

SIMULASI BIAYA PENYALURAN DAYA LISTRIK DENGAN METODE *NASH GAME*

Fathia Qanary (L2F 096 588) Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

Abstrak

Pengelolaan sarana pokok kelistrikan seperti pembangkit tenaga listrik dan penyalurannya menjadi faktor utama ketersediaan kebutuhan listrik secara kontinyu. Sistem interkoneksi memungkinkan antar area melakukan pengaturan pemanfaatan energi listrik, untuk kebutuhan daya listrik yang diperlukan dan untuk biaya yang dikeluarkan

Penggunaan teori Nash game akan sangat membantu dalam menentukan besar transaksi daya listrik dan besar biaya penyaluran daya listrik antar area yang optimal.

Kata kunci : Nash Game, Transaksi Daya, Transaksi Biaya

I. PENDAHULUAN

Layaknya sebuah komoditi, maka listrik pun segera bisa diperdagangkan secara terbuka. Besarnya tarif listrik yang dijual kepada industri mempengaruhi biaya produksi dan mendorong perusahaan tersebut untuk beroperasi secara ekonomis.

Untuk itu diperlukan adanya perjanjian kerjasama jual beli listrik yang besar, ditandatangani oleh penyalur tenaga listrik (suplier) maupun pihak pembeli (buyer) untuk melakukan jual beli listrik sebesar daya yang diinginkan oleh industri tersebut dengan menggunakan metode *Nash Game*.

Metode *Nash Game* merupakan suatu metode permainan dimana penjual dan pembeli dalam hal ini penyalur tenaga listrik dan suatu perusahaan industri dianggap sebagai pemain yang membeli serta menjual energi listrik yang mengacu kepada suatu harga pasar.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Sistem Tenaga Listrik

Salah satu cara untuk mengirimkan energi adalah melalui bentuk energi listrik. Apabila saluran transmisi menyalurkan tenaga listrik bertegangan tinggi ke pusat – pusat beban dalam jumlah besar, maka saluran distribusi berfungsi membagikan tenaga listrik tersebut kepada pihak pemakai melalui saluran tegangan rendah [23].

Sistem tenaga listrik dirancang untuk dapat mengirim energi listrik dengan cara yang efisien dan aman kepada para pelanggan. Namun demikian, tugas perencana sistem tidak terbatas pada menjamin ketersediaan pembangkitan yang cukup saja, tapi juga harus mempertimbangkan saluran transmisi yang tersedia, peralatan sistem yang andal, serta cara

operasi yang ekonomis untuk bermacam-macam keadaan beban.

2.2. Pengoperasian Sistem Tenaga Listrik

Dengan makin besarnya suatu sistem tenaga listrik, makin banyak pula unsur-unsur yang harus dikoordinasikan serta harus dipantau serta diperlukan pula sistem pengoperasian yang cermat yang meliputi perencanaan, pelaksanaan serta pengaturan dan analisa operasi.

Sistem yang besar melibatkan biaya operasi yang besar pula, oleh karena itu diperlukan berbagai teknik optimasi guna menekan biaya operasi seminimal mungkin. Prinsip perencanaan operasi adalah agar daya yang dibangkitkan sama dengan beban ditambah rugi-rugi, harus selalu dipenuhi setiap waktu dengan biaya seminimal mungkin.

2.3. Prinsip *Marginal Cost*

Marginal Cost merupakan dasar harga dari suatu produk atau pelayanan yang memberikan efisiensi penyelesaian ekonomis untuk menghasilkan tarif. *Marginal cost* mempunyai dua prinsip, yaitu *short run marginal cost* dan *long run marginal cost* yang keduanya mendasari struktur harga dalam penyaluran tenaga listrik [15].

2.4. Sentralisasi dan Desentralisasi Sistem Tenaga Listrik

Di dalam sistem tenaga listrik, penentuan sentralisasi dan desentralisasi [6] didasarkan pada hal berikut :

- Sistem sentralisasi tenaga listrik : Sistem ini terdiri dari beberapa area pemanfaat tenaga listrik yang dikontrol melalui sistem pengontrol yang terpusat .

- Sistem desentralisasi tenaga listrik : Pada sistem ini, masing-masing area pemanfaat tenaga listrik mempunyai kebebasan dalam mengontrol penyaluran tenaga listriknya.

2.5. Teori Nash Game

2.5.1. Dasar Teori Permainan

Game theory menganalisa interaksi strategi yang mana hasil dari salah satu aksi tergantung pada aksi yang lain. Suatu keadaan yang dianggap sebagai suatu permainan, harus terdapat paling sedikitnya dua pemain (*player*) yang saling berhubungan yang mana aksi dari pemain lawan diperhitungkan pada saat merumuskan strategi dari masing-masing pemain.

Dalam teori permainan kita mencari aturan-aturan yang berlaku yang dapat memecahkan suatu permainan.

