

Kajian Penjadwalan PLTA Pompa Dengan Metode Gradient Pada Sistem Tenaga Listrik

Abdul Multi¹

¹Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, ISTN
Jl. Moh. Kahfi II Srengseng Sawah Jagakarsa Jakarta 12640
Telp.021 7270090, 7874645, 7874647 Fax.021 7866955
Email: multiab@yahoo.com

Abstract:

This paper presents the study of scheduling pumped storage unit based on the Gradient method. After optimizing hydro-thermal units existed in the system, the problem is to determine the scheduling of pumped storage unit. This paper concentrates on the study of solution methodology for pumped-storage. A pumped-storage unit can be operated in generation, pumping or idle states. It can smooth peak loads and provide spinning reserve, therefore plays an important role in reducing total generation costs. There are, however, many constraints limiting the operation of a pumped-storage unit, such as reservoir volume, inflow and discharge of hydro plant. It saves fuel costs by generating during peak load with water in the upper reservoir, which would be pumped up during light load hours.

Keywords: Optimization, Pumped-storage, Gradient Method, Hidro-thermal units.

1 PENDAHULUAN

Potensi tenaga air yang besar yang dimiliki oleh Indonesia dapat digunakan untuk membangun berbagai pembangkit listrik tenaga air. PLTA pada umumnya dan PLTA pompa (*pumped storage*) pada khususnya merupakan pembangkit yang dapat dikembangkan sebagai energi primer yang terbarukan (*renewable*) yang bebas karbondioksida.

Potensi tenaga air di seluruh Indonesia baru dimanfaatkan 5,04 persen. Potensi ini secara teoritis diperkirakan sebesar 75.624 MW, yang tersebar pada 1.315 lokasi, yaitu Irian Jaya 22.371 MW, Kalimantan 21.611 MW, Sumatera 15.804 MW, Sulawesi 10.203 MW, Jawa 4.531 MW, Bali + NTB + NTT 674 MW dan Maluku 430 MW. Dari potensi air (PLTA) tersebut yang terpasang baru 4.200 MW. Sedangkan PLTA mikro, potensinya 458,75 MW, terpasang baru 54 MW.

Dengan kemajuan yang telah dicapai oleh pembangkit listrik termis dengan kapasitas yang besar akhir-akhir ini, maka akan timbul kelebihan tenaga listrik pada waktu-waktu tertentu. Surplus tenaga listrik itu, karenanya dapat dimanfaatkan untuk memompa air kembali ke bendungan atas (*upper reservoir*), untuk digunakan pada waktu yang lain. Karena itu perlu dilakukan kajian

terhadap penjawalannya, sehingga dengan demikian potensi tenaga air ekonomis dapat dipastikan akan menjadi lebih besar.

Sumber tenaga air dapat dimanfaatkan dengan baik, dengan memakai debit yang lebih besar dari aliran sungai sebagai debit maksimum dari Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA). Pembangkit Listrik Tenaga Termis (PLTT) akan lebih ekonomis untuk memenuhi kebutuhan tenaga listrik pada waktu musim kemarau dan pada waktu beban puncak.

Untuk membangun PLTA Diperlukan biaya yang besar dan waktu yang lama, tetapi sesudah selesai biaya operasinya rendah. Selama tekno-ekonomis memungkinkan, maka akan lebih menguntungkan untuk terus membangun PLTA, oleh karena pembangkitan tenaga termis, walaupun lebih murah pembangunannya tetapi usianya tidak tahan lama sekitar 20 sampai dengan 30 tahun, selain itu masih memerlukan bahan bakar sehingga biaya operasinya lebih mahal.

Keuntungan kedua macam pembangkit tersebut dapat dikombinasikan, sehingga dengan demikian dapat dimanfaatkan secara efektif sumber-sumber tenaga air yang ada. Teknologi pembangkitan tenaga termis telah mengalami kemajuan yang pesat, dengan memakai mesin-

mesin dengan temperatur dan tekanan tinggi, kapasitas tiap unit pembangkit tenaga termis menjadi semakin tinggi. Efisiensi pembangkitan tenaga termis dapat ditingkatkan dan biaya konstruksinya terus menurun. Namun demikian alat-alat bertekanan dan bersuhu tinggi tidak sesuai untuk operasi start dan stop yang terlalu sering dilakukan dan variasi beban harus secara tepat.

