

OPERASI EKONOMIS PEMBANGKIT THERMAL SISTEM 500 KV JAWA-BALI DENGAN PENDEKATAN ALGORITMA FUZZY LOGIC

Riva Nihayatul Marifah, Yadi Mulyadi, Ade Gafar Abdullah

Program Studi Pendidikan Teknik Elektro FPTK UPI

Jl. Dr. Setiabudhi No. 207 Bandung 40154

Email : vanihayat@gmail.com

Diterima : 26 Agustus 2013

Disetujui : 30 Agustus 2013

Dipublikasikan : September 2013

ABSTRAK

Operasi ekonomis pembangkit merupakan aspek penting dalam manajemen sistem tenaga listrik. Penelitian ini membahas operasi ekonomis pembangkit thermal dengan menerapkan teknologi soft computing berbasis fuzzy logic. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui penjadwalan unit pembangkit dengan mempertimbangkan biaya bahan bakar yang dikeluarkan sehingga diharapkan menjadi suatu solusi optimal yang mampu menjamin pengoperasian multi generator paling murah. Data yang diuji yaitu pembangkit thermal sistem 500 KV Jawa-Bali menggunakan beban harian yang diperoleh dari PT. PLN (Persero) P3B Gandul-Depok. Kegiatan penelitian dimulai dengan melakukan studi pendahuluan terhadap biaya operasi pembangkit thermal yang dipakai oleh perusahaan listrik kemudian membuat suatu analisis terhadap pengembangan sistem berbasis fuzzy logic. Simulasi terus dilakukan dengan mencoba algoritma yang tepat untuk membuat model yang akurat dengan menggunakan perangkat lunak Matlab ver 7.0. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penjadwalan unit pembangkit dengan pendekatan algoritma fuzzy logic memberikan hasil lebih ekonomis dibandingkan dengan data riil sistem.

Kata Kunci: fuzzy logic, operasi ekonomis, pembangkit thermal, soft computing,

ABSTRACT

Economical operation of generation is an important aspect in the management of the power system. This research discusses the economical operation of a thermal generation by applying fuzzy logic based soft computing technology. This research aims to determine the scheduling of generating units considering the fuel costs incurred that are expected to be an optimal solution that is able to guarantee the operation of the multi generators cheapest. Data were tested, namely a thermal generation of 500 KV Java-Bali system using the daily load obtained from PT. PLN (Persero) P3B Gandul-Depok. Research activities begins with a preliminary study of the thermal generation operating costs that used by electric company, then makes an analysis of the development of fuzzy logic based system. Simulation continues to be done with the right algorithm tries to make an accurate model using Matlab software ver 7.0. The research showed that the scheduling of generating units with algorithm fuzzy logic approach gives results more economical compared to real data system.

Keywords: fuzzy logic, economical operation, thermal generation, soft computing,

PENDAHULUAN

Energi listrik yang dibangkitkan tidak dapat disimpan dalam skala besar, karenanya energi ini harus disediakan pada saat dibutuhkan. Daya yang dibangkitkan harus selalu sama dengan daya yang digunakan oleh konsumen. Akibatnya timbul persoalan bagaimana suatu sistem tenaga listrik harus dioperasikan agar dapat memenuhi permintaan daya yang berubah setiap saat, dengan kualitas baik dan harga yang murah [1].

Faktor-faktor yang mempengaruhi pengiriman daya nyata yang optimal pada pembangkit adalah beroperasinya generator yang efisien, biaya bahan bakar, dan rugi-rugi daya pada saluran transmisi. Banyak generator yang beroperasi secara efisien tetapi tidak menjamin biaya operasinya minimum dikarenakan biaya bahan bakar yang terlampaui tinggi. Jika stasiun pembangkit berada pada tempat yang jauh dari pusat beban maka rugi-rugi daya pada saluran transmisi menjadi besar. Oleh sebab itu stasiun pembangkit tersebut menjadi tidak ekonomis [2].

Dalam pengoperasian sistem tenaga listrik yang terdiri dari beberapa pusat pembangkit listrik, diperlukan suatu koordinasi di dalam penjadwalan pembebanan besar daya listrik yang dibangkitkan masing-masing pusat pembangkit listrik agar didapatkan suatu pembebanan yang optimal atau yang dikenal dengan lebih ekonomis [3]. Hal ini berarti dalam pembangkitan dan penyaluran energi itu harus dilakukan secara ekonomis dan rasional.

Terdapat dua pokok permasalahan yang harus dipecahkan dalam operasi ekonomis pembangkitan pada sistem tenaga listrik yaitu pengaturan unit pembangkit (*unit commitment*) dan penjadwalan ekonomis (*economic dispatch*). *Unit commitment* bertujuan untuk menentukan unit pembangkit yang paling optimum dioperasikan dalam menghadapi beban yang diperkirakan untuk mencapai biaya bahan bakar minimum [4]. Sedangkan *economic dispatch* digunakan untuk membagi beban di antara unit-unit thermal yang beroperasi agar dicapai biaya bahan bakar yang minimum [5].

Berbagai metode dikembangkan untuk memecahkan persoalan optimasi pembebanan pembangkit. Diantaranya adalah metode *Linear Programming*, metode *Lagrange Multiplier*, metode *Gradien* yang dapat digabungkan dengan metode *Dynamic Programming* dan masih banyak metode lain yang dikembangkan oleh para pakar dalam bidang kelistrikan seperti metode *Fuzzy Logic*. Implementasi *fuzzy logic* terhadap penyelesaian persoalan optimasi pembebanan dan penjadwalan pembangkit telah banyak dilakukan oleh para peneliti [6-12]. Hal ini dikarenakan *fuzzy logic* mampu menyelesaikan permasalahan dan pembuatan keputusan yang sangat kompleks [13]. *Fuzzy logic* tidak membutuhkan model matematika dalam representasi suatu proses dan dapat diterapkan pada beberapa sistem dimana teori konvensional tidak dapat dipakai karena model matematika tersedia terlampaui sulit dipecahkan, terlalu kompleks untuk dipelajari secara cepat atau melibatkan terlalu banyak memori dalam komputasi [14].

