

dimensi geografis, kendala transmisi (*transmission bottlenecks*), struktur kepemilikan, pertumbuhan beban, komposisi konsumen, regulasi (energi primer, tarif dan penjualan ritel), serta pemisahan fungsi penunjang pelaksanaan jual beli listrik (*system operator, market operator* dan *transmission owner*). Aturan pasar menyangkut antara lain: sifat *pool*, cara penetapan pemenang bidding, cara penetapan harga, pelaksanaan koordinasi ekonomi berkaitan dengan unit commitment dan maintenance scheduling, serta cara penanganan kendala transmisi dalam penentuan harga, yaitu dengan memasukkan faktor kendala transmisi ke dalam harga spot sehingga menyebabkan harga spot berbeda untuk tiap titik pada sistem (*nodal price*).[6]

III. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

Penelitian yang dilakukan mempunyai tujuan untuk menghitung daya injeksi pada masing-masing bus, menghitung harga energi di semua bus dan biaya kongesti akibat kendala jaringan, dapat menganalisis peran kontrak kongesti transmisi, dan dapat memprakirakan aturan bagi pasar yang kompetitif.

Manfaat penelitian ini dapat digunakan oleh sektor kelistrikan di Indonesia dalam pengimplementasian pasar yang kompetitif bagi energi listrik, dan juga memberikan gambaran umum restrukturisasi sistem energi kelistrikan yang meliputi penentuan harga energi bus dan biaya kongesti agar dicapai titik operasi yang optimal, biaya transmisi. Dan pengaruh biaya kongesti untuk menciptakan keseimbangan dan keadilan bagi peserta pasar.

IV. METODE PENELITIAN

Untuk menentukan harga energi di semua titik simpul dalam suatu sistem terpisah dipengaruhi oleh :

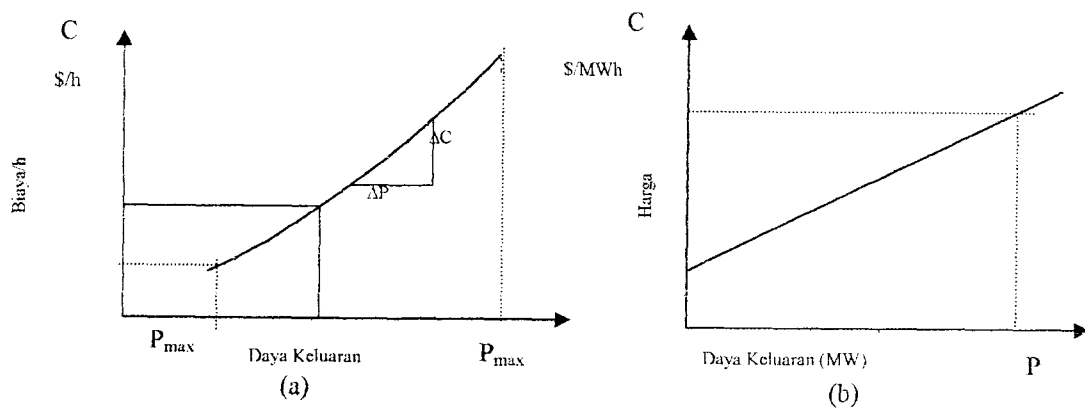
- Inkeremental Pembangkit dan dekremental konsumen
- Suseptansi jaringan transmisi
- Kapasitas jaringan transmisi



Akibat penerapan kongesti jaringan transmisi, menimbulkan perbedaan harga energi bus i dengan bus j . Harga energi ini akan berfluktuasi, parameter yang mempengaruhi harga energi bus i adalah : Biaya Marginal Bus; Biaya Kongesti; Biaya rugi-rugi

