyata keluaran generator (*P*), daya reaktif keluaran generator (*Q*) dan tegangan terminal (*V_t*). Jaringan *Radial Basis Function* ini pada lapisan keluaran menghasilkan parameter PSS yang diperlukan (*K_{STAB}*, *T₁* dan *T₂*) pada waktu nyata (*real time*). Gambar 4 menunjukkan blok diagram sistem dengan *Radial Basis Function Adaptive PSS (RBFAPSS)*.



Gambar 4. Blok Diagram Generator Sinkron dengan RBFAPSS

Untuk mencari matrik pembobot dilakukan proses pembelajaran menggunakan tabel 1 sebagai acuan. Dari data input tersebut didapatkan nilai pusat dari masing-masing komponen dari jaringan *Radial Basis Function* yang terdapat dalam lapisan hidden. Pada proses pembelajaran sistem menggunakan lapisan hidden ini sebagai masukan dan matrik keluaran sebagai target.

Tabel 1. Parameter PSS pada Beberapa Kondisi Operasional menggunakan RBF

Kondisi Operasional (Nilai Masukan)				Parameter Optimum PSS (Nilai Target)		
P	Q	V _t	X _e	K _{STAB}	T ₁	T ₂
0.73	0.07	0.94	0.56	21.5109	0.3230	0.0556
0.97	0.27	0.99	0.55	22.2775	0.2749	0.0667
0.76	0.19	0.95	0.76	22.3584	0.4522	0.0862
0.99	0.23	0.93	0.58	18.4095	0.3032	0.0771
0.85	0.15	0.96	0.56	21.3072	0.4119	0.0818
0.87	0.07	0.91	0.52	18.2840	0.2830	0.0587
0.60	0.22	1.06	0.56	35.6714	0.2334	0.0577
0.86	0.28	0.98	0.71	22.5304	0.3402	0.0760
0.86	0.28	1.02	0.65	25.7064	0.2910	0.0670
0.90	0.19	0.90	0.65	17.0791	0.3605	0.0839

4.1.2 Implementasi Jaringan RBFAPSS pada Sistem Tenaga Listrik

Persamaan dinamis sistem tenaga listrik yang telah diuraikan pada bagian terdahulu dapat diselesaikan dengan prosedur *step by step*. Keseluruhan prosedur *step by step* ini dapat dibagi menjadi tiga langkah, yaitu:

1. Penyelesaian persamaan jangkar mesin dan jala-jala untuk memperoleh variabel pembantu.
2. Penghitungan turunan waktu dari state variabel persamaan mesin dan pengontrolnya.
3. Penghitungan state variabel untuk waktu yang akan datang dengan menggunakan rumus pendekatan integrasi. State variabel dan turunan waktu variabel pada interval waktu sekarang dan yang lalu digunakan untuk menghitung state variabel pada interval waktu yang baru.

Secara umum persamaan keadaan (*state*) dapat diuraikan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &= Ax(t) + Bu(t) \\ y(t) &= Cx(t) \end{aligned} \quad (3.1)$$

dimana:

- x(t) : vektor variabel keadaan
- u(t) : vektor variabel masukan
- y(t) : vektor pengukuran
- A : matrik variabel keadaan
- B : matrik masukan
- C : matrik pengukuran

4.2 Hasil Simulasi dan Analisa

Simulasi dilakukan dengan menggunakan bantuan komputer digital dan menggunakan perangkat lunak (*software*) *MATLAB for Windows*.

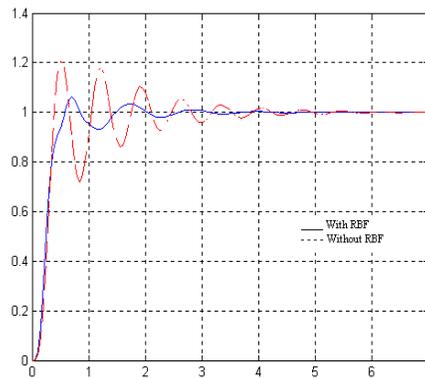
Proses pertama yang dilakukan adalah proses pembelajaran untuk menemukan matrik pembobot *W* yang menghubungkan lapisan *hidden* dengan lapisan keluaran dengan menggunakan data yang terdapat pada tabel 1. Dari matrik pembobot *W* hasil pembelajaran tersebut dilakukan proses simulasi terhadap sistem tenaga listrik.

4.2.1 Perbandingan Sistem dengan dan tanpa RBFAPSS

Simulasi ini dilakukan pada sistem dengan nilai kondisi awal (*initial conditions*):

$$P = 0.95 \text{ p.u.}, V_t = 1.0 \text{ p.u.}, \text{ dan } X_e = 0.65 \text{ p.u.}$$

Hasil dari simulasi tersebut terlihat pada gambar 5. Dari gambar tersebut terlihat jelas bahwa sistem dengan *RBFAPSS* akan mencapai stabilitas cukup baik untuk menggantikan sistem dengan menggunakan parameter *PSS* konvensional. Sistem dengan *RBFAPSS* mencapai stabilitasnya di sekitar titik 3 detik.