Kemudahan konsep *fuzzy logic* mendorong peneliti untuk mengaplikasikannya ke dalam perhitungan operasi ekonomis pembangkit sistem 500 KV Jawa-Bali. Sumber data yang diperlukan adalah karakteristik input-output pembangkit, batas maksimum dan minimum pengoperasian pembangkit, serta data pembebanan unit pembangkit dari Pusat Pembagi Beban PT. PLN (Persero) pada periode tertentu, yang kemudian data tersebut akan dibelajarkan pada sistem perangkat lunak yang sudah dirancang berbasis *fuzzy logic*. Software pendukung untuk merancang program digunakan Matlab ver.7.0 dari Mathwork Corp. Hasil perhitungan tersebut selanjutnya dibandingkan dengan data riil sistem.

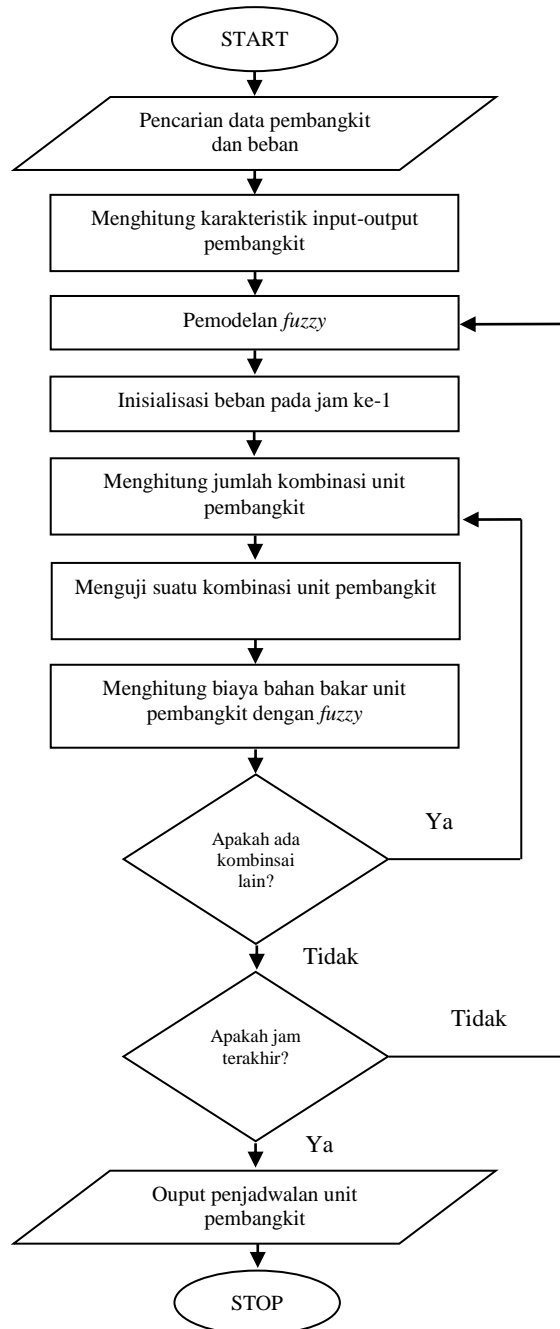
Konsep dasar himpunan *fuzzy* yaitu apabila X merupakan koleksi dari objek-objek yang dinotasikan secara generik oleh x , maka suatu himpunan *fuzzy* \tilde{A} , dalam X adalah suatu himpunan pasangan berurutan (Zimmermann, 1991). Notasi himpunan *fuzzy* tersebut ditulis sebagai $\tilde{A} = \{(x, \mu_{\tilde{A}}(x)) | x \in X\}$ dengan $\mu_{\tilde{A}}(x)$ adalah derajat keanggotaan x di \tilde{A} yang memetakan X ke ruang keanggotaan M yang terletak pada rentang 0 sampai 1 [15].

Fungsi keanggotaan (*membership function*) adalah suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik input data ke dalam nilai keanggotaannya. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk mendapatkan nilai keanggotaan adalah dengan melalui pendekatan fungsi. Dalam penelitian ini menggunakan *membership function* tipe *trimf*. Kurva *trimf* dapat diartikan juga sebagai kurva segitiga, pada dasarnya kurva ini merupakan gabungan antara dua garis linier yaitu garis representasi linier naik dan garis representasi linier turun [15].

Sistem Inferensi Fuzzy (FIS) merupakan suatu kerangka komputasi yang didasarkan pada teori himpunan *fuzzy*, aturan *fuzzy* berbentuk *IF-THEN*, dan penalaran *fuzzy*. FIS menerima input *crisp*. Input ini kemudian dikirim ke basis pengetahuan yang berisi n aturan *fuzzy* dalam bentuk *IF-THEN*. *Fire strength* akan dicari pada setiap aturan. Apabila jumlah aturan lebih dari satu, maka akan dilakukan *agregasi* dari semua aturan. Selanjutnya, pada hasil *agregasi* akan dilakukan *defuzzy* untuk mendapat nilai *crisp* sebagai output sistem [15].