Untuk memikul beban yang tetap digunakan PLTT, sedangkan untuk memenuhi beban puncak digunakan PLTA dengan bendungan yang dapat diatur. Pembangkitan dari PLTA pompa (*pumped storage*) digunakan untuk memenuhi kebutuhan pada waktu beban puncak, sedangkan pada waktu beban rendah airnya dipompa keatas. Cara ini sangat menguntungkan untuk memenuhi kebutuhan sistim tenaga listrik. Beban dasar dan beban puncak dapat dipenuhi masing-masing oleh pembangkit tenaga termis berkapasitas tinggi dan tenaga air. Dengan demikian, maka kombinasi antara kedua sistim ini dapat dilakukan dengan stabil dan ekonomis.

Dalam pengembangan peralatan pembangkit telah dapat dibuat turbin pompa yang dapat dibalik (*reversible*) yang mampu beroperasi sebagai pompa dimana arah putarannya berlawanan dengan arah putaran turbin. Mesin semacam ini dapat beroperasi sebagai motor sinkron untuk pemompaan dengan arah putaran yang berlawanan ketika beroperasi sebagai generator. Mesin-mesin ini disebut turbin-pompa dan motor-generator. Diagram PLTA pompa ditunjukkan pada Gambar 1. Pada beban rendah berfungsi sebagai motor untuk memompa air dari bendungan bawah ke bendungan atas, sedangkan pada beban puncak digunakan untuk membangkitkan tenaga listrik.

PLTA merupakan pembangkit listrik yang operasinya tergantung pada jumlah air yang tersedia. Dilihat dari sumber energinya, PLTA dapat diklasifikasikan menjadi run of river plant, seasonal storage plant dan pumped storage plant.

Mutu tenaga listrik yang baik mempunyai kendala (*constraint*) terhadap biaya pengadaan tenaga listrik yang serendah mungkin, maka kompromi kedua hal ini merupakan optimisasi yang harus diperoleh. Didalam melayani beban perlu dibuat alokasi produksi setiap unit pembangkit. Alokasi produksi dapat dilakukan secara "merit loading" yaitu pembebanan dilakukan berdasarkan urut dari unit pembangkit

yang mempunyai biaya pembangkitan termurah kemudian disusul dengan unit yang mempunyai biaya pembangkitan lebih mahal.

Biaya yang dikeluarkan dalam pengoperasian sistem tenaga listrik, sebagian besar adalah biaya operasi sistem. Oleh sebab itu sangat diperlukan optimisasi sistem tenaga listrik. Salah satu cara untuk mengoperasikan sistem tenaga listrik secara optimal adalah dengan menggunakan PLTA Pompa.

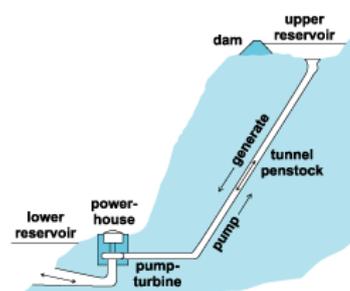
Tulisan ini akan mengkaji penjadwalan PLTA Pompa yang memompa air ke bendungan atas pada waktu di luar beban puncak dimana tenaga yang diperoleh untuk pemompaan tersebut berasal dari Pembangkit Listrik Tenaga Termis atau dari PLTA yang lain. Dan kemudian air dikeluarkan untuk pembangkitan pada saat beban yang tinggi. Pemompaan dan pembangkitan tersebut dilakukan dalam jadwal jangka pendek

Masalah tersebut dapat diselesaikan dengan menggunakan metode Gradient dimana dicari saat-saat yang tepat untuk mengoperasikan PLTA Pompa secara maksimal. Pemakaian air pada saat beban tinggi diusahakan semaksimal mungkin, dimaksudkan untuk menggantikan beban yang dipikul oleh pembangkit termis, sehingga biaya bahan bakar dapat ditekan sekecil-kecilnya.

Beberapa batasan (*constraint*) tertentu perlu diperhatikan untuk dibahas seperti aliran air dan volume bendungan.

