

## Supply Side Management Pada Pengoperasian Pembangkit Hidro-Termis Dengan Metode Gradien (Studi Sistem Tenaga Listrik Jawa-Madura-Bali)

Hartono

Teknik Elektro Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Cilegon 42435

E-mail: artonid@yahoo.com

### Abstrak

*Penerapan supply side management energi listrik di sisi penyedia terutama ditujukan pada optimalisasi penggunaan pembangkit hidro agar beroperasi semaksimal mungkin pada beban puncak sistem, sehingga terjadi penghematan biaya bahan bakar yang minimum pada penggunaan pembangkit termis.*

*Agar dicapai pengoperasian yang optimum, dalam sistem tenaga listrik yang terdiri dari unit pembangkit hidro dan sejumlah pembangkit termis seperti PLTU, PLTP, PLTGU, PLTG. perlu dilakukan pengaturan pembebanan pada pembangkit listrik yang melayani beban tenaga listrik. Beban sistem tenaga listrik berubah-ubah menurut waktu, yang akan mengakibatkan biaya bahan bakar persatuan waktu dalam rupiah perjam juga berubah-ubah menurut waktu. Biaya pengoperasian sistem tenaga listrik merupakan tujuan yang akan diminimalkan, masalah optimisasi ini dapat diselesaikan dengan metode gradien. Pengaturan pembangkitan yang optimal, pada penulisan ini dibatasi pada pengaturan pembangkitan daya nyata. Dengan diperolehnya pembangkitan yang optimal dengan metode gradien ini, maka secara teknis dan ekonomis, lebih menguntungkan apabila dibandingkan pembebanan unit pembangkit dengan cara merit order.*

*Penerapan program dalam optimisasi pengoperasian pembangkit hidro-termis pada penulisan ini adalah berupa simulasi program dengan bahasa pemrograman Borland Delphi release 7.0. Hasil visual program untuk mempermudah pemahaman yaitu berupa tampilan gambar, grafik dan angka-angka ke dalam tabel.*

**Kata Kunci:** Sistem tenaga listrik, biaya operasi, beban daya listrik dan metode gradien.

### Abstract

*Applied supply side Management of electric Energy in Supply side. This is prior in order to optimalize of using Hydro generation so it could operation as maximal as possible in the peak of system loading. In this way, efficiency of using minimum fuel as expected can be occur in Operation the Thermal Generation.*

*In order to have an optimum system, in Electric Power System that consist of unit Hydro Generation and other Thermal Generation such as PLTU, PLTP, PLTGU, PLTG. A loading regulation is necessary to build in an electrical power generation, in order to have an optimum operation for electric power system, in which minimum fuel cost in operation electric energy need all. It is important to do because the electrical power generation serves electric power loads, that always change by the time, and also result fuel-cost per unit time in rupiahs pers hours, changes by the time.*

*The cost of Electrical Power System operation is set as the goal to be minimized and the function of operation cost will be change. Gradient Method will be used in order to solve this kind of matters. The optimum of generation regulation in this paper was restricted as generation regulation of real power whenever the optimum generation using this gradient Method is more profitable then using merit order method technically and economically.*

*In this case Computer programme will be Applied using computer simulation in which Borland Delphi release 7.0 as computer language programming, in order to find an optimization of operation system hydro-thermis power generation. As the result of Computer simulation program, is picture, table or chart that would be easier to be understood.*

**Keywords:** Electrical power system, operation cost, electric power loads and gradient method.

## 1. Pendahuluan

Komponen *Load forecast* dan *generation planning* akan dipengaruhi langsung oleh aktifitas Demand side management, sehingga dalam usaha penggabungan antara sisi demand dan supply kedua komponen tersebut harus mendapat perhatian khusus.

Tujuan yang hendak dicapai dalam penulisan ini adalah sebagai berikut :

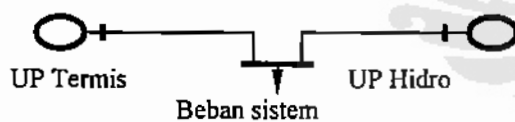
1. Menganalisa biaya pengoperasian pembangkit hidro-termis metode gradien dibandingkan cara merit-order.
2. Memberi gambaran lewat simulasi, tentang cadangan berputar.

