

Simulasi Monitoring Keamanan Multi Generator Menggunakan Kurva Kapabilitas Generator Pembelajaran Neural Network

Zainal Abidin

Politeknik Bengkalis Program Study Teknik Elektro
Jln Bathin Alam Sei Alam Bengkalis – Riau

Email : inal_bkls@yahoo.co.id
zainal@polbeng.ac.id

Abstrak

Kurva kapabilitas generator pada pembangkit dikembangkan untuk memonitoring keamanan operasi generator. Pembelajaran kurva kapabilitas generator dikembangkan dengan menggunakan neural network metoda Constructive Backproagation (CBP). Sudut θ kurva kapabilitas generator dipakai sebagai input pembelajaran dan daya kompleks kurva sebagai target pembelajaran. Pembelajaran kurva terbaik didapat dengan berimpitnya kurva kapabilitas generator dengan kurva kapabilitas generator hasil pembelajaran. Hasil pembelajaran kurva kapabilitas generator dipakai untuk memonitoring P_{gen} dan Q_{gen} hasil dari aliran daya system 150kV regional Jawa Timur. Monitoring keamanan generator divisualisasikan dalam kurva kapabilitas generator hasil Pembelajaran NN. Kurva kapabilitas generator sebagai hasil pembelajaran NN mampu memonitoring perubahan daya generator, mampu memonitoring sisa kapabilitas generator dan mampu memberi informasi daya (PQ) serta titik operasi generator dengan batas kemampuan dan kestabilan generator.

Abstract

Generator capability curve at generating developed to monitoring of generator operational safety. Study of generator capability curve is developed with using neural network by Constructive Backproagation (CBP) method. Angle θ of generator capability curve used as study input and complex power curve as target of study. Study of best curve got with its nearby generator capability curve with generator capability curve result of study. Result of study of generator capability curve used monitoring P_{gen} and Q_{gen} result from power flow 150 kV system East Java regional. Security and safety monitoring of generator visualizing in generator capability curve as result of NN study. Generator capability curve as result of study of NN study have ability of monitoring of change power generator, and solvent of monitoring rest of generator capability and can give information of power (PQ) and generator operating point with ability boundary and generator stability.

Keyword : Generator Capability Curve, Monitoring, Constructive Backproagation (CBP)

1. Latar Belakang

Sistem interkoneksi untuk sistem kelistrikan skala luas diperlukan dalam suatu sistem kelistrikan di pembangkitan untuk mensuplai daya ke beban. Sistem interkoneksi diharapkan mampu menjaga kondisi sistem kelistrikan tetap stabil apabila terjadi perubahan daya beban secara tiba-tiba. Perubahan daya beban secara tiba-tiba akan mempengaruhi kinerja generator dipembangkit. Kinerja generator dalam mensuplai kebutuhan daya ke beban harus selalu dijaga agar masih dalam batas ambang kemampuan operasi generator. Batas ambang kemampuan operasi generator dinyatakan dalam kurva kapabilitas generator. Kurva kapabilitas generator akan memberi informasi tentang batasan kemampuan dari operasi generator dalam mensuplai daya ke beban. Batasan kemampuan operasi generator tersebut meliputi: (1) batas daya aktif dan reaktif (*active and reactive power limit*); (2) batas arus rotor (*rotor*

current limit); (3) batas arus *stator* (*armature current limit*); (4) batas pemanasan ujung inti *stator* (*stator - end heating limit*). [1-4]. Daerah aman operasi generator harus selalu dijaga agar berada dalam kurva kapabilitas, yaitu daerah *lagging* dan *leading*. [1-7].

Sistem monitoring pembangkit diperlukan untuk memonitoring perubahan daya generator. Monitoring akan mampu memberikan informasi daya (PQ) dan faktor daya serta titik operasi generator dengan batas kemampuan dan kestabilan dari generator.

Dalam penelitian ini dikembangkan suatu program pembelajaran kurva kapabilitas generator berbasis *Neural-Network* untuk sistem 150 kV Jawa Timur sebagai plant penelitian.

2. Metode Penelitian

Dalam penelitian ini menggunakan metode simulasi program Jaringan Saraf Tiruan (JST). Kemudian menggunakan *Constructive Backpropagation* (CBP) sebagai metode pembelajaran kurva kapabilitas generator [8]. Pembelajaran kurva dibagi dalam 2 tahapan, yaitu:

2.1. Tahapan Plot Titik Q , P dan -Q

Kurva kapabilitas generator terbentuk dari dua sumbu P dan Q (Q_{max} , Q_{min}) dengan setengah lingkaran sebagai batas kurva. Titik-titik Q, P dan -Q didapat dengan menarik garis sejajar terhadap sumbu Q sampai memotong sumbu P. Tarikan garis sejajar tersebut menghasilkan tiga titik, yaitu titik Q, P dan -Q. Ketiga titik Q, P dan -Q disusun dalam bentuk matrik, yaitu:

Matrik bidang atas kurva kapabilitas generator atau daerah *lagging*:

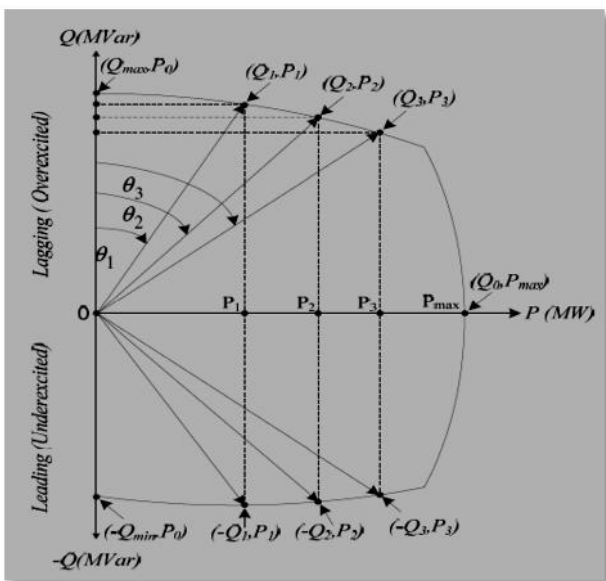
$$\begin{vmatrix} Q_{max} & Q_1 & Q_2 & Q_3 & \dots & Q_{n+1} \\ P_0 & P_1 & P_2 & P_3 & \dots & P_{n+1} \end{vmatrix} \dots\dots\dots 1)$$

Matrik bidang bawah kurva kapabilitas generator atau daerah *leading*:

$$\begin{vmatrix} Q_{min} & -Q_1 & -Q_2 & -Q_3 & \dots & -Q_{n+1} \\ P_0 & P_1 & P_2 & P_3 & \dots & P_{n+1} \end{vmatrix} \dots\dots\dots 2)$$

Keterangan:

- Q_{max} : Titik daya reaktif maksimum (*lagging*)
- P_0 : Titik daya aktif saat $P = 0$
- $-Q_{min}$: Titik daya reaktif minimum (*leading*)
- Q_{n+1} : Titik daya reaktif ke Q_{n+1} (*lagging*)
- P_{n+1} : Titik daya aktif ke P_{n+1}
- $-Q_{n+1}$: Titik daya reaktif ke $-Q_{n+1}$ (*leading*)



Gambar. 1. Plot titik P dan Q

2.2. Tahapan Pembelajaran Data Kurva (PQ)

Dibutuhkan titik data pasangan PQ dalam jumlah banyak untuk menghasilkan kurva kapabilitas generator hasil pembelajaran NN agar sama dengan bentuk kurva kapabilitas generator. Tahapan pembelajaran dilakukan sebagai berikut:

a. Pengambilan Data

Tabel data plot titik P dan Q disimpan dalam file Excel versi 2003 dan dipanggil dengan bahasa program MATLAB versi R2007a.

b. Menghitung Daya Komplek Kurva dan Sudut Theta kurva

Daya komplek dihitung dengan persamaan :

$$S_{kurva} = \sqrt{P^2 + Q^2} \dots\dots\dots 3)$$

Sudut theta antara daya aktif dan reaktif kurva dihitung dengan persamaan :

$$\theta_{kurva} = \tan^{-1} \frac{Q}{P} \dots\dots\dots 4).$$

Keterangan :

- P : Daya aktif kurva (MW)
- Q : Daya reaktif kurva (Mvar)
- θ_{kurva} : Sudut antara daya P dan Q
- S_{kurva} : Daya komplek kurva (MVA)

Perhitungan daya komplek kurva dan sudut theta kurva menggunakan bahasa program MATLAB.

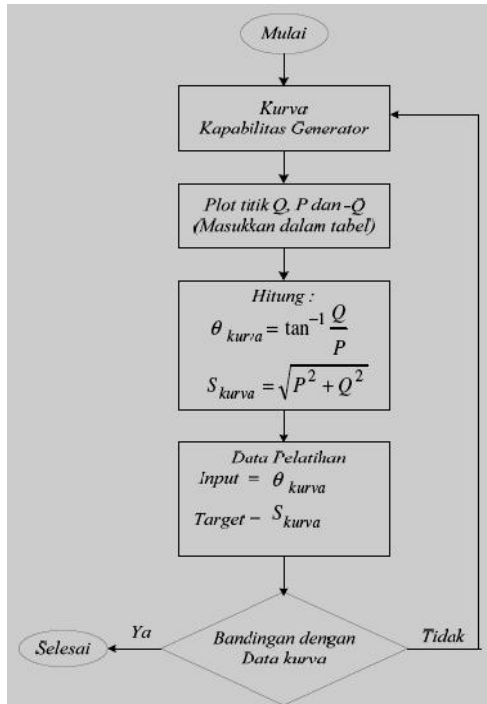
c. Input dan Target

Didefinisikan input dan target untuk pembelajaran kurva kapabilitas generator yaitu:

- Input : Sudut theta kurva.
- Target : Daya komplek kurva

d. Membentuk Hidden Unit Layer.