2.5.2. Teori Dasar Nash Equilibrium Game

Dalam *zero-sum game*, komunikasi tidak digunakan, karena tidak ada kemungkinan dari pemain tersebut bekerja sama. Sedangkan pada *non zero-sum game* terdapat komunikasi antara pemainnya, bahkan komunikasi antara pemain mempunyai pengaruh yang sangat besar pada hasil permainan tersebut.

Permainan yang pemainnya dapat berkomunikasi dan membuat suatu ikatan perjanjian disebut dengan *cooperative game*. Sedangkan permainan yang para pemainnya tidak diperbolehkan untuk komunikasi disebut *non cooperative game*. Solusi non untuk *cooperative game* dengan permainan dua orang telah ditemukan oleh seorang matematikawan bernama *John F. Nash* [8].

2.6. Perhitungan Biaya Penyaluran Tenaga Listrik Dengan Metode Nash Game

2.6.1. Dasar Optimalisasi Biaya Penyaluran Tenaga Listrik

Tujuan utama penggunaan metode *Nash Game* yaitu untuk meminimalkan biaya operasi yang ada dari penjual dan pembeli.. Meskipun *marginal cost* mempunyai peranan yang sangat penting di dalam analisa transaksi, asumsi yang harus dipatuhi mengenai pemberian harga seperti, konsumen tidak mempunyai pilihan tapi untuk membeli daya dari harga pasar harus didasarkan pada *marginal cost*.

Transaksi daya listrik serta transaksi harga daya listrik pada sistem desentralisasi akan

dinegosiasi oleh penjual dan pembeli, dan besarnya penghematan dalam penyaluran beban akan menunjukkan manfaat dari kerjasama didalam sistem tenaga listrik yang interkoneksi.

2.6.2. Tawar-Menawar Untuk Area Transaksi

Untuk menganalisa transaksi sebagai model perdagangan maka digunakan *Nash bargaining method*. Jika penjual dan pembeli ingin mencapai suatu persetujuan melalui transaksi, mereka perlu bernegosiasi mengenai pola suatu aliran tenaga listrik yang akan diterima oleh kedua pihak. Hal ini berhubungan dengan koordinasi yang dimiliki oleh area dalam sistem desentralisasi yang berbeda dengan sistem sentralisasi.

Penyelesaian *Nash* dalam biaya penyaluran tenaga listrik dirumuskan sebagai berikut :

$$\max \sum_{k \in K} \prod_{P_{ij} T_{ij}} R_{ij}^k(p_{ij}, T_{ij}) \quad (2.1)$$

$$R_{ij}^k(P_{ij}, T_{ij}) = P_{ij} T'_{ij} - C_i(P_{gi} + T_{ij}) + C_i(P_{gi}) \quad (2.2)$$

$$T_{ij} = T'_{ij} + \Delta T_{ij} \quad (2.3)$$

Dimana

R = fungsi keuntungan untuk kontrak ke k

K = banyaknya kontrak

i, j = daerah transaksi untuk suatu kontrak

P = harga transaksi per unit

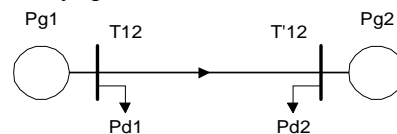
T_{ij} = transaksi daya yang dikirim

T'_{ij} = transaksi daya yang diterima

ΔT = rugi-rugi transmisi

P_{gi} = daya keluaran dari sistem i

C_i = biaya produksi



Gambar 2.1. Sistem transaksi dua area

Pada Gambar 2.1. dapat dilihat bahwa pembayaran didasarkan oleh jumlah tenaga listrik yang diterima oleh pembeli, dimisalkan rugi-rugi transmisi dihitung pada biaya operasi dari penjual. Pada sistem dua area dari Gambar 2.1 tersebut dianalisa berdasarkan metode perdagangan *Nash* untuk mencari harga optimal untuk tiap-tiap transaksi. Permasalahan perdagangan dua area ini dirumuskan sebagai

$$L = \max R_1 \cdot R_2 \quad (2.4)$$

$$R_1 = p_T T'_{12} + (-C_1(P_{g1} + T_{12}) + C_1(P_{g1})) \quad (2.5)$$

$$R_2 = -p_T T'_{12} + (-C_1(P_{g2} + T_{12}) + C_2(P_{g2})) \quad (2.6)$$

Pertumbuhan kapasitas serta keuntungan ditentukan oleh $R_1 \geq 0$ dan $R_2 \geq 0$ sehingga menunjukkan bahwa keuntungan negatif ditiadakan. Saat tidak ada transaksi, pembayaran untuk kedua belah pihak sama dengan nol.

