

**Simulasi Perhitungan Pembebanan Ekonomis Pada Pusat Listrik Tenaga Diesel  
Dengan Metode *Dynamic Programming*  
(Studi Kasus Di PT. Arteria Daya Mulia)**

Erline Luciana (L2F 004 474)<sup>1</sup>

Ir. Tedjo Sukmadi, M.T. – Susatyo Handoko, S.T., M.T.<sup>2</sup>

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

**ABSTRAK**

*Pertumbuhan industri pada suatu negara berkembang seperti Indonesia sangat pesat terutama dengan banyak digunakannya teknologi-teknologi baru dalam kelangsungan proses produksinya. Salah satunya adalah PT. Arteria Daya Mulia yang merupakan produsen jala ikan terbesar di ASIA. Dengan demikian kontinuitas tenaga listrik di perusahaan ini menjadi kebutuhan yang utama dalam proses produksi. Kebutuhan tenaga listrik ini dipenuhi dengan mengoperasikan Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD). Ada enam Pembangkit Listrik Tenaga Diesel di PT. ARIDA, empat Pembangkit Listrik Tenaga Diesel berbahan bakar gas PNG (Petroleum Natural Gas) dan dua Pembangkit Listrik Tenaga Diesel berbahan bakar solar.*

*Biaya operasi terbesar pada Pembangkit Listrik Tenaga Diesel untuk menghasilkan daya yang dibutuhkan beban adalah biaya konsumsi bahan bakar. Oleh karena itu, penting untuk mengetahui pembebanan ekonomis unit Pembangkit Listrik Tenaga Diesel agar diperoleh biaya operasi yang minimum. Analisis pada Tugas Akhir ini, untuk mendapatkan biaya operasi yang minimum digunakan metode *Dynamic Programming*.*

*Biaya konsumsi bahan bakar pembangkit pada tanggal 3 November 2008 selama 24 jam adalah Rp 7.910.604 /hari dengan mengoperasikan 3 unit pembangkit yaitu pembangkit unit 2, unit 3 dan unit 4. Hasil perhitungan simulasi menggunakan metode *Dynamic Programming* pada hari yang sama dan beban yang sama menunjukkan bahwa pembebanan ekonomis unit Pembangkit Listrik Tenaga Diesel memberikan efisiensi biaya sebesar Rp 1.192.525/hari dengan mengoperasikan 4 unit pembangkit yaitu pembangkit unit 1, unit 2, unit 3 dan unit 4 dengan biaya konsumsi bahan bakar sebesar Rp 6.718.079 /hari.*

## **I. PENDAHULUAN**

### **1.1 LATAR BELAKANG**

Proses produksi suatu industri/pabrik tidak lepas dari kebutuhan akan tenaga listrik untuk kelangsungan proses produksinya menggunakan suatu sistem pembangkitan tenaga listrik. Salah satu industri/pabrik tersebut adalah PT. Arteria Daya Mulia yang bergerak dibidang produksi jala ikan. Untuk memenuhi kebutuhan akan tenaga listrik untuk proses produksinya PT. Arteria Daya Mulia Menggunakan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD).

Sistem pembangkitan tenaga listrik harus mampu membangkitkan daya yang dibutuhkan beban. Dalam hal ini beban pembangkit listrik adalah motor-motor listrik yang digunakan untuk proses produksi dan instalasi penerangan pada sebuah pabrik dari waktu ke waktu. Untuk membangkitkan daya yang dibutuhkan beban maka suatu sistem pembangkit tenaga listrik harus mampu beroperasi secara optimal dan efisien<sup>[1]</sup>. Untuk mendapatkan biaya operasi yang optimal dan efisien dapat dilakukan perhitungan pembagian beban menggunakan metode *Dynamic programming*.

### **1.2 TUJUAN**

1. Mengetahui hasil simulasi pembagian beban (pembebanan) kombinasi unit pembangkit agar diperoleh efisiensi penghematan biaya konsumsi bahan bakar.

2. Mengetahui kelebihan dan kekurangan simulasi pembagian beban (pembebanan) kombinasi unit pembangkit menggunakan metode *dynamic programming*.

### **1.3 PEMBATAHAN MASALAH**

1. Data yang daya yang dibangkitkan oleh unit pembangkit yang digunakan pada tugas akhir ini adalah data operasi unit pembangkit di PT. Arteria Daya Mulia.
2. Sistem pembangkitan tenaga listrik yang dibahas adalah sistem Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) di PT. Arteria Daya Mulia.
3. Mesin diesel sebagai penggerak mula generator pada sistem PLTD terdiri dari 6 (enam) unit.
4. Mesin diesel pembangkit unit 1, unit 2, unit 3 dan unit 4 adalah mesin diesel berbahan bakar gas PNG (*Petroleum Natural Gas*).
5. Mesin diesel pembangkit unit 5 dan unit 6 adalah mesin diesel berbahan bakar solar.
6. Beban sistem tenaga listrik yang akan *disupply* oleh pembangkit adalah beban listrik di PT. Arteria Daya Mulia.
7. Menitikberatkan pada pada segi penghematan ekonomi terutama konsumsi bahan bakar dan tidak membahas segi mekanik, operasional dan biaya investasi.

<sup>1)</sup> Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro UNDIP

<sup>2)</sup> Dosen Jurusan Teknik Elektro UNDIP

8. Data harga bahan bakar disesuaikan dengan data harga dilapangan. Bahan bakar gas PNG Rp 600/m<sup>3</sup> dan solar Rp 5000/liter.
9. Tidak memperhitungkan biaya *start up*, *shut down* dan *standby*.
10. Tidak memperhitungkan biaya pemeliharaan sistem pembangkit tenaga listrik.
11. Tidak memperhitungkan rugi-rugi saluran.
12. Pengolahan data menggunakan *software* Matlab 7.6 dan *Microsoft Excel* guna memudahkan perhitungan dan analisis tugas akhir.

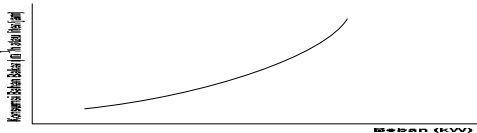
## II. DASAR TEORI

### 2.1 Tinjauan Pustaka

Dalam pengoperasian pembangkit diperlukan suatu metode untuk menekan biaya operasi suatu pembangkit. Pengoperasian unit-unit pembangkit pada permintaan daya tertentu dalam suatu stasiun dilakukan dengan mendistribusikan beban di antara unit-unit pembangkit dalam stasiun tersebut<sup>[1]</sup>. unit pembangkit dalam suatu stasiun mempunyai karakteristik yang berbeda-beda sehingga diperlukan suatu penjadwalan pengoperasian setiap unit pembangkit untuk suatu pembebanan ekonomis tertentu pada sistem dengan mempertimbangkan kehilangan daya pada saluran transmisi. Dengan demikian dapat diperoleh suatu pengoperasian pembangkit yang optimal untuk menekan biaya operasi<sup>[7]</sup>.

### 2.2 Dynamic Programming

*Dynamic programming* adalah strategi untuk membangun masalah optimal bertingkat, yaitu masalah yang dapat digambarkan dalam bentuk serangkaian tahapan (*multistage*) yang saling mempengaruhi satu sama lain. Suatu permasalahan yang *multistage* diselesaikan dengan memisahkan masalah tersebut menjadi submasalah yang saling berurutan dan saling berhubungan dimana keputusan awal mempengaruhi keputusan berikutnya<sup>[8]</sup>.