Penambahan hidden unit layer metode pembelajaran CPB terjadi secara satu demi satu hingga didapat hidden unit layer dengan tingkat kesalahan kecil. Flow Chart algoritma pembelajaran kurva ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Algoritma pembelajaran kurva.[8].

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Penelitian

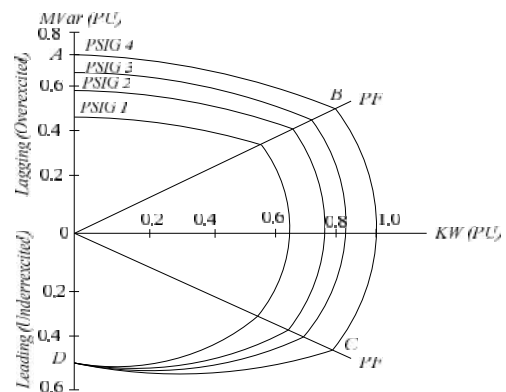
3.1.1 Kurva Kapabilitas Generator

Kurva kapabilitas generator memuat karakteristik dan kemampuan operasi kerja generator, meliputi daya aktif (MW), daya reaktif (MVar) dan daya rating (MVA) [1,5]. Bentuk tampilan kurva kapabilitas generator tergantung dari jenis rotor dan penggerak mula (*prime mover*). Generator jenis rotor silinder (*cylindrical rotor*) dengan penggerak mula uap (*steam*), kurva kapabilitas generator dibatasi oleh 3 parameter [4,5], yaitu:

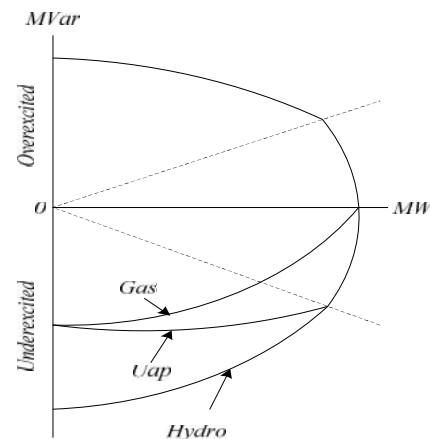
- Batas arus kumparan stator (*stator winding current limit*). Ditentukan berdasarkan rating arus yang mengalir dikumparan *stator*, batas ini diwakili oleh lingkaran dititik B-C.
- Batas arus kumparan rotor (*rotor winding current limit*). Ditentukan berdasarkan penguatan arus medan yang mengalir di kumparan *rotor*, diwakili oleh lingkaran dititik B-A. Penguatan arus medan *If* menentukan batas daya reaktif generator. Pada batas arus kumparan *rotor*, generator bekerja pada daerah operasi *lagging* dengan sudut θ positif.
- Batas pemanasan ujung inti *stator* (*Stator end region heating limit*). Diwakili oleh lingkaran dititik C-D. Batas pemanasan ujung inti *stator* terjadi akibat flux bocor pada kumparan *stator*. Batas pemanasan ujung inti *stator* menentukan batas daya maksimum reaktif generator menerima daya reaktif dari sistem. Pada batas ini, generator bekerja pada daerah *leading* dengan sudut θ negatif.

Generator jenis *rotor* kutub menonjol (*salient pole*) dengan penggerak mula hidro, kurva kapabilitas generator dibentuk dan dibatasi oleh 2 parameter tanpa batas pemanasan ujung inti *stator* (*Stator end region heating limit*) [4], yaitu:

- Batas arus kumparan *rotor* ditentukan oleh rangkaian medan. Batas arus kumparan *rotor* merupakan daerah operasi *lagging* (+Q) dengan sudut θ positif. Batasan arus *rotor* diwakili oleh lingkaran dititik A-B. dan
- Batas arus kumparan *stator* ditentukan oleh rating arus kumparan *stator*. Batas arus kumparan *stator* merupakan daerah operasi *leading* (-Q) dengan sudut θ negatif , diwakili oleh titik B-D.



Gambar 3. Kurva Kapabilitas Generator Jenis Rotor Silinder



Gambar 4. Kurva Kapabilitas Generator Jenis Rotor Kutub Menonjol

3.1.2 Hasil Pembelajaran Kurva Kapabilitas Generator PLTU Perak 50 MW

Jumlah titik *P* dan *Q* hasil plot kurva kapabilitas generator PLTU Perak 50MW yaitu :

- Titik P : 137 titik
- Titik Q : 137 titik

Pada *neuron* ke 48 didapat pembelajaran terbaik dengan tingkat ketelitian 0,0002. Kurva hasil pembelajaran *NN* ditunjukkan pada Gambar 5.