Untuk mendapatkan hasil yang maksimal dari persamaan (2.4) maka secara matematis dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\frac{\partial}{\partial P_T} = T_{12}(-P_T T'_{12} - C_2(P_{g2} - T_{12}) + C_2(P_{g2})) \quad (2.7)$$

$$T_{12}(P_T T'_{12} + C_1(P_{g1}) - C_1(P_{g1} + T_{12})) = 0$$

dan

$$\frac{\partial}{\partial T_{12}} = \left(P_T \frac{\partial C_1(P_{g1} + T_{12})}{\partial T_{12}} \cdot \frac{\partial C_2(P_{g2} - T_{12})}{\partial T_{12}} - P_T T'_{12} + C_2(P_{g2}) - C_2(P_{g2} - T_{12}) \right) +$$

$$\left(-P_T + \frac{\partial C_2(P_{g2} - T_{12})}{\partial T_{12}} \right) (P_T T'_{12} + C_1(P_{g1}) - C_1(P_{g1} + T_{12})) = 0 \quad (2.8)$$

Nilai optimal dari P_T diturunkan dari persamaan (2.9) yang menunjukkan perubahan rata-rata pada operasi sistem dibagi dengan jumlah transaksi.

$$P_T = \frac{(-C_2(P_{g2} - T_{12}) + C_2(P_{g2})) + (-C_1(P_{g1}) + C_1(P_{g1} + T_{12}))}{2T_{12}} \quad (2.9)$$

Maka dari itu biaya optimal tidak ditentukan oleh satu area, dan ini tergantung pada daya yang ditransmisikan dan *marginal cost* dari kedua area.

2.6.3. Transaksi Optimal dan Biaya Optimal

Meskipun *marginal cost* berhubungan dengan sistem optimal, hal ini tidak dapat memberikan keuntungan yang sama pada kedua area. Hal ini bertolak belakang dengan persamaan (2.9), yaitu :

$$P_T = \left(\frac{-C_2(P_{g2} - T_{12}) + C_2(P_{g2})}{T_{12}} + \frac{-C_1(P_{g1}) + C_1(P_{g1} + T_{12})}{T_{12}} \right) / 2$$

$$= \frac{(\bar{P}_1 + \bar{P}_2)}{2} \quad (2.10)$$

dimana \bar{P}_1 dan \bar{P}_2 merupakan harga untuk kedua pengguna, dan biaya transaksi merupakan rata-rata kedua harga tersebut.

Marginal cost untuk operasi optimal dari dua area yang interkoneksi diberikan dalam persamaan (2.11);

$$\lambda_{op} = \frac{\partial C_1(P_{g1} + T_{12})}{\partial P_{g1}} = \frac{\partial C_2(P_{g2} - T_{12})}{\partial P_{g2}} \quad (2.11)$$

Jika rugi-rugi transaksi diabaikan yaitu $T_{12} = T'_{12}$ dan dengan menggunakan persamaan (2.10) harga transaksi optimal dan λ_{op} akan dihubungkan sebagai berikut;

$$P_T = \lambda_{op} + (C_2 - C_1) T_{12} / 2 \quad (2.11)$$

$$\left. \begin{array}{l} P_T > \lambda_{op} \quad \text{jika } C_2 > C_1 \\ P_T = \lambda_{op} \quad \text{jika } C_2 = C_1 \\ P_T < \lambda_{op} \quad \text{jika } C_2 < C_1 \end{array} \right\} \quad (2.12)$$

Hasil tersebut digunakan untuk sistem rugi-rugi.

Berdasarkan pada persamaan (2.8),

$$\frac{\partial C(P_{g1} + T_{12})}{\partial T_{12}} \cdot \frac{\partial T_{12}}{\partial T'_{12}} = \frac{\partial C_2(P_{g2} - T'_{12})}{\partial T'_{12}} = 0 \quad (2.13)$$

dimana dalam keadaan rugi-rugi mengacu pada $T \neq T'$ dan $\frac{\partial T}{\partial T'} \neq 1$. Dalam rugi-rugi

transmisi, persamaan (2.13) sama dengan *marginal cost* setelah perdagangan daya listrik, yang menghasilkan biaya operasi yang minimum untuk kedua area sistem.

III PERANCANGAN MODEL SISTEM

Perancangan model sistem ini mempergunakan metode *game* yang didasarkan pada formula *Nash Game*. Metode penyaluran daya listrik ini ditujukan untuk memaksimalkan keuntungan yang akan diperoleh dalam sistem tenaga. Rugi-rugi penyaluran juga akan diperhitungkan dalam metode ini.

3.1 Metode Nash Game Dalam Sistem Tenaga

Analisa transaksi daya listrik dengan metode *Nash Game* ini diaplikasikan untuk mendesentralisasikan sistem penyaluran daya listrik [21].

Dalam sistem desentralisasi transaksi daya dan harga akan dinegosiasikan oleh penjual dan pembeli.

