

Jurnal Ilmiah

ENERGI & KELISTRIKAN



SEKOLAH TINGGI TEKNIK - PLN

RANCANG BANGUN PEMROGRAMAN BERBASIS SISTEM CERDAS UNTUK PENGATURAN PENGISIAN BATERE PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA

Dhami Johar Damiri; Supriadi Legino; Hakimul Batih

KARAKTERISTIK PEMAKAIAN TENAGA SURYA PADA MODUL SOLAR SMART SEBAGAI IMPLEMENTASI DARI LISTRIK KERAKYATAN

Muchamad Nur Qosim; Isworo Pujotomo

PENGUJIAN TAHANAN ISOLASI DAN RASIO PADA TRAFU PS T15 PT INDONESIA POWER UP MRICA

Andi Makkulau; Nurmiati Pasra; Rifaldi Riska Siswanto

ANALISIS DROP TEGANGAN PADA JARINGAN TEGANGAN MENENGAH DENGAN MENGGUNAKAN SIMULASI PROGRAM ETAP

Tri Joko Pramono; Erlina; Soetjipto Soewono; Fatimah

KAJIAN SISTEM KINERJA PLTS OFF-GRID 1 kWp DI STT-PLN

Tony Koerniawan; Aas Wasri Hasanah

PROSES PERAKITAN DAN PENGUJIAN KUBIKEL SM6 VACUUM CIRCUIT BREAKER 20 kV DI PT. GALLEON CAHAYA INVESTAMA

Juara Mangapul Tambunan; Achmad Wiro Munajich

MENYUSUTKAN RUGI – RUGI DAYA PADA PENYULANG MTL DAN PENYULANG BJM DENGAN MEREKONFIGURASI JARINGAN TEGANGAN MENENGAH

Novi Gusti Pahiyanti; Sigit Sukmajati; Tri Sutrisno Rosyadi

ANALISA PERBANDINGAN UNJUK KERJA PEMAKAIAN BAHAN BAKAR MOTOR KONVENSIONAL DENGAN MOTOR LISTRIK ULC PLN AREA CENGKARENG

Tasdik Darmana; Oktaria Handayani; Halim Rusjdi

ANALISA NILAI SAIDI SAIFI SEBAGAI INDEKS KEANDALAN PENYEDIAAN TENAGA LISTRIK PADA PENYULANG CAHAYA PT. PLN (PERSERO) AREA CIPUTAT

Ibnu Hajar; Muhammad Hasbi Pratama

PEMBAGIAN PEMBANGKITAN SISTEM PEMBANGKIT TERMAL PADA KONDISI BEBAN YANG BERUBAH TERHADAP WAKTU MENGGUNAKAN QUADRATIC PROGRAMMING

Yoakim Simamora; Samsurizal; Zalmahdi

ANALISIS KELAYAKAN TURBIN ANGIN KECEPATAN RENDAH TIPE NT1000W DI WILAYAH TERPENCIL

Zainal Arifin; Heri Suyanto; Hastuti Aziz

ISSN 1979-0783



9 771979 078352

SEKOLAH TINGGI TEKNIK - PLN (STT-PLN)

ENERGI & KELISTRIKAN

VOL.10

NO. 1

HAL. 1 - 93

JANUARI - JUNI 2018

ISSN 1979-0783

PEMBAGIAN PEMBANGKITAN SISTEM PEMBANGKIT TERMAL PADA KONDISI BEBAN YANG BERUBAH TERHADAP WAKTU MENGGUNAKAN QUADRATIC PROGRAMMING

