

MILIK PERPUSTAKAAN
UNIV. NEGERI PADANG



LAPORAN PENELITIAN
BATAS AMAN ALIRAN DAYA AKTIF OPTIMAL TERHADAP
KAPASITAS GENERATOR DAN SALURAN TRANSMISI

oleh :

Oriza Candra, S.T.,M.T.

DIY-CANDRA TGL.	: 21-4-2010
SUMBER/BAJAJA	HD /
KOLEKSI	: KT
NO. INVENTARIS	: 229 / Hd / 2010 - 6.100
LOKASI	: 621. 319 Cam 6:1

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2008

**LEMBARAN IDENTITAS DAN PENGESAHAN
LAPORAN PENELITIAN**

1. a. Judul Penelitian : Batas Aman Aliran Daya Aktif Optimal Terhadap Kapasitas Generator dan Saluran Transmisi
- b. Bidang Ilmu Sistem Tenaga Listrik
2. Personalia
- a. Ketua Peneliti
- Nama Lengkap Oriza Candra, M.T.
- Pangkat/Gol/NIP Penata Muda /III.b/132232490
- Fakultas/Jurusan Teknik / Teknik Elektro
- b. Anggota Peneliti
- Nama Lengkap
- Pangkat/Gol/NIP
- Fakultas/Jurusan
3. Laporan Penelitian -

Padang, 3 Desember 2008

Mengetahui
Dekan FT-UNP

Ketua Peneliti,

Drs. Ganefri, M.Pd
NIP. 131 847 374

Oriza Candra, S.T.,M.T.
NIP. 132232490

BATAS AMAN ALIRAN DAYA AKTIF OPTIMAL TERHADAP KAPASITAS GENERATOR DAN SALURAN TRANSMISI

Oriza Candra

Abstrack

An analysis has been developed suitable for on line evaluation of contingency. This analysis permits the estimates of active power dispatch and line loading for each network element out service performs those load flows for conditions which exceed the allowable operating limits. This analysis also can be used by system sumatera utara ceses to security constrained line N and line N-1 crucial. The computationally research with linear programming method and solving EDSA package program.

keywords : Contingency Analysis, Linear programming, EDSA package program.

I. Pendahuluan

Sasaran utama dalam industri listrik modern saat ini adalah membangkitkan dan menyalurkan energi listrik dengan total biaya pembangkitan yang paling rendah dan keamanan sistem dapat dijaga. Masalah biaya pembangkitan adalah penyelesaian minimasi total biaya pembangkitan yang merupakan program aliran daya aktif optimal dengan batasan kapasitas generator dan saluran transmisi. Generator yang mempunyai biaya penawaran yang paling rendah tidak selalu harus membangkitkan daya paling besar. Pertimbangan konfigurasi jaringan dan penyebaran beban perlu diperhatikan. Jika dipaksakan untuk mendapatkan total biaya yang minimal mungkin saja terjadi saluran outage (lepas) dan dapat terjadi beban lebih pada saluran lain. Kejadian-kejadian saluran lepas dan beban lebih merupakan ketidakpastian sistem tenaga.

Ketidakpastian (contingency) sistem dapat terjadi dalam operasional sistem tenaga, karena itu penelitian ini membahas aliran daya optimal karena ketidakpastian sistem dengan metoda program linier dengan fungsi sasaran besar pembangkitan yang aman dan memenuhi batas kapasitas saluran transmisi, tanpa memasukkan fungsi biaya penawaran dalam fungsi sasaran. Perhitungan diselesaikan untuk semua N saluran aman dan jika terjadi beban lebih pada salah satu saluran ($N-1$ saluran beban lebih).

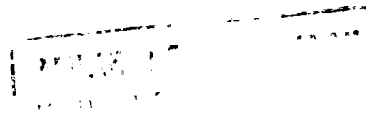
II. Tinjauan Pustaka

Saat ini penyelesaian masalah aliran daya mencakup semua variabel sistem tenaga untuk mendapatkan penyelesaian efisien dan optimum operasi sistem tenaga. Weber, 1997, aliran daya optimal dapat dilakukan dengan kendali sistem dengan tetap menjaga keamanan sistem. Kendali sistem mencakup keluaran daya generator, tap transformator, dan pergeseran fasa generator. Penelitian ini menyimpulkan perhitungan biaya operasi dengan penerapan metoda Newton berbasis aliran daya optimal dapat bekerja baik untuk sistem kecil.

Penelitian yang dilakukan oleh Park, dkk (2001) membicarakan masalah *security optimal power flow* (SCOPF) pada sistem tiga area di Korea Selatan. Pemecahan pertama tentang masalah distribusi aliran daya optimal dengan memperhitungkan kapasitas transfer saluran antar area sebagai suatu unit ekonomi. Dalam paper ini berdasarkan biaya pembangkitan untuk merumuskan batasan sistem untuk menjamin keamanan kemampuan kapasitas aliran daya antar saluran transmisi ketika generator dimatikan karena tidak dibutuhkan lagi.