3.1.3 Pengujian Kurva Kapabilitas Generator Hasil Pembelajaran NN

Pengujian kurva kapabilitas generator hasil pembelajaran NN diuji dengan memberi input kurva hasil pembelajaran NN dengan daya aktif (P) dan daya reaktif (Q). Kurva hasil pembelajaran NN dikatakan aman jika memenuhi syarat persamaan :

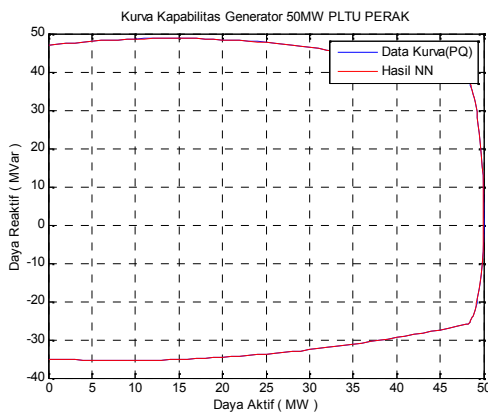
$$R_{ref} \geq R_{gen} \dots \dots \dots 5).$$

Keterangan :

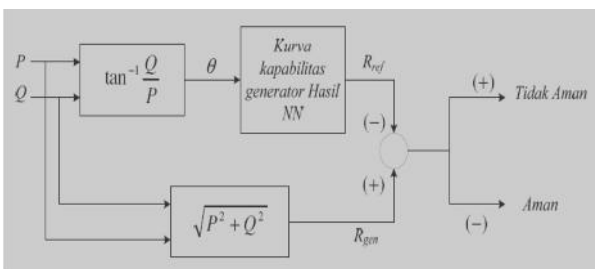
R_{ref} : Daya kompleks PQ kurva atau panjang jari- jari kurva.

R_{gen} : Daya kompleks beban daya atau panjang jari-jari beban.

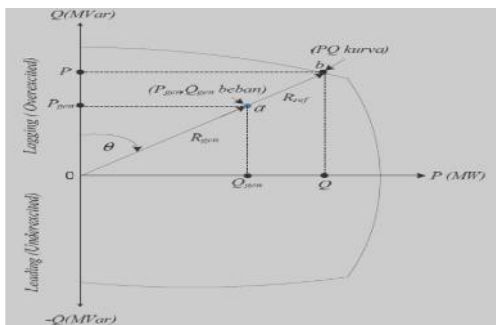
Blok algoritma pengujian keamanan kurva hasil pembelajaran NN ditunjukkan pada Gambar 6 dan perbandingan antara R_{ref} dan R_{gen} ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 5. Kurva Hasil Pembelajaran NN



Gambar 6. Blok Pengujian Kurva Kapabilitas Generator



Gambar 7. Perbandingan R_{ref} dan R_{gen} . [8].

Keterangan:

- Titik Ob : Panjang jari-jari kurva
- Titik Oa : Panjang jari-jari beban
- Titik ab : Panjang jari-jari selisih daya

Kurva kapabilitas generator hasil pembelajaran NN diuji dalam 3 kondisi, yaitu: kondisi aman, kondisi kritis, dan kondisi tidak aman.

3.1.4 Hasil Pengujian Kurva Kapabilitas Generator PLTU Perak 50MW

Operasi generator aman jika memenuhi syarat pada persamaan 5 dengan nilai selisih_R bernilai negatif. Selisih_R dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$Selisih_R = R_{gen} - R_{ref} \dots \dots \dots 6)$$

Pengujian Kurva Kondisi 1

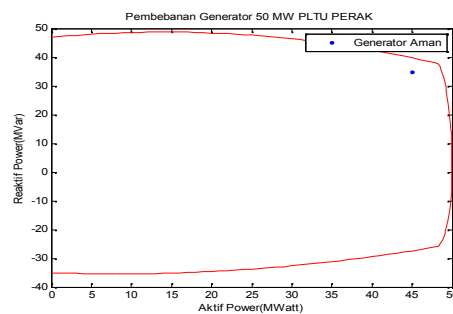
Titik pembebanan dengan daya aktif (P): 45 MW dan daya reaktif (Q): 35 MVar. Hasil pengujian menunjukkan: R_{ref} : 61,1324, dan R_{gen} : 57,0088. Syarat terpenuhi, yaitu: $R_{ref} > R_{gen}$ dengan selisih_R = $R_{gen} - R_{ref} = - 4,1236$. Hasil pengujian kurva mengenali target, sehingga dapat disimpulkan bahwa titik pembebanan generator 50MW PLTU Perak kondisi aman.

Pengujian Kurva Kondisi 2

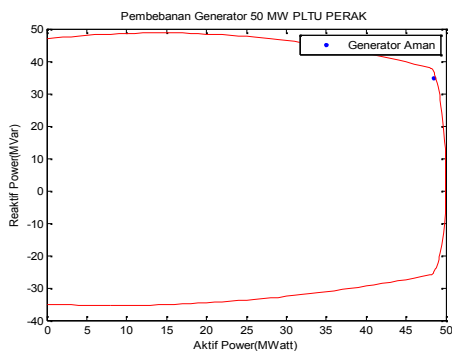
Titik pembebanan dengan daya aktif (P): 48.5 MW dan daya reaktif (Q): 35 MVar. Hasil pengujian menunjukkan R_{ref} : 59,8101 dan R_{gen} : 60,0434. Syarat terpenuhi, yaitu: $R_{ref} \geq R_{gen}$ dengan selisih_R = $R_{gen} - R_{ref} = - 0,2333$ sehingga hasil pengujian kurva dapat mengenali target. Kondisi ini dapat disimpulkan bahwa titik pembebanan generator 50 MW PLTU Perak berada dalam kondisi aman dengan catatan titik pembebanan kritis.

