

Pengembangan Formula Aliran Daya Newton Raphson Dengan Injeksi Arus

Slamet Hani dan Gatot Santoso

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, IST AKPRIND Yogyakarta

Jl. Kalisahak No. 28, Koplek Balapan, Yogyakarta 55222, Indonesia

E-mail: ista@indo.net.id

Abstrak

Tulisan ini menggambarkan kelangkaan formulasi Newton Raphson untuk penyelesaian masalah aliran daya, terdiri-dari persamaan injeksi arus $2n$ ditulis dalam koordinat rektangular. Matrik jacobian mempunyai struktur yang sama seperti simpul matrik admitansi ($2n \times 2n$), dimana masing-masing cabang jaringan diwakili oleh blok (2×2). Kecuali untuk PV bus, Blok diagonal-off (2×2) dari persamaan jacobian yang diusulkan sama pada simpul matrik admitansi. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa metode yang diusulkan untuk penyelesaian aliran daya lebih cepat, ketika dibandingkan formulasi Newton Raphson secara konvensional, dinyatakan dalam keadaan ketidak-seimbangan daya dan ditulis dalam koordinat polar.

Kata kunci : Aliran Daya, Ketidak-Seimbangan Injeksi Arus, Newton Raphson

Abstrac

This paper describes about the rarely Newton Raphson formulation for solving the power flow problem, consist of the injection $2n$ current equation written on rectangular coordinate. The Jacobian matrix has same structure such as admittance matrix knot ($2n \times 2n$), where each network branch represented by block (2×2). Execptable for PV bus. Diagonal-off block (2×2) from jacobian equation was proposed as same in admittance matrix knot. The result indicate that the proposed methode for solving the power flow is faster, its than the conventionally Newton Raphson formulation, expressed in imbalanced power condition which written in polar coordinate.

Keywords : Power flow, Unbalanced Current Injection, Newton Raphson.

1. Pendahuluan

Masalah aliran daya meliputi penentuan tegangan dan aliran saluran, dalam jaringan listrik yang besar, untuk diberikan pada beban dan daftar generator. Banyak masukan penting yang telah dibuat sepanjang tahun dan hanya beberapa yang diterbitkan dalam paper [1-6] beserta ruang lingkupnya. Pengulangan yang baik, meskipun tidak terlalu baru, dapat ditemukan dalam [4]. Gambaran pengembangan arus dimasukkan pada peralatan teknologi yang baru [7,8] peralatan kestabilan tegangan [9-12] dan teknik penyelesaian yang lebih tinggi lainnya [13].

Formulasi aliran daya didasarkan atas injeksi arus dan menggunakan variabel state yang dinyatakan dalam campuran koordinat polar dan rektangular diperlihatkan dalam [14]. Masing-masing PQ bus diwakili dengan dua persamaan pembanding komponen real dan imajiner dari ketidak-seimbangan injeksi arus yang dinyatakan dalam tegangan koordinat rektangular. PV bus diwakili oleh persamaan ketidak-seimbangan daya aktif tunggal dan gabungan sudut deviasi (simpangan sudut).

Algoritma injeksi arus didasarkan atas pemakaian dari simpul matrik admitansi konstan digambarkan dalam [15]. Referensi ini dibicarakan oleh para ahli, karena itu algoritma ini tidak dapat digunakan untuk

aplikasi aliran daya umum sebab metode yang memuaskannya dari permodelan simpul PV belum dikembangkan. Metode yang diketahui termasuk simpul PV ditiadakan kecepatan konvergen. Referensi [15] juga membicarakan bahwa pemecahan dalam penyelesaian aliran daya mempunyai pengaruh yang kuat dalam aplikasi seperti dinamik sistem daya, state estimasi, analisis contingensi, optimasi steady state, dan lain-lainnya.

Paper ini mengusulkan untuk menggunakan himpunan persamaan injeksi arus $2n$, ditulis dalam koordinat rektanguler, untuk PQ dan PV bus. Variabel baru (ΔQ) diperkenalkan untuk masing-masing PV bus bersama-sama dengan penambahan persamaan pembatas dari deviasi nol dalam tegangan bus yang mengesankan. Kecuali untuk PV bus, matrik jacobian mempunyai elemen blok diagonal-off (2×2) sama seperti simpul matrik admitansi yang diperluas dalam koordinat riil dan imajiner. Elemen blok diagonal (2×2) diperlukan untuk diperbaharui pada setiap iterasi menurut model beban bus yang dipertimbangkan.