Singh, dkk (1997) melakukan penelitian manajemen biaya yang berhubungan dengan kendala pertidaksamaan saluran transmisi dalam kompetisi pemasaran listrik. Menguji dua pendekatan dalam hubungan dengan biaya, pendekatan pertama menetapkan kerangka biaya dan membentuk dasar biaya dasar yang disebut dengan model *pool*. Juga memberikan analisis instrumen biaya yang diusulkan guna penetapan harga dan penelitian dilakukan pada sistem yang besar. Pendekatan kedua adalah didasarkan pada prosedur alokasi biaya yang diusulkan yang disebut dengan model *bilateral*. Yang dilakukan oleh Singh, dkk mencakup suatu evaluasi game-theoretic dari semua aspek. Kedua model *pool* dan *bilateral* menjadi perdebatan pada pusat pembangkit listrik di California. Hasil penelitian memberikan suatu penetapan harga dan alokasi aliran daya sehingga menekan biaya ketidakpastian yang dikeluarkan oleh konsumen.

Sistem tenaga saat beban lebih atau berubah, metoda yang diusulkan adalah metoda optimisasi Newton dengan pengaturan *step length*. Metoda Newton dapat memberikan penyelesaian persamaan aliran daya yang terbaik. Keuntungan utama dari metoda ini adalah kombinasi yang sederhana persamaan aliran daya



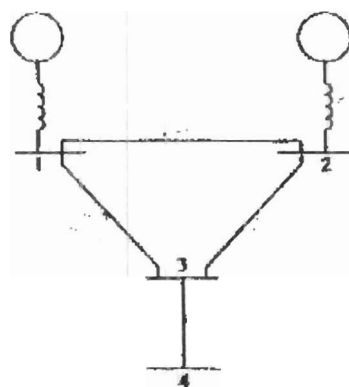
sistem. Teknik ini mengizinkan memilih bus untuk injeksi daya dan dapat mereduksi aliran beban total pada bus yang dipilih (Luciano, 2000).

1. Analisis aliran daya

Persamaan jaringan dalam berbagai bentuk dapat diformulasikan dengan sistematis. Secara umum metode tegangan simpul (*nodal voltage*), dimana bentuk paling tepat dari beberapa analisis sistem yang banyak digunakan. Perumusan persamaan jaringan dalam bentuk admitansi simpul dihasilkan dalam persamaan aljabar linier kompleks dalam istilah arus simpul, seperangkat persamaan linier dapat menyelesaikan persoalan tegangan simpul. Tetapi dalam sistem daya, daya lebih dikenal dari pada arus. Maka menghasilkan persamaan dalam istilah daya, dikenal aliran daya, menjadi non linier dan harus dipecahkan melalui teknik iterasi. Studi aliran daya umumnya berhubungan dengan aliran beban, adalah tulang punggung dari perancangan dan analisis sistem daya. Adalah penting untuk perencanaan, operasi, penjadwalan ekonomis dan pertukaran daya antara utilitas.

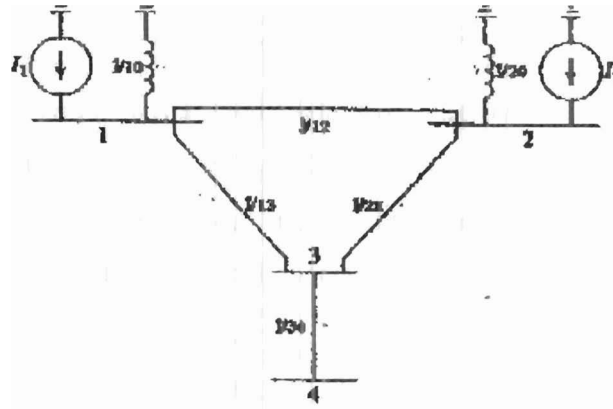
Untuk memperoleh persamaan tegangan simpul, suatu sistem daya sederhana seperti pada Gambar 2.4, dimana impedansi dinyatakan dalam per unit berbasis MVA dan disederhanakan dengan resistansi diabaikan. Dimana penyelesaian titik simpul (*nodal*) berdasarkan kepada Hukum Kirchoff tentang arus, dan impedansi dikonversikan ke bentuk admitansi ;

$$y_{ij} = \frac{1}{z_{ij}} = \frac{1}{r_{ij} + jx_{ij}} \dots\dots\dots 1$$



Gambar 2. Diagram impedansi dengan sistem sederhana

Rangkaian pada Gambar 2 adalah dalam istilah admitansi dan ditransformasikan terhadap sumber arus. Titik simpul 0 (dimana secara normal diketanahkan) diambil sebagai referensi. Dengan menerapkan Hukum Kirchoff terhadap simpul independen 1 sampai 4, hasilnya :