Pengujian Kurva Kondisi 3

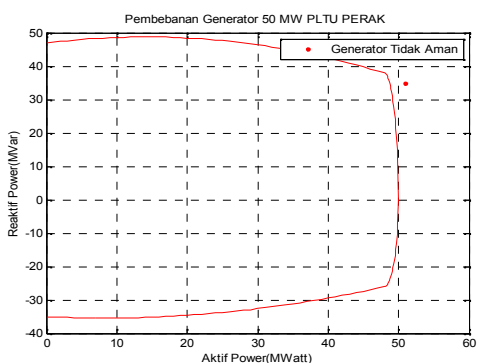
Titik pembebanan dengan daya aktif (P): 51 MW dan daya reaktif (Q): 35 MVar. Hasil pengujian menunjukkan R_{ref} : 59,2892, dan R_{gen} : 61,8547. Syarat tidak terpenuhi, yaitu : $R_{ref} < R_{gen}$ dengan selisih_R = $R_{gen} - R_{ref} = 2,5654$ sehingga hasil pengujian kurva tidak mengenali target. Hal ini dapat disimpulkan bahwa titik pembebanan generator 50 MW PLTU Perak berada pada kondisi tidak aman. Adapun tampilan visualisasi pengujian kurva berturut – turut ditunjukkan pada Gambar 8, 9 dan 10.



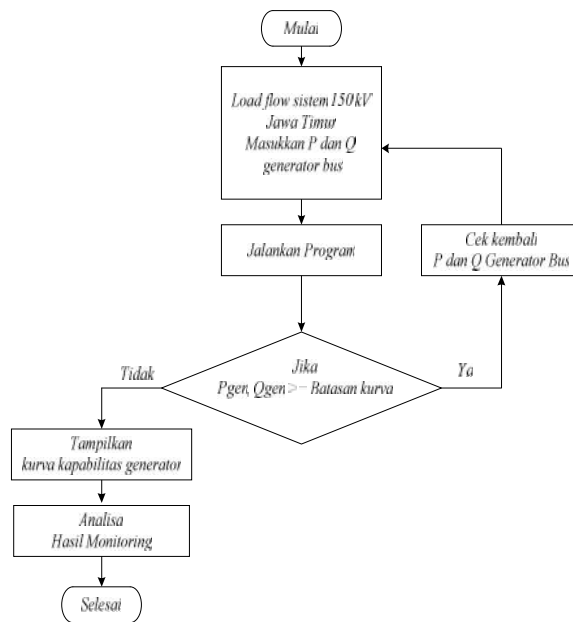
Gambar 8. Generator 50MW PLTU Perak Kondisi Aman



Gambar 9. Generator 50MW PLTU Perak Kondisi Aman Tapi Kritis



Gambar 10. Generator 50MW PLTU Perak Kondisi Tidak Aman



Gambar 11. Algoritma Simulasi Monitoring Keamanan Generator

Simulasi dilakukan pada kondisi:

1. Daya beban sistem aliran daya hari kamis tanggal 11 September 2008 jam 20.00 WIB. Daya generator bus disetiap pembangkitan ditunjukkan pada Tabel 1. Hasil run program untuk aliran daya sistem 150 kV regional Jawa didapat total daya beban sebesar: P_{beban} : 2972,800MW dan Q_{beban} : 1094,9 MVar.
2. Daya beban sistem mengalami peningkatan daya beban pada bus Waru, bus Sawahan, bus Surabaya Barat dan bus Rungkut Tahapan peningkatan daya beban sistem ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 1. Daya Generator Bus di Setiap Pembangkitan

Pembangkitan	Kapasitas Pembangkitan (MW)	Daya pembangkitan generator bus		
		P	Qmax	Qmin
PLTU Perak	2 x 50	95,0	75,0	-50
PLTGU Gresik	1 x 188,91	163,9	141,7	-94,5
PLTU Gresik1	2 x 200	580,0	450,0	-300
PLTU Gresik2	2 x 100	102,0	51,6	-34,4
PLTA Sutami	2 x 27	52,0	26,2	-17,4

Tabel 2. Tahapan Peningkatan Daya Beban Sistem

No. Bus	Nama Bus	Penambahan Daya Beban P (MW)		
		Dari	Ke	Total
15	Sawahan	32,70	52,70	20
21	SBY Barat	23,40	53,40	30
25	Waru	126,50	146,50	20
27	Rungkut	120	160	40

3.2 Pembahasan Hasil Penelitian

3.2.1 Algoritma Simulasi Monitoring Keamanan Multi Generator

Algoritma monitoring keamanan generator sistem 150 kV regional Jawa Timur ditunjukkan pada Gambar 11. Secara garis besar algoritma simulasi monitoring keamanan generator dijelaskan sebagai berikut: Pembebanan generator bus. ditinjau nilai ekonomis, PLTA Sutami dan PLTA Wlingi dikondisikan pembebanan maksimum dan pembangkit PLTU Perak, PLTU Gresik dan PLTGU Gresik, disesuaikan dengan kebutuhan daya beban sistem. Pengujian pembebanan generator bus. dirancang suatu program monitoring untuk menguji pembebanan pada generator bus. Pengujian meliputi pembebanan daya aktif dan reaktif.