3.2 Perancangan Sistem

3.2.1 Struktur formula Nash Game

Formula pada Persamaan (2.1) akan diapresiasi dalam perhitungan yang lebih luas dalam memperoleh harga yang optimal pada transaksi daya listrik yang dilakukan, sehingga untuk menganalisa nilai transaksi daya dan biaya maka formula *Nash Game* pada Persamaan (2.1) dapat diselesaikan sebagai berikut :

Max $R_1 \cdot R_2$

$$R_1 = p_T T'_{12} + (-C_1(P_{g1} + T_{12}) + C_1(P_{g1}))$$

$$R_2 = -p_T T'_{12} + (-C_1(P_{g2} + T_{12}) + C_2(P_{g2}))$$

Transaksi biaya :

$$\frac{\partial L}{\partial P_T} = T'_{12}(-P_T T'_{12} - C_2(P_{g2} - T_{12}) + C_2(P_{g2})) - T'_{12}(P_T T'_{12} + C_1(P_{g1}) - C_1(P_{g1} + T_{12})) = 0$$

Transaksi daya :

$$\frac{\partial L}{\partial T_{12}} = \left(P_T \frac{\partial C_1(P_{g1} + T_{12})}{\partial T_{12}} \cdot \frac{\partial C_1 T_{12}}{\partial T_{12}} - P_T T'_{12} + C_2(P_{g2}) C_2(P_{g2} - T_{12}) \right) + \left(-P_T + \frac{\partial C_2(P_{g2} - T_{12})}{\partial T_{12}} \right) (P_T T'_{12} + C_1(P_{g1}) - C_1(P_{g1} + T_{12})) = 0$$

3.2.1.1 Fungsi Biaya

Persamaan (3.1) akan mendasari perhitungan transaksi sistem tenaga yang dilakukan. Perhitungannya meliputi beberapa hal yang berkaitan dengan koefisien-koefisien fungsi dan menunjukkan data-data biaya produksi yang berbeda pada tiap-tiap tempat.

$$C_i(P_i) = a_i + b_i P_i + c_i P_i^2 \quad (3.1)$$

Dimana

C_i adalah biaya yang dikeluarkan

a, b, c adalah koefisien fungsi.

Tabel 3.1 Data untuk Biaya Produksi⁽²¹⁾

Kasus	Area	a	b	C
1	Area 1	0.0	20	0.05
	Area 2	0.0	18	0.10
2	Area 1	0.0	20	0.05
	Area 2	0.0	18	0.05
3	Area 1	0.0	20	0.05
	Area 2	0.0	20	0.025

3.2.1.2 Fungsi Transaksi Daya Listrik (T'_{12})

Fungsi transaksi daya listrik diberikan untuk menghitung transaksi daya listrik antara kedua area. Perhitungan transaksi daya listrik ini dilakukan dalam dua kondisi yaitu :

a. Tanpa rugi-rugi transmisi.

$$\lambda_{op} = \frac{\partial C_1(P_{g1} + T_{12})}{\partial P_{g1}} = \frac{\partial C_2(P_{g2} - T_{12})}{\partial P_{g2}} \quad (3.2)$$

$$T_{12} = T'_{12} \text{ dan } \frac{\partial T_{12}}{\partial T'_{12}} = 1 \quad (3.3)$$

sehingga

$$\lambda_{op} = \frac{\partial C_1(P_{g1} + T'_{12})}{\partial P_{g1}} = \frac{\partial C_2(P_{g2} - T'_{12})}{\partial P_{g2}} \quad (3.4)$$

dimana

C_1 = biaya yang dikeluarkan

P_{g1} = daya keluaran dari sistem 1

T_{12} = transaksi daya yang dikirim

T'_{12} = transaksi daya yang diterima

Marginal Cost akan sangat berpengaruh pada harga transaksi yang dilakukan.

b. Dengan rugi-rugi transmisi daya listrik

Untuk perhitungan rugi-rugi transmisi daya formula yang dipergunakan berbeda. Jika rugi-rugi disertakan perhitungan diberikan pada sisi penjual (*seller*) daya listrik. Formula yang dipergunakan :

$$\frac{\partial C_1(P_{g1} + T_{12})}{\partial P_{g1}} \cdot \frac{\partial T_{12}}{\partial T'_{12}} = \frac{\partial C_2(P_{g2} - T_{12})}{\partial P_{g2}} = 0 \quad (3.5)$$

$$T_{12} \neq T'_{12} \text{ dan } \frac{\partial T_{12}}{\partial T'_{12}} \neq 1 \quad (3.6)$$

T'_{12} adalah transaksi daya listrik

Dengan demikian harus dicari persamaan untuk mencari nilai transaksi daya dengan perhitungan rugi-rugi transmisi.

$$T_{12} = \alpha T'_{12} + \beta T'_{12}^2 \quad (3.7)$$

$$\frac{\partial T_{12}}{\partial T'_{12}} = \alpha + 2\beta T'_{12} \quad (3.8)$$

dimana T_{12} disini adalah efek rugi-rugi transmisi

Sehingga didapatkan

$$\frac{\partial C_1(P_{g1} + (\alpha T'_{12} + \beta T'_{12}^2))}{\partial P_{g1}} \otimes (\alpha + 2\beta T'_{12}) = \frac{\partial C_2(P_{g2} - T_{12})}{\partial P_{g2}} = 0 \quad (3.9)$$

dimana

α dan β adalah koefisien rugi-rugi transmisi daya listrik.