METODE

Dalam menyelesaikan masalah operasi pembangkit tenaga listrik, digunakan pendekatan algoritma *fuzzy logic* yang diharapkan mampu memberikan solusi yang lebih baik. Berikut ini adalah diagram alir operasi ekonomis pembangkit dengan *fuzzy logic*.



Gambar 1. Diagram alir operasi ekonomis pembangkit dengan *fuzzy logic*

Langkah pertama yang peneliti lakukan dalam menyelesaikan operasi ekonomis pembangkit thermal sistem 500 KV Jawa-Bali yaitu mencari data-data yang dibutuhkan dalam perhitungan. Data-data yang dicari yaitu *heat reat* pembangkit thermal, batas maksimum dan minimum pengoperasian pembangkit thermal serta beban harian pembangkit thermal.

Langkah kedua yaitu pengolahan data *heat reat* masing-masing pembangkit thermal menjadi persamaan biaya bahan bakar unit pembangkit dengan pendekatan fungsi polinomial.

$$F_i(P_i) = a_i + b_i P_i + c_i P_i^2 \quad (1)$$

Dimana :

- F_i = Input bahan bakar pembangkit ke-i (Rp/jam)
- P_i = Output daya pembangkit ke-i (MW)
- a_i, b_i, c_i = Konstanta input-output pembangkit ke-i
- i = Indeks pembangkit ke i ($i=1,2,3,\dots,n$)

Langkah ketiga yaitu pemodelan *fuzzy logic* pada software matlab. Input data yang dibutuhkan yaitu batas maksimum dan minimum pengoperasian pembangkit, biaya bahan bakar pembangkit, serta laju penambahan biaya bahan bakar pembangkit (*incremental cost*).

$$P_{i, min} \leq P_i \leq P_{i, max} \quad (2)$$

$$F_i(P_i) \quad (3)$$

$$\lambda = \frac{dF_i}{dP_i} \quad (4)$$

Dimana :

- $P_{i, min}$ = Pembangkitan daya minimum pembangkit ke i ($i = 1,2,3,\dots,n$)
- $P_{i, max}$ = Pembangkitan daya maksimum pembangkit ke i ($i = 1,2,3,\dots,n$)
- $F_i(P_i)$ = Biaya bahan bakar pembangkit ke-i fungsi dari daya ke-i ($i = 1,2,3,\dots,n$)
- λ = Laju penambahan biaya bahan bakar pembangkit

Langkah keempat yaitu inisialisasi beban harian yang akan digunakan dalam perhitungan operasi ekonomis. Beban yang diuji yaitu hanya beban pembangkit thermal sistem 500 KV Jawa-Bali pada hari Selasa tanggal 9 September 2013.

Langkah kelima yaitu menghitung jumlah kombinasi *on* dan *off* pembangkit thermal sebanyak $2^n - 1$ untuk tiap periodenya, dimana n adalah jumlah unit pembangkit thermal.

Langkah keenam yaitu menguji kombinasi yang mungkin terjadi dengan perhitungan *economic dispatch*.

$$P_{load} - \sum_{i=1}^N P_i = 0 \quad (5)$$

$$\frac{dF_i}{dP_i} = \lambda \quad (6)$$

Dimana :

$$\frac{dF_i}{dP_i} = \lambda \quad \text{untuk } P_{i, min} < P_i < P_{i, max}$$

$$\frac{dF_i}{dP_i} \leq \lambda \quad \text{untuk } P_i = P_{i, max}$$

$$\frac{dF_i}{dP_i} \geq \lambda \quad \text{untuk } P_i = P_i, \min$$

Langkah ketujuh yaitu menghitung biaya bahan bakar unit pembangkit pada setiap kombinasi dengan menggunakan *fuzzy logic*.

$$F_T = \sum_{i=1}^N F_i(P_i) \quad (7)$$

Dimana :

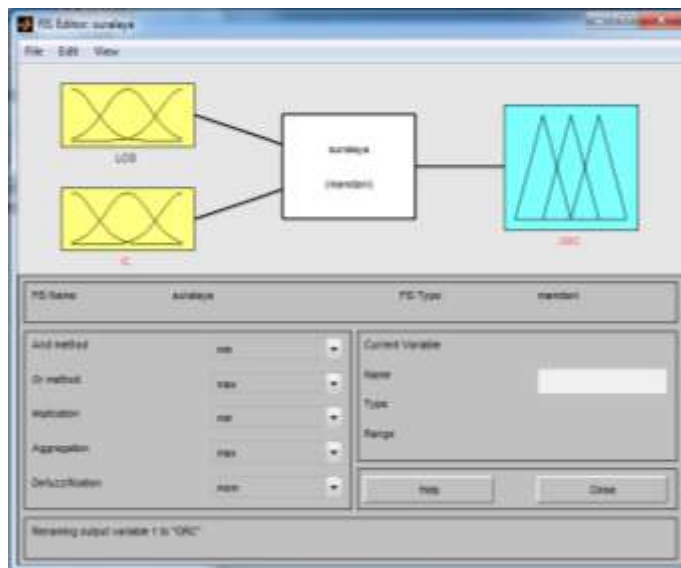
F_T = Total biaya bahan bakar pembangkit

Langkah terakhir yaitu melakukan penjadwalan unit pembangkit selama satu hari, dimana dipilih kombinasi dengan biaya bahan bakar termurah.

Pemodelan *fuzzy logic* untuk penjadwalan pembangkit menggunakan *fuzzy toolbox* pada software Matlab ver.7.0 dari Mathwork Corp. Adapun langkah-langkah pemodelan *fuzzy logic* yaitu sebagai berikut :

1. Menentukan variabel masukan dan keluaran pada *FIS editor*

Variabel masukan *fuzzy* adalah kapasitas beban generator dan *incremental cost*, sedangkan variabel keluarannya adalah biaya bahan bakar generator.