Gambar 2.1 Kurva Karakteristik Biaya Bahan Bakar (Ci) Terhadap Daya Aktif (Pi)

Hubungan antara konsumsi bahan bakar terhadap daya yang dibangkitkan pembangkit dirumuskan oleh persamaan berikut :

$$C_i = \alpha_i + \beta_i P g_i + \gamma_i P g_i^2$$

Dimana:

$C_i$  = konsumsi bahan bakar unit ke-i (m<sup>3</sup>/h atau liter/jam)

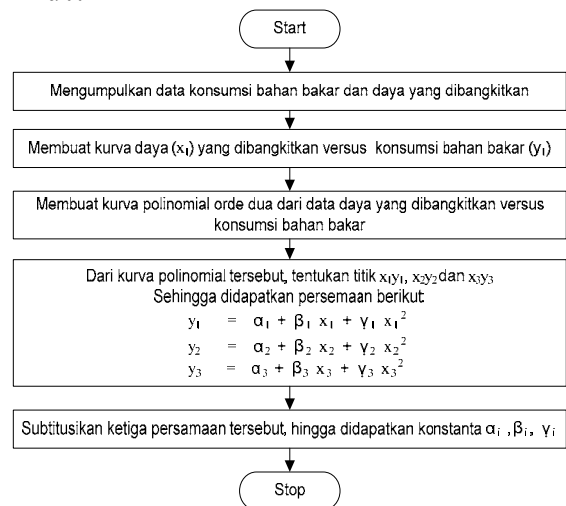
$P g_i$  = daya yang dibangkitkan generator unit ke-i (kW)

$\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$  = konstanta hubungan bahan bakar dan daya yang dihasilkan unit ke i.

Konstanta  $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$  didapatkan dengan menentukan 3 (tiga) titik potong pada gambar 2.1 antara konsumsi bahan bakar ( $y_i$ ) dan daya yang dibangkitkan atau beban ( $x_i$ ) yang dipikul unit pembangkit terlebih dahulu. Tiga titik potong tersebut adalah titik  $x_1 y_1$  (pada beban rendah),  $x_2 y_2$  (pada beban menengah) dan  $x_3 y_3$  (pada beban tinggi) yang ketiga titik tersebut diambil pada sembarang titik<sup>[21]</sup>. Persamaan (2.1) menjadi sebagai berikut:

$$\begin{aligned} y_1 &= \alpha_1 + \beta_1 x_1 + \gamma_1 x_1^2 \\ y_2 &= \alpha_2 + \beta_2 x_2 + \gamma_2 x_2^2 \\ y_3 &= \alpha_3 + \beta_3 x_3 + \gamma_3 x_3^2 \end{aligned}$$

Ketiga persamaan tersebut disubstitusikan hingga didapatkan nilai-nilai  $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$ . *Flowchart* untuk mendapatkan nilai  $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$  adalah sebagai berikut:



Gambar 2.2 *Flowchart* Untuk Menghitung  $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$

Dalam suatu sistem tenaga dengan sejumlah  $n$  pembangkit, konsumsi bahan bakar total pembangkitan dirumuskan oleh:

$$C_t = \sum_{i=1}^n C_i$$

dimana:

$C_t$  = konsumsi bahan bakar total pembangkit

$C_i$  = konsumsi bahan bakar unit ke-i pembangkit

$n$  = jumlah unit pembangkit

Formulasi umum konsumsi bahan bakar terhadap daya ( $P$ ) yang dibangkitkan adalah sebagai berikut:

$$C_i(P) = \text{Min} \{ C_n((P/d/n) \pm \delta) + C_{n+1}((P/d/n) \pm \delta) + \dots + C_{nH}((P/d/n) \pm \delta) \}$$

dimana:

- $C_t(P_d)$  = biaya total bahan bakar yang minimum dalam satuan biaya per satuan waktu (rupiah perjam) untuk  $n$  buah unit pembangkit dengan beban  $P_d$  KW.
- $C_n$  = biaya bahan bakar dalam rupiah per jam untuk unit ke -  $n$ .
- $C_{n+1}$  = biaya bahan bakar dalam rupiah per jam untuk unit ke -  $n+1$ .
- $n$  = jumlah pembangkit yang akan beroperasi.
- $\delta$  = suatu nilai tertentu untuk memvariasi pembagian beban. Dengan syarat masih memenuhi kemampuan pembangkit.

Pembagian beban harus memenuhi batasan-batasan kemampuan pembangkit yang akan memikul beban tersebut. Syarat untuk  $n$  buah pembangkit:

$$P_{1min} + \dots + P_{nmin} \leq P_d \leq P_{1max} + \dots + P_{nmax}$$

dimana:

$P_{nmin}$  dan  $P_{nmax}$  = masing-masing adalah batas kemampuan minimum dan maksimum generator untuk memikul beban.

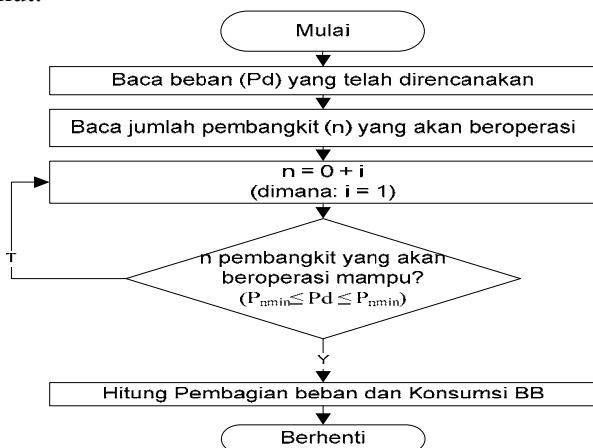
$$P_d = P_1 + P_2 + \dots + P_n$$

Jika dipikul oleh  $n$  buah pembangkit maka:

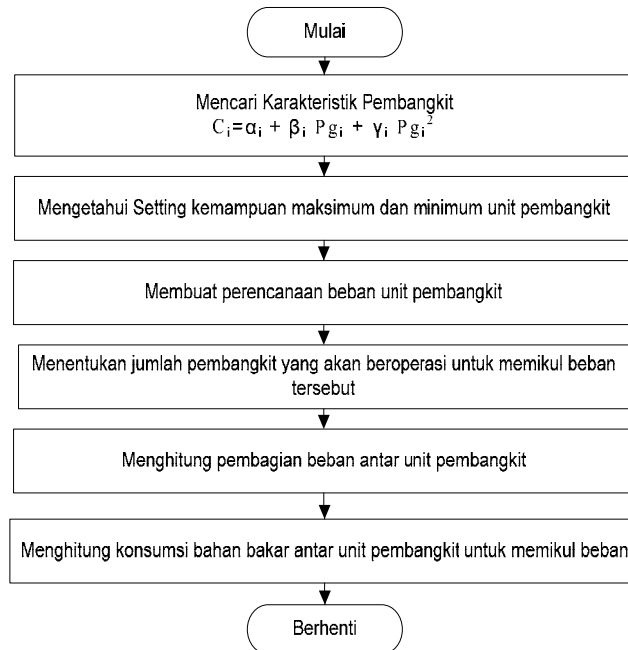
$$P_1 = P_2 = \dots = P_n = P_d / n$$

Perencanaan beban hendaknya dilakukan terlebih dahulu untuk menentukan kombinasi unit pembangkit yang akan memikul beban tersebut. Jumlah unit pembangkit yang akan memikul beban harus memenuhi syarat kemampuan jumlah pembangkit yang akan dioperasikan memikul beban. *Flowchart* pembagian beban menggunakan metode *dynamic programming* adalah sebagai berikut:

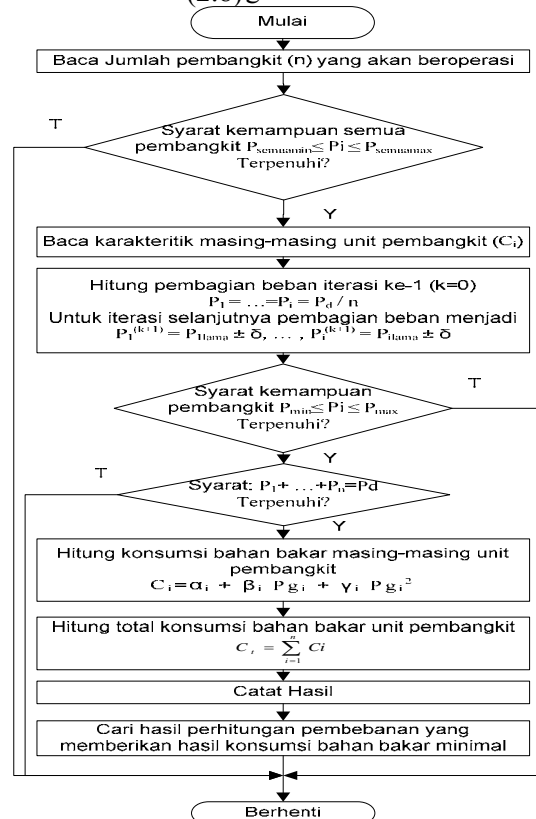
*Flowchart* untuk menentukan jumlah pembangkit yang akan beroperasi adalah sebagai berikut:



Gambar 2.4 *Flowchart* Untuk Menghitung Jumlah



Gambar 2.3 *Flowchart* Pembagian Beban Menggunakan Metode *Dynamic Programming* *Flowchart* untuk menghitung pembagian beban antar unit pembangkit tersebut dan konsumsi bahan bakar adalah sebagai berikut:



Gambar 2.5 *Flowchart* Untuk Menghitung Biaya Konsumsi Bahan Bakar Yang Paling Murah

Algoritma untuk menghitung pembagian beban antar unit pembangkit dan konsumsi bahan bakar untuk membangkitkan daya tersebut adalah sebagai berikut:

1. Jika beban dilayani 1 pembangkit atau  $n = 1$ , yaitu apabila unit pembangkit berjumlah satu buah. Tidak ada pilihan lain maka beban sistem hanya dapat dilayani oleh satu-satunya unit pembangkit yang ada, sehingga biaya minimum dapat ditulis sebagai:

$$C_t(P_d) = C_1(P_d)$$

dengan syarat:

$$P_{1min} \leq P \leq P_{1maks}$$

$P_{1min}$  dan  $P_{1maks}$  masing-masing adalah batas kemampuan minimum dan maksimum generator ke-1 untuk memikul beban. Jika beban melebihi kemampuan maksimum 1 pembangkit maka jumlah pembangkit yang akan dioperasikan harus ditambah untuk memikul beban tersebut menjadi 2 pembangkit.

2. Beban dipikul 2 pembangkit sehingga  $n = 2$  persamaan menjadi:

$$C_t(P_d) = \{C_1((P_d/2) + \delta) + C_2((P_d/2) - \delta)\}$$

Persamaan (2.9) dipecahkan dengan urutan sebagai berikut:

- a. Membagi beban  $P_d$ .

Persamaan (2.8) menjadi:

$$P_1 = P_2 = P_d/2$$

Sehingga persamaan (2.11) menjadi:

$$C_t(P_d) = \{C_1(P_1) + C_2(P_2)\}$$

Kemudian mencatat nilai  $C_t$ ,  $P_1$  dan  $P_2$ .

- b. Kemudian menentukan iterasi yang diinginkan untuk mendapatkan variasi daya yang dipikul generator.  $P_1$  pada persamaan 2.12 sebesar  $\delta$ .

$$\text{Sehingga } P_{1baru} = P_1 \pm \delta$$

$$P_{2baru} = P_2 \pm \delta$$

Untuk variasi  $P_{1baru} = P_1 \pm \delta$  dapat didekati dengan menggunakan logika matematis menggunakan nilai bit. Untuk bit = 0 diasumsikan minus (-) dan untuk bit = 1 diasumsikan plus (+). Logika matematis untuk variasi pembebanan ekonomis antara 2 unit pembangkit dapat dilihat di lampiran.

Persamaan (2.7) harus dipenuhi.

$$P_{1baru} + P_{2baru} = P_d$$

$$P_d - P_{1baru} + P_{2baru} = 0$$

$\delta$  adalah suatu nilai tertentu. Dengan syarat masih memenuhi kemampuan pembangkit.

$$P_{1min} + P_{2min} \leq P_d \leq P_{1max} + P_{2max}$$

$$P_{1min} \leq P_{1baru} \leq P_{1maks}$$

$$P_{2min} \leq P_{2baru} \leq P_{2maks}$$

Sehingga

$$C_t(P_d) = \{C_1(P_{1baru}) + C_2(P_{2baru})\}$$

Kemudian hitung kembali nilai  $C_t$ , persamaan (2.11) kemudian catat nilai

$P_{1baru}$ ,  $P_{2baru}$  dan  $C_t$  baru yang didapatkan. Jika persamaan (2.15), (2.16) dan (2.17) tidak dipenuhi maka iterasi dihentikan dan jumlah pembangkit yang akan dioperasikan ditambah.

- c. Kemudian mengiterasikan  $P_{1baru}$  dan  $P_{2baru}$  terus-menerus sesuai dengan yang diinginkan sehingga didapatkan variasi pembebanan pada kedua pembangkit tersebut lalu hasil masing-masing iterasi dicatat.

- d. Kemudian membandingkan hasil perhitungan  $C_t$ . Variasi pembebanan yang ekonomis didapatkan dengan mengoperasikan pembangkit pada hasil perhitungan  $C_t$  yang paling minimum.

3. Beban dipikul  $n$  buah pembangkit menjadi:

$$C_t(P_d) = \{C_1((P_d/n) \pm \delta) + C_2((P_d/n) \pm \delta) + \dots + C_n((P_d/n) \pm \delta)\}$$

Persamaan (2.11) dipecahkan dengan urutan sebagai berikut:

- a. Membagi beban  $P_d$ .

$$P_1 = P_2 = \dots = P_n = P_d/n$$

Sehingga persamaan (2.10) menjadi:

$$C_t(P_d) = \{C_1(P_1) + C_2(P_2) + \dots + C_n(P_n)\}$$

Kemudian mencatat nilai  $C_t$ ,  $P_1$  dan  $P_2$  yang sudah didapatkan dari persamaan (2.20), (2.21) dan (2.22).

- b. Kemudian menentukan iterasi yang diinginkan untuk mendapatkan variasi daya yang dipikul generator.  $P_1$  masing-masing generator setelah diiterasi sebesar  $\delta$  adalah sebagai berikut:

$$\text{Sehingga: } P_{1baru} = P_1 \pm \delta$$

$$P_{2baru} = P_2 \pm \delta$$

⋮

$$P_{nbaru} = P_n \pm \delta$$

Persamaan (2.7) harus dipenuhi.

$$P_{1baru} + P_{2baru} + \dots + P_{nbaru} = P_d$$

$$\Delta\delta = 0$$

$\delta$  adalah suatu nilai tertentu. Dengan syarat masih memenuhi kemampuan pembangkit.

$$P_{1min} + P_{2min} + \dots + P_{nmin} \leq P_d \leq P_{1max} + P_{2max} + \dots + P_{nmax} \quad (2.28)$$

$$P_{1min} \leq P_{1baru} \leq P_{1maks}$$

$$P_{2min} \leq P_{2baru} \leq P_{2maks}$$

⋮

$$P_{nmin} \leq P_{nbaru} \leq P_{nmaks}$$

Sehingga

$$C_t(P_d) = \{C_1(P_{1baru}) + C_2(P_{2baru})\}$$

Kemudian hitung kembali nilai  $C_t$ , persamaan (2.11) kemudian catat nilai  $P_{1baru}$ ,  $P_{2baru}$  dan  $C_t$  baru yang didapatkan. Jika persamaan (2.29), (2.30) dan (2.31) tidak dipenuhi maka iterasi

dihentikan dan jumlah pembangkit yang akan dioperasikan ditambah.