Yoakim Simamora^{#1}; Samsurizal^{#2}; Zalmahdi^{#3}

Teknik Elektro, Sekolah Tinggi Teknik PLN

¹yoakim@sttpln.ac.id; ²samsurizal@sttpln.ac.id; ³zalmahdi@sttpln.ac.id

Abstract: Power plant distribution by considering load change towards time is the development of conventional power distribution because it calculates the ramp rate unit parameter of power plant. Power distribution of thermal power plant under the load condition that change toward time is used to determine the optimum generation schedule so that it can fulfill the load demand with minimum operational cost when sharing the limitation of system and operation throughout the whole period of generation. Spinning reserve is also considered in power plant distribution, since spinning reserve is used for maintaining the system's constraint of each operations. In this case, if one unit of power plant is failed, there must be any capacity that could supply the power from another unit to accomplish such condition that happens within a period. This research uses quadratic programming to accomplish power distribution that calculates load change toward time, thus solve power distribution without trespassing the ramp rate parameter and spinning reserve which has been specified. Three unit of power plants were used in this research with short - term load demand and specified ramp rate . From the analysis of results, it can be seen that quadratic programming is not violate constrain ramp rate of power plant, whilst conventional method can not do the calculation of generation with a ramp rate constraint. The result analysis also shows that generation cost using quadratic programming is cheaper (\$46659,49) compared to that of conventional method (\$47064,01).

Keywords: Smart Room, Solar Panel, Arduino, Technology.

Abstrak : Pembagian pembangkitan dengan mempertimbangkan perubahan beban terhadap waktu merupakan pengembangan dari pembagian pembangkitan konvensional karena memperhitungkan parameter *ramp rate* unit pembangkit. Pembagian pembangkitan sistem pembangkit termal pada kondisi beban yang berubah terhadap waktu digunakan untuk menentukan jadwal pembangkitan yang optimal sehingga bisa memenuhi permintaan beban dengan biaya operasi minimum pada saat berbagai sistem dan batasan operasi selama seluruh periode pembangkitan, *spinning reserve* juga dipertimbangkan dalam pembagian pembangkitan, *spinning reserve* digunakan untuk mempertahankan keandalan sistem pada setiap operasi. Sehingga, jika satu unit pembangkit gagal, harus ada yang menyuplai daya dari unit lainnya untuk mengatasi keadaan yang terjadi pada suatu periode waktu tertentu. Dalam penelitian ini digunakan *quadratic programming* untuk menyelesaikan pembagian pembangkitan yang memperhitungkan perubahan beban terhadap waktu, sehingga dapat menyelesaikan pembagian pembangkitan tanpa melanggar parameter *ramprate* dan *spinning reserve* yang telah ditentukan. Pada penelitian ini akan menggunakan 3 unit pembangkit dengan permintaan beban jangka pendek dan *ramp rate* yang telah ditentukan. Dari analisis hasil dapat dilihat bahwa *quadratic programming* tidak melanggar *constrain ramprate* pembangkit, sedangkan metode konvensional tidak dapat melakukan perhitungan pembangkitan dengan *constrain ramprate*, dari analisis hasil juga dapat dilihat bahwa biaya pembangkitan dengan menggunakan *quadratic programming* lebih murah (46659,49 \$) dibandingkan menggunakan metode konvensional (47064,01 \$).

Kata kunci : Pembagian Pembangkitan, Ramprate, Spinning Reserve

I. PENDAHULUAN

Tenaga listrik merupakan salah satu kebutuhan yang sangat penting dalam kehidupan manusia. Permintaan daya listrik yang terus bertambah menyebabkan daya listrik yang harus disuplai oleh pembangkit menjadi sangat besar. Sumber energi yang dapat diperbaharui serta ekonomi energy listrik adalah faktor penentu perkembangan industri yang bisa meningkatkan standar hidup masyarakat. Sejak revolusi industri, kebutuhan energi listrik meningkat tajam. Kebutuhan tenaga listrik semakin bertambah sejalan dengan peningkatan populasi penduduk dan peningkatan pembangunan infrastruktur. Selain itu kemajuan dan perkembangan teknologi juga memberikan kontribusi besar dalam peningkatan kebutuhan tenaga listrik. Peningkatan kebutuhan tenaga listrik tidak bisa secara langsung diatasi melalui penambahan jumlah pembangkit listrik (*power plant*). Oleh karena itu, para produsen tenaga listrik harus mengelola pembangkitan dengan bijak supaya semua beban dapat terpenuhi dan para produsen tenaga listrik tidak mengalami kerugian akibat biaya operasional yang sangat besar.