4.1 Fungsi Inkremental Generator

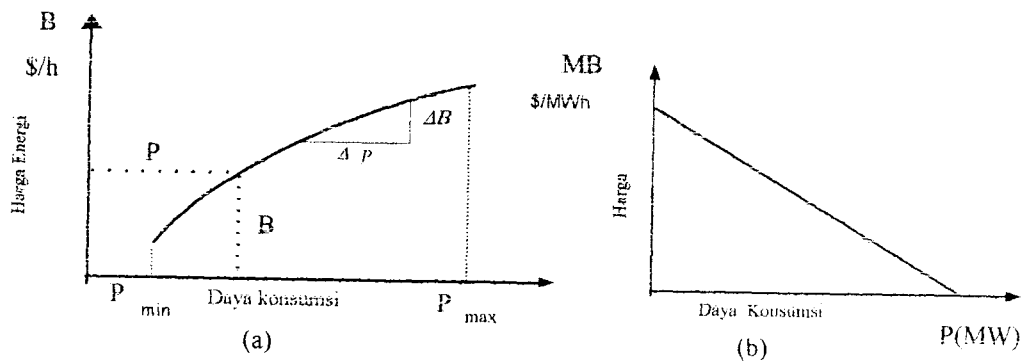
Merupakan suatu fungsi perubahan masukan terhadap perubahan keluaran keluaran untuk suatu pembangkit dalam dollar per megawatt jam versus keluaran daya seperti terlihat pada gambar 4.1.



Gambar 4.1. (a) Kurva masukan-keluaran Pembangkit
(b) Kurva Inkremental Pembangkit

4.2 Fungsi Dekremental Benefit

Fungsi Dekremental Benefit merupakan perubahan pendapatan terhadap perubahan daya yang dikonsumsi. Dekremental konsumen sangat tergantung pada kondisi beban.



Gambar 4.2 (a) Kurva Masukan-keluaran Konsumen
(b) Kurva Dekremental konsumen

4.3 Harga energi dan biaya kongesti

Model yang digunakan adalah model yang dikembangkan oleh Schweppe dkk[5]. Dengan modifikasi yang cocok digunakan dalam model optimisasi.

Misal :

z_{ijjk} = Daya nyata yang mengalir dari bus i ke j pada saluran k. Jadi

$$z_{Pijk} = G_k[V_i^2 - V_i V_j \cos(\delta_i - \delta_j)] + \Omega_k V_i V_j \sin(\delta_i - \delta_j) \quad (1)$$

dengan,

$$G_k = R_k / (R_k^2 + X_k^2) \quad (2)$$

dan

$$\Omega_k = X_k / (R_k^2 + X_k^2) \quad (3)$$

resistansi saluran adalah R_k dan reaktansinya adalah X_k . Disini δ_j = Sudut fasa tegangan pada bus j, dan V_i = magnitudo tegangan pada bus i.

Rugi-rugi yang dihasilkan adalah,

$$L_{Pk} = z_{Pijk} + z_{Pjik} \quad (4)$$

Jadi,

$$L_{Pk} = G_k[V_i^2 + V_j^2 - 2V_i V_j \cos(\delta_i - \delta_j)] \quad (5)$$

Jika $\delta_i - \delta_j$ kecil, maka

$$\cos(\delta_i - \delta_j) \approx 1 - (\delta_i - \delta_j)^2 / 2 \quad (6)$$

Dengan menggunakan asumsi per unit sistem [9], dengan $V_i \approx V_j \approx 1$, maka,

$$LP_k \approx G_k(\delta_i - \delta_j)^2 \quad (7)$$

Sebagai sebuah hampiran pada aliran daya, dapat pula diasumsikan $\delta_i - \delta_j$ adalah kecil jadi,

$$\cos(\delta_i - \delta_j) \approx 1 \quad (8)$$

dan

$$\sin(\delta_i - \delta_j) \approx (\delta_i - \delta_j), \quad (9)$$

pada kasus dengan $V_i \approx V_j \approx 1$ akan menjadi

$$Z_{P_{ijk}} \approx \Omega_k(\delta_i - \delta_j) \quad (10)$$

harus diperhatikan hampiran ini juga memerlukan $G_k \ll \Omega_k$, yang sesuai untuk saluran transmisi. Selain itu juga persentase perbedaan dalam tegangan.