- c. Kemudian mengiterasikan  $P_{1baru}$  dan  $P_{2baru}$  terus-menerus sesuai dengan yang diinginkan sehingga didapatkan variasi pembebanan pada kedua pembangkit tersebut lalu hasil masing-masing iterasi dicatat.
- d. Kemudian membandingkan hasil perhitungan  $C_t$ . Variasi pembebanan yang ekonomis didapatkan dengan mengoperasikan pembangkit pada hasil perhitungan  $C_t$  yang paling minimum.

### 2.3 Hal-hal yang mempengaruhi borosnya konsumsi bahan bakar pada Genset diesel adalah<sup>[24]</sup>:

1. Usia mesin. Semakin tua usia mesin maka performa kerja mesin semakin menurun<sup>[24]</sup>.
2. Kondisi oli pelumasan, jika oli pada bagian yang berputar pada mesin telah kotor maka gesekan akan bertambah sehingga menyebabkan konsumsi bahan bakar bertambah karena mesin membutuhkan gaya putar yang lebih tinggi<sup>[24]</sup>.
3. Sistem pendinginan mesin mengalami gangguan sehingga mesin menjadi panas akibatnya udara segar yang terhisap oleh sistem pemasukan udara adalah udara panas. Udara yang masuk kedalam ruang bakar terlalu panas ( $>600^{\circ}\text{C}$ ) sehingga perbandingan kompresi udara dan bahan bakar meningkat yang menyebabkan debit bahan bakar yang dibutuhkan meningkat<sup>[24]</sup>.
4. Sistem pemasukan udara dan bahan bakar. Terlalu banyak udara atau terlalu sedikit udara akan menyebabkan pemakaian bahan bakar menjadi boros<sup>[6]</sup>.
5. Besar-kecil beban yang akan dipikul. Semakin besar beban maka semakin banyak membutuhkan bahan bakar, karena ketika beban naik maka frekuensi menurun. Putaran rotor generator harus dinaikkan sehingga kopel mesin diesel harus dinaikkan. Gaya putar mesin diesel dinaikkan dengan membuka lebih katup bahan bakar sehingga bahan bakar yang masuk keruang bakar bertambah kemudian menghasilkan tekanan (yang dihasilkan dari ledakan hasil pembakaran) yang semakin tinggi sehingga menghasilkan gaya putar yang semakin besar dan frekuensi kembali pada nilai normalnya. Dan sebaliknya. Pengaruh tekanan terhadap putaran generator:

$$n = \frac{mep \times Vd}{6,28 \times T}$$

Dan :  $T = F \times b$

Dimana :  $T = \text{Torsi (Nm)}$

$F = \text{Gaya penyeimbang gerakan rotor (N)}$

$b = \text{Jarak lengan torsi (m)}$

$mep = \text{Tekanan rata-rata (kg/cm}^2\text{)}$

$Vd = \text{Volume Ruang bakar (m}^3\text{)}$

$n = \text{Jumlah putaran rotor (rpm)}$

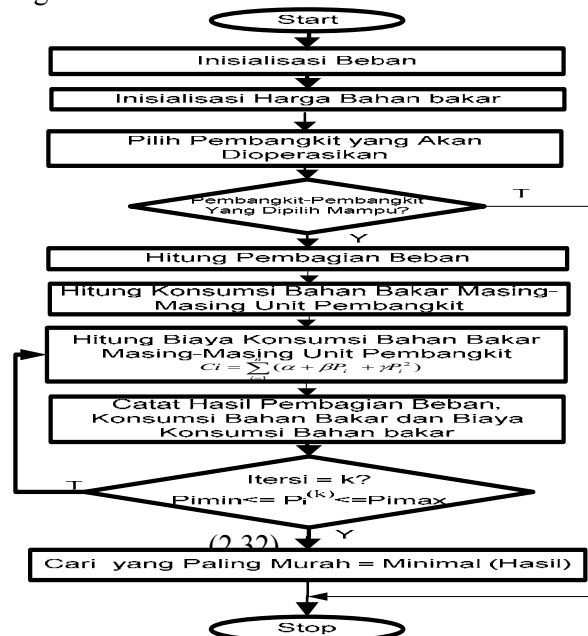
Dari persamaan diatas dapat dilihat bahwa semakin tinggi tekanan maka semakin tinggi nilai putaran rotor<sup>[15]</sup>.

### III. Perancangan Software

Secara garis besar algoritma perancangan software pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Memasukan nilai beban (Pdt) dan harga bahan bakar.
2. Memasukan harga bahan bakar gas (Rp 600/m<sup>3</sup>) dan bahan bakar solar (Rp 5.000/liter)
3. Memilih jumlah pembangkit yang akan dioperasikan.
4. Menginisialisasi kemampuan unit pembangkit yang dipilih.
5. Mengitung pembagian beban antar unit pembangkit.
6. Mengitung konsumsi bahan bakar unit pembangkit (m<sup>3</sup>/jam atau liter/jam) yang memikul beban tersebut.
7. Menghitung biaya konsumsi gas atau solar (Rp/jam). Dimana harga solar Rp 5.000/liter dan harga gas Rp 600/m<sup>3</sup>.
8. Mencatat nilai pembagian beban, konsumsi bahan bakar, dan biaya untuk memikul beban masing-masing itersi tersebut.
9. Mencari hasil yang paling murah dari biaya konsumsi bahan bakar.

Diagram alir perancangan software adalah sebagai berikut:



Gambar 3. 10 Diagram Alir Software

## IV. Pembahasan

### 4.1 Menghitung Konstanta $\alpha_i$ , $\beta_i$ , dan $\gamma_i$ pada Masing-Masing Unit Pembangkit

Metode DP seperti yang telah dijelaskan di BAB II merupakan suatu metode matematis untuk mengoptimalkan pembebanan unit pembangkit. Langkah pertama yang dilakukan untuk menghitung pembebanan unit pembangkit adalah menghitung konstanta-konstanta formulasi konsumsi bahan bakar ( $\alpha_i$ ,  $\beta_i$ ,  $\gamma_i$ ) pada persamaan 2.1, untuk mencari konstanta-konstanta tersebut, maka diperlukan data daya yang dibangkitkan dan konsumsi bahan bakar untuk membangkitkan daya tersebut dengan membuat grafik. Pada grafik tersebut dibuat dibuat suatu persamaan *polynomial orde 2* seperti gambar 2.1 untuk mengetahui formulasi konsumsi bahan bakar.

Langkah pertama berdasarkan flowchart gambar 2.2 yaitu menggambarkan hubungan daya dan konsumsi bahan bakar untuk membuat persamaan *polynomial orde 2* diperlukan data-data *real* pengoperasian unit pembangkit. Data-data tersebut *diplot* dan ditambahkan garis *polynomial orde 2*. Data-data dan gambar tersebut dapat dilihat pada sub bab 3.1.2. Contoh menghitung konstanta  $\alpha_1$ ,  $\beta_1$ ,  $\gamma_1$  pada pembangkit unit 1 adalah sebagai berikut. Data-data dan kurva konsumsi bahan bakar unit pembangkit 1 dapat dilihat pada tabel 3.2 dan gambar 3.4. Dari gambar 3.4 diambil 3 titik potong untuk mencari konstanta  $\alpha_1$ ,  $\beta_1$ ,  $\gamma_1$ . Seperti yang dijelaskan pada sub bab 2.2.1 yang mana 3 titik potong tersebut diambil secara acak.