Gambar 2. *FIS editor*

2. Membentuk himpunan *fuzzy*

Himpunan–himpunan yang mendefinisikan kapasitas beban generator, *incremental cost*, dan biaya bahan bakar direpresentasikan sebagai berikut :

Kapasitas beban generator (LCG) :

LCG = { Very Low, Low, Below Average, Average, Above Avarage, High, Very High }

LCG = { VL, L, BAV, AV, AAV, H, VH }

Incremental cost (IC) :

IC = { Very Small, Small, Medium, Big, Very Big }

IC = { VS, S, M, B, VB }

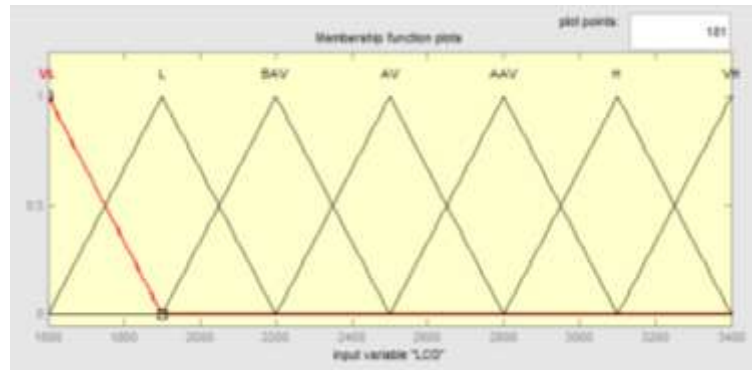
Biaya Bahan Bakar (FC) :

GRC = { Very Low, Low, Below Average, Average, Above Avarage, High, Very High}

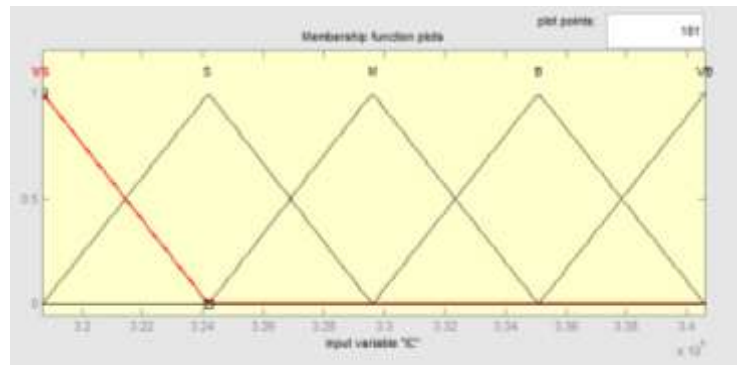
GRC = {VL, L, BAV, AV, AAV, H, VH}

3. Membentuk fungsi keanggotaan

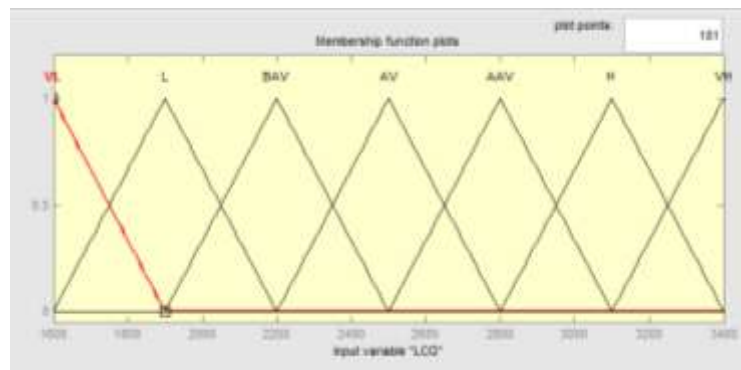
Untuk membentuk fungsi keanggotaan diperlukan basis data yang berfungsi untuk mengatur kerja dari proses *fuzzifikasi* yang meliputi penentuan *range* dan nilai *linguistik*.



Gambar 3. Fungsi keanggotaan LCG



Gambar 4. Fungsi keanggotaan IC



Gambar 5. Fungsi keanggotaan GRC

4. Membentuk basis aturan

Hubungan antara masukan dan keluaran dinyatakan sebagai berikut :

Biaya bahan bakar generator = {(Kapasitas beban generator) dan (Incremental cost)} dalam notasi himpunan fuzzy ditulis dengan :