Pembahasan permasalahan pada penulisan ini dilakukan dengan simulasi program dengan menggunakan bahasa pemrograman borland delphi 7.0 [4].

## 2. Koordinasi Hidro-Termis

Permasalahan koordinasi operasi pembangkit Hidro-termis, yaitu dengan mencari penjadualan dan produksi setiap sistem pusat pembangkit hidro dan termis [4].

### 2.1. Gabungan Pengoperasian Pembangkit Hidro-Termis



Gambar 1.  
Pokok Sistem Operasi Pembangkit Hidro-Termis [8].

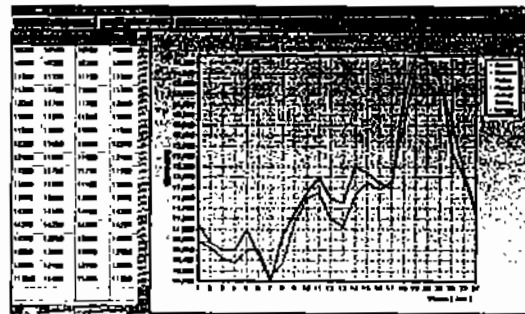
Penggabungan operasi sistem pembangkit hidro-termis untuk meminimumkan biaya pembangkitan, akan dikembangkan dan digunakan. Cara ini disebut koordinasi operasi pembangkit hidro-termis [4].

Manfaat yang didapat dengan bergabungnya unit pembangkit hidro dan unit pembangkit termis, antara lain adalah:

1. Operasi yang fleksibel
2. Keamanan suplai
3. Memperbaiki penggunaan tenaga hidro
4. Menghemat pusat pembangkit.

## 2.2. Beban Sistem Tenaga Listrik

Dari data-data beban sistem harian Jawa-Madura-Bali, jika dibuat kedalam grafik, maka akan terlihat seperti dibawah ini.



Gambar 2.  
Beban Harian Sistem Jawa Madura-Bali (Jamali)

Dari Gambar 1. karakteristik beban sistem harian, maka dapat dinyatakan bahwa:

1. Beban puncak sistem selalu terjadi disekitar jam 18:00 malam hari.
2. Beban puncak mulai turun disekitar jam 22<sup>00</sup> malam hari
3. Pada pagi hari sekitar jam 05<sup>00</sup> pagi, selalu ada kenaikan sebentar, kemudian diikuti penurunan beban pada sekitar jam 06<sup>00</sup> pagi.
4. Beban terendah selalu terjadi setiap hari disekitar jam 07<sup>00</sup> pagi.
5. Beban Puncak sabtu malam, dan malam liburan lebih tinggi dari pada hari lain.
6. Beban hari Minggu dan hari libur khusus untuk setiap jam yang sama, lebih rendah dari pada beban untuk hari kerja.
7. Beban hari Sabtu untuk setiap jam yang sama, lebih rendah dari pada untuk hari kerja lainnya.

## 3. Formulasi Metode

### 3.1. Optimalisasi Hidro-Termis Dengan Metode Gradien

Banyaknya air persatuan waktu yang dipakai oleh subsistem hidro sebagai fungsi daya yang dibangkitkannya adalah  $q(P_H)$ .

Perubahan (*increment*) pemakaian air sebagai fungsi kenaikan pembangkitan hidro menurut deret Taylor:

$$\Delta q_H = \frac{\partial q(P_H)}{\partial P_H} \Delta P_H + 1/2 \frac{\partial^2 q(P_H)}{\partial P_H^2} (\Delta P_H)^2 \quad (1)$$

Dalam perhitungan selanjutnya hanya dipakai suku pertama dari deret Taylor, maka didapat:

$$\Delta q_H = \frac{\partial q(P_H)}{\partial P_H} \Delta P_H \quad (2)$$

Biaya bahan bakar persatuan waktu (misalnya dalam Rp/jam) sebagai fungsi daya yang dibangkitkan subsistem termis adalah  $F(P_T)$ .

