

# **PENJADWALAN PEMBEBANAN MENGGUNAKAN FAKTOR PENALTI PADA SISTEM TRANSMISI 500 kV JAWA-BALI DENGAN METODE *ADAPTIVE NEURO FUZZY INFERENCE SYSTEM* (ANFIS)**

Hadi Sutanto Saragi<sup>\*)</sup>, Hermawan, and Susatyo Handoko

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Diponegoro Semarang  
Jl. Prof. Sudarto, SH. Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

<sup>\*)</sup>*Email : hadisutantosaragi@yahoo.co.id*

## **Abstrak**

Penjadwalan pembebanan merupakan hal penting untuk mengoptimalkan transmisi daya pada sistem. Salah satu cara untuk menghasilkan sistem transmisi energi listrik yang lebih optimal adalah dengan meminimalkan rugi-rugi sistem transmisi (transmission losses) menggunakan perhitungan faktor penalti (penalty factor). Faktor penalti merupakan gambaran rugi-rugi daya pada saluran transmisi yang dihasilkan saat pembangkit mengirim daya ke beban. Mentransfer daya dari pembangkit yang losses tinggi ke pembangkit yang losses rendah (penjadwalan pembangkit) dapat meminimalkan rugi-rugi sistem transmisi. Untuk perhitungan penjadwalan pembangkit menggunakan metode Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) dengan menggunakan software MATLAB. Dari penelitian ini didapat penjadwalan optimal pada sistem transmisi 500 kV Jawa-Bali dengan pengurangan losses pada 13 waktu pembebanan.

*Kata kunci : losses, faktor penalti, ANFIS, penjadwalan pembebanan*

## **Abstract**

Plant loading schedule is an important part to find optimal power flow. One kind of method to generate more optimum electrical energy transmission system is to minimize the transmission system losses using the calculation of the penalty factor. Penalty factor is a characteristic of power loss in the transmission line that is produced when plants send power to the load. Transferring power from high losses plant to low losses (plant loading schedule) could minimize losses in the network. The calculation of plant loading schedule is using Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) in MATLAB software. This research obtained optimal scheduling on the 500 kV transmission system Java-Bali with losses reducing at the 13 loading time.

*Keyword : losses, penalty factor, ANFIS, plant loading schedule*

## **1. Pendahuluan**

Dalam pengoperasian pembebanan jaringan 500 kV Jawa-Bali dilakukan dengan pembagian pembebanan pada pembangkit tenaga listrik (penjadwalan pembebanan) yang akan menyuplai beban. Dalam pembagian pembebanan ini kerap kali mengabaikan rugi-rugi pada sistem transmisi. Rugi-rugi pada sistem transmisi (*losses*) menyebabkan sistem transmisi jaringan 500 kV Jawa-Bali menjadi kurang optimal.

Untuk mendapatkan sistem transmisi yang optimal maka perhitungan faktor penalti sangat diperlukan. Dengan faktor penalti kita akan mengetahui pembangkit yang menyebabkan losses tinggi dan pembangkit yang menyebabkan losses rendah dengan membandingkan dua buah pembangkit. Penjadwalan pembebanan dengan rugi

saluran transmisi rendah dapat menekan nilai rugi – rugi sistem transmisi.

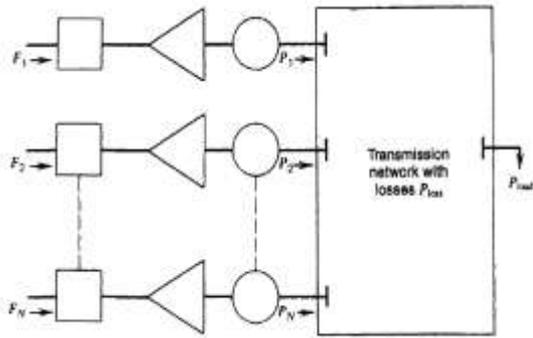
Teknik solusi yang baik untuk penjadwalan pembebanan adalah dengan menggunakan *Adaptif Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS). Kelebihan ANFIS adalah mudah diimplementasikan. Tujuan yang akan dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- 1 Menentukan kondisi optimal penjadwalan pembebanan pembangkit pada sistem 500 kV Jawa-Bali.
- 2 Menentukan faktor penalti dari tiap pembangkit pada sistem 500 kV Jawa-Bali.
- 3 Mengetahui pengurangan *Ploss* yang terjadi setelah penjadwalan pembebanan pada saluran transmisi 500 kV Jawa-Bali.