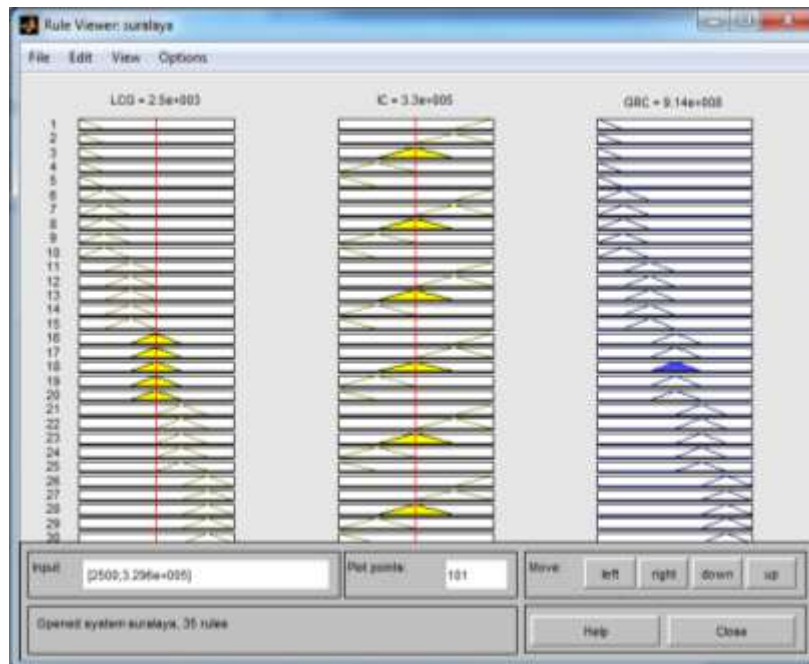
$$GRC = \{LCG\} \cap \{IC\}$$

Sedangkan fungsi keanggotaan biaya bahan bakar generator dihitung dengan :
 $GRC = \{\mu_{LCG} \cap \mu_{IC} \cap \mu_{SUP}\}$ atau $GRC = \min \{\mu_{LCG}, \mu_{IC}, \mu_{SUP}\}$

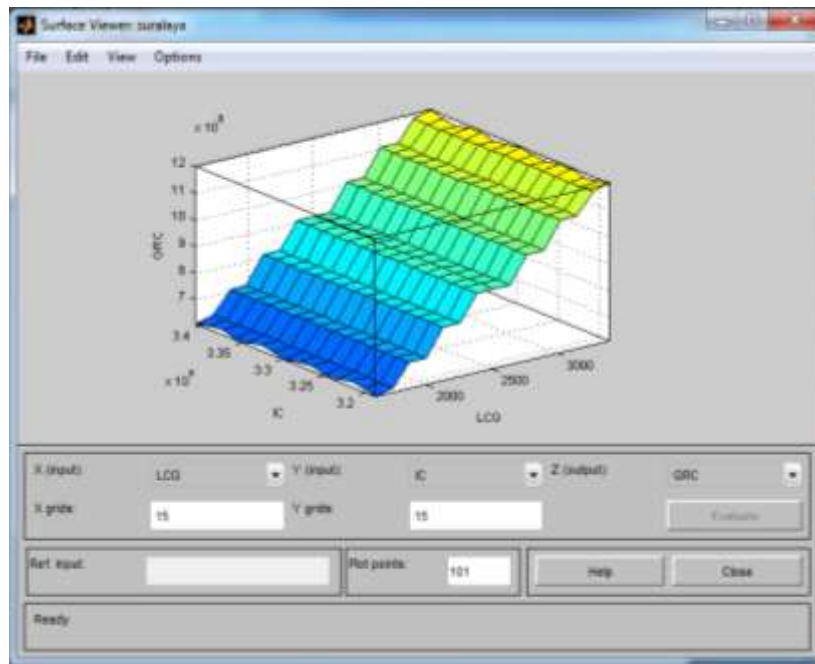
Baris aturan (*rule*) dalam masalah penjadwalan pembangkit tersusun atas 35 basis aturan seperti pada tabel 1. Sedangkan *rule viewer* dan *surface viewer* dapat dilihat pada gambar 6 dan gambar 7.

Tabel 1. Aturan *fuzzy logic* untuk penjadwalan pembangkit

Aturan	LCG	IC	GRC	Aturan	LCG	IC	GRC
1	VL	VS	VL	19	AV	B	AV
2	VL	S	VL	20	AV	VB	AV
3	VL	M	VL	21	AAV	VS	AAV
4	VL	B	VL	22	AAV	S	AAV
5	VL	VB	VL	23	AAV	M	AAV
6	L	VS	L	24	AAV	B	AAV
7	L	S	L	25	AAV	VB	AAV
8	L	M	L	26	H	VS	H
9	L	B	L	27	H	S	H
10	L	VB	L	28	H	M	H
11	BAV	VS	BAV	29	H	B	H
12	BAV	S	BAV	30	H	VB	H
13	BAV	M	BAV	31	VH	VS	VH
14	BAV	B	BAV	32	VH	S	VH
15	BAV	VB	BAV	33	VH	M	VH
16	AV	VS	AV	34	VH	B	VH
17	AV	S	AV	35	VH	VB	VH
18	AV	M	AV				