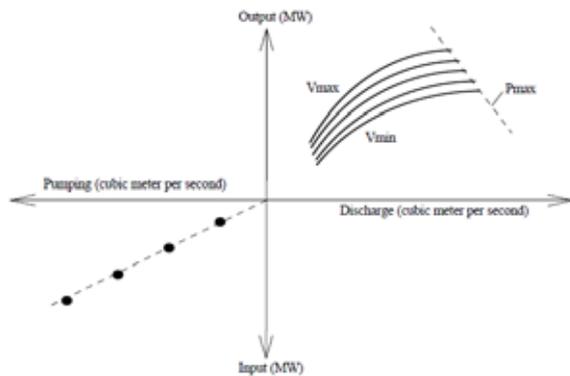
2 TINJAUAN PUSTAKA

PLTA pompa terdiri dari bendungan atas (*upper reservoir*) dan bendungan bawah (*lower reservoir*) dimaksudkan untuk menghemat biaya bahan bakar saat pembangkitan waktu beban puncak dengan air pada bendungan atas. Pemompaan air dari bendungan bawah ke bendungan atas dilakukan diluar beban puncak.



Gambar 1 Pumped storage yang terdiri dari dua bendungan (*reservoir*)

Pembangkit listrik ini pada mulanya menggunakan turbin hidrolik yang terpisah dengan motor listrik yang digunakan untuk menjalankan pompa, tetapi kemudian telah dapat digunakan turbin pompa yang dapat dibalik (*reversible*). Karakteristik input output PLTA pompa diperlihatkan pada Gambar 2. Untuk operasi pemompaan pada PLTA pompa yang mempunyai daya pemompaan yang konstan, fungsi karakteristik PLTA pompa adalah distribusi diskrit.



Gambar 2 Karakteristik input-output untuk PLTA pompa

PLTA Pompa hanya digunakan selama periode biaya pembangkitan yang tinggi pada unit-unit termis, Pembangkit listrik tersebut dapat dianggap sebagai cadangan berputar (*spinning reserve*). Pada waktu tertentu dimana diperlukan untuk mengurangi kebutuhan beban maka pembangkit listrik tersebut dapat pula dihentikan operasinya. Pada beberapa PLTA yang dihubungkan baik seri maupun paralel (secara hidrolis), maka pengeluaran air dari pusat listrik yang di hulu akan berpengaruh terhadap aliran air yang masuk ke pusat listrik yang di hilir. Masalah penggunaan air secara optimum akan melibatkan baik masalah yang berhubungan dengan penjadwalan air maupun operasi yang optimum dari sistem tenaga listrik untuk meminimumkan biaya produksi.

3 METODOLOGI

Energi untuk pemompaan (E_p) melebihi energi yang dibangkitkan (E_g) sebesar rugi-rugi konversi (L), dan dapat ditulis :

$$E_p = E_g + L \quad (1)$$

Efisiensi konversi untuk volume air yang sama

$$\eta = \frac{E_g}{E_p} = \frac{E_p - L}{E_p} \quad (2)$$

Bendungan untuk penampungan air mempunyai kemampuan penyimpanan yang terbatas dan biasanya dapat digunakan untuk menjalankan generator selama 4 sampai 8 jam secara terus menerus. PLTA Pompa dapat dioperasikan pada siklus harian atau mingguan. Bila dioperasikan pada siklus mingguan maka pembangkit listrik tersebut mulai dijalankan pada awal minggu dalam keadaan bendungan terisi penuh. Kemudian pembangkit listrik tersebut dijadwalkan pada periode mingguan untuk menjalankan generator selama waktu beban rendah.

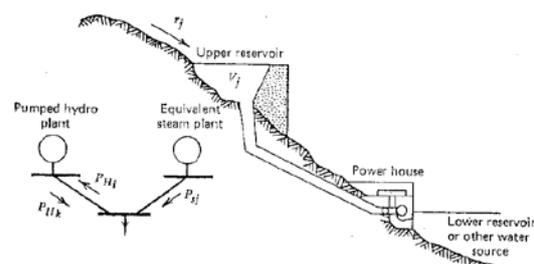
Sistem interkoneksi tertentu dapat menunjang operasi PLTA pompa, bila terdapat persetujuan untuk menjual energi listrik dengan harga yang murah pada waktu beban rendah.

Aliran air dan sistem tenaga listrik yang ekuivalen ditunjukkan pada Gambar 3. Pada beberapa interval j terdapat:

- r_j = aliran masuk ($m^3/detik$)
- V_j = volume pada akhir interval (m^3)
- q_j = pengeluaran air selama pembangkitan ($m^3/detik$)
- w_j = pemompaan ($m^3/detik$)
- n_j = jumlah jam pada setiap periode penjadwalan

Interval-interval sepanjang hari dibagi menjadi dua bagian.