Tabel 3.2 Data koefisien rugi-rugi transmisi daya listrik⁽²¹⁾

Kasus	α	β
1	1.00	0.000
2	1.04	0.001
3	1.05	0.001

3.2.1.3. Fungsi Sistem Lamda (*Marginal Cost*)

Marginal cost adalah biaya operasi keseluruhan dari tiap-tiap area sebelum dan sesudah terjadi transaksi daya listrik.

a. Tanpa rugi-rugi transmisi dengan

Nash Game

Sisi penjual (*seller*)

$$\lambda_{op} = \frac{\partial C_1(P_{g1} + T_{12})}{\partial P_{g1}} \quad (3.10)$$

Sisi pembeli (*buyer*)

$$\lambda_{op} = \frac{\partial C_2(P_{g2} - T'_{12})}{\partial P_{g2}} \quad (3.11)$$

- b. Dengan rugi-rugi transmisi dengan *Nash Game*

$$\lambda_{op} = \frac{\partial C_1(P_{g1} + (\alpha T'_{12} + \beta T_{12}^2))}{\partial P_{g1}} \otimes (\alpha + 2\beta T'_{12}) \quad (3.12)$$

Sisi pembeli (*buyer*)

$$\lambda_{op} = \frac{\partial C_2(P_{g2} - T'_{12})}{\partial P_{g2}} \quad (3.13)$$

3.2.1.4 Fungsi Harga Transaksi (Price P_T)

Harga transaksi daya sangat berkaitan erat dengan transaksi daya yang disepakati. Hal ini menunjukkan bahwa antara pembeli dan penjual daya listrik telah memiliki posisi tawar-menawar harga yang diberikan.

Formula harga transaksi diberikan sebagai :

- a. Tanpa rugi-rugi transmisi dengan *Nash Game*

$$P_T = \lambda_{op} + (C_2 - C_1) \cdot T_{12} / 2 \quad (3.14)$$

- b. Dengan rugi-rugi transmisi dengan *Nash Game*

$$P_T = \frac{(-C_2(P_{g2} - T'_{12}) + C_2(P_{g2})) + (-C_2(P_{g1}) + C_1(P_{g1} + T'_{12}))}{2\alpha T'_{12}}$$

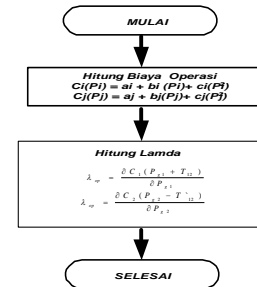
3.2.1.5 Fungsi Pembayaran (Payment)

Fungsi keuntungan disini merupakan akhir dari proses transaksi yang dilakukan yaitu transaksi daya dan biaya.

3.3 Algoritma Program

3.3.1 Algoritma Program Perhitungan Awal Sebelum Transaksi

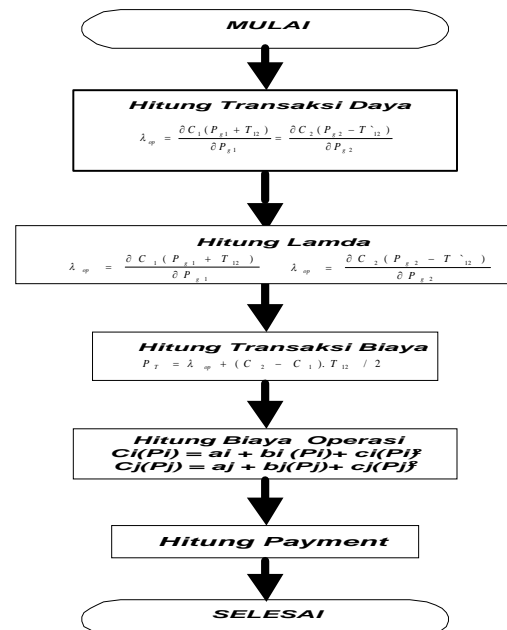
Algoritma ini dipergunakan untuk menghitung biaya dan *marginal cost* sebelum dilakukan transaksi daya listrik.