Tabel 4.1 Ketiga Titik Potong x dan y

Daya (x)	Konsumsi Bahan Bakar (y)
$x_1 = 351$	$y_1 = 107$
$X_2 = 580$	$Y_2 = 170$
$X_3 = 770$	$Y_3 = 290$

Nilai-nilai pada tabel tersebut substitusikan ke persamaan 2.2, 2.3 dan 2.4 sehingga menjadi:

$$\begin{aligned} 107 &= \alpha_1 + \beta (351) + \gamma (251)^2 \\ 170 &= \alpha_2 + \beta (580) + \gamma (580)^2 \\ 290 &= \alpha_3 + \beta (770) + \gamma (770)^2 \end{aligned}$$

Persamaan tersebut menjadi:

$$\begin{aligned} 107 &= \alpha + 351 \beta + 123.201 \gamma \\ 170 &= \alpha + 580 \beta + 336.400 \gamma \\ 290 &= \alpha + 770 \beta + 592.900 \gamma \end{aligned}$$

Persamaan 4.1 disubstitusikan ke persamaan 4.3 dan persamaan 4.2 disubstitusikan ke persamaan 3.3.

$$\begin{aligned} 183 &= 419 \beta + 469.699 \gamma \\ 120 &= 190 \beta + 256.500 \gamma \end{aligned}$$

Persamaan 3.4 disubstitusikan ke persamaan 3.5.

$$\begin{aligned} 1.551 &= 1.823.069 \gamma \\ \gamma &= 0,0009 \end{aligned}$$

Persamaan 3.6 disubstitusikan ke persamaan 3.4.

$$\begin{aligned} 183 &= 419 \beta + 400 \\ \beta &= -0,517 \end{aligned}$$

Persamaan 4.6 dan 4.7 disubstitusikan ke persamaan 4.1.

$$\begin{aligned} 107 &= \alpha + 351 \beta + 123.201 \gamma \\ 107 &= \alpha + 351 (-0,5169) + 123.201 (0,0009) \\ \alpha &= 183,63 \end{aligned}$$

Persamaan 3.6, 3.7 dan 3.8 disubstitusikan ke persamaan 2.1. Sehingga karakteristik konsumsi bahan bakar unit pembangkit 1 adalah:

$$C_1 = 183,63 - 0,517 P_1 + 0,0009 P_1^2$$

Dengan cara yang sama pada masing-masing unit pembangkit maka nilai  $\alpha$ ,  $\beta$  dan  $\gamma$  masing-masing unit pembangkit dapat dilihat pada tabel berikut.

$$C_1 = 183,35 - 0,589 P_1 + 0,0009 P_1^2$$

$$C_2 = 183,81 - 0,567 P_2 + 0,0009 P_2^2$$

$$C_3 = 178,99 - 0,554 P_3 + 0,0009 P_3^2$$

$$C_4 = 161,3 - 0,473 P_4 + 0,0009 P_4^2$$

$$C_5 = 215,5 + 0,324 P_5 + 0,003 P_5^2$$

$$C_6 = 712,95 - 2,7126 P_6 + 0,0075 P_6^2$$

Untuk mendapatkan karakteristik konsumsi bahan bakar unit pembangkit, metode *dynamic programming* hanya didasarkan pada data-data konsumsi bahan bakar dan daya yang dibangkitkan yang telah ada. Metode *dynamic programming* hanya mempertimbangkan fenomena semakin besar beban maka konsumsi bahan bakar semakin banyak dan tidak mempertimbangkan fenomena-fenomena lain yang terjadi sebenarnya dilapangan yang menyebabkan hemat atau borosnya konsumsi bahan bakar seperti yang dijelaskan disub bab 2.3.

### 4.2 Analisa Formulasi Karakteristik

#### Konsumsi Bahan Bakar

Sub bab ini membahas pembebanan unit pembangkit dengan data pembagian beban sama dengan data dilapangan agar dapat dilihat perbedaan konsumsi bahan bakar menggunakan formulasi  $C_i$  yang diperoleh dari formulasi matematis menggunakan metode DP dengan data *real*

dilapangan. Data *real* dari lapangan dapat dilihat pada tabel 3.1. Contoh perhitungan:

Diketahui: beban pada Jam 01.00 adalah 2.011,82  
 Pembangkit yang dioperasikan adalah unit 2, unit 3 dan unit 4 yaitu unit pembangkit berbahan bakar gas, harga gas adalah Rp 600/m<sup>3</sup>  
 Unit 2 memikul beban = 648,78 kW  
 Unit 3 memikul beban = 713,48 kW  
 Unit 4 memikul beban = 649,60 kW

Ditanyakan: konsumsi bahan bakar unit pembangkit?  
 Biaya total konsumsi bahan Bakar?

Jawaban: menggunakan persamaan 2.1 dan 2.5

$$C_i = \alpha_i + \beta_i P_{gi} + \gamma_i P_{gi}^2$$

$$C_t = \sum_{i=1}^n C_i$$

Dari tabel 4.3 karakteristik konsumsi bahan bakar unit pembangkit adalah sebagai berikut:

$$C_2 = 183,81 - 0,567 P_2 + 0,0009 P_2^2$$

$$C_3 = 178,99 - 0,554 P_3 + 0,0009 P_3^2$$

$$C_4 = 161,30 - 0,473 P_4 + 0,0009 P_4^2$$

Maka persamaan 4.2 menjadi:

$$C_t = (183,81 - 0,567 P_2 + 0,0009 P_2^2) + (178,99 - 0,554 P_3 + 0,0009 P_3^2) + (161,30 - 0,473 P_4 + 0,0009 P_4^2)$$

$$C_t = (183,81 - 0,567 (648,78) + 0,0009 (648,78)^2) + (178,99 - 0,554 (713,48) + 0,0009 (713,48)^2) + (161,30 - 0,473 (649,60) + 0,0009 (649,60)^2)$$

$$C_t = 194,78 + 241,87 + 233,82 \text{ (m}^3\text{/jam)}$$

$$C_t = 670,47 \text{ (m}^3\text{/jam)}$$

Biaya konsumsi bahan bakar =  $C_t \times \text{harga bahan bakar}$

$$= 670,47 \text{ m}^3\text{/jam} \times \text{Rp } 600\text{/m}^3$$

$$= \text{Rp } 402.262 \text{ /jam}$$

Hasil perhitungan diatas akan menghasilkan biaya konsumsi bahan bakar Rp 402.262 /jam dan konsumsi bahan bakar unit 2 = 194,78 m<sup>3</sup>/jam, unit 3 = 241,87 m<sup>3</sup>/jam dan unit 4 = 233,82 m<sup>3</sup>/jam. Data pada tabel 3.1 dapat dilihat konsumsi bahan bakar unit 2 = 193,42 m<sup>3</sup>/jam, unit 3 = 241,65 m<sup>3</sup>/jam dan unit 4 = 238,21 m<sup>3</sup>/jam dan biaya konsumsi bahan bakar Rp 404.334 /jam.

### 4.3 Analisa Simulasi Pembebanan Ekonomisi Pembangkit Unit 2, Unit 3, dan Unit 4 Menggunakan Metode DP

Pada subbab 4.2 dibahas konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan pembangkit untuk membangkitkan dayanya. Pada sub bab 4.2 pembagian beban diasumsikan sama dengan data dilapangan. Namun pada sub bab 4.4 ini dilakukan pembagian beban menggunakan metode DP.