Gambar 3. Diagram admitansi dengan sistem sederhana

$$I_1 = y_{10}V_1 + y_{12}(V_1 - V_2) + y_{13}(V_1 - V_3)$$

$$I_2 = y_{20}V_2 + y_{12}(V_2 - V_1) + y_{23}(V_2 - V_3)$$

$$0 = y_{23}(V_3 - V_2) + y_{13}(V_3 - V_1) + y_{34}(V_3 - V_4)$$

$$0 = y_{34}(V_4 - V_3)$$

Admitansi sebagai berikut

$$Y_{11} = y_{10} + y_{12} + y_{13}$$

$$Y_{22} = y_{20} + y_{12} + y_{23}$$

$$Y_{33} = y_{13} + y_{23} + y_{34}$$

$$Y_{44} = y_{34}$$

$$Y_{12} = Y_{21} = -y_{12}$$

$$Y_{13} = Y_{31} = -y_{13}$$

$$Y_{23} = Y_{32} = -y_{23}$$

$$Y_{34} = Y_{43} = -y_{34}$$

Daya kompleks S_{ij} dari bus i ke j dan S_{ji} dari bus j ke i adalah

$$S_{ij} = V_i I_{ij}^* \quad \dots\dots\dots 12$$

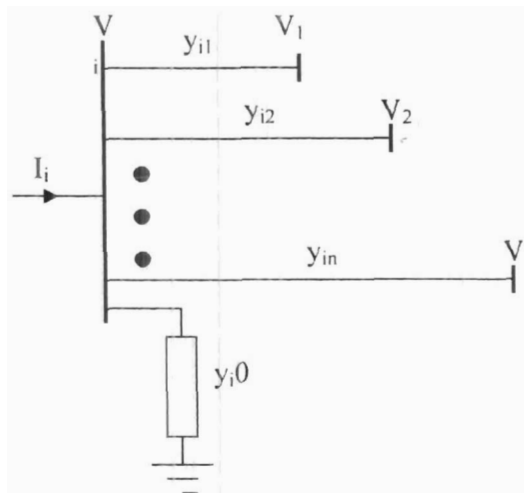
$$S_{ji} = V_j I_{ji}^* \quad \dots\dots\dots 13$$

Rugi daya dalam saluran $i \rightarrow j$ adalah jumlah aljabar aliran daya ditentukan dari 12 dan 13

$$S_{l,ij} = S_{ij} + S_{ji} \quad \dots\dots\dots 14$$

3. Pemecahan aliran daya dengan Newton-Raphson

Tipe bus suatu jaringan sistem daya seperti diperlihatkan pada Gambar 4 Saluran transmisi dipresentasikan oleh model ekuivalen π dimana impedansi telah dikonversikan ke dalam bentuk per unit pada basis MVA.



Gambar 4. Tipikal bus sistem daya

Dengan menerapkan Hukum Kirchoff tentang arus terhadap bus diperoleh hasil

$$I_i = y_{i0} V_i + y_{i1} (V_i - V_1) + y_{i2} (V_i - V_2) + \dots + y_{in} (V_i - V_n)$$

$$= (y_{i0} + y_{i1} + y_{i2} + \dots + y_{in}) V_i - y_{i1} V_1 - y_{i2} V_2 - \dots - y_{in} V_n$$

atau
$$I_i = V_i \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n y_{ij} V_j \quad j \neq i \quad \dots\dots\dots 15$$

Daya nyata dan daya reaktif pada bus i adalah

$$P_i + jQ_i = V_i I_i^* \quad \dots\dots\dots 16$$

atau
$$I_i = \frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} \quad \dots\dots\dots 17$$

Substitusikan ke persamaan (15), akan diperoleh hasilnya

$$\frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} = V_i \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n y_{ij} V_j \quad j \neq i \quad \dots\dots\dots 18$$

Dari hubungan di atas, rumus matematika pada persoalan aliran daya dihasilkan dalam sistem persamaan yang mana harus dipecahkan melalui teknik iterasi.

Sejumlah iterasi yang diperlukan untuk memperoleh pemecahan adalah independen pada ukuran sistem, tetapi evaluasi yang lebih fungsional diperlukan pada setiap iterasi. Karena dalam persoalan aliran daya nyata dan magnitude tegangan adalah yang ditetapkan untuk tegangan bus-bus yang terkontrol, persamaan aliran daya dirumuskan dalam bentuk polar. Untuk aliran daya dari tipe bus pada Gambar 4, besar arus masukan bus i sebesar pada persamaan 15. Persamaan dapat ditulis kembali dalam istilah admitansi bus seperti,

$$I_i = \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j \quad \dots\dots\dots 19$$

Dalam persamaan di atas, j termasuk bus i . Persamaan ini bila dinyatakan dalam bentuk polar, diperoleh

$$I_i = \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \angle \theta_{ij} + \delta_j \quad \dots\dots\dots 20$$