Gambar 3.1 Algoritma program sebelum transaksi

3.3.2 Algoritma Program Setelah Transaksi Tanpa Rugi-rugi Transmisi dengan *Nash Game*

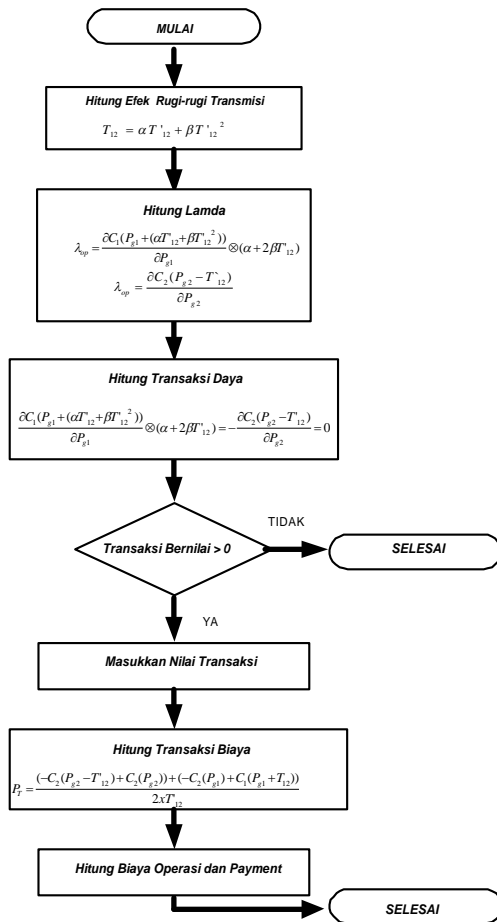
Algoritma ini dipergunakan untuk menghitung keseluruhan transaksi yang didasarkan pada formula *Nash Game*.



Gambar 3.2 Algoritma program setelah transaksi tanpa rugi-rugi

3.3.3 Algoritma Program Setelah Transaksi Dengan Rugi-Rugi Transmisi

Pada dasarnya algoritma ini sama dengan algoritma perhitungan transaksi tanpa rugi-rugi transmisi. Koefisien dari rugi-rugi transmisi akan mempengaruhi nilai transaksi daya dan harga listrik yang dilakukan.



Gambar 3.3 Algoritma program setelah transaksi dengan rugi-rugi transmisi

IV PERHITUNGAN DAN ANALISA

Perhitungan yang dilakukan dengan metode *Nash Game* yaitu perhitungan transaksi tanpa rugi-rugi transmisi sebagai kasus pertama dan perhitungan transaksi dengan rugi-rugi transmisi sebagai kasus kedua dan ketiga. Kasus kedua dan ketiga dibedakan dengan besarnya efek rugi-rugi. Hasil dan analisa didasarkan pada perhitungan yang telah dilakukan dengan variabel-variabel atau koefisien-koefisien yang ada [21].

4.1 Perhitungan Awal Sebelum Transaksi

Perhitungan diawali dengan perhitungan biaya produksi dan marginal cost dari masing-masing area. Setiap area akan memiliki biaya produksi dan *marginal cost* untuk menghasilkan daya pada pembangkit. Semua variabel dan koefisien akan dipergunakan dalam perhitungan ini. Variabel yang dimaksud adalah data daya yang dibangkitkan tiap area dan koefisien yang

dimaksud adalah koefisien penyusun untuk biaya operasi yaitu pada Tabel 3.1.

Sebelum Transaksi			
a	0	a2	0
b	20	b2	18
c	0.05	c2	0.1
Pg1	10		
Pg2	40		
Hitung C1	205		
Hitung C2	880		
Hitung lamb	21		
Hitung lamb2	26		

Gambar 4.1 Perhitungan awal sebelum transaksi

Perhitungan yang dilakukan dengan metode *Nash Game* yaitu perhitungan transaksi tanpa rugi-rugi transmisi sebagai kasus pertama Hasil dan analisa didasarkan pada perhitungan yang telah dilakukan dengan variabel-variabel atau koefisien-koefisien yang ada [21].

4.2 Perhitungan Transaksi Tanpa Rugi-Rugi Transmisi dengan Nash Game

Perhitungan ini ditujukan untuk mengetahui transaksi daya dan harga. Dengan adanya transaksi berarti persamaan *Nash Game* sudah digunakan. Rugi-rugi transmisi daya listrik tidak diperhitungkan. Dengan digunakannya persamaan *Nash Game* maka biaya operasi dan *marginal cost* akan berubah. Dalam perhitungan ini juga ada yang disebut simpanan (saving).