Pembangkit unit 2, unit 3 dan unit 4 adalah unit pembangkit yang berbahan bakar gas. Sub bab ini mensimulasikan pembagian beban menggunakan metode *dynamic programming* antar unit pembangkit tersebut. Contoh:

Diketahui: beban pada Jam 01.00 adalah 2.011,82.

Pembangkit yang dioperasikan adalah unit 2, unit 3 dan unit 4 yaitu unit pembangkit berbahan bakar gas, harga gas adalah Rp 600/m<sup>3</sup>.

Kemampuan masing-masing unit pembangkit sama yaitu 150 – 850 kW.

Ditanyakan: Pembagian beban antar unit pembangkit adar diperoleh penghematan konsumsi bahan bakar unit pembangkit?

Biaya total konsumsi bahan Bakar?

Jawaban: menggunakan persamaan 2.1 dan 2.5

$$C_i = \alpha_i + \beta_i P_{gi} + \gamma_i P_{gi}^2$$

$$C_t = \sum_{i=1}^n C_i$$

Dari tabel 4.3 karakteristik konsumsi bahan bakar unit pembangkit adalah sebagai berikut:

$$C_2 = 183,81 - 0,567 P_2 + 0,0009 P_2^2$$

$$C_3 = 178,99 - 0,554 P_3 + 0,0009 P_3^2$$

$$C_4 = 161,3 - 0,473 P_4 + 0,0009 P_4^2$$

Pada *software* karakteristik tersebut ditulis dengan:

$$\text{cost} = \begin{bmatrix} 183.35 & -0.589 & 0.0009 \\ 183.81 & -0.567 & 0.0009 \\ 178.99 & -0.554 & 0.0009 \\ 161.30 & -0.473 & 0.0009 \\ 215.5 & 0.324 & 0.003 \\ 712.95 & -2.7126 & 0.0075 \end{bmatrix};$$

Kemampuan unit pembangkit:

$$\text{mwlimits} = \begin{bmatrix} 150 & 850 \\ 150 & 850 \\ 150 & 850 \\ 150 & 850 \\ 150 & 850 \\ 150 & 850 \end{bmatrix};$$

$$\text{alpha2} = \text{cost}(2,1);$$

$$\text{beta2} = \text{cost}(2,2);$$

$$\text{gama2} = \text{cost}(2,3);$$

$$\text{Pmin2} = \text{mwlimits}(2,1);$$

$$P_{max2} = mwlimits(2,2);$$

$$\alpha3 = cost(3,1);$$

$$\beta3 = cost(3,2);$$

$$\gamma3 = cost(3,3);$$

$$P_{min3} = mwlimits(3,1);$$

$$P_{max3} = mwlimits(3,2);$$

$$\alpha4 = cost(4,1);$$

$$\beta4 = cost(3,2);$$

$$\gamma4 = cost(4,3);$$

$$P_{min4} = mwlimits(4,1);$$

$$P_{max4} = mwlimits(4,2);$$

Kemudian menghitung pembagian beban menggunakan persamaan (2.8):

$$P_2 = P_3 = P_4 = \frac{2011,82}{3} = 670,61$$

$$P_{gg} = P_{dt}/3;$$

$$P_2 = P_{gg};$$

$$P_3 = P_{gg};$$

$$P_4 = P_{gg};$$

Kemudian menghitung masing-masing konsumsi bahan bakar unit pembangkit menggunakan persamaan 4.2.

$$C_2 = 183,81 - 0,567 (671,61) + 0,0009 (671,61)^2 = 208,32 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$C_3 = 178,99 - 0,554 (671,61) + 0,0009 (671,61)^2 = 212,22 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$C_4 = 161,3 - 0,473 (668,61) + 0,0009 (668,61)^2 = 248,85 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$\text{Bahan\_Bakar\_2} = \alpha2 + \beta2 * P_2 + \gamma2 * P_2^2;$$

$$\text{Bahan\_Bakar\_3} = \alpha3 + \beta3 * P_3 + \gamma3 * P_3^2;$$

$$\text{Bahan\_Bakar\_4} = \alpha4 + \beta4 * P_4 + \gamma4 * P_4^2;$$

Kemudian menghitung biaya konsumsi bahan bakar:

$$\begin{aligned} \text{Biaya}_2 &= C_2 \times \text{harga bahan bakar} \\ &= 208,32 \times \text{Rp } 600/\text{m}^3 \\ &= \text{Rp } 124.991/\text{jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Biaya}_3 &= C_3 \times \text{harga bahan bakar} \\ &= 212,87 \times \text{Rp } 600/\text{m}^3 \\ &= \text{Rp } 127.330/\text{jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Biaya}_4 &= C_4 \times \text{harga bahan bakar} \\ &= 248,85 \times \text{Rp } 600/\text{m}^3 \\ &= \text{Rp } 149.307/\text{jam} \end{aligned}$$

$$\text{Harga\_BB\_1} = \text{Bahan\_Bakar\_1} * \text{Harga\_gas};$$

$$\text{Harga\_BB\_2} = \text{Bahan\_Bakar\_2} * \text{Harga\_gas};$$

$$\text{Harga\_BB\_4} = \text{Bahan\_Bakar\_4} * \text{Harga\_gas};$$

Kemudian menghitung total konsumsi bahan bakar dan total biaya:

$$C_t = C_1 + C_2 + C_3$$

$$\begin{aligned} C_t &= 208,32 + 212,87 + 248,85 \\ &= 669,38 \text{ m}^3/\text{jam} \end{aligned}$$

$$\text{Total Biaya} = \text{Biaya}_1 + \text{Biaya}_2 + \text{Biaya}_3$$

$$\begin{aligned} &= \text{Rp } 124.991/\text{jam} + \text{Rp } 127.330/\text{jam} + \\ &\quad \text{Rp } 149.307/\text{jam} \end{aligned}$$

$$= \text{Rp } 401.607/\text{jam}$$

$$\text{Delta\_BB\_124} = \text{Bahan\_Bakar\_1} + \text{Bahan\_Bakar\_2} + \text{Bahan\_Bakar\_4};$$

$$\text{Delta\_Harga\_124} = \text{Harga\_BB\_1} + \text{Harga\_BB\_2} + \text{Harga\_BB\_4};$$

Kemudian pembagian beban diiterasikan seperti persamaan 2.23.

$$P_{\text{ibaru}} = P_1 \pm \delta$$

Untuk variasi  $P_{\text{iterasi}} = P_1 \pm \delta$  dapat didekati dengan menggunakan logika matematis menggunakan nilai bit. Untuk bit = 0 diasumsikan minus (-) dan untuk bit = 1 diasumsikan plus (+). Nilai  $\delta$  penulis ambil asumsikan = 1 untuk memperbanyak kemungkinan, namun pada software penulis menyediakan masukan nilai  $\delta$  sesuai keinginan pengguna. Logika matematis untuk variasi pembebanan ekonomis antara 3 unit pembangkit dapat dilihat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4.11 Logika Variasi Iterasi 3 Unit Pembangkit

Variasi	$P_1^{(2)}$	$P_2^{(2)}$	$P_3^{(2)}$
1	$P_1 - \delta$	$P_2 - \delta$	$P_3 + 2\delta$
2	$P_1 - \delta$	$P_2 + 2\delta$	$P_3 - \delta$
3	$P_1 - 2\delta$	$P_2 + \delta$	$P_3 + \delta$
4	$P_1 + 2\delta$	$P_2 - \delta$	$P_3 - \delta$
5	$P_1 + \delta$	$P_2 - 2\delta$	$P_3 + \delta$
6	$P_1 + \delta$	$P_2 + \delta$	$P_3 - 2\delta$