Meskipun tidak mewakili pemecahan sebagian besar, konsep paper ini diharapkan mempunyai beberapa aplikasi analisa sistem daya. Kontrol aliran daya tidak ada perjanjian disini.

Notasi yang diambil dalam tulisan ini berlaku kapan saja dengan tepat. Banyak referensi yang menyatakan bahwa elemen Jacobian dan persamaan ketidak-seimbangan yang diperlukan dalam mengusulkan metode, penulis juga menggandakan atau mengembangkan metode tersebut.

Notasi

n : jumlah pada sistem bus
 h : perhitungan iterasi

- $\Delta P_k + j \Delta Q_k$: ketidak-seimbangan daya pada bus k
- $P_{G(k)} + j Q_{G(k)}$: daya generator pada bus k
- $P_{L(k)} + j Q_{L(k)}$: beban daya konsumsi pada bus k
- $P_k^{sp} + j Q_k^{sp}$: penjadwalan jaringan daya pada bus k

- $P_k^{calc} + j Q_k^{calc}$: daya perhitungan pada bus k
- $\Delta I_{rk} + j \Delta I_{mk}$: ketidak-seimbangan arus pada bus k
- $I_{rk}^{sp} + j I_{mk}^{sp}$: penjadwalan arus injeksi pada bus k
- $I_{rk}^{calc} + j I_{mk}^{calc}$: arus injeksi pada bus k
- $V_{rk} + j V_{mk}$: tegangan pada bus k
- θ_k, V_k : sudut dan magnitude tegangan pada bus k
- $E_k^* = V_k e^{j\theta_k}$: phasor tegangan konjugat pada bus k
- $\Delta V_{rk} + j \Delta V_{mk}$: ketidak-seimbangan tegangan pada bus k
- $G_{km} + j B_{km}$: elemen simpul matrik admitansi (k,m)
- $\Delta \theta, \Delta V$: sudut tegangan, koreksi magnitude

Matrik ditunjukkan dalam cetak tebal dan vektor ditunjukkan dalam garis bawah yang dicetak tebal.

2. Aliran daya arus injeksi

2.1. Persamaan pada PQ bus

Ketidak-seimbangan yang diberikan PQ pada bus k [14] :

$$\Delta I_k = \frac{P_k^{sp} - j Q_k^{sp}}{E_k^*} - \sum_{i=1}^n Y_{ki} E_i = 0 \quad (1)$$

dimana :

$$P_k^{sp} = P_{G(k)} - P_{L(k)} \quad (2)$$

$$Q_k^{sp} = Q_{G(k)} - Q_{L(k)} \quad (3)$$

Ketergantungan tegangan pada daya beban dalam bentuk polynomial :

$$P_{L(k)} = P_{0k}(a_p + b_p V_k + c_p V_k^2) \quad (4)$$

$$Q_{L(k)} = Q_{0k}(a_q + b_q V_k + c_q V_k^2) \quad (5)$$

dimana :

$$a_p + b_p + c_p = 1 \quad (6)$$

$$a_q + b_q + c_q = 1 \quad (7)$$

Persamaan (1) dapat diperluas dalam komponen real dan imajiner :

$$\Delta I_{rk} = \frac{P_k^{sp} V_{rk} + Q_k^{sp} V_{mk}}{V_{rk}^2 + V_{mk}^2} - \sum_{i=1}^n (G_{ki} V_{ri} - B_{ki} V_{mi}) = 0 \quad (8)$$

$$\Delta I_{mk} = \frac{P_k^{sp} V_{mk} - Q_k^{sp} V_{rk}}{V_{rk}^2 + V_{mk}^2} - \sum_{i=1}^n (G_{ki} V_{mi} + B_{ki} V_{ri}) = 0 \quad (9)$$

dan dapat dituliskan dalam bentuk :