## 2. Metode

### 2.1 Operasi Optimal Sistem Tenaga<sup>[1]</sup>

Operasi optimal sistem tenaga dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2.1 Operasi optimal sistem tenaga

Dari gambar 2.1 diatas kita mendapatkan fungsi obyektif, persamaan *constrain* dan persamaan *Lagrange* sebagai berikut:

Persamaan *Lagrange* :

$$\delta = F_T + \lambda \phi \quad (1)$$

$\delta$  = fungsi *Lagrange*

$F_T$  = fungsi tujuan

$\lambda$  = faktor pengali

$\Phi$  = fungsi pembatas

Fungsi tujuan merupakan fungsi biaya bahan bakar terhadap daya keluaran tiap pembangkit. Fungsi pembatas merupakan daya yang disalurkan generator sama dengan beban ditambah *Ploss* dari sistem tersebut.

Fungsi tujuan :

$$F_T = F_1 + F_2 + \dots + F_N = \sum F_i(P_i) \quad (2)$$

Fungsi pembatas :

$$\phi = P_{load} + P_{loss} - \sum_{i=1}^n P_i = 0 \quad (3)$$

Keadaan optimal dapat diperoleh dengan operasi *gradient* dari persamaan *lagrange* sama dengan nol.

$$\frac{\partial \delta}{\partial P_i} = 0 \quad (4)$$

$$\frac{\partial \delta}{\partial P_i} = \frac{\partial F_i}{\partial P_i} - \lambda \left( 1 - \frac{\partial P_{loss}}{\partial P_i} \right) = 0 \quad (5)$$

$$\left( \frac{1}{1 - \frac{\partial P_{loss}}{\partial P_i}} \right) \frac{\partial F_i}{\partial P_i} = \lambda \quad (6)$$

Kondisi optimal dari 2 buah pembangkit adalah :

$$\lambda_m = \lambda_n$$

$$\left( \frac{1}{1 - \frac{\partial P_{loss}}{\partial P_m}} \right) \frac{\partial F_m}{\partial P_m} = \left( \frac{1}{1 - \frac{\partial P_{loss}}{\partial P_n}} \right) \frac{\partial F_n}{\partial P_n} \quad (7)$$

Dengan mengasumsikan bahwa  $P_n$  dan  $P_m$  adalah pembangkit yang identik maka didapat persamaan berikut ini:

$$\frac{\partial F_m}{\partial P_m} = \frac{\partial F_n}{\partial P_n} \quad (8)$$

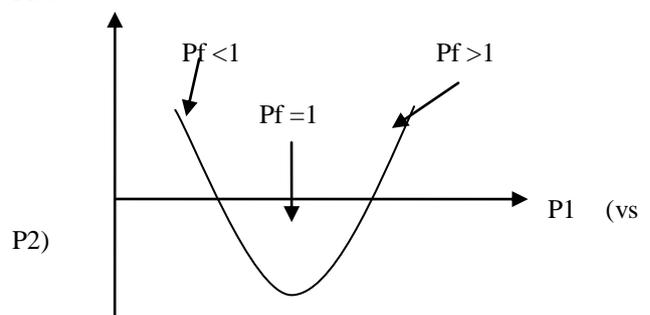
Sehingga didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$\left( \frac{1}{1 - \frac{\partial P_{loss}}{\partial P_m}} \right) = \left( \frac{1}{1 - \frac{\partial P_{loss}}{\partial P_n}} \right) \quad (9)$$

Dimana kondisi optimal dari pembangkit adalah:

$$\left( \frac{1}{1 - \frac{\partial P_{loss}}{\partial P_m}} \right) = 1 \quad (10)$$