Daya pada bus i dalam bentuk kompleks adalah

$$P_i - jQ_i = V_i^* I_i \quad \dots\dots\dots 21$$

Substitusikan persamaan 20 ke persamaan 21,

$$P_i - jQ_i = |V_i| \angle -\delta_i \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \angle \theta_{ij} + \delta_j \quad \dots\dots\dots 22$$

Bagian riil dipisahkan dengan bagian imajiner,

$$P_i = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad \dots\dots\dots 23$$

$$Q_i = -\sum_{j=1}^n [V_i] [V_j] |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad \dots 24$$

Persamaan 23 dan 24 sebagai dasar suatu pasangan persamaan aljabar nonlinier dalam istilah dari variabel independen, besaran tegangan dalam per unit, dan sudut fase dalam radian. Persamaan untuk setiap bus beban, diberikan oleh 25 dan 26, dan satu persamaan untuk setiap tegangan terkontrol bus, diberikan oleh 23. Pengembangan dari persamaan 23 dan 24 dalam *Taylor's series* tentang perkiraan awal dan mengabaikan seluruh orde yang lebih tinggi menghasilkan satu set persamaan linier sebagai berikut.

$$\begin{bmatrix} \Delta P_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta P_n^{(k)} \\ \Delta Q_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta Q_n^{(k)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \hline \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial |V_n|} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta \delta_n^{(k)} \\ \Delta |V_2^{(k)}| \\ \vdots \\ \Delta |V_n^{(k)}| \end{bmatrix}$$

Dalam persamaan di atas, bus 1 diasumsikan sebagai slack bus. Matriks Jacobian memberikan hubungan linierisasi antara perubahan kecil dalam sudut tegangan $\Delta \delta_i^{(k)}$ dan besaran tegangan $\Delta |V_i^{(k)}|$ dengan perubahan kecil dalam daya nyata $\Delta P_i^{(k)}$ dan daya reaktif $\Delta Q_i^{(k)}$. Unsur-unsur matriks Jacobian adalah derivatif parsial pada persamaan 23 dan 24, yang dievaluasi pada $\Delta \delta_i^{(k)}$ dan $\Delta |V_i^{(k)}|$. Dalam bentuk sederhana dapat ditulis sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 J_2 \\ J_3 J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} \quad \dots \dots \dots 25$$

Tegangan yang terkontrol pada bus-bus, besaran tegangan diketahui. Oleh karena itu, jika bus pada system m pada sistem adalah tegangan yang terkontrol, persamaan m mengandung ΔQ dan ΔV dan kolom yang bersesuaian pada matriks

Estimasi baru untuk tegangan bus adalah

$$\delta_i^{(k+1)} = \delta_i^{(k)} + \Delta\delta_i^{(k)} \dots\dots\dots 36$$

$$|V_i^{(k+1)}| = |V_i^{(k)}| + \Delta|V_i^{(k)}| \dots\dots\dots 37$$

Prosedur untuk pemecahan aliran daya dengan metode Newton-Raphson sebagai berikut :

- a) Untuk beban bus, dimana P_i^{sch} dan Q_i^{sch} yang ditetapkan, besaran tegangan dan sudut fase di buat sama dengan nilai slack bus. Untuk tegangan regulasi bus, dimana $|V_i|$ dan P_i^{sch} adalah yang ditetapkan, sudut fase dibuat sama dengan sudut slack bus.
- b) Untuk beban bus, $P_i^{(k)}$ dan $Q_i^{(k)}$ dihitung dari persamaan 23 dan 24 serta $\Delta P_i^{(k)}$ dan $\Delta Q_i^{(k)}$ dihitung dari persamaan 34 dan 35.
- c) Untuk tegangan bus yang terkontrol, $P_i^{(k)}$ dan $\Delta P_i^{(k)}$ dihitung dari persamaan 23 dan 34 secara berturut-turut.
- d) Unsur-unsur matriks Jacobian ($J_1, J_2, J_3, dan J_4$) dihitung dari persamaan 26 – 33.
- e) Persamaan linier simultan 25 dipecahkan langsung melalui optimalisasi faktorisasi orde tiga dan eliminasi Gaussian.
- f) Besaran tegangan baru dan sudut fase adalah dihitung dari persamaan 36 dan 37.
- g) Proses diteruskan sampai tersisa $\Delta P_i^{(k)}$ dan $\Delta Q_i^{(k)}$ lebih kecil dari akurasi yang ditetapkan,

$$\begin{aligned} |\Delta P_i^{(k)}| &\leq \varepsilon \\ |\Delta Q_i^{(k)}| &\leq \varepsilon \dots\dots\dots 38 \end{aligned}$$

1 Koefisien pergeseran pembangkit

Koefisien pergeseran pembangkit $A(0)$ merupakan suatu besaran yang menghubungkan aliran daya saluran tertentu dengan besarnya pembangkitan pada konfigurasi jaringan. Besaran ini berguna untuk menghitung aliran daya pada saluran jika pada suatu saat pembangkitan total sistem berubah. Koefisien ini membantu guna merumuskan pembatasan kapasitas aliran daya pada saluran (saluran tanpa beban lebih).