$$\Delta I_{rk} = I_{rk}^{sp} - I_{rk}^{calc} \quad (10)$$

$$\Delta I_{mk} = I_{mk}^{sp} - I_{mk}^{calc} \quad (11)$$

Algoritma penyelesaian newton raphson, persamaannya mempergunakan (8) dan (9), mengingat semua sistem bus seperti type PQ, diberikan oleh :

$$\begin{bmatrix} \Delta I_{m1} \\ \Delta I_{r1} \\ \Delta I_{m2} \\ \Delta I_{r2} \\ \vdots \\ \Delta I_{mn} \\ \Delta I_{rn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11}^* & Y_{12}^* & \dots & Y_{1n}^* \\ Y_{21}^* & Y_{22}^* & \dots & Y_{2n}^* \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Y_{n1}^* & Y_{n2}^* & \dots & Y_{nn}^* \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta V_{r1} \\ \Delta V_{m1} \\ \Delta V_{r2} \\ \Delta V_{m2} \\ \vdots \\ \Delta V_{rn} \\ \Delta V_{mn} \end{bmatrix} \quad \dots\dots(12)$$

Dapat ditulis dalam bentuk :

$$\underline{\Delta I}_{mr} = Y^* \underline{\Delta V}_{rm} \quad (13)$$

dimana :

$$Y_{kk}^* = \begin{bmatrix} B'_{kk} & G'_{kk} \\ G''_{kk} & B''_{kk} \end{bmatrix} \quad Y_{km}^* = \begin{bmatrix} B_{km} & G_{km} \\ G_{km} & -B_{km} \end{bmatrix}$$

$$B'_{kk} = B_{kk} - a_k \quad (14)$$

$$G'_{kk} = G_{kk} - b_k \quad (15)$$

$$G''_{kk} = G_{kk} - c_k \quad (16)$$

$$B''_{kk} = -B_{kk} - d_k \quad (17)$$

Keadaan a_k, b_k, c_k dan d_k tetap diatas beban khusus dan generator pada bus k dan jenis beban juga, diberikan pada lampiran. Catatan setelah dalam (12), komponen imajiner dari ketidak-seimbangan arus awalnya dijumlah, meskipun matrik Y^* menjadi diagonal yang dominan (akibatnya suseptansi B_{km} lebih besar dari konduktansi G_{km}).

2.2. Perhitungan Pada Ketidakseimbangan Arus

Ketidakseimbangan daya aktif dan reaktif pada bus k diberikan oleh :

$$\Delta P_k = P_k^{sp} + j P_k^{calc} \quad (18)$$

$$\Delta Q_k = Q_k^{sp} + j Q_k^{calc} \quad (19)$$

dimana :

$$P_k^{calc} = V_{rk} I_{rk}^{calc} + V_{mk} I_{mk}^{calc} \quad (20)$$

$$Q_k^{calc} = V_{mk} I_{rk}^{calc} - V_{rk} I_{mk}^{calc} \quad (21)$$

Dengan sedikit manipulasi dari persamaan diatas, ketidak-seimbangan arus dalam (10) dan (11) dapat dinyatakan dalam keadaan ketidak-seimbangan daya dan tegangan pada bus k :

$$\Delta I_{rk} = \frac{V_{rk} \Delta P_k + V_{mk} \Delta Q_k}{V_k^2} \quad (22)$$

$$\Delta I_{mk} = \frac{V_{mk} \Delta P_k - V_{rk} \Delta Q_k}{V_k^2} \quad (23)$$

dimana :

$$V_k^2 = V_{rk}^2 + V_{mk}^2 \quad (24)$$

Perhitungan ketidak-seimbangan arus real dan imajiner untuk PQ bus, sebab penjumlahan secara asosiatif ketidak-seimbangan daya real dan imajiner diketahui. Ketidak-seimbangan arus diberikan dalam persamaan (22) dan (23) merupakan perhitungan ketidak-seimbangan secara vektor, seperti yang ditunjukkan disebelah kiri dari persamaan (12). Formulasi diatas menghasilkan nilai yang standard. Kontribusi besar PV bus digambarkan pada bagian selanjutnya.

