PENERAPAN METODA DECOUPLED BERBASIS ALIRAN DAYA OPTIMAL PADA SISTEM TENAGA

Oriza Candra
Elfizon

Abstract

Optimal power flow is large scale nonlinear programming problem. It has taken anuals to develop efficient algorithms for its solution. Study and application of Decoupled algorithm has been increasing and to be aviable alternative to solve this problem.
In this paper, we describe an implementation of Decoupled algorithm to solve optimal power flow, using combination of ac load flow and interior point based linear programming. The optimal power flow formulation uses the total production cost as the objective function to be minimized, while generation capability, voltage limits and line flow capability as the constraints that must be satisfied.
The algorithm has been test cases ; Sumbar Riau load on system. Computational results show that this algorithm is fast, accurate and robust.

Keywords : Optimal power flow, Decoupled algorithm

Pendahuluan

Energi listrik merupakan kebutuhan vital yang memegang peranan penting dalam mendukung aktivitas manusia saat ini dan juga merupakan faktor pendukung produksi dalam meningkatkan pertumbuhan ekonomi. Oleh sebab itu pertumbuhan energi listrik harus sejalan dengan pertumbuhan ekonomi masyarakat.

Tingkat pertumbuhan kebutuhan energi listrik masyarakat saat ini rata-rata 9 % per tahun (Eddie W, 2003). Untuk memenuhi kebutuhan masyarakat akan listrik PLN perlu meningkatkan kapasitasnya, namun sejak krisis moneter PLN tidak dapat meningkatkan kapasitasnya, karena itu PLN perlu mengoptimalkan kapasitas yang ada.

Pengoptimalan kapasitas dapat dilakukan dengan meminimisasi biaya yang ditimbulkan dari operasi dan penyaluran sistem tenaga. Banyak penelitian yang telah dilakukan dalam meminimisasi biaya sistem tenaga, salah satunya adalah yang dilakukan Luciano 2000 dengan metoda Newton.

Menurut J.J. Grainger,1994, metoda Newton tidak dapat diterapkan untuk perhitungan sistem yang besar. Dari masalah perhitungan tersebut, maka dalam penelitian ini akan memberikan alternatif penyelesaian perhitungan optimasi operasi dan penyaluran sistem tenaga dengan metoda Decoupled berbasis aliran daya optimal pada sistem tenaga
Penelitian mengenai aliran daya optimal sistem tenaga listrik telah dilakukan dan dijumpai pada makalah dengan bebagai macam metode:
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).

Kompensasi daya reaktif dalam sistem tenaga biasanya merupakan studi masalah optimisasi *single-objective* pareto yang mana fungsi obyek adalah kombinasi linear dari berbagai faktor, investasi, dan rugi-rugi transmisi. Paper ini menggunakan pendekatan algoritma optimisasi *evolutionary multy-objective* yang mengelompokan 4 fungsi obyek meliputi, investasi fungsi kompensasi daya reaktif, rugi-rugi daya aktif, rata-rata penyimpangan tegangan, dan penyimpangan tegangan maksimum. Hasilnya memberikan suatu cara dan hasil yang lebih baik dari *single-objective* pareto, (Benyamin Baran, 2001).

Sangahm…….,dalam makalahnya membahas penerapan dari teknik optimisasi kekangan stabilitas tegangan. Kekangan tegangan yang aman dalam penyelesaian aliran daya optimal untuk daya aktiv dengan tetap menjamin level tegangan aman pada sistem tenaga. Penyelesai dengan cara ini memberikan suatu menimisasi biaya generator dan menjamin level tegangan aman.

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). Tetapi, menurut J.J. Grainger dalam bukunya, penggunaan prosedur Newton-Raphson, untuk sistem yang besar perhitungan Jacobian dan pengukuran untuk masing-masing iterasi memakai faktor LU. Cara Jacobian seringkali mengulangi masing-masing iterasi ini menyebabkan penyelesaian yang lambat, daya dan tegangan bus yang diizinkan tidak tercapai sehingga terjadi penyimpangan dalam perhitungannya.