- k = interval pembangkitan.
- i = interval pemompaan



Gambar 3 Aliran air PLTA pompa dan aliran listrik

Dalam prosedur perhitungan ini, kendala kendala bendungan perlu diperhatikan. Volume awal dan volume akhir $V_0 = V_s$ dan $V_e = V_{24}$. Masalahnya adalah bagaimana meminimumkan seluruh biaya bahan bakar pada waktu tersebut untuk pembangkitan termis sepanjang hari dimana kendala-kendalanya tetap diperhatikan.

Biaya bahan bakar total untuk satu hari adalah :

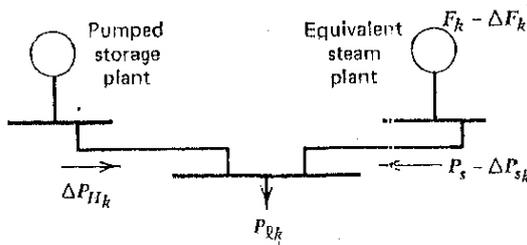
$$F_T = \sum_{i=1}^{24} F_j(P_{sj}) \quad (3)$$

Dalam hal ini rugi-rugi diabaikan. Dengan mengambil periode j 24 jam dan memulai penjadwalan tersebut tanpa adanya aktifitas pemompaan air serta unit pembangkit termis dioperasikan setiap jam maka :

$$\frac{dF_j}{dP_{sj}} = \lambda_j \quad (4)$$

$$j = 1, 2, 3, \dots, 24$$

where λ adalah Lagrangian multiplier .



Gambar 4 Perubahan daya dan biaya pada pembangkit hidro selama waktu k

PLTA Pompa dianggap membangkitkan sejumlah daya ΔP_{HK} , pada periode beban puncak k . Perubahan-perubahan ini ditunjukkan pada -Gambar 4. Perubahan biaya pada pembangkit termis adalah :

$$\Delta F_k = \frac{\partial F_k}{\partial P_{sk}} \Delta P_{sk} = - \frac{dF_k}{dP_{sk}} \Delta P_{Hk}$$

$$\Delta F_k = \frac{\partial F_k}{\partial P_{sk}} \Delta P_{sk} = - \frac{dF_k}{dP_{sk}} \Delta P_{Hk} \quad (5)$$

Atau

$$\Delta F_k = -\lambda_k \Delta P_{Hk} \quad (6)$$

Persamaan (6) merupakan penghematan karena adanya pembangkitan. Dengan menganggap bahwa pusat listrik tersebut dimulai dengan volume bendungan tertentu dan diakhiri dengan volume yang sama. Volume tersebut dapat dinyatakan dengan besaran MWh dari pembangkitan listrik. Siklus kerja seluruhnya mempunyai efisiensi.

Sebagai contohcontoh bila $\eta = 2/3$, maka untuk pemompaan air diperlukan 3 MWh, sedangkan air tersebut hanya dapat digunakan untuk pembangkitan sebesar 2 MWh. Karena itu untuk menempatkan kembali air yang digunakan untuk pembangkitan daya sebesar ΔP_{Hk} , diperlukan daya sebesar $\Delta P_{Hk} / \eta$.

Persoalan ini diselesaikan dengan mencari interval biaya terendah (beban terendah) dalam satu hari untuk melakukan pemompaan. Hal ini merubah biaya pembangkit termis sebesar:

$$\Delta F_i = \frac{\partial F_i}{\partial P_{si}} \Delta P_{si} = \frac{dF_i}{dP_{si}} \left(\frac{\Delta P_{Hk}}{\eta} \right) = \frac{\lambda_i}{\eta} \Delta P_{Hk} \quad (7)$$

Perubahan biaya total dalam satu hari adalah

$$\Delta F_T = \Delta F_k + \Delta F_i \quad (8)$$

$$\Delta F_T = \Delta P_{Hk} \left(\frac{\lambda_i}{\eta} - \lambda_k \right) \quad (9)$$

Karena itu ketentuan untuk membangkitkan daya dalam interval k dan menempatkan air kembali dalam interval i adalah ekonomis kalau ΔF_T (negatif penurunan dalam biaya), hal ini benar bila:

$$\lambda_k > \frac{\lambda_i}{\eta} \lambda_k > \frac{\lambda_i}{\eta} \quad (10)$$

Ada Pertimbangan-pertimbangan praktis yang perlu diperhatikan, agar daya yang dipakai