Untuk kenaikan biaya bahan bakar persatuan waktu sebagai fungsi pembangkitan subsistem termis adalah:

$$\Delta F(P_T) = \frac{\partial F(P_T)}{\partial P_T} \Delta P_T \quad (3)$$

dengan persamaan neraca daya:

$$P_H + P_T = P_B + P_L \quad (4)$$

dimana  $P_H$  adalah daya yang dibangkitkan oleh pembangkit hidro,  $P_T$  adalah daya yang dibangkitkan oleh pembangkit termis, dan  $P_B$  adalah daya yang dibutuhkan beban. Dengan nilai rugi-rugi transmisi  $P_L$  diabaikan, maka:

$$P_H + P_T = P_B \quad (5)$$

Dari persamaan (3.5) berarti bahwa:

$$\Delta P_H = -\Delta P_T \quad (6)$$

Apabila persamaan (6) dimasukkan ke dalam persamaan (3) maka didapatkan:

$$\Delta F(P_T) = -\frac{\partial F(P_T)}{\partial P_T} \Delta P_H \quad (7)$$

$$\Delta P_H = \frac{\Delta q}{\frac{\partial q(P_H)}{\partial P_H}} \quad (8)$$

$$\Delta F(P_T) = -\frac{\partial F(P_T)}{\partial P_T} \frac{\partial q(P_H)}{\partial P_H} \Delta q_H \quad (9)$$

$$\Delta F(P_T) = -\beta \cdot \Delta q \quad (10)$$

Optimasi Hidro-termis dengan metode gradien dapat dipecahkan dengan menghitung nilai  $\frac{\partial F(P_T)}{\partial P_T}$  selama periode optimasi. Beban PLTA harus maksimal pada saat nilai  $\beta$  mencapai nilai yang tinggi (*Steepest descent*) dari perubahan biaya bahan bakar [2]

### 3.2. Optimalisasi Hidro-Termis Dengan Cara Merit Order

*Merit Order* adalah pembeban yang dilakukan berdasarkan urutan dari unit pembangkit yang mempunyai biaya pembangkitan termurah kemudian disusul dengan unit yang mempunyai biaya pembangkitan lebih mahal [2].

### 3.3. Studi Optimisasi Hidro-Termis Sistem Jawa-Madura-Bali

#### 3.3.1. Data-Data Untuk Proses Optimisasi

1. Data-data daya nyata pada pusat beban (beban harian sistem jawa-madura-bali)
2. Besarnya total produksi harian yang diperlukan pada pembangkit hidro.
3. Data-data daya nyata yang dibangkitkan pada masing-masing jenis unit pembangkit termis, dan biaya bahan bakar masing-masing jenis unit pembangkit termis (Rp/kWh).



Gambar.3. Sistem Tenaga Listrik Jawa-Madura-Bali

### 3.3.2. SusunanPembebanan Pembangkit

Jenis pengoperasian unit pembangkit hidro-termis sistem tenaga listrik Jawa-Madura-Bali pada penulisan ini adalah : PLTA, PLTP, PLTU, PLTGU, dan PLTG.

**Tabel 1.**  
Kapasitas Total Siap Operasi Sistem Jamali

#### 1. PLTA

Nama UP	Kapasitas (MW)	Keterangan
Brantas	2 x 140,5	ON
Cirata	6 x 168	ON
Saguling	4 x 198	ON
Mrica	2 x 158	ON
Siap Operasi	2397	

#### 2. PLTP

Nama UP	Kapasitas (MW)	Keterangan
Kamojang	2 x 200	ON
Gunung salak	3 x 165	ON
Derajat	1 x 70	ON
Wayang windu	1 x 100	ON
Dieng	1 x 60	ON
Patuha	2 x 150	ON
Siap Operasi	1425	