Fungsi utama dari pembagian pembangkitan adalah untuk menjadwalkan pembangkitan dari setiap pembangkit yang beroperasi untuk dapat memenuhi kebutuhan beban pada biaya pembangkitan paling minimal. Untuk mempertahankan *life time* dari pembangkit dan peralatan pendukung pembangkit, *thermal gradient* dipertahankan pada batasan aman. Parameter mekanis tersebut diterjemahkan sebagai batas dari laju perubahan daya output atau biasa disebut *ramp rate*. Pembagian konvensional hanya dapat digunakan untuk satu level beban. Jika digunakan pada sistem dengan beban dalam rentang waktu tertentu akan ada beberapa generator yang menyalahi parameter *ramp rate* dari generator. Dengan parameter *ramp rate*, pembagian pembangkitan tidak dapat diselesaikan pada satu level beban.

Pembagian pembangkitan dengan memperhitungkan perubahan beban merupakan pengembangan pembagian

pembangkitan konvensional dan bertujuan untuk penjadwalan pembangkitan unit pembangkit termal dengan permintaan beban selama periode penjadwalan dengan biaya operasi minimum. Pembagian pembangkitan dengan memperhitungkan perubahan beban diformulasikan untuk meminimalkan total biaya bahan bakar dan dapat memenuhi parameter *ramp rate*.

Biaya bahan bakar unit pembangkit biasa dinyatakan sebagai fungsi kuadrat dari output daya aktif unit pembangkit, sehingga pembagian pembangkitan dengan memperhitungkan perubahan beban terhadap waktu dapat diformulasikan dengan optimasi *quadratic* yang mempertimbangkan batasan *ramp rate* dari tiap unit pembangkit. Parameter *ramp rate* menyebabkan pembagian pembebanan pada satu waktu tertentu akan mempengaruhi pembagian pembebanan pada waktu lain.

II. LANDASAN TEORI

1. Pembagian Pembangkitan

Pembagian pembangkitan adalah pembagian daya yang dibangkitkan oleh generator dalam suatu system tenaga sehingga dapat memenuhi kebutuhan beban dengan optimum. Penentuan daya output pada setiap generator hanya boleh bervariasi pada batas-batas tertentu. Fungsi biaya dari *i*-unit generator dimodelkan dengan persamaan

$$FC = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N a_i P_{i,t}^2 + b_i P_{i,t} + c_i \quad (1)$$

Dimana a_i , b_i dan c_i adalah koefisien biaya dari pembangkit i .

Fungsi objektif dari permasalahan pembagian pembangkitan pada kondisi beban yang berubah terhadap waktu adalah

$$\text{Min } F = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^n FC_{i,t}(P_{i,t}) \quad (2)$$

Dimana $FC_{i,t}$ adalah biaya bahan bakar unit i pada interval t dalam \$/h dan $P_{i,t}$ adalah output daya aktif unit

pembangkit i pada periode waktu t dalam MW.

Tujuan pembagian pembangkitan dengan memperhitungkan perubahan beban terhadap waktu adalah untuk meminimalkan biaya pembangkitan dari semua unit pembangkit selama T – interval waktu, dengan T adalah T_{zone} dalam waktu diskrit. $P_{i,t}$ adalah daya keluaran dari unit generator ke- i pada waktu- t . Biaya diminimalkan melalui batasan :

1. Real Power Balance

Constraint ini didasarkan pada prinsip persamaan bahwa total pembangkitan tiap interval waktu t harus sama dengan permintaan beban pada interval, batasan ini secara matematis dimodelkan sebagai berikut,

$$\sum_{i=1}^T P_{i,t} = P_{d,t} \quad (3)$$

Dimana $P_{d,t}$ adalah permintaan beban dalam satuan MW pada interval waktu t .