*Ploss*

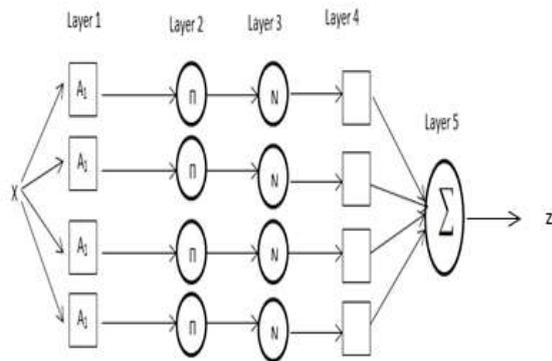


Gambar 2.2 Kurva karakteristik *Ploss* P1 (vsP2)

### 2.2 ANFIS<sup>[2],[5],[15]</sup>

Untuk penyederhanaan, dianggap bahwa *fuzzy inference system* memiliki satu input  $x$  dan satu output  $z$ . Untuk model *fuzzy sugeno* orde pertama, aturan umum dengan dua aturan *fuzzy(rule) if-then* adalah sebagai berikut:

Aturan : jika  $x$  adalah  $A_1$  maka  $f_1 = p_1x + r_1$



Gambar 2.3 Arsitektur ANFIS

ekivalensi arsitektur ANFIS ditunjukkan pada gambar 2.3 dimana *node-node* pada layer yang sama mempunyai fungsi sama.

**Layer 1** setiap *node* *i* pada layer ini adalah *node* adaptif dengan fungsi *node*:

$$O1,i = \mu_{A_i}(x), \text{ untuk } i = 1, 2, 3, 4 \quad (11)$$

Dimana *x* adalah input *node* *i* dan *A<sub>i</sub>* adalah label linguistik (seperti “kecil” atau “besar”) yang berhubungan dengan *node* tersebut. Dengan kata lain *O1,i* adalah *membership grade* dari himpunan *fuzzy* *A* yang menyesuaikan apakah input *x* yang diberikan termasuk dalam anggota *A<sub>1</sub>*, *A<sub>2</sub>*, *A<sub>3</sub>*, dan *A<sub>4</sub>*. Disini fungsi keanggotaan *A* dapat berupa parameter fungsi keanggotaan apa saja, seperti fungsi *gaussian bell*.

$$\mu_A(x) = a_i e^{-\frac{(x-b_i)^2}{2c_i^2}} \quad (12)$$

Dimana (*a<sub>i</sub>*, *b<sub>i</sub>*, *c<sub>i</sub>*) adalah himpunan parameter, karena nilai dari parameter – parameter ini berubah, maka bentuk fungsi *bell* menjadi beragam sehingga menampilkan bermacam – macam bentuk fungsi keanggotaan untuk himpunan *fuzzy* *A*. Parameter-parameter pada lapisan ini disebut *premise parameters*.

**Layer 2** setiap *node* pada layer ini adalah *node* *i* yang tetap bertanda  $\Pi$ , dimana outputnya merupakan perkalian dari semua sinyal yang datang.

$$O2,i = \omega_i = \mu_{A_i}(x), \quad i = 1,2..4 \quad (13)$$

Tiap *output node* ini biasanya disebut *firing strength*. Umumnya operasi perkalian *fuzzy* ( AND ) digunakan sebagai fungsi *node* pada layer ini.

**Layer 3** setiap *node* *i* pada layer ini adalah *node* tetap yang bertanda *N*, *node* ke-*i* menghitung perbandingan dari *firing strength* ke-*i* terhadap jumlah semua *firing strength*.

$$O3,i = \bar{w}_i = w_i / (w_1 + w_2 + w_3 + w_4), \quad i = 1,2..4 \quad (14)$$

Untuk memudahkan, *output layer* ini disebut *normalized firing strength*.

**Layer 4** setiap *node* *i* pada layer ini adalah *node* adaptif dengan fungsi *node*.

$$O4,i = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i (p_i x + r_i) \quad (15)$$

Dimana  $\bar{w}_i$  adalah *normalized firing strength* dari lapisan 3 (layer 3) dan (*p<sub>i</sub>*, *r<sub>i</sub>*) adalah himpunan parameter *node* tersebut. Parameter-parameter pada layer ini disebut *consequent parameters*.