Gambar 6. *Rule viewer rule*

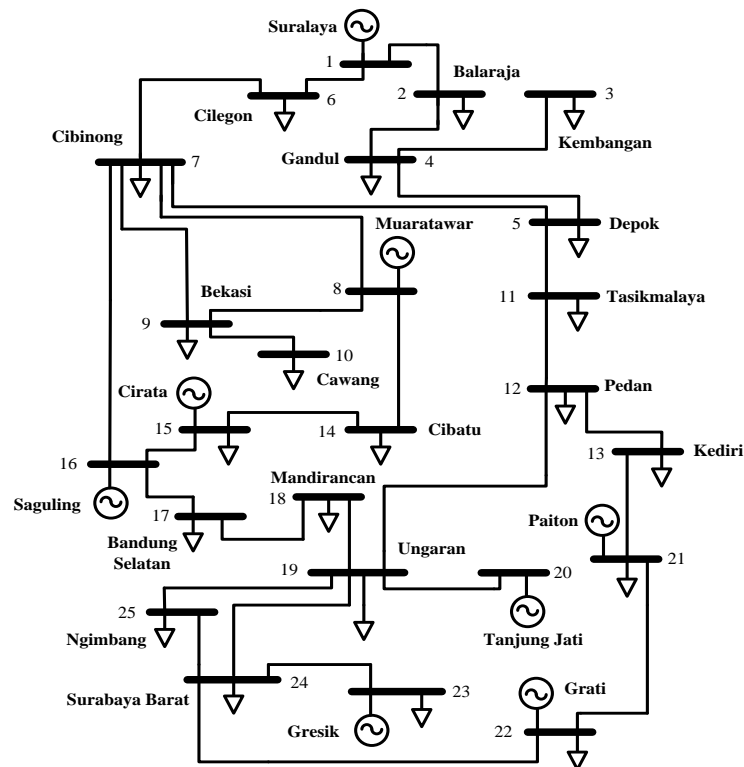


Gambar 7. Surface viewer rule

5. Proses defuzzifikasi

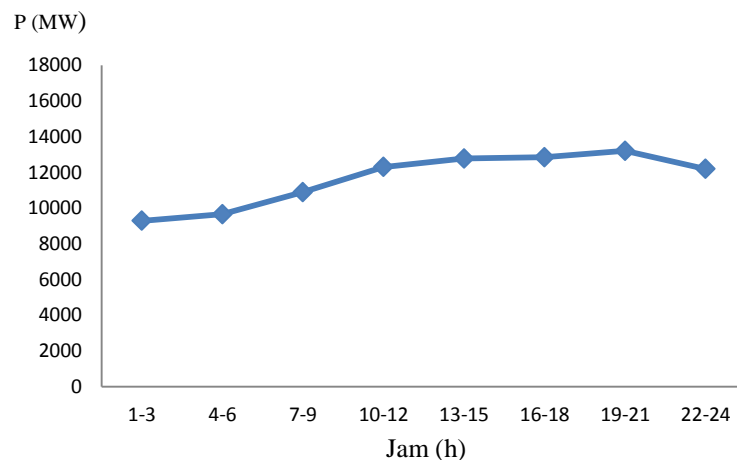
Untuk mendapatkan keluaran dalam bentuk *crisp* (dalam Rp), proses *defuzzifikasi* dalam kasus ini menggunakan metode *mom*. Biaya bahan bakar (GRC) secara matematis dinyatakan sebagai :

$$GRC = \sum_{i=1}^N \frac{\mu_{GRC_i}}{N}$$



Gambar 8. Pemodelan Sistem Interkoneksi 500 KV Jawa-Bali

Data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu data sistem interkoneksi 500 KV Jawa-Bali yang terdiri dari 25 bus dengan 8 pembangkit. Dalam penelitian ini hanya menggunakan pembangkit thermal yaitu Suralaya, Muaratawar, Tanjung Jati, Gresik, Paiton, dan Grati. Sedangkan untuk pembangkit hidro seperti Cirata dan Saguling tidak disertakan dalam penelitian ini. Single line diagram sistem interkoneksi 500 KV Jawa-Bali dapat dilihat pada gambar 8. Adapun data uji yang digunakan yaitu beban harian pembangkit thermal sistem 500 KV Jawa-Bali pada hari Senin tanggal 9 September 2013 yang diperoleh dari PT. PLN (Persero) P3B Gandul-Depok, dapat dilihat pada gambar 9.



Gambar 9. Grafik beban harian pembangkit thermal sistem 500 KV Jawa-Bali (Senin, 9 September 2013) ^[16]

Beban harian pembangkit thermal sistem 500 KV Jawa-Bali terdiri dari 24 jam yang kemudian peneliti jadikan 8 periode, dimana tiap periodenya merupakan beban rata-rata selama 3 jam. Dari grafik beban harian terlihat bahwa beban puncak pada hari Senin 9 September 2013 terjadi pada kisaran pukul 19.00–21.00 WIB, dimana beban mencapai 13.203 MW. Sedangkan beban terendah terjadi pada kisaran pukul 1.00–3.00 WIB, dimana beban sebesar 9293 MW.

Tabel 2. Heat Rate Pembangkit Sistem 500 KV Jawa-Bali

Pembangkit	Daya Pembangkitan (MW)				Heat Rate (KCal/KWh)			
	1	2	3	4	1	2	3	4
Suralaya	1703	2221	2561	3247	19287	18783	18521	18103
Muaratawar	666	826	993	1140	28387	28304	25412	24756
Tanjung Jati	1227	1525	1812,8	1982,8	7261,96	7182,02	7107,04	7054,62
Gresik	1141	1382	1649	1973	48200	47886	47715	47562
Paiton	2071,5	2792,5	3358,75	4005	19203,66	18409,8	17861,9	17372
Grati	320	400	560	795,6	31413	28223	27456	26895

Tabel 2 merupakan data *heat reat* (laju panas) pembangkit thermal sistem 500 KV Jawa-Bali. Setiap unit pembangkit terdiri dari empat titik *heat reat* yang diperoleh dari hasil percobaan. Apabila data tersebut didekati dengan fungsi polynomial maka akan diperoleh persamaan laju panas dari pembangkit thermal dalam Mcal/h. Perkalian persamaan laju panas dengan biaya bahan bakar akan menghasilkan persamaan baru yang menggambarkan karakteristik biaya bahan bakar pembangkit thermal. Adapun biaya bahan bakar masing-masing pembangkit yaitu 19,66 Rp/MCal untuk Suralaya, 59,44 Rp/MCal untuk Muaratawar, 40,68 Rp/MCal untuk Tanjung Jati, 12,5 Rp/MCal untuk Gresik, 18,12 Rp/MCal untuk Paiton, dan 83 Rp/MCal untuk Grati.

Data lain yang dibutuhkan dalam perhitungan operasi ekonomis pembangkit thermal yaitu batas pengoperasian pembangkit serta data riil sistem penjadwalan unit pembangkit yang nantinya akan dibandingkan dengan hasil perhitungan peneliti. Batas pengoperasian pembangkit dan data riil sistem penjadwalan unit pembangkit dapat dilihat pada tabel 3 dan tabel 4.