Koefisien pergeseran pembangkit didefinisikan dengan persamaan berikut

$$F_l(0) = A_{li}(0)(\Delta P_{cijk} - P_{Dl}) \quad \dots\dots\dots 39$$

dengan F_l = aliran daya saluran l , karena pergeseran pembangkitan.

$A_{li}(0)$ = koefisien saluran l .

Persamaan dalam bentuk pertambahan, harga $A(0)$ dapat dihitung yang menghasilkan suatu koefisien dalam bentuk matrik. Koefisien matrik $A_{li}(0)$ menunjukkan jika bus i dan j dihubungkan dengan saluran l , maka baris ke l pada matrik $A(0)$ merupakan saluran ke l . Persamaan matrik $A(0)$ adalah :

$$\begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} & B_{13} & \dots & B_{1N} \\ B_{21} & B_{22} & B_{23} & \dots & B_{2N} \\ B_{31} & B_{32} & B_{33} & \dots & B_{3N} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ B_{N1} & B_{N2} & B_{N3} & \dots & B_{NN} \end{bmatrix} \cdot [A(0)] = [b] \quad \dots\dots\dots 40$$

dengan merujuk pada gambar 5, matrik b dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$[b_k] = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 \\ x_k & x_k & \end{bmatrix}$$

untuk baris l dan m adalah :

$$[b_l] = \begin{bmatrix} 0 & 1 & -1 \\ & x_l & x_l \end{bmatrix} \quad \text{dan} \quad [b_m] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ & x_m & x_m \end{bmatrix}$$

dengan x_l = adalah reaktansi dari cabang ke l .

B = matrik suseptansi persamaan aliran beban

b = + suseptansi saluran ujung kirim, - suseptansi saluran ujung penerima

Selain koefisien pergeseran pembangkit di atas dikenal juga koefisien pergeseran pembangkitan jika terjadi beban lebih pada saluran l . Koefisien ini didefinisikan dalam bentuk persamaan aliran daya berikut :

$$F_m(l) = A_{mi}(1)(\Delta P_{Cik} - P_{Di}) \dots\dots\dots 41$$

dengan $F_m(l)$ = aliran daya saluran m , jika saluran l beban lebih.

$A_{mi}(1)$ = koefisien pergeseran pembangkit saluran m , jika terjadi beban lebih pada saluran l .

m = saluran lain selain saluran l yang terhubung pada bus i

Persamaan dalam bentuk penambahan dapat dihitung sebagai berikut :

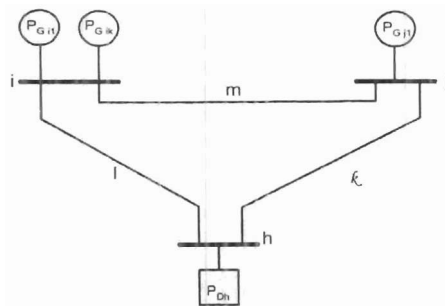
$$A_m(1) = A_m(0) + \frac{(S^m)^T (B)^{-1} S^l}{[x_l - (S^l)^T (B)^{-1} S^l]} A_l(0) \frac{x_l}{x_m}$$

subkrip m dan l merupakan cabang-cabang m dan l , $A_m(1)$, $A_m(0)$, dan $A_l(0)$ menyatakan baris ke k dan l . Reaktansi x_l dan x_m adalah reaktansi pada cabang m dan l . Dengan S^m dan S^l merupakan kolom ke m dan l dari matrik cabang *incidence*.

dengan $S_{im} = 1$, sisi pengirim bus i ke saluran m

$S_{im} = -1$, sisi pengirim bus i dari saluran m

$S_{im} = 0$, jika sisi pengirim bus i tidak berhubungan dengan saluran m



Gambar 5 Model jaringan tiga bus dan tiga generator

Misalkan suatu sistem seperti pada gambar 5, dapat dibuat suatu matrik *incidence* berikut :

$$S = \begin{matrix} & i & j & h \\ \begin{matrix} m \\ l \\ k \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

2. Perubahan pembangkitan generator dengan program linear

Perubahan kecil pada daya aktif generator ΔP_{Gik} yang terjadi akan mengakibatkan terjadinya perubahan pada aliran daya sistem, besar pembangkitan daya aktif generator. Bentuk fungsi sasaran penyelesaian program linier adalah :
Minimum :

$$K(\Delta P_{G11}^+) + K(\Delta P_{G11}^-) + K(\Delta P_{G12}^+) + K(\Delta P_{G12}^-) + \dots + K(\Delta P_{G21}^+) + K(\Delta P_{G21}^-) \dots 42$$

dengan batasan :

a. persamaan pergeseran generator :

$$\sum_{i=1}^{NG} \sum_{k=1}^{NG_i} (\Delta P_{Gik}^+) + (\Delta P_{Gik}^-) = 0 \dots\dots\dots 43$$