3.2.2 Simulasi Monitoring Keamanan Multi Generator Sistem 150 kV Regional Jawa Timur

Simulasi monitoring keamanan multi generator sistem 150 kV regional Jawa Timur disimulasikan untuk melihat pengaruh dari pembebanan generator bus dan titik pembebanan generator swing terhadap perubahan daya beban system.

3.2.3 Hasil Simulasi Monitoring Keamanan Generator Sistem 150 kV Regional Jawa Timur

Beban aliran daya hari Kamis tanggal 11 September 2008 jam 20.00 WIB, yaitu sebesar : $P_{beban} : 2972,800 \text{ MW}$ dan $Q_{beban} : 1094,9 \text{ MVar}$. Hasil simulasi ditunjukkan pada Tabel 3, sedangkan aliran daya di bus pembangkitan dapat dilihat pada Tabel 4. Pembagian titik pembebanan pada masing-masing generator dibus pembangkitan dan Tabel 5 sesuai dengan pengujian pembebanan masing-masing kurva kapabilitas generator sistem 150 kV regional Jawa Timur

Tabel 3. Hasil Aliran Daya

No Bus	Jenis Pembangkitan	Total Pembebanan Kurva		Rugi-rugi saluran	
		$P_{gen} \text{ (MW)}$	$Q_{gen} \text{ (MVar)}$	P (W)	Q (Var)
1	PLTU Perak	95	66,97		
2	PLTGU Gresik	433,91	1,54		
3	PLTU Gresik	580	142,63		
37	PLTU Grati	141,72	150,47		
72	PLTA Sutami	102	39,08		
73	PLTA Wlingi	52	16,19	195,87	152,23

Tabel 4. Titik Pembebanan Masing-Masing Kurva

No Bus	Jenis Pembangkitan	Kapasitas Pembangkitan (MW)	Titik pembebanan per kurva	
			$P_{gen} \text{ (MW)}$	$Q_{gen} \text{ (MVar)}$
1	PLTU Perak	2 x 50	47,5	33,49
2	PLTGU Gresik	1 x 188,91	168,91	1,54
3	PLTU Gresik1	2 x 200	193,33	47,54
	PLTU Gresik2	2 x 100	96,67	23,77
37	PLTU Grati	3 x 100,75	47,24	50,16
72	PLTA Sutami	3 x 35	34	13,03
73	PLTA Wlingi	2 x 27	26	8,09

Tabel 5. Hasil Pengujian Masing-Masing Kurva

Jenis Pembangkitan	Hasil Pengujian untuk masing-masing kurva			pf
	R_{ref}	R_{gen}	Selisih_R	
PLTU Perak	59,69	58,12	-1,57	0,82
PLTGU Gresik	188,87	168,92	-19,95	1,00
PLTU Gresik1	206,05	199,09	-6,96	0,97
PLTU Gresik2	102,95	99,55	-3,40	0,97
PLTU Grati	119,94	68,90	-51,04	0,69
PLTA Sutami	37,12	36,41	-0,71	0,93
PLTA Wlingi	28,16	27,23	-0,93	0,95
Total selisih_R			-84,58	

Terjadi peningkatan daya beban sistem pada bus Sawahan (no.15), sebesar 20 MW, sehingga total daya beban sistem sebesar: $P_{beban} : 2992,800 \text{ MW}$ dan $Q_{beban} : 1094,9 \text{ MVar}$.

Hasil simulasi ditunjukkan pada Tabel 6, sedangkan aliran daya di bus pembangkitan diperlihatkan dalam Tabel 7. Kemudian pembagian titik pembebanan pada masing-masing generator di bus pembangkitan terdapat dalam Tabel 8.

Tabel 6. Hasil Aliran Daya

No bus	Jenis Pembangkitan	Total Pembebanan Kurva		Rugi-rugi saluran	
		$P_{gen} \text{ (MW)}$	$Q_{gen} \text{ (MVar)}$	P (W)	Q (Var)
1	PLTU Perak	95	68,725		
2	PLTGU Gresik	433,91	3,270		
3	PLTU Gresik	580	144,33		
37	PLTU Grati	162,15	135,097	196,31	151,54
72	PLTA Sutami	102	41,461		
73	PLTA Wlingi	52	16,19		