Tabel 3. Batas Pengoperasian Pembangkitan Sistem 500 KV Jawa-Bali

Unit Pembangkit	P min (MW)	P maks (MW)
Suralaya	1600	3400
Muaratawar	600	1400
Tanjung Jati	1200	2100
Gresik	900	2100
Paiton	1800	4300
Grati	290	800

Tabel 4. Penjadwalan Unit Pembangkit Sistem 500 KV Jawa-Bali Sebelum Optimasi (Senin, 9 September 2013) ^[16]

Pukul	Beban (MW)	Suralaya (MW)	Muaratawar (MW)	Tanjung Jati (MW)	Gresik (MW)	Paiton (MW)	Grati (MW)
1-3	9293	2043	684	1664	1315	3179	408
4-6	9658	2418	657	1544	1243	3364	432
7-9	10891	2816	801	1799	1406	3673	396
10-12	12301	3112	1123	1933	1782	4010	341
13-15	12780	3252	1329	1967	1801	4076	355
16-18	12843	3188	1143	1987	1929	4115	481
19-21	13203	3151	1128	1983	2068	4232	641
22-24	12192	2995	835	1976	1998	4060	328

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penjadwalan unit pembangkit bertujuan untuk mengoptimalkan pembebanan unit pembangkit yang beroperasi dengan menekan besarnya biaya bahan seekonomis mungkin atau yang dikenal dengan istilah operasi ekonomis. Keadaan optimal tersebut didapat apabila pembangkit dioperasikan dengan *incremental cost* (laju penambahan biaya) yang sama dengan memperhatikan batas maksimum dan minimum pengoperasian unit pembangkit.

Untuk dapat menghitung operasi ekonomis pembangkit terlebih dahulu dicari fungsi biaya bahan bakar pembangkit thermal sistem 500 KV Jawa-Bali dengan cara mengolah data *heat reat* pembangkit menggunakan pendekatan fungsi polynomial, yang kemudian dikalikan dengan fungsi biaya bahan bakar sehingga diperoleh data seperti pada tabel 5.

Tabel 5. Karakteristik Biaya Bahan Bakar Pembangkit Sistem 500 KV Jawa-Bali

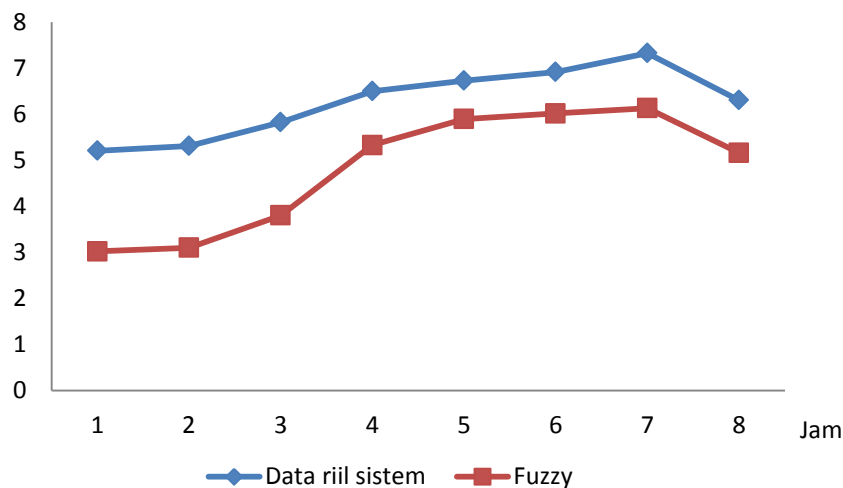
Pembangkit	Fungsi Biaya Bahan Bakar Pembangkit (Rp/h)
Suralaya	$F(P) = 50128314,5979 + 360033,1927 P - 6,0281 P^2$
Muaratawar	$F(P) = -200845202,0238 + 2529579,058 P - 784,2664 P^2$
Tanjung Jati	$F(P) = -4524287,3983 + 314915,0144 P - 12,9134 P^2$
Gresik	$F(P) = 29801981,0536 + 571956,5276 P + 3,7995 P^2$
Paiton	$F(P) = 63773353,0886 + 337171,0187 P - 9,5862 P^2$
Grati	$F(P) = 363187302,3549 + 1200210,1699 P + 727,5461 P^2$

Tabel 5 merupakan karakteristik input-output pembangkit thermal yang merupakan fungsi F (Rp/jam) terhadap P (MW). Apabila $F(P)$ masing-masing pembangkit diturun sekala terhadap P , maka akan diperoleh nilai *incremental cost* masing-masing pembangkit. Dengan menggunakan *fuzzy logic toolbox*, diperoleh hasil penjadwalan unit pembangkit thermal sistem 500 KV Jawa-Bali pada tabel 5. Hasil perhitungan penjadwalan unit pembangkit ini selanjutnya dibandingkan dengan data riil sistem pada hari Senin tanggal 9 September 2013. Perbandingan biaya bahan bakar yang harus dikeluarkan oleh pembangkit thermal dapat dilihat pada gambar 10.