b. pertidaksamaan pergeseran generator

$$\begin{aligned} \Delta P_{Gik}^+ &\leq P_{Gik}^{\max} - P_{Gik}^0 \\ \Delta P_{Gik}^- &\leq P_{Gik}^0 - P_{Gik}^{\min} \end{aligned} \dots\dots\dots 44$$

c. perubahan kapasitas saluran akibat perubahan pada pembangkitan

$$\begin{aligned} \Delta F(0) &= A(0) \left(\sum_{k=NG_i} \Delta P_{Gik} - P_{Dj} \right) \\ -\Delta F(0) &= A(0) \left(\sum_{k=NG_i} \Delta P_{Gik} - P_{Dj} \right) \end{aligned} \dots\dots\dots 45$$

d. dan pada saluran yang terjadi beban lebih dapat dihitung sebagai berikut :

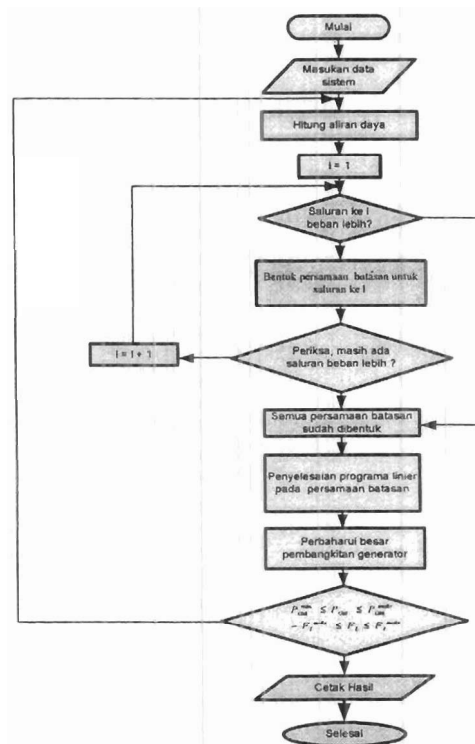
$$\begin{aligned} \Delta F(l) &= A(l) \left(\sum_{k=NG_i} \Delta P_{Gik} - P_{Dj} \right) \\ -\Delta F(l) &= A(l) \left(\sum_{k=NG_i} \Delta P_{Gik} P_{Dj} \right) \end{aligned} \dots\dots\dots 46$$

III. Metodologi Penelitian

Penelitian ini menggunakan data sistem tenaga listrik Sumatera Utara, data-data yang digunakan meliputi :

1. Batas maksimum dan minimum kapasitas generator
2. Batas maksimum dan minimum kapasitas saluran transmisi.
3. Impedansi dan admitansi saluran transmisi.
4. Pembangkitan dan pembebanan sistem.

Data-data di atas digunakan dalam penyelesaian batas aman aliran daya aktif optimal terhadap kapasitas generator dan saluran transmisi dengan metoda program linier dan diselesaikan dengan bantuan perangkat lunak EDSA. Diagram alir penyelesaian perhitungan diperlihatkan pada gambar 1 di bawah :



Gambar 1. Diagram alir penyelesaian batas aman aliran daya aktif optimal

IV. Hasil Penelitian

Penelitian dilakukan pada sistem tenaga Sumatera Utara yang terdiri dari 19 generator dan 10 pusat pembangkit yang terhubung oleh 41 saluran untuk melayani 31 pusat beban sebesar 861,7 MW. Hasil pembangkitan dan aliran daya pada batas aman N saluran dan N-1 saluran jika terjadi beban lebih ditunjukkan pada tabel 1 dan 2 di bawah :

Tabel 1. Besar pembangkitan generator

No. Generator	No. Bus	Daya Aktif Generator(KW) Untuk N saluran	Daya Aktif Generator(KW) Untuk N -1 saluran
1	3BBCBLTW	30000,00	30000,00
2	4BCBLWTU	30000,00	30000,00
3	A2 BLWTU	30000,00	30000,00
4	ENPRII-5	2500,00	2500,00
5	GPPSRWES	5000,00	5000,00
6	GPSRALS1	5000,00	5000,00
7	GPSRALS3	5000,00	5000,00
8	GSANTAR	2000,00	2000,00
9	GSIDEM	2000,00	2000,00
10	GSIGURA	200000,00	189569,20
11	GT11	60000,00	60000,00
12	GT12	60000,00	60000,00
13	GT21	60000,00	60000,00
14	GT22	60000,00	60000,00
15	GTNGA	205590,00	211600,00
16	KMBIH1-2	4000,00	4000,00
17	SIPAN	15000,00	15000,00
18	ST10	40000,00	40000,00
19	ST20	45609,80	51687,70