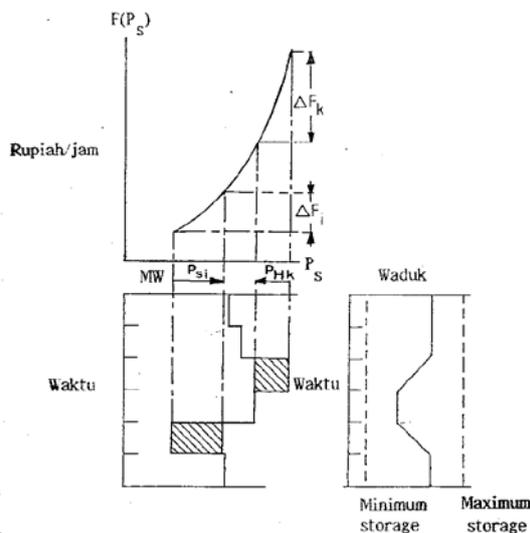
untuk pembangkitan dan pemompaan adalah kurang atau sama dengan kapasitas pemompaan dan pembangkitan dalam beberapa interval. Siklus keseluruhan dapat diulangi sampai :

- Tidak mungkin lagi mendapatkan periode-periode k dan i sehingga

$$\lambda_k > \frac{\lambda_i}{\eta} \lambda_k > \frac{\lambda_i}{\eta}$$

- Kendala-kendala bendungan maksimum dan minimum telah diperoleh.

Gambar 5 menunjukkan bagaimana langkah pemompaan dan pembangkitan dapat dilaksanakan.



Gambar 5 Langkah tunggal pada iterasi gradient untuk PLTA pompa. Kapasitas penyimpanan dinyatakan dalam MWh ekuivalen dengan pembangkitan.

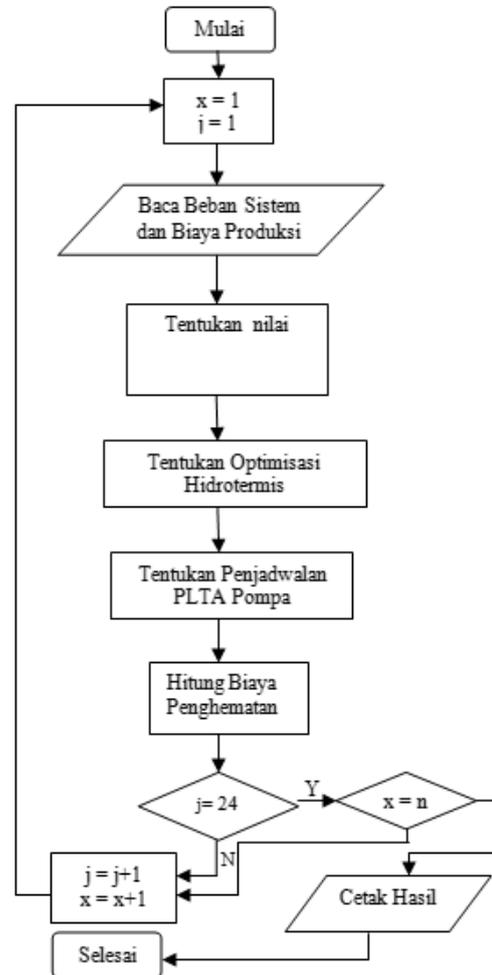
4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk menentukan penjadwalan PLTA pompa dengan metode Gradien pada suatu sistem tenaga listrik dibuat langkah-langkah yang ditunjukkan pada Gambar 6 dan perlu ditetapkan beberapa asumsi:

- Sistem:
 - Sistem tenaga listrik terdiri dari pembangkit hidrotermis dan PLTA pompa.
 - Setiap pembangkit baik termis maupun hidro mempunyai karakteristik input-output tertentu, dimana daya yang dibangkitkan

oleh masing-masing unit pembangkit berada diantara batasan output minimum dan kapasitas maksimum.

- Rugi-rugi transmisi yang timbul karena adanya aliran daya diabaikan.
- Sistem dianggap andal



Gambar 6 Diagram alir untuk penjadwalan PLTA pompa

b. Periode:

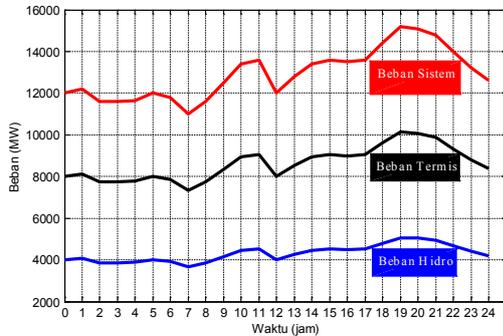
- Penjadwalan dibuat dalam jangka pendek. Untuk periode jangka pendek, besar beban dan perkiraan air yang masuk ke PLTA diketahui dan faktor ketidakpastian lainnya dianggap tidak ada.
- Periode waktu dibagi atas beberapa selang waktu yang sama.

c. Biaya:

Biaya operasi yaitu biaya bahan bakar yang berhubungan langsung dengan output unit termis.

