

PELEPASAN BEBAN OTOMATIS MENGGUNAKAN ANN-CBP-FLC PADA SISTEM TENAGA LISTRIK INDUSTRI BESAR

Khairuddin Karim^{1,2)}, Adi Soeprijanto¹⁾, Mauridhi Hery Purnomo¹⁾

¹⁾ Jurusan Teknik Elektro ITS, Surabaya

²⁾ Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Samarinda
E-mail: khairudink@yahoo.com

Abstraksi

Pelepasan beban pada suatu sistem daya sangat diperlukan terutama untuk mencegah terjadinya padam total (black out). Pelepasan beban (Load Shedding) ini berfungsi untuk mengantisipasi turunnya frekwensi pada pembangkit-pembangkit yang masih bekerja sehingga pelayanan ke beban tetap terjaga kualitasnya. Makalah ini akan membahas mengenai pelepasan beban secara otomatis dengan menggunakan Fuzzy Logic Controller sebagai pengontrol di sisi kestabilannya dan algoritma ANN-Constructive Backpropagation untuk penentuan pelepasan beban. Skema pelepasan bebannya menggunakan variabel perubahan frekwensi dan tegangan serta hasil pengukuran synchrophasor. Pada saat terjadi ketidak-stabilan tegangan maka dilakukan perbaikan tegangan terlebih dahulu melalui Fuzzy Logic Controller dan jika tidak tercapai kestabilan maka dilakukan pelepasan beban agar sistem menjadi stabil. Simulasi data pada Artificial Neural Network (ANN) dan Fuzzy Logic Controller (FLC) menggunakan Software MatLab. Hasil simulasi menunjukkan adanya perbaikan tegangan pada bus setelah diinjeksi Qvar. Pada simulasi ANN dapat ditentukan tahapan pelepasan beban berdasarkan perubahan frekwensi pada sistem.

Keywords: Load Shedding, Fuzzy Logic Controller, Artificial Neural Network, Constructive Back Propagation.

1. PENDAHULUAN

Gangguan yang besar dapat menyebabkan ketidak-stabilan frekwensi dan tegangan system. Ketidak-stabilan frekwensi seperti penurunan frekwensi yang drastis dapat menyebabkan sistem mengalami pemadaman total (black out). Salah satu strategi untuk mengantisipasi terhadap kemungkinan turunnya frekwensi secara drastis adalah pelepasan sebagian beban yang dipikul oleh sistem. Setelah sebagian beban dilepas, beban-beban yang dipikul oleh pembangkit yang masih beroperasi akan berkurang dan frekwensi akan dapat kembali ke keadaan normal segera setelah terjadi keseimbangan antara pembangkitan dan pembebanan. Pelepasan beban harus dilakukan segera pada saat frekwensi sistem mulai menurun dengan drastis.

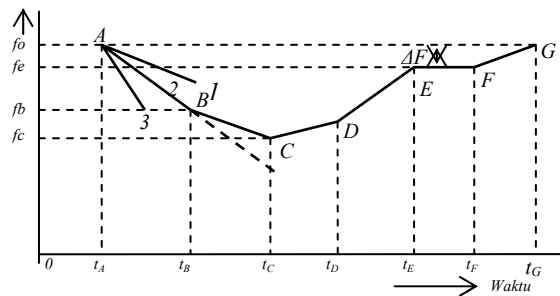
Ada dua jenis pelepasan beban yang telah dikembangkan saat ini, yaitu: pelepasan beban berdasarkan penurunan frekwensi (frequency decline) dan pelepasan berdasarkan kecepatan penurunan frekwensi (rate of frequency decline). Kedua pendekatan ini masing-masing mempunyai kelebihan dan kekurangan [1]. Kedua pendekatan tersebut dapat digabungkan untuk mendapatkan skema pelepasan beban yang lebih akurat. Konsep pelepasan beban ini telah berkembang ke arah pelepasan beban secara cerdas (Intelligent Load Shedding) dan saat ini ada dua (2) metode yang telah dikembangkan yaitu: *smooth load relief* dan *distributed load shedding*. Metode ini menggunakan agen-agen pada dua tingkatan beban untuk dapat lebih cepat menerima informasi dan melakukan

pelepasan beban [2]. Metode lain juga dilakukan yaitu pembuatan program model jaring dan pengaturan distribusi beban [2],[7],[8].