2.3. Gambaran pada PV bus

Ringkasannya, jika persamaan untuk satu simpul k, dihubungkan sebagai slack bus. Persamaan ketidak-seimbangan arus untuk simpul ini, awalnya pada type PQ, diberikan oleh :

$$\begin{bmatrix} \frac{V_{mk}}{V_k^2} \Delta P_k - \frac{V_{rk}}{V_k^2} \Delta Q_k \\ \frac{V_{rk}}{V_k^2} \Delta P_k + \frac{V_{mk}}{V_k^2} \Delta Q_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B'_{kk} & G'_{kk} \\ G''_{kk} & B''_{kk} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta V_{rk} \\ \Delta V_{mk} \end{bmatrix} \dots\dots(25)$$

Pada akhirnya PV bus, ketidak-seimbangan daya reaktif menjadi bergantung variabel ΔQ . Penyelesaian secara vektornya, diperluas bergantung pada isi dan membuat variabel. Penjumlahan persamaan linier yang tidak luas, mengisyaratkan bahwa $\Delta V_k = 0$ untuk PV bus, digunakan eliminasi untuk menentukan :

$$\Delta V_k = 0 = \frac{V_{rk}}{V_k} \Delta V_{rk} + \frac{V_{mk}}{V_k} \Delta V_{mk} \quad (26)$$

Demikian, jumlah kumpulan yang diperbesar persamaannya menjadi :

$$\begin{bmatrix} \frac{V_{mk}}{V_k^2} \Delta P_k \\ \frac{V_{rk}}{V_k^2} \Delta P_k \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B'_{kk} & G'_{kk} & \frac{V_{rk}}{V_k^2} \\ G''_{kk} & B''_{kk} & -\frac{V_{mk}}{V_k^2} \\ \frac{V_{rk}}{V_k} & \frac{V_{mk}}{V_k} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta V_{rk} \\ \Delta V_{mk} \\ \Delta Q_k \end{bmatrix} \dots\dots(27)$$

Catatan Perhatikan baris dalam persamaan matrik (27), memperlihatkan setelah :

$$\Delta V_{rk} = -\frac{V_{mk}}{V_{rk}} \Delta V_{mk} \quad (28)$$

Substitusi awal kedalam baris 2 pada persamaan (27) :

$$\begin{bmatrix} \frac{V_{mk}}{V_k^2} \Delta P_k \\ \frac{V_{rk}}{V_k^2} \Delta P_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \left(G'_{kk} - \frac{B'_{kk} V_{mk}}{V_{rk}} \right) & \frac{V_{rk}}{V_k^2} \\ B''_{kk} - \frac{G''_{kk} V_{mk}}{V_{rk}} & -\frac{V_{mk}}{V_k^2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta V_{mk} \\ \Delta Q_k \end{bmatrix} \quad (29)$$

Implementasi ini disebabkan aliran daya pada matrik jacobian terpelihara struktur simpul matrik admitansi ($2n \times 2n$), terlepas dari jumlah PV bus dalam sistem, variabel baru ΔQ_k diganti ΔV_{rk} untuk setiap PV bus.

Matrik jacobian ini mempunyai blok (2×2) pada tiga jenis yang digambarkan dibawah. Blok diagonal (2×2) yang menghubungkan bus k, pada jenis PV, diberikan oleh :

$$Y_{kk}^{**} = \begin{bmatrix} G'_{kk} - \frac{B'_{kk} V_{mk}}{V_{rk}} & \frac{V_{rk}}{V_k^2} \\ B''_{kk} - \frac{G''_{kk} V_{mk}}{V_{rk}} & -\frac{V_{mk}}{V_k^2} \end{bmatrix} \quad (30)$$

Blok diagonal-off (2×2) dijumlahkan secara umum cabang k-1 diberikan :

$$Y_{ik}^{**} = \begin{bmatrix} G_{lk} - \frac{B_{lk} V_{mk}}{V_{rk}} & 0 \\ -B_{lk} - \frac{G_{lk} V_{mk}}{V_{rk}} & 0 \end{bmatrix} \quad (31)$$

$$Y_{kl}^{**} = Y_{kl}^* = \begin{bmatrix} B_{kl} & G_{kl} \\ G_{kl} & -B_{kl} \end{bmatrix} \quad (32)$$