**Layer 5** *node* *i* tunggal pada layer ini adalah *node* tetap yang diberi tanda  $\Sigma$ , yang menghitung rata-rata seluruh output dari jumlah semua sinyal yang datang.

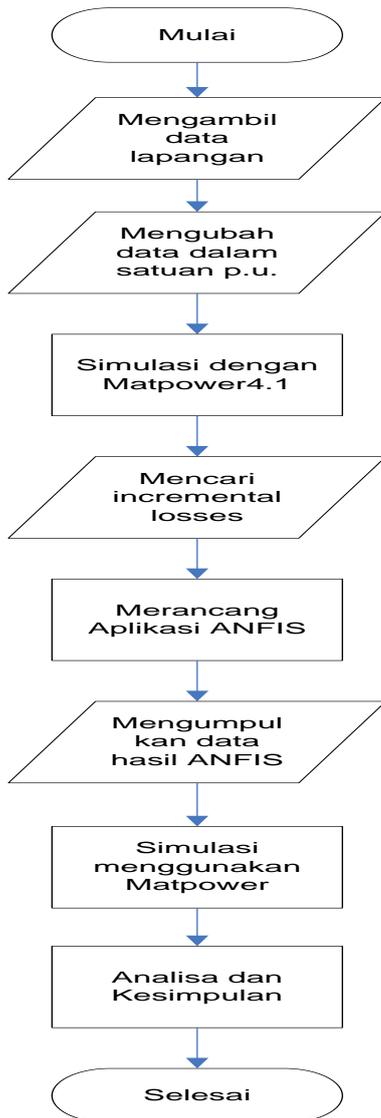
$$\text{Keseluruhan Output} = O5,i = \sum \bar{w}_i f_i / \bar{w}_i \quad (16)$$

Tabel 2.1 Aturan pembelajaran ANFIS

	Forward pass	Backward pass
Premise parameter	Fixed	Gradient descent
Consequent parameter	Least square estimator	Fixed

### 2.3 Langkah Penelitian

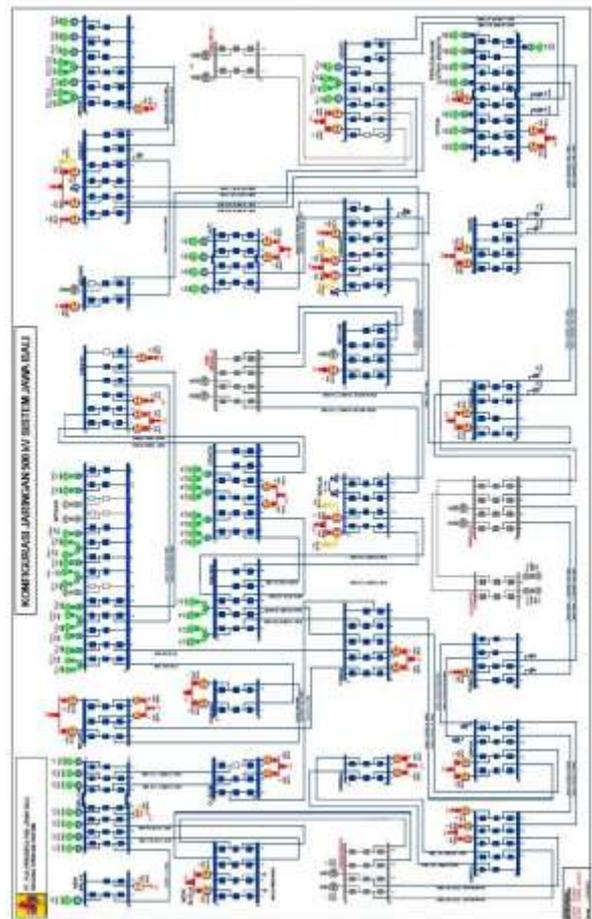
Langkah perancangan sistem dapat digambarkan pada *Flowchart* dibawah ini:



Gambar 2.4 Flowchart penelitian

## 2.4 Data Lapangan<sup>[13]</sup>

Sistem transmisi 500 kV Jawa-Bali terdiri 25 bus, 30 saluran dan 8 pembangkit. Data lapangan yang kita dapatkan sebagai berikut:



Gambar 2.5 Sistem transmisi 500 kV Jawa-Bali

Sistem Jawa-Bali terdiri dari dua jenis OHL yaitu ACSR DOVE dan ACSR GANNET spesifikasi dari kedua penghantar sebagai berikut:

Tabel 2.2 Spesifikasi penghantar sistem 500 kV Jawa-Bali

No	Jenis Penghantar	R( $\Omega$ /km)	X( $\Omega$ /km)	C ( $\mu$ C/km)	Rate (MVA)
1	ACSR DOVE	0,0293	0,2815	0,01283425	1990
2	ACSR GANNET	0,0251	0,2808	0,01288837	2200

Tabel 2.3 Data pembebanan sebelum optimal

Pukul	LOAD (MW)	GSK (MW)	GRTI (MW)	PATN (MW)	CRT (MW)	MTW (MW)	SGLN (MW)	SRLY (MW)	TJ (MW)	TOT (MW)	PLOS S (MW)
9.00	13469	1248	462	3253	571	1049	703	4474	1833	13593	124
10.00	14859	1321	461	3466	633	1249	703	5270	1928	15031	172
11.00	14208	1350	471	3456	630	1286	703	4528	1919	14343	135
12.00	13289	1218	444	3293	181	1148	703	4598	1833	13418	129
13.00	13710	1319	455	3511	347	1166	704	4426	1920	13848	138
14.00	14193	1311	448	3603	368	1259	704	4518	2136	14347	154
15.00	14407	1245	452	3626	397	1161	704	4815	2168	14568	161
16.00	13672	851	444	3669	317	1148	704	4526	2173	13832	160
17.00	13601	852	420	3564	362	1159	704	4753	1930	13744	143
18.00	14162	935	465	3681	609	1311	704	4175	2429	14309	147
19.00	14160	1021	463	3689	426	1289	704	4281	2436	14309	149
20.00	13933	1025	374	3681	426	1176	704	4261	2431	14078	145
21.00	13596	973	426	3680	241	940	704	4349	2435	13748	152

2.5 Perancangan ANFIS<sup>[2],[3],[4],[12]</sup>

A. langkah *training* ANFIS

1. mengubah data lapangan menjadi data lapangan menjadi data yang dibutuhkan *software* dalam satuan *p.u.*
2. Memulai simulasi *loadflow* (aliran daya) pada aplikasi *software* *Matpower4.1*.
3. Menghitung *incremental losses* menggunakan metode *least square parabolic approach* menggunakan *microsoft excel*.
4. Membangun struktur ANFIS. Sebagai berikut:
  - a. *sugeno fuzzy* model
  - b. metode inisialisasi dengan *grid partition*
  - c. fungsi keanggotaan *gaussbell* dengan tiap input memiliki 4 fungsi keanggotaan.
  - d. input ANFIS adalah faktor penalti dan output ANFIS adalah Daya pembangkit.
  - e. *epoch* yang dilakukan 100 kali.

B. Langkah aplikasi ANFIS

1. Membuka data *training* ANFIS
2. Memasukkan nilai faktor penalti untuk mencari daya optimal.
3. Melakukan simulasi *load flow* untuk mendapatkan aliran daya optimal.

3. Hasil dan Analisa

Dari perancangan simulasi diatas kita mendapatkan faktor penalti dari tiap pembangkit sebagai berikut.

Tabel 3.1 Faktor penalti tiap pembangkit

Penalti	GRESIK	GRATI	CIRATA	MTAWAR	SAGULING	TANUNGIATI
09.00	0.983	1.021	0.998	0.979	1.002	1.017
10.00	0.980	1.018	0.999	0.982	1.001	1.020
11.00	0.982	1.027	0.998	0.973	1.002	1.018
12.00	0.982	1.019	0.999	0.981	1.001	1.018
13.00	0.982	1.029	0.964	0.971	1.036	1.018
14.00	0.977	1.004	0.998	0.996	1.002	1.023
15.00	0.977	1.036	0.998	0.964	1.002	1.023
16.00	0.975	1.001	0.964	0.999	1.036	1.025
17.00	0.980	1.023	0.999	0.977	1.001	1.020
18.00	0.970	1.027	0.999	0.973	1.001	1.030
19.00	0.971	1.027	0.999	0.973	1.001	1.029
20.00	0.971	1.028	0.998	0.972	1.002	1.029
21.00	0.970	1.033	0.998	0.967	1.002	1.029