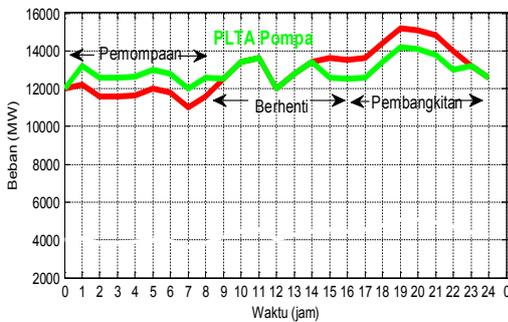
Gambar 7 memperlihatkan jalur pembagian beban antara pembangkit hidro dengan pembangkit termis yang optimum

dengan memperhatikan nilai $\frac{\partial [F(P)]_T}{\partial P_T}$



Gambar 7 Jalur Pembagian Beban Antar Pembangkit Hidro dan Pembangkit Termis

Pemompaan dilakukan ketika *incremental cost* atau $\frac{\partial [F(P)]_T}{\partial P_T}$ sistem rendah yaitu pada jam 00.00 – 08.00. Selama periode pemompaan ini pembangkit termis akan mendapatkan tambahan beban sebesar kapasitas unit PLTA pompa yang beroperasi.



Gambar 8 Kurva beban harian dan penjadwalan PLTA

Hasil pemompaan dapat dimanfaatkan untuk pembangkitan dalam hal ini untuk menaikkan produksi PLTA antara jam 15 – 22 sehingga dapat mengurangi produksi pembangkit termis yang mempunyai biaya bahan bakar tinggi. Waktu pemompaan dan pembangkitan oleh PLTA pompa ditunjukkan pada Gambar 8. Dari gambar tersebut terlihat PLTA pompa yang tidak dioperasikan (berhenti). Operasi PLTA pompa apakah pemompaan, pembangkitan atau berhenti dilakukan dalam interval waktu yang sama.

5 SIMPULAN

Penjadwalan PLTA pompa yang optimal dapat dilakukan dengan terlebih dahulu membuat optimisasi pembangkit hidrotermis pada sistem tenaga listrik. Dari penjadwalan tersebut diperoleh beban sistem yang lebih rata. Berdasarkan kurva beban harian, PLTA pompa dapat dioperasikan untuk pembangkitan, pemompaan dan berhenti. PLTA pompa dapat berfungsi sebagai pembangkit cadangan berputar.

DAFTAR KEPUSTAKAAN

- [1] Marsudi Djiteng, *Operasi Sistem Tenaga Listrik*, Graha Ilmu, Jakarta (2006).
- [2] A. J. Wood and B. F. Wollenberg, *Power Generation, Operation and Control*. Wiley India Pvt. Ltd.(2006).
- [3] Po-Hung Chen, Particle Swarm Optimization for Power Dispatch with Pumped Hydro, Department of Electrical Engineering, St. John's University Taiwan.
- [4] The Principles Of Pumped Storage, www.fhc.co.uk/pumped_storage.htm.
- [5] Xiaohong Ouan, Peter B. Uih, Houzhong Yan Peter Rogan, Optimization-Based Scheduling of Hydrothermal Power Systems with Pumped-Storage Units, IEEE Transactions On Power System Vol. 9, No. 2, May 1994
- [6] [Dr. Mohamed Farhat](#), Hydronet: a standardised methodology for pumped-storage power plant, Ecole Polytechnique Federale de Lausanne (2009).
- [7] Zhai, Qiaozhu Guan, Xiaohong Cui, Jian , Unit Commitment With Identical Units: Successive Subproblem Solving Method Based on Lagrangian Relaxation, IEEE Transactions On Power System Vol. 17, No. 4, November 2002.
- [8] elektroindonesia.com/elektro//utama4.html
- [9] www.detiknews.com/.../potensi-energi-indonesia-menantang
- [10] Safe remaining lifetime assessment of power plant steam boilers *library.witpress.com*.