Blok diagonal (2 x 2) yang menghubungkan simpul PQ (tanpa beban khusus), jumlah i diberikan oleh :

$$Y_{ii}^{**} = \begin{bmatrix} B_{ii} & G_{ii} \\ G_{ii} & -B_{ii} \end{bmatrix}$$

Ketidak-seimbangan arus untuk bus k, jenis PV, diberikan oleh :

$$\Delta I_{mk}^* = \frac{V_{mk} \Delta P_k}{V_k^2} \quad (33)$$

$$\Delta I_{rk}^* = \frac{V_{rk} \Delta P_k}{V_k^2} \quad (34)$$

Algoritma Newton raphson diusulkan seperti yang ditunjukkan pada persamaan (35) dalam bentuk skematik. Simpul k, type PV bus terhubung pada dua simpul PQ i dan l.

$$\begin{bmatrix} \vdots \\ \frac{\Delta I_{mi}}{\Delta V_{mi}} \\ \frac{\Delta I_{ri}}{\Delta V_{ri}} \\ \frac{\Delta I_{mk}^*}{\Delta V_{mk}^*} \\ \frac{\Delta I_{rk}^*}{\Delta V_{rk}^*} \\ \frac{\Delta I_{ml}}{\Delta V_{ml}} \\ \frac{\Delta I_{rl}}{\Delta V_{rl}} \\ \vdots \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \dots & Y_{ii}^* & Y_{ik}^{**} & Y_{il}^* & \dots & \vdots \\ \dots & Y_{ki}^* & Y_{kk}^{**} & Y_{kl}^* & \dots & \vdots \\ \dots & Y_{li}^* & Y_{lk}^{**} & Y_{ll}^* & \dots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \vdots \\ \frac{\Delta V_{ri}}{\Delta V_{mi}} \\ \frac{\Delta V_{mk}^*}{\Delta V_{mk}^*} \\ \frac{\Delta Q_k}{\Delta V_{rk}^*} \\ \frac{\Delta V_{rl}}{\Delta V_{ml}} \\ \frac{\Delta V_{ml}}{\Delta V_{ml}} \\ \vdots \end{bmatrix} \quad \dots (35)$$

Persamaan ini dapat dituliskan dalam bentuk :

$$\underline{\Delta I}_{mr}^* = J^* \underline{\Delta V}_{rm}^* \quad (36)$$

Simpul i, k dan l tidak membutuhkan batasan penjumlahan.

2.4. Koreksi tegangan bus dan karakteristik konvergensi

Koreksi tegangan bus dalam koordinat polar, iterasi umum (h + 1) diberikan oleh :

$$V_k^{(h+1)} = V_k^{(h)} + \Delta V_k^{(h)} \quad (37)$$

$$\theta_k^{(h+1)} = \theta_k^{(h)} + \Delta \theta_k^{(h)} \quad (38)$$

$$\Delta V_k = \frac{V_{rk}}{V_k} \Delta V_{rk} + \frac{V_{mk}}{V_k} \Delta V_{mk} \quad (39)$$

$$\Delta \theta_k = \frac{V_{rk}}{V_k^2} \Delta V_{mk} - \frac{V_{mk}}{V_k^2} \Delta V_{rk} \quad (40)$$

Catat Persamaan (40) liniernya berbentuk :

$$\theta_k = \tan^{-1} \frac{V_{mk}}{V_{rk}} \quad (41)$$

2.5. Penyelesaian Algoritma

Tahap 1 :

- Menetapkan simpul matrik admitansi Y
- Perhitungan iterasi awal h = 0
- Perhitungan tegangan V_k^h dan sudut θ_k^h ; k = 1,n

Tahap 2 :

- Menentukan injeksi arus $\underline{I} = Y \underline{E}$
- Menentukan ketidak-seimbangan daya aktif dan reaktif (persamaan (18),(19),(20),(21))

Tahap 3 :

Jika $(\underline{\Delta P}, \underline{\Delta Q}) \leq \text{toleransi}$:

- then** Go to step 5
- else** Menentukan koreksi tegangan bus dengan menggunakan (35)
- Memperbaharui tegangan bus dengan menggunakan (37) dan (38)

Perhitungan iterasi tambahan h = h + 1

Tahap 4 :

Jika h ≥ jumlah iterasi maksimum :

- then** Go to step 5
- else** Go to step 2

Tahap 5 : Mencetak hasil

3. Aspek-aspek Penerapan

Elemen pada matrik jacobian dihubungkan dalam blok (2 x 2), dimana struktur jaringan simpul matrik admitansinya disimpan. Sistem blok (2 x 2) pada persamaan dijumlahkan oleh Tinney-2 skema [1] untuk efisiensi perhitungan.

Gambaran yang penting pada formulasi ini merupakan sebagian besar pada blok (2 x 2) pada matrik jacobian J' tidak ada perubahan yang tersisa selama proses penyelesaian. Blok diagonal (2 x 2), mempunyai generator khusus atau beban lebih besar beban impedansi, harus diperbaharui setiap iterasi.

Formulasi aliran daya mengusulkan hasil kebenarannya diuji dengan pengembangan program komputer. Model sistem praktisnya mempunyai 730,1653 dan 2111 bus, dimana Tabel (1) akan digunakan. Pertama dari dua model pada sistem Selatan-Tenggara Brazil. Model perencanaan yang ketiga untuk tahun 2001 pada interkoneksi Utara-Selatan Brazil.

Ketidak-seimbangan daya maksimum untuk setiap iterasi di tunjukan pada tabel

(2) yang menampilkan karakteristik konvergen dengan menggunakan persamaan (37) dan (38). Hasil konvergen dalam Tabel (2) adalah identik dengan hasil yang diperoleh hasil program (program ANAREDE of CEFEL), menggunakan formula penuh Newton Raphson dan persamaan ketidak-seimbangan dalam koordinat polar. Toleransi konvergen yang betul-betul dipertimbangkan dalam proses iterasi adalah 0.001 p.u. untuk dua ketidak-seimbangan daya aktif dan reaktif.

Pengukuran waktu CPU oleh perancang program dan produksi tingkatan program, ketika menggunakan sebuah personal komputer, seperti dalam Tabel (3). Hasil yang ditunjukan konsisten menurun setiap waktu diperhitungkan ketika menggunakan program.

Tabel 1.
Sistem Uji

Sistem uji	730-bus	1653-bus	2111-bus
Rangkaian	1146	2382	3236
PV Bus	103	121	177
Transformator	277	472	968
Beban (MW)	28565	26703	44704

Tabel 2.
Karakteristik konvergen untuk koreksi tegangan dalam bentuk Polar

Iterasi	Ketidak-Seimbangan maximum (per unit)		
	730-bus	1653-bus	2111-bus
0	-48.876521	82.506696	-116.202292
1	0.190831	3.514192	-1.398069
2	0.000496	0.047897	0.011986
3	-	-0.000873	-0.000022

Tabel 3.
Jumlah waktu CPU

Sistem	Waktu CPU (second)	
	Produksi. Program Tingkatan	Program Perancangan
730-bus	0.350	0.219
1653-bus	0.850	0.680
2111-bus	1.230	0.990

Tabel 4.
Waktu CPU per iterasi, dalam detik, ketika jumlah PV Bus bertambah

Sistem	Besaran Dasar	PV Bus (%)		
		20 %	30 %	40 %
730	0.109	0.094	0.097	0.094
1653	0.227	0.206	0.205	0.206
2111	0.330	0.301	0.301	0.301

Tiga sistem diuji menggunakan perubahan PV Bus dari 7.3 % ke 14.1%. Ketika waktu CPU bertambah jumlah pada PV Bus bervariasi seiring dengan bertambahnya jumlah PV Bus pada saat sistem diuji. Hasilnya ditunjukkan dalam tabel (4), indikasi waktu CPU semakin menurun, prosentasi PV Bus meningkat. Harus dicatat bahwa model PV Bus menunjukkan seting penuh setiap kolom pada matrik jacobian juga nol (persamaan (31)), kecuali untuk blok diagonal (2×2) persamaan (30)

4. Kesimpulan

Melalui formulasi aliran daya diharapkan hasil kebenarannya diuji dengan pengembangan program komputer. Model sistem praktisnya mempunyai 730, 1653 dan 2111 bus, dimana Tabel (1) akan digunakan. Pertama dari dua model pada sistem Selatan-Tenggara Brazil. Model

perencanaan yang ketiga untuk tahun 2001 pada interkoneksi Utara-Selatan Brazil.