Dari faktor penalti diatas kita dapat menentukan pembangkit yang menyebabkan *losses* sistem tinggi dan

yang menyebabkan *losses* sistem rendah. Dimana pembangkit dengan faktor penalti lebih besar dari satu merupakan pembangkit yang menyebabkan *losses* sistem tinggi dan pembangkit dengan faktor penalti lebih kecil dari satu menyebabkan *losses* sistem rendah. berdasarkan faktor penalti diatas maka daya pada pembangkit yang menyebabkan *losses* sistem tinggi ditransfer ke pembangkit yang menyebabkan *losses* sistem rendah.

Untuk transfer daya diatas kita lakukan dengan menggunakan metode ANFIS (*Adaptive Neuro Fuzzy System*) sesuai dengan perancangan ANFIS yang telah dijelaskan pada sub bab 3.3. Berikut hasil penjadwalan optimal ANFIS ditunjukkan pada tabel 3.2.

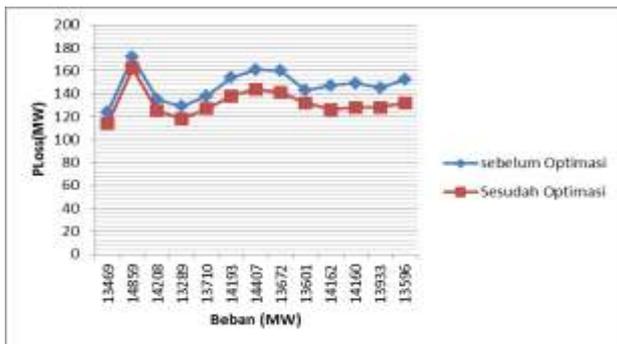
**Tabel 3.2 Hasil penjadwalan optimal ANFIS**

Pukul	LOAD (MW)	GSK (MW)	GRTI (MW)	PATN (MW)	CRT (MW)	MTW (MW)	SGLN (MW)	SRLY (MW)	TJ (MW)	TOT (MW)	PLOSS (MW)
09.00	13469	1663	271	3253	1101	1240	173	4464	1418	13583	114
10.00	14859	1795	251	3466	1051	1459	285	5260	1454	15021	162
11.00	14208	1761	304	3456	1174	1453	159	4518	1508	14333	125
12.00	13289	1642	208	3293	651	1384	233	4587	1409	13407	118
13.00	13710	1704	240	3511	750	1381	301	4415	1535	13837	127
14.00	14193	1867	264	3603	798	1443	274	4502	1580	14331	138
15.00	14407	1794	228	3626	824	1385	277	4798	1619	14551	144
16.00	13672	1448	206	3669	733	1386	288	4507	1576	13813	141
17.00	13601	1324	220	3564	934	1359	132	4742	1458	13733	132
18.00	14162	1667	244	3681	924	1532	389	4154	1697	14288	126
19.00	14160	1733	179	3689	802	1573	328	4260	1724	14288	128
20.00	13933	1735	213	3681	951	1337	179	4244	1721	14061	128
21.00	13596	1694	247	3680	776	1119	169	4329	1714	13728	132

Dari tabel diatas kita dapat mengetahui bahwa penjadwalan pembangkit memperhitungkan *Ploss* dengan faktor penalti menggunakan ANFIS memiliki sistem yang lebih optimal. Hal ini dapat dibuktikan pada tiap penjadwalan pembebanan optimal dengan ANFIS *Ploss*-nya lebih kecil daripada *Ploss* penjadwalan sebelum optimal. Hasil pengurangan *Ploss* tiap pembebanannya ditunjukkan pada tabel 3.3 berikut