#### 3. PLTU

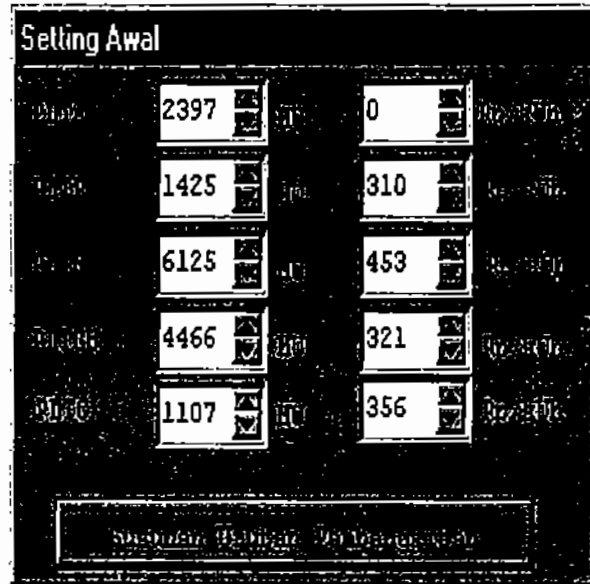
Nama UP	Kapasitas (MW)	Keterangan
Gresik	2 x 300	OFF 1 unit
Muara karang	2 x 350	ON
Paiton PJB	2 x 800	ON
Suralaya	7 x 458,8	OFF 1 unit
Semarang	1 x 438	OFF 1 unit
Perak-Grati	1 x 414	ON
Paiton I	2 x 307,5	OFF 1 unit
Paiton II	2 x 305	ON
Siap Operasi	6125	

#### 4. PLTGU

Nama UP	Kapasitas (MW)	Keterangan
Muara karang	1 x 500	ON
Gresik	3 x 526,26	ON
Muara tawar	1 x 640	ON
Tanjung priok	2 x 400	ON
Semarang	1 x 548	ON
Perak-Grati	1 x 400	ON
Siap Operasi	4466	

#### 5. PLTG

Nama UP	Kapasitas (MW)	Keterangan
Gresik	1 x 81,4	OFF 1 unit
Muara tawar	1 x 280	ON
Tanjung priok	2 x 150	ON
Semarang	1 x 329	ON
Bali	1 x 48	ON
Cikarang listrindo	1 x 150	ON
Siap Operasi	1107	



**Gambar 4.**  
Biaya Pengoperasian Pembangkit

## 4. Perhitungan dan Analisa

### 4.1. Hasil Optimisasi Hidro-Termis dengan Cara merit order

Pada Tabel.2. dapat dinyatakan sebagai berikut:

1. Unit pembangkit yang termasuk beban dasar adalah : PLTA, PLTU, dan PLTP.
2. Unit pembangkit yang termasuk pengatur adalah PLTGU.
3. Unit pembangkit yang termasuk pemikul beban puncak adalah PLTG.

### 4.2. Hasil Optimisasi Hidro-Termis dengan Metode Gradien

Pada Tabel.3. dapat dinyatakan sebagai berikut:

1. Pengoperasian pembangkit hidro digunakan sebesar mungkin pada saat beban puncak dengan memperhatikan kemampuan kapasitas pembangkit hidro.
2. Unit pembangkit *follower* yaitu PLTGU masih mampu memikul beban puncak.
3. Masih terdapat cadangan berputar pada PLTGU, sehingga keandalan sistem masih lebih baik.

**Tabel.2.**  
Optimisasi Pengoperasian Hidro-Termis Cara Merit Order.

JAM	Merit order	Gradien
1	4259	4359
2	4259	4359
3	4259	4359
4	4259	4359
5	4259	4359
6	4259	4359
7	4259	4359
8	4259	4359
9	4259	4359
10	4259	4359
11	4259	4359
12	4259	4359
13	4259	4359
14	4259	4359
15	4259	4359
16	4259	4359
17	4259	4359
18	4259	4359
19	4259	4359
20	4259	4359
21	4259	4359
22	4259	4359
23	4259	4359
24	4259	4359
<b>Total</b>	<b>10602</b>	<b>10602</b>

**Tabel.3.**  
Optimisasi Pengoperasian Hidro-Termis Metode Gradien

JAM	Merit order	Gradien
1	4259	4359
2	4259	4359
3	4259	4359
4	4259	4359
5	4259	4359
6	4259	4359
7	4259	4359
8	4259	4359
9	4259	4359
10	4259	4359
11	4259	4359
12	4259	4359
13	4259	4359
14	4259	4359
15	4259	4359
16	4259	4359
17	4259	4359
18	4259	4359
19	4259	4359
20	4259	4359
21	4259	4359
22	4259	4359
23	4259	4359
24	4259	4359
<b>Total</b>	<b>10602</b>	<b>10602</b>

4.3. Kelebihan Optimisasi Hidro-Termis Metode Gradien dibandingkan dengan Merit Order

Kelebihan hasil perhitungan secara teknis adalah bahwa : Perubahan daya keluaran PLTGU pada saat akan beban puncak jam 18.00 ke jam 19.00 relatif kecil, sehingga mengurangi proses keausan turbin.