2. Capacity Constraint

$$P_{i,min} \leq P_i \leq P_{i,max} \quad (4)$$

Dimana $P_{i,min}$ dan $P_{i,max}$ adalah daya pembangkitan minimum dan maksimum unit pembangkit i dalam satuan MW.

3. Ramp rate

Constraint pertidaksamaan sesuai dengan batasan *ramp rate* untuk unit pembangkit, dapat dimodelkan sebagai berikut

$$a. \text{ Daya Pembangkitan Meningkat} \\ P_i^t - P_i^{t-1} \leq R_i^{up+} \quad (5)$$

$$b. \text{ Daya Pembangkitan Menurun} \\ P_i^{t-1} - P_i^t \leq R_i^{down+} \quad (6)$$

Dimana P_i^t adalah daya *output* pada interval t , dan P_i^{t-1} adalah daya output interval sebelumnya. R_i^{up+} adalah *upramp limit* dari generator pada periode t , dan R_i^{down+} adalah *downramp limit* dari generator pada periode t .

4. Spinning Reserve

Cadangan berputar maksimal adalah sebesar pembangkit dengan daya yang terbesar.

$$\sum P_{max\ gen} - \sum P_g \leq P_{SR\ max} \quad (7)$$

Dimana $P_{max\ gen}$ adalah jumlah pembangkitan maksimum tiap generator, P_g adalah jumlah permintaan beban pada interval t , dan $P_{SR\ max}$ adalah pembangkit dengan kapasitas pembangkitan paling besar.

5. Quadratic Programming

Persamaan *quadratic programming* dapat ditulis sebagai :

$$F(x) = a + c^T x + 0.5 x^T Q x \quad (8)$$

Sesuai dengan batasan system linear

$$Aeq \cdot x = beq \quad (9)$$

$$A \cdot x \leq b \quad (10)$$

$$Lb \leq x \leq ub \quad (11)$$

Q , A dan Aeq merupakan matriks, sedangkan f , b , beq , Lb , ub dan x adalah vector. Pembagian pembangkitan merupakan permasalahan optimisasi, Q harus *semi-definite*, ini menjamin jika minimum yang didapat akan berubah menjadi *global minimum*.

III. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini terlebih dahulu menentukan matrix dan vector sesuai dengan persamaan *quadratic programming*, berikut adalah pembentukan matrix atau vektor untuk memenuhi permasalahan fungsi sebagai persamaan kuadrat,

1. Inialisasi Permasalahan Fungsi Sebagai Persamaan Kuadrat

$$F_i(P_i) = \frac{1}{2} x^T H_x + f^T x \quad (12)$$

2. Pembentukan Matriks H Simetris yang Menyatakan Bentuk Kuadrat dari Persamaan

Matrik dimanipulasi menjadi matrik $[1 : m \times n]$ dengan m adalah banyak jumlah beban dalam satuan waktu dan n adalah jumlah generator.

$$[a_1 \dots a_n \ a_1 \dots a_n] \quad (13)$$

$$H = 2 * \text{diag} [a_1 \dots a_n \ a_1 \dots a_n] \quad (14)$$

3. Pembentukan Vektor F Linear Menyatakan Bentuk Linear dari *Cost Function*

Matrik dimanipulasi menjadi matrik $[1 : m \times n]$. Maka matrik menjadi,
 $F = [b_1 \dots b_n \ b_1 \dots b_n]$ (15)

4. Pembentukan Matrik A dan Vektor b
 Sesuai dengan *inequality constraint* dari $A \cdot x \leq b$ permasalahan pembagian pembangkitan yang memperhitungkan perubahan beban terhadap waktu, maka diperlukan matrik A untuk inisialisasi *ramprate* dan *spinning reserve*, sedangkan vector b sebagai kapasitas dari *upramp/downramp* dan *spinning reserve*. Maka diperlukan matrik $A = [2 \times ((m \times n) - n) : (m - 1) \times n]$, vector $b = [1 : ((m - 1) \times 2) \times n]$.