Iterasi untuk contoh perhitungan ini penulis menggunakan variasi ke-6. Variasi selengkapnya dapat dilihat di *software*. Iterasi ke-2 adalah sebagai berikut:

$$P_2^{(2)} = P_2 + \delta = 671,61 \text{ kW}$$

$$P_3^{(2)} = P_3 + \delta = 671,61 \text{ kW}$$

$$P_4^{(2)} = P_4 - 2\delta = 668,61 \text{ kW}$$

Namun iterasi ke-2 harus memenuhi persamaan 2.26.

for k = 1 : Iterasi;

$$P1(k) = P_{gg} + (2 * dho * k);$$

$$P2(k) = P_{gg} - (dho * k);;$$

$$P3(k) = P_{gg} - (dho * k);;$$

Iterasi harus dihentikan jika salah satu pembangkit sudah tidak mampu memikul bebannya.

if( P2(k) >= Pmax || P2(k) <= Pmin ); break;

elseif( P3(k) >= Pmax || P3(k) <= Pmin); break;

elseif( P4(k) >= Pmax || P4(k) <= Pmin); break;

end;  
Kemudian menghitung masing-masing konsumsi bahan bakar unit pembangkit menggunakan persamaan 4.2.

$$C_2 = 183,81 - 0,567 (671,61) + 0,0009 (671,61)^2 = 208,96 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$C_3 = 178,99 - 0,554 (671,61) + 0,0009 (671,61)^2 = 212,87 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$C_4 = 161,3 - 0,473 (668,61) + 0,0009 (668,61)^2 = 247,38 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$\text{Bahan\_Bakar\_2 (k)} = \alpha_2 + \beta_2 * P_2(k) + \gamma_2 * P_2(k)^2;$$

$$\text{Bahan\_Bakar\_3 (k)} = \alpha_3 + \beta_3 * P_3(k) + \gamma_3 * P_3(k)^2;$$

$$\text{Bahan\_Bakar\_4 (k)} = \alpha_4 + \beta_4 * P_4(k) + \gamma_4 * P_4(k)^2;$$

Kemudian menghitung biaya konsumsi bahan bakar:

$$\text{Biaya}_2 = C_2 \times \text{harga bahan bakar} = 208,96 \text{ m}^3/\text{jam} \times \text{Rp } 600/\text{m}^3 = \text{Rp } 125.375 /\text{jam}$$

$$\text{Biaya}_3 = C_3 \times \text{harga bahan bakar} = 208,96 \times \text{Rp } 600/\text{m}^3 = \text{Rp } 127.722/\text{jam}$$

$$\text{Biaya}_4 = C_4 \times \text{harga bahan bakar} = 247,38 \times \text{Rp } 600/\text{m}^3 = \text{Rp } 148.428/\text{jam}$$

$$\text{Harga\_BB\_1(k)} = \text{Bahan\_Bakar\_1 (k)} * \text{Harga\_gas};$$

$$\text{Harga\_BB\_2(k)} = \text{Bahan\_Bakar\_2 (k)} * \text{Harga\_gas};$$

$$\text{Harga\_BB\_3(k)} = \text{Bahan\_Bakar\_3 (k)} * \text{Harga\_gas};$$

Kemudian menghitung total konsumsi bahan bakar dan total biaya:

$$C_t = C_1 + C_2 + C_3 = 208,96 + 212,87 + 247,38 = 669,21 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$\begin{aligned} \text{Total Biaya} &= \text{Biaya}_1 + \text{Biaya}_2 + \text{Biaya}_3 \\ &= \text{Rp } 116.234 /\text{jam} + \text{Rp } 127.722/\text{jam} + \text{Rp } 148.428 /\text{jam} \\ &= \text{Rp } 401.526 /\text{jam} \end{aligned}$$

$$\text{Delta\_BB\_123(k)} = \text{Bahan\_Bakar\_1(k)} + \text{Bahan\_Bakar\_2 (k)} + \text{Bahan\_Bakar\_3(k)};$$

$$\text{Delta\_Harga\_123(k)} = \text{Harga\_BB\_1(k)} + \text{Harga\_BB\_2 (k)} + \text{Harga\_BB\_3(k)};$$

Kemudian diiterasikan sampai iterasi yang diinginkan. Pada contoh perhitungan ini penulis

menghitung 20 iterasi yang dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 4.12 Hasil perhitungan iterasi 1 – 20

Iterasi	Daya yang dibangkitkan (kW)			Konsumsi bahan bakar (m <sup>3</sup> /jam)			Biaya Konsumsi BB (Rp/jam)
	Unit 2	Unit 3	Unit 4	Unit 2	Unit 3	Unit 4	
1	670,61	670,61	670,61	208,32	212,22	248,85	401.627
2	671,61	671,61	668,61	208,96	212,87	247,38	401.526

Tabel 4.12 Hasil perhitungan iterasi 1 – 20 (Lanjutan)

Iterasi	Daya yang dibangkitkan (kW)			Konsumsi bahan bakar (m <sup>3</sup> /jam)			Biaya Konsumsi BB (Rp/jam)
	Unit 2	Unit 3	Unit 4	Unit 2	Unit 3	Unit 4	
3	672,61	672,61	666,61	209,60	213,53	245,92	401.430
4	673,61	673,61	664,61	210,25	214,18	244,47	401.341
5	674,61	674,61	662,61	210,89	214,84	243,03	401.259
6	675,61	675,61	660,61	211,54	215,50	241,59	401.183
7	676,61	676,61	658,61	212,19	216,17	240,17	401.114
8	677,61	677,61	656,61	212,84	216,83	238,74	401.051
9	678,61	678,61	654,61	213,50	217,50	237,33	400.995
10	679,61	679,61	652,61	214,15	218,17	235,92	400.945
11	680,61	680,61	650,61	214,81	218,84	234,52	400.901
12	681,61	681,61	648,61	215,47	219,51	233,13	400.864
13	682,61	682,61	646,61	216,13	220,18	231,75	400.834
14	683,61	683,61	644,61	216,79	220,86	230,37	400.810
15	684,61	684,61	642,61	217,46	221,54	229,00	400.792
16	685,61	685,61	640,61	218,12	222,21	227,63	400.781
17	<b>686,61</b>	<b>686,61</b>	<b>638,61</b>	<b>218,79</b>	<b>222,90</b>	<b>226,28</b>	<b>400.777</b>
18	687,61	687,61	636,61	219,46	223,58	224,93	400.779
19	688,61	688,61	634,61	220,13	224,26	223,58	400.787
20	689,61	689,61	632,61	220,80	224,95	222,25	400.802

Dari hasil perhitungan pada tabel diatas maka dapat dicari biaya yang paling ekonomis menggunakan persamaan 2.6 (mencari biaya yang paling minimal). Dari tabel dapat dilihat bahwa biaya paling minimal adalah Rp400.777/jam, sehingga unit pembangkit 2 dioperasikan untuk membangkitkan daya sebesar 689,61 kW, unit 3 sebesar 689,61 kW dan unit 4 sebesar 632,61 kW.