Pada makalah ini akan dibahas mengenai sistem pelepasan beban dengan memanfaatkan Kecerdasan Buatan (Artificial Intelligent) dalam mengatur dan menentukan pelepasan beban. Dengan kemampuannya dalam mengingat (memorisasi) dan mengenal hubungan yang ada (generalisasi), Artificial Neural Network metode Constructive – Backpropagation (ANN-CBP) digunakan untuk menentukan tahap pelepasan beban berdasarkan pengetahuannya yang diperoleh saat pelatihan (training). Untuk menjaga kestabilan tegangan pada bus digunakan Fuzzy Logic Controller (FLC) sebelum masuk ke tahap pelepasan beban. Untuk melihat kestabilan tegangan pada saat simulasi, memanfaatkan analisis aliran daya (Load Flow Analysis) yang sudah umum digunakan.

2. PELEPASAN BEBAN (LOAD SHEDDING)

Jika terjadi gangguan dalam sistem yang menyebabkan daya yang tersedia tidak dapat melayani beban, misalnya disebabkan oleh adanya unit pembangkit yang trip, maka untuk mencegah terjadinya collapse pada sistem perlu dilakukan pelepasan beban. Kondisi jatuhnya salah satu unit pembangkit dapat dideteksi dengan adanya penurunan frekwensi sistem yang drastis[3]. Grafik perubahan frekwensi sebagai fungsi waktu setelah pelepasan beban dapat dilihat pada grafik berikut:



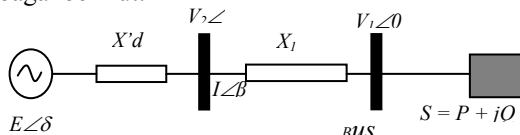
Gambar 1. Grafik perubahan frekwensi

Jika dimisalkan frekwensi menurun mengikuti garis 2, setelah mencapai titik B dilakukan pelepasan tahap pertama sesuai setting frekwensi f_b dan seterusnya sampai tahap yang telah ditentukan berdasarkan besarnya perubahan frekwensi. Pada titik G dikatakan telah mencapai keseimbangan atau normal kembali setelah melalui beberapa tahap pelepasan beban. Penurunan frekwensi bisa mengikuti garis 1, garis 2 atau garis 3. Makin besar unit pembangkit yang jatuh yang berarti makin besar daya yang hilang maka frekwensi akan menurun dengan cepat. Selain itu kecepatan menurunnya frekwensi juga tergantung pada besar kecilnya konstanta inersia sistem.

Selain penurunan frekwensi, parameter lain yang digunakan pada pelepasan beban adalah tegangan. Secara paralel penurunan daya reaktif akan mengakibatkan penurunan tegangan. Penurunan tegangan ini dapat diatasi dengan melakukan koordinasi peralatan yaitu pelepasan sementara sampai pelepasan total pengatur tegangan, pelepasan pengubah tap pada trafo, pelepasan reaktor shunt dan penghubungan kapasitor ke sistem. Jika dari koordinasi alat ini masih terjadi penurunan tegangan, maka dilakukan pelepasan beban dengan menggunakan rele tegangan.

2.1. Pemodelan Pelepasan beban

Pemodelan untuk sistem pelepasan beban adalah sebagai berikut:



Gambar 2. Model Diagram segaris ILS (Gajic et al., 2005)

Keterangan:

$V_2 \angle \alpha$ = tegangan pada bus generator (α)

$V_1 \angle 0$ = tegangan pada bus infinit sebagai bus referensi (0)

α = perbedaan sudut tegangan antara bus infinit dengan bus generator

$$(\angle V_1 - \angle V_2)$$

$Pf = \cos(\angle V_1 - \angle V_2)$ Power factor ($\alpha - \beta$)

$P = V_2 * I * \cos(\angle V_1 - \angle V_2)$ daya aktif generator

$Q = V_2 * I * \sin(\angle V_1 - \angle V_2)$ daya reaktif generator

$$S = P + jQ = \text{daya generator}$$

2.2. Persamaan untuk kestabilan frekwensi, tegangan, dan synchrophasor

a. Konstanta Inersia

Perubahan frekwensi bisa diakibatkan juga oleh momen inersia mesin (H) seperti pada persamaan (3) di atas.