Tabel 3.3 Perbandingan Ploss

Waktu	Load (MW)	Ploss sebelum optimasi (MW)	Ploss sesudah optimasi (MW)	Pengurangan Ploss (MW)
09.00	13469	124	114	10
10.00	14859	172	162	10
11.00	14208	135	125	10
12.00	13289	129	118	11
13.00	13710	138	127	11
14.00	14193	154	138	16
15.00	14407	161	144	17
16.00	13672	160	141	19
17.00	13601	143	132	11
18.00	14162	147	126	21
19.00	14160	149	128	21
20.00	13933	145	128	17
21.00	13596	152	132	20
TOTAL				194



Gambar 3.1 grafik perbandingan sebelum dan sesudah optimasi ANFIS

Dari tabel 3.3 dan Gambar 3.1 Diatas dapat kita lihat dengan jelas perbedaan *losses* antara sebelum optimasi dan setelah optimasi menggunakan ANFIS. Dari data diatas *losses* setelah optimasi lebih kecil dibandingkan sebelum optimasi dengan rata-rata pengurangan *losses* sebesar 15MW pada 13 waktu pembebanan.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan pengujian dan analisa yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan beberapa hal yaitu Metode Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) dapat digunakan untuk solusi simulasi dari penjadwalan pembebanan optimal pada sistem 500 kV Jawa-Bali. Dari hasil pengujian diatas didapatkan pengurangan rugi-rugi saluran tiap jadwal pembebanan yang signifikan dengan pengurangan rugi rata-rata dari 13 penjadwalan pembebanan adalah 15 MW. pengurangan *losses* pada 13 waktu pembebanan sebesar 194 MW. Pembangkit

Tanjung jati, Grati dan Saguling cenderung menyebabkan *losses* sistem tinggi terhadap pembangkit Gresik, Muaratawar, dan Cirata.

#### Daftar Pustaka

- [1]. Wood Allen J, wollenberg Bruce F. 1996. Power Generator, Operation, and Control, Second Edition. Jhon Wiley & Sons, Inc
- [2]. Rony Seto W. 2003. Determining Transmission Ploss Penalty Factor Using Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) For Economic Dispatch Application. Report book of Research Institute of ITS.
- [3]. Grainger, Jhon J. and Stevenson, William D. 1998. Power System Analysis McGraw-Hill International Edition, Singapore.
- [4]. Zimmerman Ray D, Murillo-Sanchez Carlos. 2007. MATPOWER. Power System Engineering Research Center (PSERC) School of Electrical Engineering, Cornell University, Ithaca, NY 14853.
- [5]. Dr.Eng.Agus Naba. 2009. Belajar Cepat FUZZY Logic Menggunakan MATLAB. Yogyakarta: ANDI
- [6]. Sasongko Pramono Hadi, Sarjiya, Ageng Pangayoman Koco Suwito. 2012. Simulasi Optimal Power Flow Pada Sistem Jawa-Bali 500 kV. Jurusan Teknik Elektro FT UGM, Yogyakarta.
- [7]. E.E, George. 1943. Intrasystem Transmission Ploss. AIEE transactions vol 62.
- [8]. J.B Ward, J.R. Eaton, H. W. Hale. 1950. Total and Incremental Transmission Ploss In Power Transmission Network. AIEE transactions vol 69.
- [9]. L.K kirchmayer, G.W.Stagg. 1952. Co-ordination Of Incremental Fuel Cost and Incremental Transmission Ploss. AIEE Transactions, vol71.
- [10]. W. R. Brownlee. 1954. Co-ordination of Fuel Cost and Transmission Loss. AIEE transactions.
- [11]. Utami Dewi Ratih. 2011. Optimisasi Unit Commitment dan Economic Dispatch Pembangkit Hidrotermal Dengan Metode Algoritma Genetika. Teknik Elektro UNDIP.
- [12]. Sri Wantoro Basuki. 2012. Particle Swarm Optimization Untuk Optimisasi Penjadwalan Pembebanan Pada Unit Pembangkit Pltg Di PLTGU Tambak Lorok. Teknik Elektro UNDIP
- [13]. (2013). RENCANA OPERASI HARIAN (logsheet) PT PLN (PERSERO). Jakarta: PT PLN (Persero) P3B JB
- [14]. William Lee. Curve Fitting in Microsoft Excel.
- [15]. Alifia F A. 2012. Desain sistem kontrol ANFIS. Penelitian Teknik Elektro UNDIP