Tabel 7. Titik Pembebanan Masing-Masing Kurva

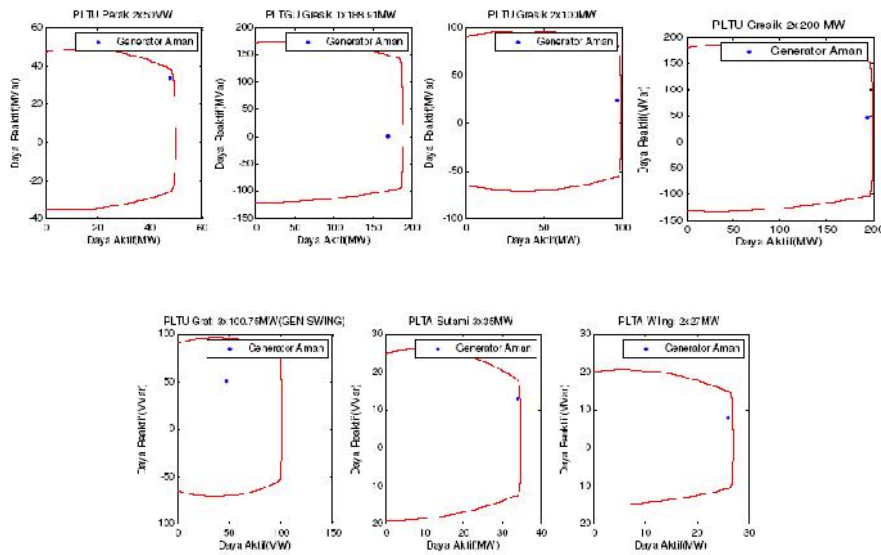
No Bus	Jenis Pembangkitan	Kapasitas Pembangkitan (MW)	Titik pembebanan per-kurva	
			$P_{gen} \text{ (MW)}$	$Q_{gen} \text{ (MVar)}$
1	PLTU Perak	2 x 50	47,5	34,36
2	PLTGU Gresik	1 x 188,91	168,91	3,270
3	PLTU Gresik1	2 x 200	193,33	48,11
	PLTU Gresik2	2 x 100	96,67	24,05
37	PLTU Grati	3 x 100,75	54,05	45,03
72	PLTA Sutami	3 x 35	34	13,82
73	PLTA Wlingi	2 x 27	26	8,094

Tabel 8. Hasil Pengujian Masing-Masing Kurva

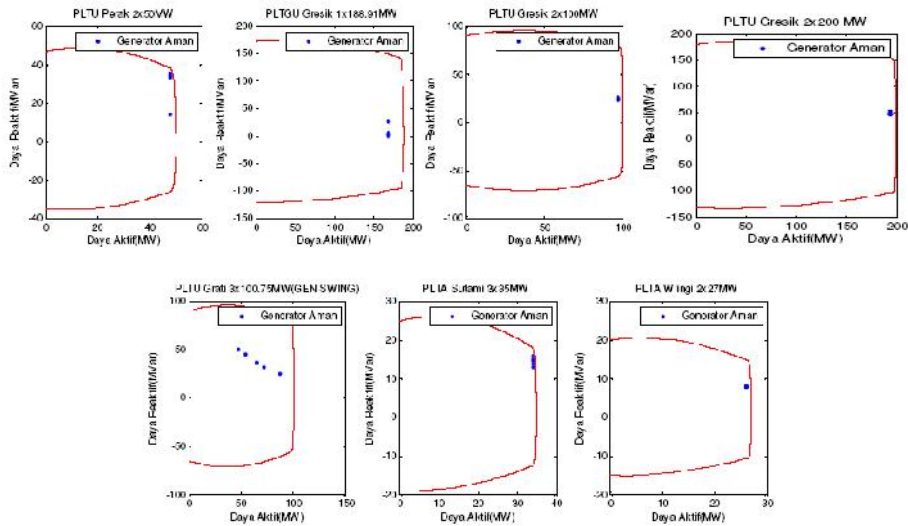
Jenis Pembangkitan	Hasil Pengujian untuk masing-masing kurva			pf
	R_{ref}	R_{gen}	Selisih_R	
PLTU Perak	60,08	58,63	-1,45	0,81
PLTGU Gresik	188,89	168,94	-19,95	0,99
PLTU Gresik1	206,18	199,23	-6,96	0,97
PLTU Gresik2	103,06	99,62	-3,44	0,97
PLTU Grati	125,95	70,35	-55,60	0,77
PLTA Sutami	37,36	36,70	-0,66	0,93
PLTA Wlingi	28,16	27,23	-0,93	0,95
Total selisih_R			-88,70	