$$H = \frac{\frac{1}{2} J \omega^2}{G} \quad (1)$$

Keterangan:

J = momen inersia (kgm^2)

G = Rating base (MVA)

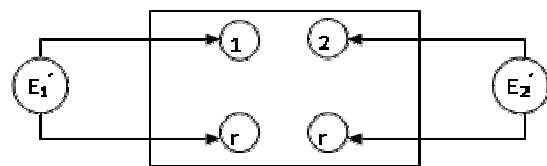
ω = kecepatan sinkron (rad/det)

Untuk mendapatkan rata-rata dari inersia mesin di dalam sistem yang multi mesin adalah sebagai berikut:

$$H_{\text{sistem}} = \frac{H_1 \times MVA_1 + H_2 \times MVA_2 + \dots + H_n \times MVA_n}{MVA_1 + MVA_2 + \dots + MVA_n} \quad (2)$$

b. Persamaan sudut daya (δ)

Untuk mendapatkan persamaan sudut daya (δ), tinjau rangkaian ekuivalen yang mewakili sistem tenaga yang terdiri dari 2 bus, seperti berikut:



Gambar 3. Sistem tenaga terdiri dari 2 bus

Persamaan sudut daya:

$$\delta = \sin^{-1} \frac{P_e}{P_{maks}} \quad (3)$$

Sedangkan

$$P_{maks} = \frac{|E_1'| |E_2'|}{X} \quad (4)$$

Selanjutnya diperoleh waktu kritis (t_c) sebagai berikut[4]:

$$t_c = \sqrt{\frac{2H(\delta_c - \delta_0)}{\pi f(P_m - P_e)}} \quad (5)$$

c. Pelepasan beban berdasarkan perubahan frekwensi

Menurut Hukum Newton terdapat hubungan antara kopel mekanis penggerak dengan perputaran generator, yaitu:

$$(T_G - T_B) = J \times \frac{d\omega}{dt} \quad (6)$$

Keterangan:

T_G : kopel penggerak motor
 T_B : kopel beban yang membebani generator
 J : momen inersia dari generator
 ω : kecepatan sudut perputaran generator
 Sedangkan frekwensi yang dihasilkan oleh generator adalah:

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

Adanya pengaturan frekwensi dalam sistem berarti pula pengaturan kopel penggerak generator, atau juga berarti pengaturan daya aktif generator.

Ditinjau dari beban sistem, frekwensi akan turun apabila daya aktif yang dibangkitkan tidak mencukupi kebutuhan beban dan sebaliknya frekwensi akan naik apabila ada kelebihan daya reaktif pada sistem.

Secara mekanis dari persamaan (1) dan (2) menyatakan bahwa:

$$T_G - T_B = \Delta T > 0, \text{ maka } \frac{d\omega}{dt} > 0, \\ \text{frekwensi naik}$$

$$T_G - T_B = \Delta T < 0, \text{ maka } \frac{d\omega}{dt} < 0, \\ \text{frekwensi turun}$$

ΔT dapat dinyatakan dalam frekwensi melalui persamaan $\omega = 2\pi f$ diperoleh:

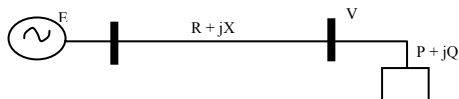
$$\Delta T = J \times 2\pi \frac{df}{dt} \quad (8)$$

Sebelum terjadi gangguan terjadi keseimbangan daya yaitu daya yang dibangkitkan oleh sistem pembangkitan sama dengan daya beban ($P_{go} = P_{bo}$) dan diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$\frac{df}{dt} = -\frac{f_o}{2H} P_{so} \quad (9)$$

Dimana P_{so} adalah selisih daya antara yang dibangkitkan dengan beban setelah gangguan, dalam hal ini sama dengan sebesar daya yang dibangkitkan oleh unit terganggu.