Tabel 6. Penjadwalan Unit Pembangkit Thermal Sistem 500 KV Jawa-Bali Menggunakan *Fuzzy Logic* (Senin, 9 September 2013)

Pukul	Beban (MW)	Suralaya (MW)	M.Tawar (MW)	T.Jati (MW)	Gresik (MW)	Paiton (MW)	Grati (MW)	Biaya (Rp/h)
1-3	9293	3400	-	1593	-	4300	-	3.020.739.433
4-6	9658	3400	-	1958	-	4300	-	3.100.371.442
7-9	10891	3400	-	2100	1091	4300	-	3.803.999.776
10-12	12301	3400	-	2100	2100	4300	401	5.328.968.124
13-15	12780	3400	1240	2100	1740	4300	-	5.895.704.857
16-18	12843	3400	1239	2100	1804	4300	-	6.018.608.149
19-21	13203	3400	1303	2100	2100	4300	-	6.130.325.306
22-24	12192	3400	-	2100	2100	4300	292	5.161.234.879

Biaya Bahan Bakar (Milyar Rupiah/jam)



Gambar 10. Grafik perbandingan biaya bahan bakar pembangkit berdasarkan data riil sistem dengan perhitungan *fuzzy*

Pada gambar 10 terlihat bahwa perhitungan penjadwalan pembangkit thermal sistem 500 KV Jawa-Bali menggunakan *fuzzy logic* menghasilkan biaya bahan bakar lebih murah dibandingkan dengan data riil sistem. Berdasarkan perhitungan *fuzzy*, pada beban puncak, pukul 19.00–21.00 WIB, untuk menghasilkan daya 13.203 MW, pembangkit harus mengeluarkan biaya bahan bakar rata-rata sebesar Rp. 6.130.325.306 per-jam nya. Hal ini lebih murah dibandingkan dengan data riil sistem dengan

biaya bahan bakar rata-rata Rp.7.327.853.973 per-jam nya. Sedangkan pada beban terendah, pukul 1.00–3.00 WIB, untuk menghasilkan daya 9293 MW, pembangkit harus mengeluarkan biaya bahan bakar rata-rata sebesar Rp. 3.020.739.433 per-jam nya untuk *fuzzy* dan Rp. 5.207.957.098 per-jam nya untuk data riil sistem. Dengan demikian, penjadwalan unit pembangkit dengan pendekatan algoritma *fuzzy logic* memberikan hasil 23,27% lebih ekonomis dibandingkan dengan data riil sistem.

KESIMPULAN

Biaya total bahan bakar 6 unit pembangkit thermal sistem 500 KV Jawa-Bali dengan menggunakan pendekatan *fuzzy logic* selama 24 jam adalah Rp. 115.379.855.898. Apabila dibandingkan dengan data riil sistem yang menghasilkan total biaya sebesar Rp. 150.371.894.794, maka penjadwalan unit pembangkit dengan pendekatan algoritma *fuzzy logic* memberikan hasil 23,27% lebih ekonomis.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Marsudi, Djiteng. (2011). *Pembangkitan Energi Listrik (Edisi Kedua)*. Jakarta: Erlangga.
- [2] Cekdin, Cekmas. (2009). *Sistem Tenaga Listrik, Contoh Soal dan Penyelesaiannya Menggunakan Matlab*. Yogyakarta: Andi.
- [3] Marsudi, Djiteng. (2006). *Operasi Sistem Tenaga Listrik*. Jakarta: Erlangga.
- [4] Wood, Allen J., dan Bruce. (1984). *Power Generation Operation And Control*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- [5] Stevenson, William. (1984). *Analisis Sistem Tenaga Listrik (Edisi Keempat)*. Jakarta: Erlangga.
- [6] Saber, A.Y., Senjyu, Miyagi, T., Urasaki, N. dan Funabashi, T. (2006), *Fuzzy Unit Commitment Scheduling Using Absolutely Stochastic Simulated Annealing*, IEEE Transactions on Power Systems, vol 21, pp. 955–964.
- [7] C. Indhumathi, E. Latha Mercy, dan S. Ravichandran. (2004). *A Fuzzy Based Technique For Unit Commitment*, IEEE Transaction on Power Systems.
- [8] Y. Sharma, K. K. Swarnkar. (2013), *Power System Generation Scheduling and Optimization Using Fuzzy Logic Technique*, International Journal of Computational Engineering Research, vol 3, pp. 99-106.
- [9] Mantawy, A.H., Abdel-Magid, Y.L. dan Abido, M.A., (1999), *A Simulated Annealing Algorithm for Fuzzy Unit Commitment Problem*, IEEE Transactions on Power Systems, vol 1, pp. 142–147.
- [10] Chenthur pandian, S., Duraiswamy, K. (2004), *Fuzzy Logic Implementation for Solving The Unit Commitment Problem*, IEEE Transactions on Power Systems, vol 1, pp. 413–418.
- [11] Mantawy, A.H. (2000), *A Genetic-Based Algorithm for Fuzzy Unit Commitment Model*, IEEE Transactions on Power Systems, vol 1, pp. 250–254.
- [12] Kadam, D.P., Wagh, S.S. dan Patil, P.M. (2007), *Thermal Unit Commitment Problem by Using Genetic Algorithm, Fuzzy Logic and Priority List Method*, IEEE Transactions on Power Systems, vol 1, pp. 468–472.
- [13] Naba, Eng Agus. (2010). *Belajar Cepat Fuzzy Logic Menggunakan Matlab*. Yogyakarta: Andi.
- [14] Kusumadewi, S. (2002). *Analisis dan Desain Sistem fuzzy Menggunakan Toolbox Matlab*. Yogyakarta : Graha ilmu.
- [15] Kusumadewi, S., dan Hartati, Sri. (2010). *Neuro-Fuzzy: Integrasi Sistem Fuzzy dan Jaringan Syaraf*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- [16] _____. (2013). *Rencana Operasi Harian (Logsheet Senin, 9 September 2013) PT. PLN (Persero)*. Jakarta: PT. PLN (Persero) P3B Jawa-Bali.