3.2.4 Tampilan Visualisasi Keamanan Generator

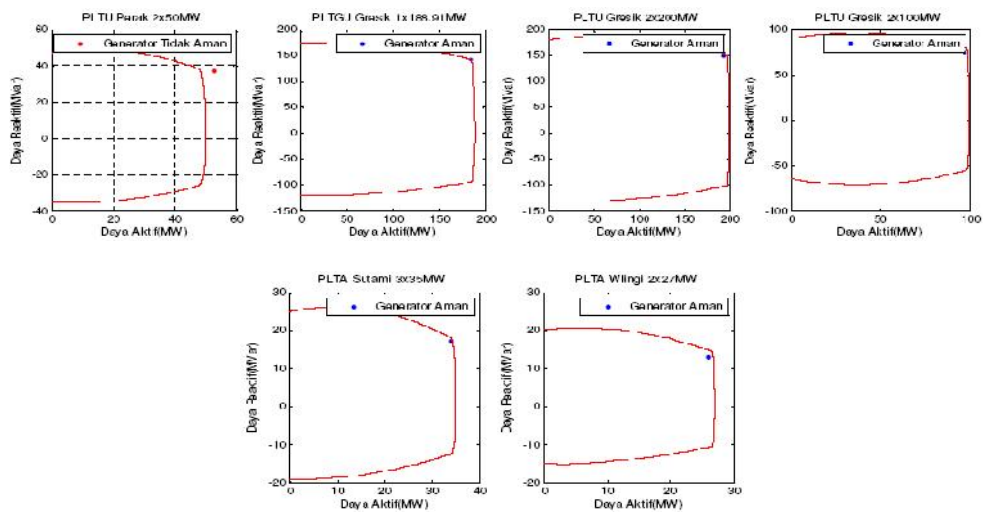
Tampilan monitoring keamanan multi generator divisualisasikan dalam kurva kapabiliti generator hasil pembelajaran NN seperti Gambar 12, 13 dan 14.



Gambar 12. Tampilan Monitoring dengan Beban Aliran Daya Tanggal 11 September 2008 Hari Kamis Jam 20.00 WIB (Pbeban: 2972,800 MW dan Qbeban: 1094,9 MVar)

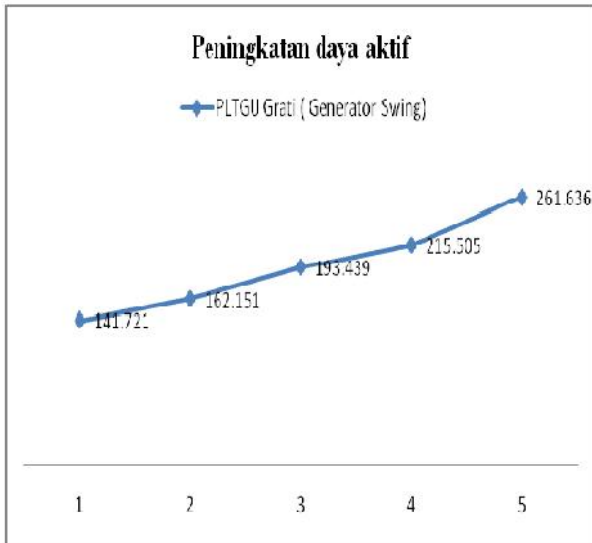


Gambar 13. Monitoring Efek Pergeseran Titik Pembebanan



Gambar 14. Tampilan Monitoring Pengujian Pembebanan Daya Aktif (P = 105MW)

Generator *swing* menuju batas kurva akibat peningkatan daya beban sistem Pergeseran titik pembebanan masih dalam batas kurva atau generator aman. Peningkatan daya aktif pada generator swing ditunjukkan pada Gambar 15.



Gambar 15. Pergeseran Peningkatan Daya Aktif PLTGU Grati (Generator Swing)

Titik pembebanan kurva pada pembangkit PLTU Perak keluar dari batas kurva. Hal ini dikarenakan pembebanan daya aktif melebihi batas kurva yang ditandai dengan titik pembebanan keluar dan berwarna merah.

4. Kesimpulan

Hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa kurva kapabilitas generator dapat dikembangkan dengan metode CBP (*Constructive Backproagation*) dengan melakukan pembelajaran data PQ kurva. Selanjutnya kurva hasil pembelajaran NN dapat digunakan untuk memonitoring perubahan daya beban generator, memonitoring titik operasi generator, memonitoring sisa kapabilitas generator dalam pembangkit.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] John J Grainger, Willian D. Stevenson Jr.,1994. *Power System Analysis*. McGraw-Hill, Inc.
- [2] Hadi Saadat. 2004. *Power System Analysis*. International Edition. Second Edition.
- [3] Prabha Kundur. 1994. *Power System Stability and Control*. McGraw-Hill, New York.
- [4] Donal Reimert. 2006. *Protective Relaying for Power Generation System*. Taylor & Francis Group LLC.
- [5] Ramon Sandoval, Armando Guzman and Hector J. Altuve. *Dinamic Simulation Help Improve Generator Protection*". Schweitzer Engineering laboratories, Inc.
- [6] S. S. Choi and X. M. Jia. 2000 *Under Excitation Limiter and Its Role in Preventing Excessive Synchronous Generator Stator End-Core Heating*. *IEEE Transaction On Power System*, Vol. 15. No. I , Pebruary.
- [7] M.J. D’Antonio, R.A. Lawson, A. Murdoch, and G.E. Boukarim. *Generator Over Excitation Capability and Excitation System Limiters*. Power Systems Energy Consulting. GE – Industrial Systems.
- [8] Zainal Abidin. 2009. *Pengembangan Sistem Monitoring Keamanan Multi Generator Berbasis Neural – Network*. Tesis S2, ITS Surabaya.