d. Persamaan untuk Kestabilan tegangan



Gambar 4 Diagram segaris untuk penentuan tegangan beban

a. Persamaan tegangan pada beban

$$V = \left[\frac{-2QX + E^{-2}}{2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{(2QX - E^{-2})^2 - 4X^2(P^2 + Q^2)} \right]^{1/2} \quad (10)$$

Keterangan: Q : Daya reaktif
 P : Daya aktif
 E : Tegangan generator
 X Reaktansi jaring

b. Batas Kestabilan

Batas stabilitas yang harus dicapai adalah:

$$\left[\frac{S}{V_L V^2} \right] = A = 1 \quad (11)$$

Keterangan: S : Daya semu
 Y_L : Admitansi beban
 V : Tegangan bus beban

e. Simulasi Syncrophasor [10].

Pengukuran Syncrophasor dilakukan pada simpul-simpul beban masing-masing. Pada saat terjadinya penyimpangan yang besar atau error yang besar maka untuk menjaga kestabilan sistem dilakukan pelepasan beban. Syncrophasor yang diukur adalah untuk tegangan, arus dan frekwensi dengan persamaan sebagai berikut:

a. Persamaan untuk Total Vector Error (TVE)

$$\bar{X} = \frac{X_m}{\sqrt{2}} \angle \phi \quad (12)$$

Akurasi pengukuran syncrophasor ditentukan oleh nilai error dari Total Vector Error (TVE) dengan persamaan sebagai berikut:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{(X_r(n) - X_r)^2 + (X_i(n) - X_i)^2}{(X_r^2 + X_i^2)}} \times 100 \quad (13)$$

b. Perubahan frekwensi terhadap waktu dengan pengukuran Syncrophasor

$$\frac{df}{dt} = \frac{1}{2\pi} 2(Nf_o)^2 a_2 \quad (14)$$

Keterangan: N = sample percycle, dan $a = [X^T X]^{-1} X^T k\phi$

2.3 Fuzzy Logic Controller

Konsep teori himpunan fuzzy dan logika fuzzy dapat dimodelkan dengan beberapa cara. Beberapa contoh pemodelan sistem fuzzy seperti model fuzzy berbasis aturan (*rule-based*) (Zadeh, 1973; Driankov, et al, 1993), model regresi linear fuzzy (Tanaka, et al. 1982), atau model fuzzy menggunakan struktur sel (Smith, et., 1994) [6].

Berdasarkan struktur tertentu pada dalil-dalil konsekwennya, dibedakan tiga jenis model pada fuzzy logic, yaitu:

1. Model Fuzzy Linguistik (Zadeh, 1973; Mamdani 1977), anteseden dan konsekwennya adalah dalil-dalil fuzzy.

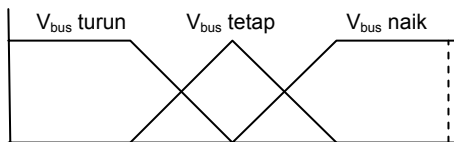
2. Model Relasi Fuzzy (Pedrycz, 1984; Yi and Chung, 1993), model ini dapat dikatakan sebagai generalisasi dari model linguistic, yang bisa terbentuk dari satu anteseden tertentu dengan beberapa konsekwen yang berbeda melalui sebuah relasi fuzzy.
3. Model Fuzzy Takagi-Sugeno (TS) (Takagi and Sugeno, 1985), model ini mempunyai konsekwen berupa sebuah fungsi crisp(jelas) pada variabel anteseden bukannya sebuah dalil-dalil fuzzy.

Sesuai dengan fungsinya yang banyak digunakan, Fuzzy Logic disini digunakan untuk koordinasi alat seperti pengaturan governor, injeksi daya reaktif, pemblokiran pengatur tegangan pada transformer serta pelepasan beban.

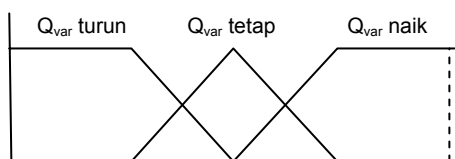
Pada penelitian ini Fuzzy Logic Controller-nya (FLC) digunakan untuk menentukan besarnya Qvar yang harus di-injeksi ke bus setelah terjadi penurunan tegangan pada salah satu atau beberapa bus. Atura yang digunakan ada tiga yaitu:

1. Jika V_{bus} turun maka perlu di-injeksi Qvar (Qvar naik)
2. Jika V_{bus} tetap (nominal) maka tidak ada injeksi Qvar (Qvar tetap)
3. Jika V_{bus} naik maka Qvar diturunkan/dilepas.