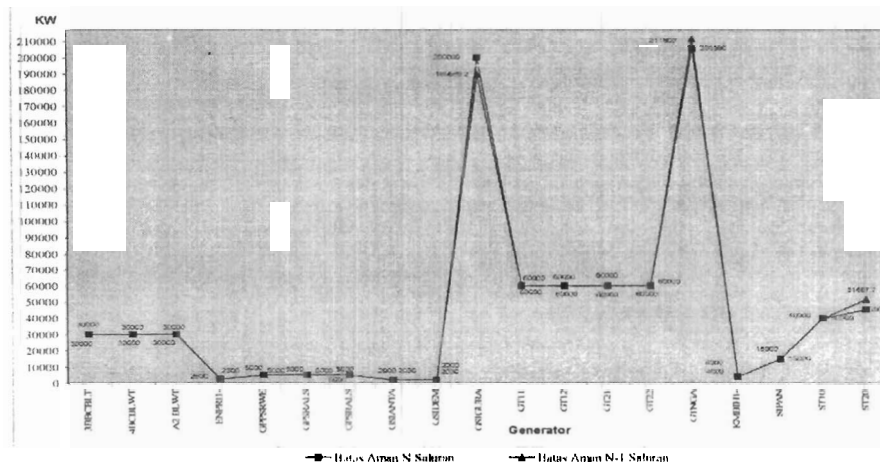
Tabel 4.9. Aliran daya sistem

Saluran No.	Dari Bus	Ke Bus	Untuk batas aman N saluran		Untuk batas aman N-1 saluran	
			Daya Aktif (KW)	Pembebanan (%)	Daya Aktif (KW)	Pembebanan (%)
	1	2	3	4	5	6
1	GT11	BLW2	60000,0	57,14	60000,00	57,14
2	BLW2	BI NJAI	170825,5	48,81	171842,10	49,10
3	BI NJAI	BRDAN	81399,9	70,78	81399,90	70,78
4	BRDAN	LNGSA	63599,9	55,30	63599,90	55,30
5	BI NJAI	PGILI	48025,6	21,34	49042,20	21,80
6	PGILI	NRNB	-6781,8	5,02	-6472,10	4,79
7	BLW2	SRTN	154725,6	28,65	158128,50	29,28
8	SRTN	PBUNG	-59086,3	51,38	-57600,20	50,09
9	SRTN	TTKNG	126102,5	56,05	125890,10	55,95
10	TTKNG	BTAGI	15377,6	13,37	15794,90	13,73
11	BTAGI	SDKAL	-4422,4	3,85	-4005,10	3,48
12	SDKAL	J#1198	-3999,7	4,00	-3999,70	4,00
13	TTKNG	J#1193	-2499,6	16,66	-2499,60	16,66
14	TTKNG	NRNB	28281,8	12,57	27972,10	12,43
15	TTKNG	PGILI	15943,3	11,81	15623,30	11,57
16	GT12	BLW2	60000,0	52,17	60000,00	52,17
17	GT21	BLW2	60000,0	46,15	60000,00	46,15
18	GT22	BLW2	60000,0	46,15	60000,00	46,15
19	ST10	BLW2	40000,0	33,33	40000,00	33,33
20	ST20	BLW2	45609,8	31,46	51687,70	35,65
21	3BBCBLTW	BLWN1	30004,6	46,16	30004,60	46,16

	1	2	3	4	5	6
22	BLWNI	LABUHAN	20299,9	15,04	20299,90	15,04
23	4BCBLWTU	BLWNI	30004,6	46,16	30004,60	46,16
24	A2 BLWTU	BLWNI	30004,6	46,16	30004,60	46,16
25	GSIGURA	SIGURA2	200000,1	90,91	189569,80	86,17
26	SIGURA2	KTNJNG	405587,9	75,11	401167,10	74,29
27	KTNJNG	KSARN	86031,1	28,68	85768,20	28,59
28	KSARN	AKNPN	56931,1	18,98	56668,20	18,89
29	AKNPN	RPRAPAT	50931,1	22,64	50668,20	22,52
30	RPRAPAT	GNTUA	20431,1	9,08	20168,20	8,96
31	GNTUA	PDGSDEM	16431,1	7,30	16168,20	7,19
32	PDGSDEM	J#1209	-1995,3	2,00	-1995,30	2,00
33	PDGSDEM	SBLGA	-7348,7	5,44	-7610,80	5,64
34	SBLGA	TRTNG	-2548,0	1,89	-2810,10	2,08
35	TRTNG	TELE	14522,7	12,63	14105,30	12,27
36	TELE	SDKAL	10522,7	9,15	10105,30	8,79
37	KTNJNG	TBTINGGI	292056,9	97,35	287899,10	95,97
38	TBTINGGI	PBUNG	74686,3	64,94	73200,20	63,65
39	TBTINGGI	SIANTAR	65770,7	57,19	65615,40	57,06
40	SIANTAR	J#1204	-2000,0	80,00	-2000,00	80,00
41	SIANTAR	PORSEA	32070,7	27,89	31915,50	27,75
42	PORSEA	TRTNG	24770,7	21,54	24615,50	21,40
43	TBTINGGI	SRTN	115000,0	100,00	112483,50	97,81
44	GTNGA	TANGGAI	205589,7	93,45	211599,80	96,18
45	TANGGAI	SIGURA2	205589,1	91,37	211599,20	94,04
46	SIPAN	SBLGA	15000,7	15,00	15000,70	15,00
47	BRN	LSMWE	-2000,0	1,74	-2000,00	1,74
48	LSMWE	GIDI	-13310,1	11,57	-13310,10	11,57
49	GIDI	LNGSA	-23810,2	20,70	-23810,20	20,70
50	LSMWE	LNGSA	-19589,8	17,03	-19589,80	17,03