5. Pembentukan Matrik Aeq dan Vektor beq
 Equality constraint dari permasalahan *dynamic economic dispatch* pada persamaan $Aeq \cdot x = beq$ dapat juga di tulis

$$P_{\text{beban}} = P_1 + P_2 + \dots + P_n \quad (16)$$

Dimana matriks Aeq untuk inisialisasi jumlah pembangkit, dan vector beq merupakan jumlah permintaan beban tiap interval waktu. Maka diperlukan matrik $Aeq = [m : (m \times n)]$ dan $Beq = [1 : m]$.

6. Pembentukan Vektor lb dan ub
 Vector lb dan ub menyatakan batas atas dan bawah dari permasalahan, dalam hal ini vector lb merupakan inisialisasi dari kapasitas minimum dari unit pembangkit sedangkan vector ub merupakan inisialisasi dari kapasitas maksimum dari unit pembangkit, maka diperlukan matrik $ub = [1 : m \times n]$ dan matrik $lb = [1 : m \times n]$ untuk memenuhi *inequality constraint* dari pembagian pembangkitan dengan memperhitungkan perubahan beban terhadap waktu, misal $n = 3$ dan $m = 2$. Maka

$$ub = [P_{\text{max}} \ P_{\text{max}} \ P_{\text{max}} \ P_{\text{max}} \ P_{\text{max}} \ P_{\text{max}}] \quad (17)$$

$$lb = [P_{\text{min}} \ P_{\text{min}} \ P_{\text{min}} \ P_{\text{min}} \ P_{\text{min}} \ P_{\text{min}}] \quad (18)$$

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang digunakan untuk simulasi dapat dilihat pada tabel I dan tabel II. Profil beban yang digunakan mewakili tipikal beban harian pada sore hari dimana

beban menurun tajam lalu naik kembali. profil beban yang dipakai masing masing memiliki laju penurunan dan kenaikan daya yang berbeda, yaitu sebesar sebesar 40 MW/jam - 80 MW/jam.

Tabel I. Data Pembangkit Pada 3 Sistem Unit Pembangkit

Pembangkit	Fungsi Biaya (\$/MWh)	Maximum Output (MW)	Minimum Output (MW)	Ramprate (MW/jam)
Unit 1	$0.0015 P^2 + 5.082 P + 135$	350	50	40
Unit 2	$0.00486 P^2 + 3.720 P + 437.4$	350	50	40
Unit 3	$0.0020 P^2 + 5.760 P + 320$	450	50	40

Tabel II. Data Permintaan Beban

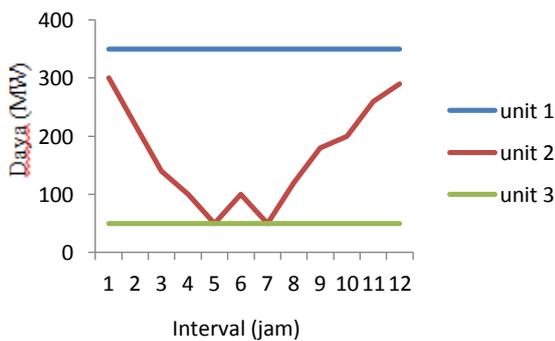
Interval	Beban (MW)
1	700
2	620
3	540
4	500
5	450
6	500
7	450
8	520
9	580
10	600
11	660
12	690