Himpunan fuzzy untuk variabel Tegangan dan Qvar adalah sebagai berikut:



Gambar 5. Himpunan fuzzy V_{bus}



Gambar. 6. Himpunan fuzzy variabel Qvar

2.4. Artificial Neural Network

Jaringan yang sudah dilatih dapat digunakan untuk mapping yang akan menentukan tahap pelepasan beban. Input pelatihan adalah frekwensi, tegangan dan pengukuran synchrophasor. Pada penelitian ini, menggunakan ANN-Constructive Back propagation. Algoritma pembelajaran Back propagation melibatkan dua proses aliran data yaitu arah umpan maju dan arah umpan balik untuk memperbaharui nilai bobot antara unit-unit neuron berdasarkan nilai error pada jaringan neuron keluaran, sehingga setelah sekian kali iterasi (epoch) dicapai nilai error keluaran minimum dalam arti keluaran yang dihasilkan mendekati bentuk sinyal/data asli/nilai yang ada dalam

database/target[9]. Algoritma pem-belajarannya adalah sebagai berikut:

1. Inialisasi, yaitu pembentukan Neural Network awal berupa NN tanpa unit tersembunyi. Error pembobot menggunakan *SSE (Sum of Squared Error)*:

$$SSE = \sum_{l=2}^n \sum_{k=1}^r (d_{lk} - o_{lk})^2 \quad (15)$$

dengan:

d_{lk} = keluaran yang dikehendaki untuk sampel ke- l dan unit keluaran ke- k

o_{lk} = keluaran ANN untuk sampel ke- l dan unit keluaran ke- k

n = jumlah sampel data

r = jumlah unit keluaran

Pembobot yang telah ditemukan dibuat tetap.

2. Pelatihan *unit tersembunyi* baru, yaitu menghubungkan masukan ke unit baru dan sambungkan keluarannya ke unit keluaran. Seluruh pembobot yang terhubung ke unit baru diatur dengan meminimalkan kriteria *mSSE (modified SSE)*:

$$mSSE = \sum_{lk} \left(d_{lk} - \sum_{j=0}^{j=l} v_{jk} h_{jl} - v_{lk} h_{lj} \right)^2 = \sum_{lk} (e_{lk}^j - v_{lk} h_{lj})^2 \quad (16)$$

3. Pembentukan *unit tersembunyi* baru, yaitu menetapkan secara permanen pembobot yang berinterkoneksi dengan unit baru.
4. Uji konvergensi, yaitu jika jumlah *unit tersembunyi* telah menghasilkan solusi yang layak, maka pelatihan dihentikan. Jika tidak menghasilkan solusi yang layak, kembali ke langkah 2.

3. SIMULASI

3.1. Data masukan simulasi

a. Input dan Target ANN

1. Frekwensi: Frekwensi dibagi atas 12 bagian dengan range 49.7 Hz sampai 48.5 Hz.
2. Tegangan: Tegangan dibagi atas 12 bagian dengan range 10.97 sampai 10.45 kV.
3. Pengukuran synchrophasor: terdiri dari 12 bagian dengan range 0.0009% sampai 0.008% dan batasan frekwensinya dari 45 Hz sampai 44.95 Hz. Target masing masing adalah waktu tunda 10 dan 15 menit dan Tahap 1 sampai Tahap 6.

b. Data beban

Beban dikelompokkan dalam 12 bus.