**Tabel.4.**  
Perbandingan Perubahan Daya Keluaran PLTGU Saat Beban Puncak

JAM	Merit order	Gradien
18:00	4259 MW	4359 MW
19:00	4466 MW	4403 MW
Selisih	207 MW	44 MW

Kelebihan hasil perhitungan secara ekonomis dapat dinyatakan bahwa :

1. Dimungkinkan tidak diperlukannya unit PLTG untuk pembebanan, terutama beban puncak
2. Terjadi penghematan biaya operasi pembebanan unit PLTGU dan PLTG yang disebabkan oleh karena beban sistem masih dibawah total kapasitas unit-unit pembangkit.
3. Penghematan total biaya pengoperasian selama proses optimasi.

**Tabel.5.**  
Perbandingan Biaya Pengoperasian Dalam Juta Rupiah/Hari

Perbandingan	Juta rupiah
Merit order	97077
Gradien	96971
Selisih	106

4. Biaya rata-rata operasi dalam Rp/kWh lebih ekonomis

**Tabel 6.**  
Perbandingan Biaya Pengoperasian Dalam Rp/kWh

Perbandingan	Rp/kWh
Merit order	342,484
Gradien	342,211
Selisih	0,273

## 5. Kesimpulan

1. Kendala unit pembangkit hidro adalah ketersediaan air. Sehingga untuk mencapai optimisasi pengoperasian hidro-termis, unit pembangkit hidro harus berbeban maksimum pada saat beban puncak.
2. Secara teknis optimisasi pengoperasian hidro-termis dengan metode gradien terjadi pengurangan proses keausan pada unit PLTGU jika dibandingkan optimisasi pengoperasian dengan cara *merit order*.
3. Secara ekonomis, proses optimisasi pengoperasian hidro-termis dengan metode gradien lebih menghemat biaya operasi jika dibandingkan optimisasi pengoperasian hidro-termis dengan cara *merit order*.

- [8]. I.J.Nagrath, D.P.Kothari; *Modern Power System Analysis*; Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, 1980.
- [9]. Robert H Miller, James H Malinowski; *Power System Operation Third Edition*, 1993.
- [10]. P.S.R. Murty; *Power System And Control*; Tata Mc Graw-Hill Publishing Company Limited, 1984.
- [11]. Allen J Wood, Bruce F Wollenberg; *Power Generation Operation And Control*; John Willey & Sons, 1984.
- [12]. M.V.Despande; *Electrical power system design*; Tata Mc graw-hill publishing company limited; 1981.
- [13]. J.A.V Bhawaw & Bhola nata sagari shahdam; *Hydro electric engineering pratice*; J Guthrie brown cbs; Delhi-32; 1984.

## Daftar Acuan

- [1]. Bambang Purnomo, Tenaga listrik profil dan anatomi hasil pembangunan dua puluh lima tahun, 1994.
- [2]. Djiteng Marsudi, Ir; Operasi Sistem Tenaga Listrik ; Balai penerbit & humas ISTN; Jakarta;1990.
- [3]. MADCOMS; Pemrograman Borland Delphi 7 (Jilid 1) lengkap dengan contoh aplikasi; Penerbit Andi Offset Yogyakarta;2002.
- [4]. Hartono; Optimisasi operasi hidro-termis area-3 sistem tenaga listrik jawa-bali dengan metode gradien; undip; 2000.
- [5]. IEEE Transaction on Power System; *Optimal Short Term Operation Planning of a Large Hydrothermal Power System Based on a Nonlinear Network Flow Concep*;Vol. Pwes-1, No.4, 1986.
- [6]. Jeremy A.Bloom, Lawrence gallant; *Modeling dispatch constraints in production cost simulations based on the equivalent load method*; IEEE Transactions on power systems; Vol.9,No.2, May 1994.
- [7]. Harijono Djojodiharjo; Temodinamika teknik aplikasi dan termodinamika statistk, 1987.