Untuk hasil iterasi selengkapnya dengan variasi sebanyak mungkin dapat menggunakan bantuan *software*. Hasil simulasi pembagian beban menggunakan metode DP pembebanan unit pembangkit 1, unit pembangkit 2, dan unit pembangkit 4 untuk memikul beban pada tanggal 3 November 2008 adalah sebagai berikut:

Data hasil rekapitulasi simulasi pada tabel diatas ditunjukkan biaya konsumsi bahan bakar untuk memikul beban selama 24 jam. Data lapangan, sub bab 4.2 dan sub bab 4.4 mengoperasikan pembangkit yang sama yaitu unit 2, unit 3 dan unit 4, namun hasilnya berbeda. Pada sub bab 4.4 simulasi pembagian beban unit pembangkit menggunakan metode DP menghasilkan variasi pembagian beban (beban yang dipikul unit pembangkit) berbeda dengan sub bab 4.2 dan data lapangan sehingga menghasilkan penghematan bahan bakar sebesar Rp 62.587/hari. Pada sub bab 4.4 dapat dilihat hasil perhitungan konsumsi bahan bakar dengan pembagian beban pembangkit yang disimulasikan sama dengan pembagian beban pembangkit data lapangan, namun menghasilkan perbedaan biaya konsumsi bahan bakar dengan selisih konsumsi bahan bakar selama 1 hari sebesar 50,97 m<sup>3</sup>/hari dan selisih biaya Rp 31.182/hari. Perbedaan ini disebabkan karena metode DP tidak bersifat *fleksibel* karena tidak mempertimbangkan umur mesin, kualitas bahan bakar, pelumasan dan pendinginan sistem pembangkitan seperti yang telah dijelaskan pada sub bab 2.3.1.

Hasil simulasi pembebanan ekonomis unit pembangkit untuk data tanggal 3 November 2008 memberikan penghematan biaya konsumsi bahan bakar sebesar Rp 1.192.525/jam. Penghematan terjadi karena bahan bakar yang dibutuhkan untuk membangkitkan daya yang dibutuhkan beban lebih murah dengan mengoperasikan 4 unit pembangkit karena beban yang dipikul pembangkit lebih rendah. Pada landasan teori konsumsi bahan bakar unit pembangkit dipengaruhi oleh besar kecilnya beban yang dipikul pembangkit.

Metode *dynamic programming* hanya mempertimbangkan fenomena semakin besar beban maka konsumsi bahan bakar semakin banyak dan tidak mempertimbangkan fenomena-fenomena lain yang terjadi sebenarnya dilapangan yang menyebabkan hemat atau borosnya konsumsi bahan bakar seperti yang dijelaskan di sub bab 2.3.1. Oleh karena itu hasil simulasi ini hanya sebagai penunjang pengambilan keputusan oleh Operator pembangkit, karena jika diterapkan hasil simulasi konsumsi bahan bakar yang didapatkan tidak akan sama dengan konsumsi bahan bakar bila hasil simulasi pembagian beban diterapkan, sehingga Operator dapat menggunakan hasil atau tidak menggunakan hasil simulasi.

Kesulitan yang dihadapi dalam menghitung pembagian beban menggunakan metode DP adalah banyaknya pendekatan pembagian beban menggunakan bantuan bit,

kurangnya referensi untuk melakukan pendekatan iterasi, referensi dari hasil penelitian yang sudah ada menggunakan pendekatan yang berbeda-beda dan tidak ada rumus matematis standar<sup>[8]</sup>. Banyaknya variasi iterasi menyebabkan waktu yang digunakan untuk mendapatkan hasil perhitungan lama. Tidak ada pendekatan pasti untuk menghitung iterasi pembagian beban.

## V. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa dari pembagian beban unit pembangkit menggunakan metode *dynamic programming* didapat kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil simulasi perhitungan menggunakan metode *dynamic programming* dengan mengoperasikan pembangkit unit 1, unit 2, unit 3 dan unit 4 biaya operasi pembangkit adalah Rp 6.718.079 /hari. Efisiensi penghematan konsumsi bahan bakar adalah Rp 1.192.525/hari.
2. Kelebihan *software* simulasi ini adalah dapat mempercepat perhitungan pembebanan ekonomis unit pembangkit. Kekurangan *software* simulasi ini adalah formulasi pembebanan ekonomis menggunakan metode *dynamic programming* hanya memperhitungkan jumlah beban yang akan dilayani pembangkit dan tidak memperhitungkan usia pembangkit, sistem pelumasan, sistem pendinginan dan sistem pemasukan udara dan bahan bakar seperti yang dijelaskan di sub bab 2.3.1 sehingga hasil perhitungan simulasi dan data lapangan tidak sama.

### 5.2 Saran

1. Hasil simulasi dapat digunakan sebagai penunjang pengambilan keputusan oleh Operator pembangkit karena memberikan efisiensi konsumsi bahan bakar, namun Operator boleh menerapkan hasil simulasi atau tidak.
2. Dalam mengoperasikan pembangkit sebaiknya tidak dilakukan pembagian beban secara merata pada setiap unitnya karena setiap unit pembangkit memiliki karakteristik yang berbeda sehingga biaya operasinya berbeda pula. Pembangkit yang biaya operasinya rendah diutamakan.
3. Pembangkit sebaiknya tidak dioperasikan pada batas maksimumnya karena akan menyebabkan umur generator berkurang serta dapat merubah karakteristiknya.
4. Metode lain yang dapat dipakai untuk pembebanan ekonomis pembangkit dapat menggunakan metode *Linier Programming*.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Arismunandar A., Kuwara, “*Teknik Tenaga Listrik*”, Penerbit Pradnya Paramita, Jakarta, 2000.
- [2] Basuki, Cahyo A., “*Analisis Konsumsi Bahan Bakar Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap Dengan Menggunakan Metode Least Square*”, Laporan Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro Universitas Diponegoro, 2009.
- [3] Cekdin, Cekmas, “*Sistem Tenaga Listrik*”, Penerbit Andi Yogyakarta, Yogyakarta, 2007.
- [4] Das, JC, “*Power System Analysis*”, ABB Electrical System Technology Institute, Chicago.
- [5] Djiteng, Marsudi, “*Operasi System Tenaga Listrik*”, Balai Penerbit & Humas ISTN, Jakarta, 1990.
- [6] Djiteng, Marsudi, “*Pembangkitan Energi Listrik*”, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- [7] Hadi, Sasono, “*Pembagian Beban Generator*”.
- [8] Handoko, Hani, “*Dasar-Dasar Operations Research*”, Bulaksumur, 1993.
- [9] Imam, Kamarul, “*Dynamic Progrmming*”.
- [10] Kadir, Abdul, “*Energi*“, Penerbit Universitas Indonesia, 1995.
- [11] Kadir, Abdul, “*Pembangkit Tenaga Listrik*”, Penerbit Universitas Indonesia, Jakarta, 1996.
- [12] Kirschen, Daniel, “*Unit Commitment*”.
- [13] Miller, Robert, H, “*Power System Operation*”, McGraw-Hill, Library Of Congress Cataloging-in-Publication Data, 1993.
- [14] Momoh, James, “*Electrical Power System Applications Of Optimization*”, Howart University, Washington D.C.
- [15] Muda, Iskandar, “*Mesin Diesel Dual-Fuel*”, Lapaoran Tugas Akhir Teknik Mesin Universitas Diponegoro, 2008.
- [16] Murti, PSR, “*Power System and Control*”, McGraw-Hill, Library Of Congress Cataloging-in-Publication Data, New Delhi.



Erlina Luciana (L2F 004 474) lahir di Bengkulu, menyelesaikan pendidikan dasar hingga pendidikan menengah di Bengkulu. Saat ini sedang menempuh pendidikan di jurusan Teknik Elektro bidang Konsentrasi Teknik Energi Listrik Universitas Diponegoro

Semarang, Maret 2009  
Menyetujui

Pembimbing I

Pembimbing II

Ir. Tedjo Sukmadi, M.T.  
Handoko, S.T., M.T.  
NIP 131 764 876

Susatyo  
NIP 132 282 683