1. Pembagian Pembangkitan dengan Metode Konvensional

Pada Tabel III, unit 1, unit 2 dan unit 3 pada perhitungan metode konvensional terjadi perubahan pembangkitan daya yang cukup besar. Pada jam ke-1 ke jam ke-2 terjadi perubahan daya sebesar 80 MW dari unit 2, hal ini tidak sesuai dengan constrain ramprate unit 2 yaitu sebesar 40 MW/jam, Pada jam ke-2 ke jam ke-3 terjadi perubahan daya sebesar 80 MW, hal ini tidak sesuai dengan constrain ramprate unit 2 yaitu sebesar 40 MW/jam pada jam ke-7 ke jam ke-8 terjadi perubahan daya sebesar 70 MW/jam, hal ini juga tidak sesuai dengan constrain ramprate unit 2 yaitu sebesar 40 MW/jam.

Tabel III. Pembagian Pembangkitan Metode Konvensional

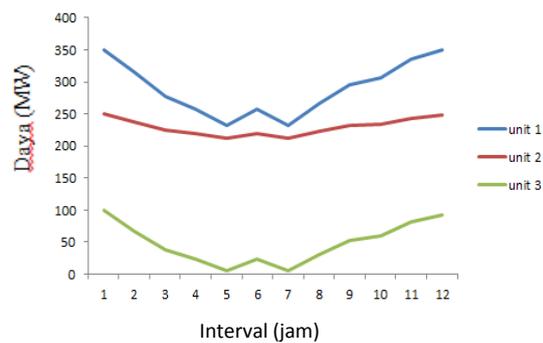
Interval	Unit 1 (MW/jam)	Unit 2 (MW/jam)	Unit 3 (MW/jam)
1	350	300	50
2	350	220	50
3	350	140	50
4	350	100	50
5	350	50	50
6	350	100	50
7	350	50	50
8	350	120	50
9	350	180	50
10	350	200	50
11	350	260	50
12	350	290	50



Gambar 1 Grafik Pembagian Pembangkitan Metode Konvensional

Tabel IV. Pembagian Pembangkitan dengan *Quadratic Programming*

Interval	Unit 1 (MW/jam)	Unit 2 (MW/jam)	Unit 3 (MW/jam)
1	350	250.73	99.271
2	315.44	237.48	67.08
3	276.58	225.49	37.934
4	257.15	219.49	23.361
5	232.86	211.99	5.1454
6	257.15	219.49	23.361
7	232.86	211.99	5.1454
8	266.86	222.49	30.648
9	296.01	231.48	52.507
10	305.72	234.48	59.793
11	334.87	243.48	81.652
12	349.44	247.98	92.582



Gambar 2 Grafik Pembagian Pembangkitan Metode dengan *Quadratic Programming*

2. Pembagian Pembangkitan dengan *Quadratic Programming*

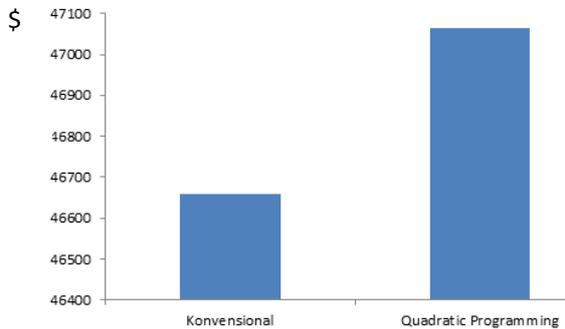
Pada tabel IV, unit 1, unit 2 dan unit 3 pada pembagian pembangkitan menggunakan *quadratic programming* terjadi perubahan pembangkitan sesuai dengan *constrain ramprate*. Pada jam ke-1 ke jam ke-2 terjadi perubahan daya sebesar 14,56 MW dari unit 1, hal ini sesuai dengan *constrain ramprate* unit 1 yaitu sebesar 40 MW/jam, Pada jam ke-2 ke jam ke-3 terjadi perubahan daya sebesar 12 MW, hal ini sesuai dengan *constrain ramprate* unit 2 yaitu sebesar 40 MW/jam pada jam ke-7 ke jam ke-8 terjadi perubahan daya sebesar 25,55 MW/jam, hal ini juga sesuai dengan *constrain ramprate* unit 2 yaitu sebesar 40 MW/jam.