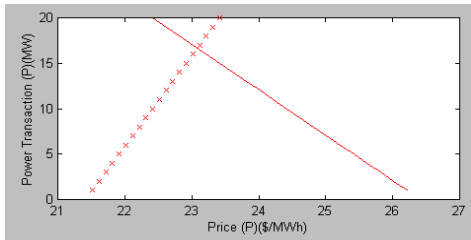
Setelah Transaksi	
Hitung T12"	16.6667
Hitung lambop	22.6667
Hitung pT	23.0834
Hitung Pg2	23.3333
Hitung Pg1	26.6667
Hitung C1	568.89
Hitung C2	474.444
Hitung payment	384.724
Hitung Saving1	20.834
Hitung Saving2	20.834

Gambar 4.2 Perhitungan setelah transaksi tanpa rugi-rugi transmisi dengan *Nash Game* (kasus pertama)

Jika dibanding dengan perhitungan awal, harga daya dan biaya operasi yang dibangkitkan tiap area berubah, untuk daya masing-masing area akan menghasilkan daya sesuai dengan transaksi yang dilakukan (terjadi penambahan untuk area 1 dan terjadi

pengurangan untuk area 2). Ini menunjukkan bahwa arah transaksi mengalir dari area 1 ke area 2.

Kurva berikut menunjukkan hubungan antara transaksi harga dan biaya.



Gambar 4.3 Kurva transaksi daya dan biaya tanpa rugi-rugi transmisi dengan *Nash Game*

4.3 Perhitungan Setelah Transaksi Dengan Rugi-rugi Transmisi dengan *Nash Game*

Perhitungan ini pada dasarnya mempunyai kesamaan dengan perhitungan tanpa rugi-rugi transmisi, akan tetapi terdapat beberapa persamaan yang harus diselesaikan untuk dapat membuktikan bahwa koefisien rugi-rugi transmisi akan mempengaruhi transaksi daya dan transaksi biaya. Hal ini didasarkan pada persamaan (3.7) dan persamaan (3.8). Perhitungan rumus tersebut diatas nantinya akan dimasukkan pada persamaan yang digunakan untuk mencari nilai transaksi daya dan transaksi biaya

Sama seperti perhitungan sebelumnya dalam perhitungan ini juga ada yang disebut simpanan (*saving*). Simpanan adalah selisih biaya operasi saat sebelum transaksi dan sesudah transaksi. Nilai simpanan ini hanya didapatkan setelah terjadi transaksi antar area.

Dengan Memperhitungkan Efek Rugi-rugi : KASUS 2	
Tekan tombol Proses All : Mulai cari titik perpotongan	
alfa	1.04
beta	0.001
Hitung T12"	11.7562
Hitung T	12.3647
Hitung lambop1	22.2365
Hitung lambop2	23.6488
Hitung pT	23.7807
Hitung Pg2	28.2438
Hitung Pg1	21.7562
Hitung C1	458.791
Hitung C2	588.16
Hitung payment	279.571
Hitung Saving1	12.269
Hitung Saving2	12.269

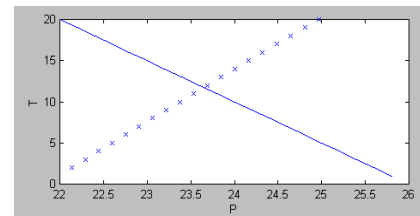
Gambar 4.4 Perhitungan Setelah Transaksi Dengan Rugi-rugi Transmisi kasus kedua dengan Metode *Nash Game*

Dengan Memperhitungkan Efek Rugi-rugi : KASUS 3	
Tekan tombol Proses All : Mulai cari titik perpotongan	
alfa	1.08
beta	0.001
Hitung T12"	9.18062
Hitung T	9.99935
Hitung lambop1	21.9999
Hitung lambop2	24.1639
Hitung pT	24.2496
Hitung Pg2	30.8194
Hitung Pg1	19.1806
Hitung C1	402.007
Hitung C2	649.733
Hitung payment	222.626
Hitung Saving1	7.641
Hitung Saving2	7.641

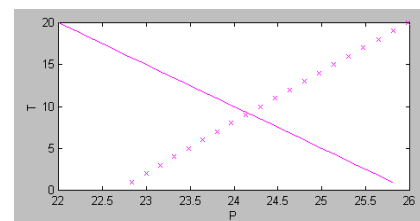
Gambar 4.5 Perhitungan Setelah Transaksi Dengan Rugi-rugi Transmisi Kasus ketiga dengan Metode *Nash Game*

Dari Gambar 4.4 dan 4.5 dapat diketahui jika dibandingkan dengan kasus pertama yaitu perhitungan tanpa rugi-rugi transmisi pada Gambar 4.2 transaksi daya menurun dan transaksi biaya menjadi naik. Ini terjadi akibat adanya rugi-rugi transmisi. *Saving* kedua area juga akan menurun.

Jika Gambar 4.4 dibandingkan dengan Gambar 4.5 dapat diketahui semakin besar efek rugi-rugi transmisi transaksi daya menurun dan transaksi biaya menjadi naik.. *Saving* kedua area juga akan menurun.