$f_0 = 50$ Hz

Tabel 2. Daya Aktif dan Daya Reaktif beban

No. Bus	P(MW)	Q(MW)	Mvar Standby
---------	-------	-------	--------------

Bus 7	0.0	0.0	0
Bus 8	4.6	1.5	0
Bus 9	4.5	1.7	0.6
Bus 10	7.1	2.9	0.6
Bus 11	4.8	2.1	0.6
Bus 12	0.9	0.3	0
Bus 13	0.3	0.1	0.3
Bus 14	2.6	1.2	0.3
Bus 15	0.3	0.1	0
Bus 16	0.3	0.1	0
Bus 17	0.3	0.1	0
Bus 18	0.3	0.1	0
Bus 19	6.7	1.5	0
Bus 20	1.5	0.7	0
Total	34.4	12.4	2.4

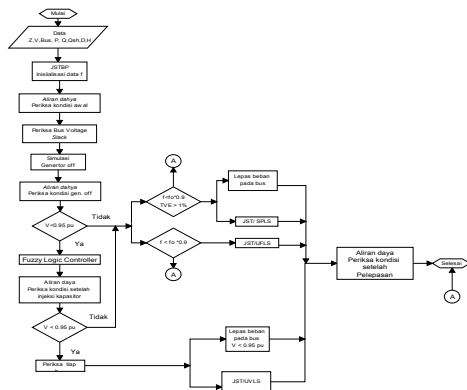
Tahap pelepasan bebannya adalah sebagai berikut:

1. Tahap 1 : bus 19 dan 20 lepas = 8.2 MW
2. Tahap 2 : bus 12, 14, dan 18 lepas = 4.1 MW
3. Tahap 3 : bus 10 lepas = 7.1 MW
4. Tahap 4 : bus 11 lepas = 4.8 MW

3.2. Simulasi FLC -ANN-CBP

Flowchart simulasi pelepasan beban menggunakan Fuzzy Logic Controller – Artificial Neural Network metode Constructive Backpropagation terdapat pada Gambar 5. Fuzzy Logic Controller digunakan untuk mengatur injeksi QVAR sebelum masuk ke pelepasan beban. ANN-CBP akan menentukan besar dan tahap pelepasan beban berdasarkan input frekwensi, tegangan, dan pengukuran synchrophasor.

Algoritma untuk simulasi pelepasan beban adalah sebagai berikut:



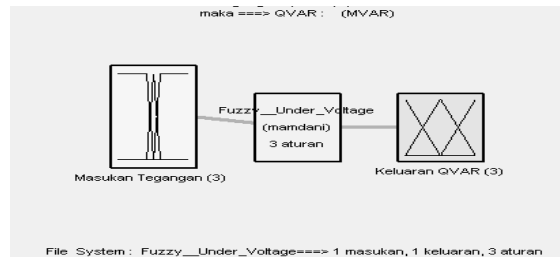
Gambar. 5 . Diagram alir simulasi pelepasan beban menggunakan FLC-ANN-CBP

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil simulasi Fuzzy Logic Controller

Tabel 3. Hasil simulasi untuk Injeksi Qvar pada bus

No.	Injeksi pada bus:	V_{bus} sebelum	V_{bus} setelah	Injeksi Q_{var}
1	6	0.7552	1.0300	1.7903
2	14	0.9495	1.0230	1.2737
3	15	0.9462	1.0255	1.3272
4	18	0.8725	1.0266	1.7903
5	19	0.8212	1.0063	1.7903

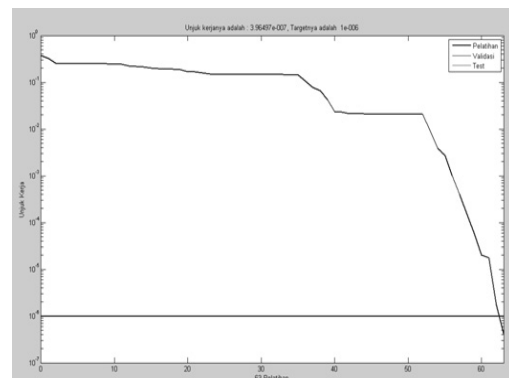


Gambar 6. Input-Output Fuzzy Logic Controller untuk injeksi Qvar pada bus.

Simulasi dilakukan dengan menaikkan impedansi saluran yang mengakibatkan penurunan tegangan pada bus. Simulasi dilakukan untuk 5 saluran transmisi yang menyebabkan penurunan tegangan pada bus 6,14,15,18,19). Dengan analisis Aliran daya (Load Flow) diperoleh nilai tegangan pada bus sebelum dan sesudah menaikkan impedansi saluran. Besarnya Qvar yang harus diinjeksi berdasarkan keluaran dari Fuzzy Logic diperlihatkan pada Tabel 3.