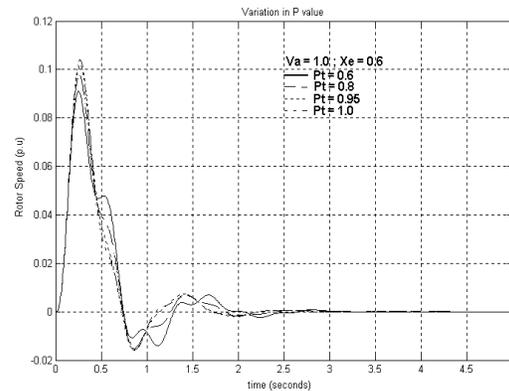
Gambar 5. Hasil simulasi perbandingan sistem dengan dan tanpa RBFAPSS

4.2.2 Sistem dengan Kondisi Nilai P Berbeda

Simulasi ini dilakukan untuk sistem yang mengalami gangguan atau perubahan beban dengan nilai kondisi awal (*initial conditions*):

$$V_t = 1.0 \text{ p.u.}, X_e = 0.6 \text{ p.u.}, \\ P_1 = 0.6 \text{ p.u.}, P_2 = 0.8 \text{ p.u.}, P_3 = 0.95 \text{ p.u.}, P_4 = 1.0 \text{ p.u.}$$

Dari hasil simulasi terlihat bahwa sistem dengan beberapa kondisi pembebanan tersebut, *RBFAPSS* tetap dapat memberikan redaman yang hampir sama untuk masing-masing nilai *P*, yakni berkisar pada titik 3 detik. Ini membuktikan bahwa *RBFAPSS* cukup handal untuk kondisi perubahan beban dengan range yang cukup lebar.



Gambar 6. Hasil simulasi sistem dengan kondisi nilai P berbeda

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa dan simulasi menggunakan *Radial Basis Function Adaptive Power System Stabilizer* dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- Kinerja dari jaringan *Radial Basis Function* tergantung pada pemilihan matrik pembobot (*W*). Dari beberapa percobaan pemilihan jumlah matrik pembobot (*W*) diperoleh harga optimal untuk simulasi *RBFAPSS* ini adalah 16.
- Dengan menggunakan jaringan *Radial Basis Function* dapat diperoleh pendekatan yang cukup baik untuk penalaan parameter *PSS* secara sederhana. Ini ditunjukkan gambar 5 adanya peredaman dari 5 menit menuju 3 menit.
- Jaringan *Radial Basis Function* yang berbasis *PSS* dapat mengatasi permasalahan kondisi perubahan beban (perubahan nilai *P*) dengan range yang cukup lebar. Diperoleh bahwa simulasi akan optimal untuk nilai daya aktif (*P*): 0.5 sampai 1.0 p.u.

6. SARAN

Optimasi dari kinerja *Power System Stabilizer* dengan metode ini hanya dibatasi pada kemudahan dan kecepatan dalam melakukan penalaan parameter *PSS*. Modifikasi dari metode ini dapat dilakukan dengan mengubah parameter utama dari jaringan *RBF* dan memasukkan matrik bias pada jaringan *RBF* tersebut. Sedangkan untuk aplikasi ke peralatan masih diperlukan kajian lebih lanjut yang dapat mentransformasikan hasil penalaan parameter *RBFAPSS* tersebut ke peralatan *PSS*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. Kundur, *Power System Stability and Control*, MC. Graw Hill, Inc., 1994.
- [2] P. M. Anderson and A. A. Fouad, *Power System Control And Stability*, Iowa State University Press, 1977.
- [3] Ravi Segal, M. L. Kothari, And Shekhar Madnani, *Radial Basis Function (RBF) Network Adaptive Power System Stabilizer*, IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 15, No. 2 : 722-727, May 2000.
- [4] Yuan Y. Hsu And C-R. Chen, *Tuning of Power System Stabilizers Using An Artificial Neural Network*, IEEE Transaction on Energy Conversion, Vol. 6, No. 4 : 612-619, December 1991.
- [5] Y. M. Park and K. Y. Lee, A. *Neural Network Based Power System Stabilizer Using Power Flow Characteristics*, IEEE Transaction on Energy Conversion, Vol. 11, No. 2: 435-441, June 1996.
- [6] Mark J. L, *Matlab Function For Radial Basis Function*, Division of Informatics, Edinburgh University, Scotland, 1999.
- [7] Padiyar, K. R, *Power System Dynamics : Stability and Control*, Indian Institute of Science, Bangalore. John Wiley & Sons (Asia) Pte. Ltd, 1995.
- [8] Isnuwardianto, Dr. Ir., *Dinamika dan Kendali Sistem Tenaga Listrik*, ITB.