Gambar 4.6 Kurva transaksi daya dan biaya dengan rugi-rugi transmisi kasus 2



Gambar 4.7 Kurva transaksi daya dan biaya dengan rugi-rugi transmisi kasus 3

Simpanan (*saving*) untuk tiap-tiap kasus akan berbeda. Semakin besar rugi-rugi transmisi maka simpanannya (*saving*) makin kecil.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

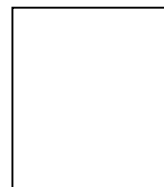
Setelah melakukan analisa dan pembahasan Biaya Perhitungan Penyaluran Daya Listrik Dengan Metode *Nash Game* maka penulis dapat mengambil kesimpulan :

1.a Dalam simulasi dengan menggunakan metode *Nash Game*, diperoleh nilai transaksi daya sebesar 16.667 MW dan transaksi biaya sebesar \$23.08/MWh,

- sehingga simpanan (saving) yang diperoleh pada masing-masing area sebesar 20.83\$/h untuk perhitungan tanpa rugi-rugi transmisi pada tabel 4.2
- b. Dengan adanya rugi-rugi transmisi, dengan menggunakan metode *Nash Game*, transaksi daya akan menurun menjadi 9.1802 MW dan transaksi biaya akan mengalami kenaikan menjadi \$24.249/MWh, sehingga simpanan (saving) yang diperoleh pada masing-masing area pada tabel 4.4 sebesar 7.641\$/h
 2. Dengan menggunakan metode *Nash Game*, daya yang dibangkitkan tiap area akan mengalami kenaikan dan penurunan sesuai dengan transaksi yang dilakukan, sehingga biaya operasi juga menyesuaikan.
 3. Perhitungan transaksi daya dan transaksi biaya dengan *Nash Game* akan menghasilkan korelasi antara rugi-rugi penyaluran dengan simpanan (saving) untuk masing-masing area.
- ## 5.2 Saran
1. Dalam simulasi dilakukan perhitungan transaksi daya listrik dan transaksi biaya dalam dua area sebagai model sistem, untuk pengembangannya dilakukan transaksi daya listrik dan transaksi biaya multi area yang dilakukan pada persamaan 2.1
 2. Metode *Nash Game* dapat digunakan untuk analisa biaya penyaluran daya listrik, dan dapat juga dikembangkan untuk menganalisa biaya pada pembangkit.
- Power Systems, Vol. 8, No. 3, pp. 1180-1186, August, 1993.
4. <http://www.britannica.com/bcorn/eb/article>, "Game Theory".
 5. L. Zhang, P. B. Luh, X. Guan and G. Merchel, " Optimization-Based Inter Utility Power Purchases," IEEE Trans. On Power System, Vol.9, No. 2, pp. 891-897, May 1994.
 6. M. C. Caramanis, R. E. Bohn and F. C. Schweppe, " Optimal Price: Practice and Theory," IEEE Trans. on Power Systems, Vol.PAS-101, No. 9, pp.3234-3245, September 1982.
 7. R.D. Tabors, " Transmisiion System Management and Price", IEEE Trans. On Power Systems, Vol. 9, No. 1, pp. 206-215, February 1994.
 8. R.J. Kaye, H.R. Outhred, "Forward Contracts For Operation Of An Electricity Industry Under Spot Pricing ",IEEE Transaction on Power System, Vol.5, No. 1, pp. 46-52, February 1990.
 9. Sulasno, " Pusat Pembangkit Tenaga Listrik", Satya Wacana Semarang
 10. Xiaomin Bai, S.M. Shahidehpur, V.C. Ramesh, "Transmission Analysis By Nash Game Method," IEEE Trans.on Power System, Vol. 12, No.3, pp.1046-1051, August 1997.
 11. Y. Z. Li, A. K. David, "Optimal Multi-Area Wheeling," IEEE Trans. On Power Systems, Vol.9, No. 1, pp. 288-294, February 1994.
 12. Zuhail, " Dasar Teknik Tenaga Listrik Dan Elektronika Daya", PT. Gramedia, Jakarta 1998.

Daftar Pustaka

1. Aleksander Rudkevich, "Supply Function Equilibrium in Power Markets : Learning All the Way", Tabors Caramanis & Associate.
2. B.L. Theraja, A.K. Theraja, A Textbook Of Electrical Technology, Vol. III, Transmission, Distribution And Utilization.
3. F. Nishimura, R.D. Tabors, M. D. Ilic and J.R. Lacalle-Malero, "Benefit Optimization of Centralize and Decentralized Power Systems in A Multi-Utility Enviroment," IEEE Transaction on



Fathia Qanary lahir di Jakarta tanggal 31 Desember. Saat ini sedang menyelesaikan pendidikan strata 1 di Jurusan Teknik Elektro Universitas Diponegoro Semarang.

Konsentrasi yand diambil adalah Ketenagaan

Semarang, Juli 2002

Dosen Pembimbing II

Ir. Agung Warsito, DHET
NIP. 131 668 485