Ketidak-seimbangan daya maksimum untuk setiap iterasi di tunjukan pada Tabel (2) yang menampilkan karakteristik konvergen dengan menggunakan persamaan (37) dan (38). Hasil konvergen dalam Tabel (2) adalah identik dengan hasil yang diperoleh hasil program (program ANAREDE of CEFEL), menggunakan formula penuh Newton Raphson dan persamaan ketidak-seimbangan dalam koordinat polar. Toleransi konvergen yang betul-betul dipertimbangkan dalam proses iterasi adalah 0.001 p.u. untuk dua ketidak-seimbangan daya aktif dan reaktif.

Pengukuran waktu CPU oleh perancang program dan produksi tingkatan program, ketika menggunakan sebuah personal komputer, seperti dalam Tabel (3). Hasil yang ditunjukan konsisten menurun setiap waktu diperhitungkan ketika menggunakan program.

Daftar Pustaka

1. W.F. Tinney and C.E. Hart. Power flow solution by Newton's method. *IEEE Transactions on Power Systems*, PAS-86:1449-1456, November 1967.
2. B. Stott. Effective starting process for Newton-Raphson load flows. *IEE Proceedings*, 118, No.8:983-987, August 1871.
3. B. Stott. Decoupled Newton load flow. *IEEE Transactions on Power Systems*, PAS-91:1955-1959, 1972.
4. B. Stott. Review of load-flow calculation methods. *Proceeding of IEEE*, 62:916-929, July 1974.
5. B. Stott and O. Alsac. Fast decoupled load flow. *IEEE Transactions on Power Systems*, PAS-93, No.3:859-869, May/June 1974.
6. R. Bacher and W.F. Tinney. Faster local power flow solutions : The zero mismatch approach. *IEEE Transactions on Power Systems*, 4, No.4:1345-1354, October 1989.
7. D.J. Gothman and G.T. Heydt. Power flow control and power flow studies for systems with facts devices, . *IEEE Transactions on Power Systems*, 13, No.1:60-65, February 1998.
8. C.R. Fuerte-Esquivel and E. Acha. A Newton-type algorithm for the control of power flow in electrical power networks. *IEEE Transactions on Power Systems*, 12, No.4:1974-1480, November 1997.
9. Y. Tamura, H. Mori, and S. Iwamoto. Relationship between voltage instability and multiple load flow solutions in electric power systems. *IEEE Transactions on Power Systems*, 102, No.5:1115-1123, May 1983.
10. V. Ajjarapu and C. Christy. The continuation power flow: A tool for steady state voltage stability analysis. *IEEE Transactions on Power Systems*, 7, No.1:416-423, February 1992.
11. C.A. Canizares and F.L. Alvarado. Point of collapse and continuation methods for large ac/dc systems. *IEEE Transactions on Power Systems*, 8, No.1:1-8, February 1993.
12. T.J. Qverbye and R.P. Klump. Effective calculation of power system low-voltage solution. *IEEE Transactions on Power Systems*, 11, No.1:75-82, February 1996.
13. A. Semlyen. Fundamental concepts of a Krylov subspace power flow methodology. *IEEE Transactions on Power Systems*, 11, No.3:1528-1537, August 1996.
14. H.W. Dommel, W.F. Tinney, and W.L. Powell. Further developments in Newton's method for power system applications. *IEEE Winter Power Meeting, Conference Paper No. 70 CP 161-PWR New York*, January 1970.
15. W.F. Tinney. A prentation to the workshop in engineering mathematics and computer sciences. *EPRI publication EAR/EL-7/07*, pages 1-15, august 1991.