3. Analisis Hasil Perbandingan

Pada Tabel V total biaya pembangkitan terdapat perbedaan sebesar 404,52 \$. Hal ini disebabkan karena ada *constrain ramprate* yang mengakibatkan variasi pembangkitan yang berbeda antara metode konvensional dengan *quadratic programming*. Selain itu, perubahan daya beban yang sangat mendekati *constrain ramprate* juga menjadi faktor penyebab perbedaan yang signifikan dalam hal daya pembangkitan dan biaya total pembangkitan, maka dapat disimpulkan bahwa metode konvensional yang bersifat statis tidak dapat diaplikasikan untuk melakukan perhitungan penjadwalan pembangkitan jika ada *constrain ramprate*. Sedangkan *quadratic programming* dapat melakukan perhitungan penjadwalan pembangkitan dengan *constrain ramprate*

Tabel V
Perbandingan Biaya Pembangkitan

Metode	Biaya Pembangkitan (\$)
Konvensional	47064.01
Quadratic Programming	46659.49



Gambar 3 Grafik Perbandingan Biaya Pembangkitan

V. KESIMPULAN

1. *Quadratic programming* yang digunakan dapat melakukan perhitungan pembagian pembangkitan dengan memperhitungkan perubahan beban terhadap waktu dengan akurat, sedangkan perhitungan pembagian pembangkitan dengan cara konvensional yang bersifat statis tidak dapat digunakan untuk perhitungan pembagian pembangkitan dengan memperhitungkan perubahan beban terhadap waktu yang memiliki *constrain ramprate* dari unit pembangkit.
2. *Quadratic Programming* dapat melakukan perhitungan pembagian pembangkitan dengan memperhitungkan perubahan beban terhadap waktu tanpa melanggar *constrain ramprate* dan *spinning reserve* dari tiap unit pembangkit
3. *Ramprate* sangat berpengaruh terhadap daya terbangkit pada setiap unit pembangkit karena daya yang

terbangkit pada satu waktu akan mempengaruhi daya terbangkit pada waktu yang lain.

4. Biaya total pembangkitan dengan menggunakan metode *quadratic programming* (46659,49\$) lebih murah dibandingkan metode konvensional (47064,01 \$).

DAFTAR PUSTAKA

1. Imam Robandi "Modern Power Sistem Control", Penerbit Andi, Yogyakarta, 2009
2. Naoto Yorino, Hafiz Mohd Habibuddin, Zoka Yoshifumi, SasakiYutaka, Ohnishi Yuji,"Dynamic Economic Dispatch with Generatir's Feasible Operatoin Region", Power and Energy Engineering Conference (APPEEC), 2010 Asia-Pacific, 10.1109/ APPEEC. 2010.5448180, 2010.
3. D. W. Ross, S. Kim, "Dynamic Economic Dispatch of Generation", IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, vol. PAS-99, no. 6, pp. 2060-2068, Nov. 1980.
4. X. S. Han, H. B. Gooi, D. S. Kirschen, "Dynamic Economic Dispatch : Feasible and Optimal Solutions", IEEE Trans. on Power Systems, vol. 16, no. 1, pp. 22-28, Feb. 2001.
5. Farid BENHAMIDA, "Dynamic Economic Dispatch Solution with Practical Constraints Using a Recurrent Neural Network" PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY (Electrical Review), ISSN 0033-2097, R. 87 NR 8/2011.
6. S.Ganesan, "Dynamic Economic Dispatch Based on Simple Algorithm", International Jurnal of Computer and Electrical Engineering, Vol. 3, No. 2, April 2011.