Kemudian kombinasi dengan hampiran rugi saluran akan didapat,

$$L_{Pk} = G_k Z_{Pk}^2 / \Omega_k^2 \quad (11)$$

Dari persamaan (11) untuk pendekatan rugi-rugi dengan notasi

$$Z_{P_{ijk}} \approx -Z_{P_{jik}} \approx Z_{Pk} \quad (12)$$

Misal,

n_B = Jumlah bus

n_L = Jumlah saluran

$A = n_L \times n_B$ Matrik incident jaringan dengan elemen 0, 1, -1 berkaitan dengan interkoneksi pada jaringan. Jika saluran k berasal dari bus i dan berakhir pada bus j, maka $a_{ki} = 1 = -a_{kj}$.

$y_P = g - d = n_B$ Vektor injeksi real pada bus

$z_P = n_L$ Vektor aliran daya real pada line

$\delta = n_B$ Vektor sudut relatif tegangan ke bus swing ($\delta_{swing} = 0$)

Ω = Diagonal matrik dari elemen Ω_k ,

G = Diagonal matrik dari element G_k ,

R = Diagonal matrik dari elemen G_k/Ω_k^2

Jika $X_k \gg R_k$ maka $G_k/\Omega_k^2 \approx R_k$ dan matrik R menjadi diagonal matrik resistansi.

Pendekatan ini sebuah pendekatan yang dikembangkan Schweppe dkk, tetapi alternatif aplikasi yang dikembangkan disini terlihat lebih baik tanpa mengurangi kemudahan perhitungannya.

Kemudian dengan menggunakan hukum kekekalan pada aliran masuk dan keluar dari bus

$$y_p = A^t z_p \quad (13)$$

dari (10)

$$z_p = \Omega A \delta \quad (14)$$

Jadi,

$$y_p = A^t \Omega A \delta \quad (15)$$

Dari (11), hampiran rugi-rugi menjadi

$$L_p = z_p^t R z_p \quad (16)$$

Dengan penyederhanaan diatas, model optimal aliran daya dapat diekspresikan sebagai sebuah persoalan optimasi nonlinear. Misal,

B = fungsi keuntungan atas demand

C = fungsi biaya atas pembangkitan

z_{\min}, z_{\max} = limit atas dan bawah aliran daya nyata pada saluran

U_{int}, W_{int} = Matrik aliran saluran dan beban bus



U_{\min}, U_{\max} = limit atas dan bawah kendala saluran

Jadi aliran daya optimal dapat didefinisikan,

$$\begin{array}{ll} \text{Max} & B(d) - C(g) \\ \text{d,g,y,zp,\delta} & \end{array} \quad (17)$$

dengan kendala:

$$g-d = y \quad (18)$$

$$y = A^1 z \quad (19)$$

$$z_p = \Omega A \delta \quad (20)$$

$$\delta_{\text{swing}} = 0 \quad (21)$$

$$z_{\min} \leq z_p \leq z_{\max} \quad (22)$$

$$U_{\min} \leq U_{\text{int}z_p} - W_{\text{int}y} \leq U_{\max} \quad (23)$$

Model ini terdiri dari kendala-kendala linier dan fungsi objektif yang nonlinear, jika fungsi yang dicakup hanya daerah dibawah kurva beban, cara ini menghasilkan penyaluran yang optimal.

V. HASIL DAN PEMBAHASAN

Simulasi pada sistem seperti pada gambar 5.1. (hasil input dan output program dapat dilihat pada lampiran L.1. dan L.2.), yang menggunakan kendala untuk limit daya pada pembangkit thermal dan kendala pada saluran MX dan NX, menghasilkan harga energi pada masing-masing bus sebagai berikut :