4.2. Hasil Simulasi ANN-Constructive Backpropagation

Simulasi untuk kondisi under frequency menghasilkan 63 epoch untuk mencapai galat 1.10×10^{-6} dengan jumlah neuron pada hidden layer sebanyak 7 buah.



Gambar 7. Grafik performance terhadap epoch

Tabel 3. Hasil mapping kondisi under frequency

Masukan	Keluaran	Tahapan
---------	----------	---------

X_1	X_2		
49.0000	0.5000	0.0000 0.0002 0.0000 1.0000	Tunda waktu 10 menit
49.6000	1.0000	0.0000 0.0000 0.9999 0.0001	Tunda waktu 5 menit
49.5000	0.0000	0.0000 0.0004 1.0000 1.0000	Tahap 1 (8.2 MW)
49.4000	0.0000	0.0002 0.9999 0.0000 0.0000	Tahap 2 (4 MW)
49.3000	0.0000	0.0000 0.9996 0.0000 0.9999	Tahap 3 (7.1 MW)
49.2000	0.0000	0.0002 0.9999 1.0000 0.0000	Tahap 4 (4.8 MW)

Jumlah beban yang dilepas sampai Tahap 4 sebanyak 24.1 MW.

5. KESIMPULAN

- 5.1. Hasil simulasi menunjukkan perbaikan tegangan pada bus 6, 14, 15, 18, dan 19 setelah ada injeksi Qvar pada masing-masing bus.
- 5.2. Kestabilan tegangan pada bus dapat diatasi dengan menggunakan Fuzzy Logic Controller dengan menentukan besar Qvar yang harus diinjeksi ke bus yang mengalami penurunan tegangan.
- 5.3. Mapping ANN dapat menentukan jumlah tahap pelepasan beban untuk menghasilkan frekwensi sistem yang normal setelah terjadi gangguan/lepas pada satu atau beberapa unit pembangkit

PUSTAKA

- [1] M.Anshory Lubis, Adi Soeprijanto, Mauridhy Hery Purnomo,"Pelepasan Beban untuk Menjaga Kestabilan Sistem dengan Menggunakan ANN-Heuristic-GA pada Sistem Tenaga Listrik Industri Besar".SITIA , Mei 2007
- [2] Farrokh Shokooh, JJ Dai,Sherin Shokkoh, Jacques Taster, Hugo Castro, Tanu Kandelwall, gary Donner," An Intelligent Load Shedding System (ILS) Application in Large Industrial Facilities, IEEE IAS Conference Record, 2005.

- [3] Marsudi, Djitengr. "Operasi Sistem Tenaga Listriks", 2006, ISBN979-756-119-0, Graha Ilmu, Yogyakarta.
- [4] Saadat Hadi, Power System Analysis, Milwaukee Shool of Engineering, WCB McGraw-Hill.
- [5] Zoran Gajic, Daniel Karlsson, Ch Andrie, Perl Carlsson, Nayem Rahmatullah, Sumbo Okuboye,"Deliverable 1.5: Intelligent Load Shedding, " ENK5-CT-2002-00673, August 24, 2002
- [6] Babuska Robert, "Fuzzy modeling for control". Control Engineering Laboratory, Faculty of Information and Technology and System, Delft University of Technology, Delft, the Netherands.
- [7] G.S Grewal, J.W.Konowalec, and M Hakim, "Optimization of load shedding scheme," *IEEE Ind.Applicat. Mag.*,pp.25-30, July/August 1998
- [8] Haibo You, Vihjay Vittal,and Zhong Yang , "Self-Healing in Power Systems: An Approach Using Islanding and Rate o Frequency Decline-Based Load Shedding" IEEE Transaction On Power System, Vol.18, No.1, February 2003
- [9] M.H. Purnomo,dkk, Supervised Neural Networks dan aplikasinya, Graha Ilmu, 2006
- [10] IEEE Standards for Synchrophasors for Power Systems, IEEE Std 1344-1995 (R2001)