MILIK PERPUSTAKAAN
UNIV. NEGERI PADANG

51	GKIM	SRTN	-28200,0	12,53	-28200,00	12,53
52	MABAR	PPASIR	-70000,0	60,87	-70000,00	60,87
53	PPASIR	BLWNI	-69731,5	26,82	-69731,90	26,82
54	PPASIR	GPPSRWES	-5002,9	5,00	-5002,90	5,00
55	PPASIR	GPSRALS1	-5000,0	5,00	-5000,00	5,00
56	PPASIR	GPSRALS3	-4999,7	5,00	-4999,70	5,00
57	PPASIR	PGILI	63149,4	28,07	62762,50	27,89
58	PPASIR	SRTN	-84609,4	62,67	-84222,00	62,39
59	TIMORA	SRTN	-49900,0	22,18	-49900,00	22,18
60	TLCUT	LNGSA	-9700,0	8,43	-970000	8,43
61	J#1193	ENPRII-5	-2500,0	2,50	-2500,00	2,50
62	J#1204	GSANTAR	-2000,0	2,00	-2000,00	2,00
63	J#1209	GSIDEM	-2000,0	2,00	-2000,00	2,00
64	J#1198	KMBIH1-2	-4000,0	4,00	-4000,00	4,00



Gambar 6. Pergeseran Pembangkitan daya aktif generator

DAFTAR PUSTAKA

- Bacher, R., dan Glavitsch, H., Optimal Power Flow Algorithms, Swiss Federal Institute of Technology, CH-8092 Zurich, Switzerland.
- Castronouvo, E.D., Campagnolo, J.M., dan Salgado, R., Desember 2000, A Largest-Step Central-Path Algorithm Applied to the Optimal Power Flow Problem, SBA Controle & Automacaou, Vol. 11 No. 3, pp 176 - 181
- Castronuovo, E.D., Campagnolo, J.M., dan Salgado, R.,, New Versions of Interior Point Method Applied to the Optimal Power Flow Problem,
- Flatabo, M., Foosnas, J.A., dan Berntsen, T., 1985, Transformator Tap setting in Optimal Load Flow, IEEE Transaction on Power System, Vol. PAS-104, No. 6, pp1356-1362.
- Grainger, J.J. dan Stevenson, W. D., 1994, Power System Analysis, McGraw-Hill, Inc, New York.
- Hur, D., Park, J.K., Balho H.K., dan Myoung, S.K., 2001, Security Constrained Optimal Power Flow for the Evaluation of Transmissian Capability on Korea Electric Power System, IEEE Transaction on Power Sistem, Vol....., No....., pp 1133 - 1138.
- Huneault, M., Fahmideh-Vojdani, A., Juman, M., Calderon, R., dan Galiana, F.D., 1985, The Continuation Method in Power System Optimization : Applications to Economy-Security Functions, IEEE Transaction on Power Apparatus and System, Vol. PAS-104, No. 1, pp 114-123.
- James D. W., 1997, Implementation of a Newton-Based Optimal Power Flow Into a Power System Simulation Enviroment, Thesis, University of Illinois at Urbana-Champaign.
- Momoh, J.A., 2001, Electric Power System Applications of Optomization, Marcel Dekker, Inc, New York.
- Murty, PSR., 1984, Power System Operation and Control, McGraw-Hill, New Delhi.
- Rahmouni, A., 1998, Secure and Optimal Operation of a Power Generation and Transmission System – Application to the Moroccan System, IEEE Transactions on Power System, Vol. 13, pp 850-856.

- Saadat, H., 1999, Power System Analysis, McGraw-Hill, Inc, Singapore.
- Sangahm, K., Whachang, S., dan Byongjun, L., 2001, Generation Redispatch Model to Enhance Voltage Security in Competitive Power Market Using Voltage Stability Constrained Optimal Power Flow (VSCOPF),
- Singh, H., Hao, S., dan Papalexopoulos, A., 1997, Transmission Congestion Management in Competitive Electricity Market, IEEE Transaction on Power System, Vol. 13, No. 2, pp 672-679.
- Widiono, E., 2003, Kondisi Kelistrikan Nasional dan Pengembangannya, Seminar Pengembangan Energi, UGM Yogyakarta.
- Wood, A.J. dan Wollenberg, B.F., W., 1996, Power Generation, Operation, and Control, John Wiley & Sons, Inc, New York.