Kompensasi daya reaktif dalam sistem tenaga biasanya merupakan studi masalah optimisasi *single-objective* pareto yang mana fungsi obyek adalah kombinasi linear dari berbagai faktor, investasi, dan rugi-rugi transmisi. Paper ini menggunakan pendekatan algoritma optimisasi *evolutionary multy-objective* yang mengelompokan 4 fungsi obyek meliputi, investasi fungsi kompensasi daya reaktif, rugi-rugi daya aktif, rata-rata penyimpangan tegangan, dan penyimpangan tegangan maksimum. Hasilnya memberikan suatu cara dan hasil yang lebih baik dari *single-objective* pareto, (Benyamin Baran, 2001).

Sangahm…….,dalam makalahnya membahas penerapan dari teknik optimisasi kekangan stabilitas tegangan. Kekangan tegangan yang aman dalam penyelesaian aliran daya optimal untuk daya aktif dengan tetap menjamin level tegangan aman pada sistem tenaga. Penyelesain dengan cara ini memberikan suatu menimisasi biaya generator dan menjamin level tegangan aman.

Metoda *Interior Point Prima-Dual* mempunyai nilai numerik sebagai batas kekangan tegangan untuk penyelesaian masalah optimisasi dalam sistem tenaga. Penelitian ini menerapkan algoritma *Largest-Step Central-Path* dalam menganalisis aliran daya optimal, didasarkan pada suatu titik guna mencapai optimal. Algoritma ini melihat jarak, memberikan suatu kemungkinan penambahan *robustness* (kekuatan). Metoda ini memberikan iterasi yang lebih kecil dan waktu yang singkat (Edgardo, 2000).

J.J. Grainger dalam bukunya, penggunaan prosedur Newton-Raphson, perhitungan Jacobian dan pengukuran untuk masing-masing iterasi memakai faktor LU. Cara Jacobian seringkali mengulangi masing-masing iterasi ini menyebabkan penyelesaian yang lambat, daya dan tegangan bus yang diizinkan tidak tercapai. Untuk penyelesaian sistem tenaga listrik skala besar, strategi alternatif untuk perbaikan efisiensi perhitungan dan guna mereduksi penyimpangan dapat digunakan metoda Decoupled yang dihasilkan dari pendekatan metoda Newton-Raphson.

Dalam penelitian ini akan mengkaji sampai sejauh mana metoda Decoupled untuk mengoptimisasi aliran daya aktif dan daya reaktif. Penelitian ini juga untuk meminimisasi rugi-rugi yang terjadi di saluran transmisi. Diharapkan penelitian ini memberikan suatu alternatif cara dalam operasi ekonomis sistem tenaga listrik.

Landasan Teori

Metoda Decoupled merupakan cara yang biasa dalam penyelesaian aliran daya sistem tenaga listrik. Menurut Grainger (1994), dalam penyelesaian sistem tenaga transmisi skala besar, strategi alternatif untuk perbaikan efisiensi perhitungan dan guna mereduksi penyimpangan dapat digunakan metoda Decoupled yang dihasilkan dari pendekatan metoda Newton-Raphson.

Ada dua pendekatan dasar dalam penyelesaian aliran daya Decoupled :

a. Merubah sudut tegangan δ pada bus primer akibat dari aliran daya aktif P saluran transmisi dan mengabaikan daya reaktif Q yang relatif tidak berubah.
b. Merubah magnitud tegangan $|V|$ pada bus primer akibat dari aliran daya reaktif Q saluran transmisi dan mengabaikan daya aktif P yang relatif tidak berubah.

Kondisi Optimal

Formula umum tentang masalah aliran daya optimal dapat dinyatakan sebagai berikut :
Minimum f(x)

Dicari h(x) = 0

dan g(x) ≤ 0

dengan variabel x dalam dimensi vektor. Kondisi di atas dari bentuk fungsi langrange Λ,

Aliran Daya Metoda Decoupled

Bentuk matrik Jacobian untuk aliran daya $V_{i\,min} \le V_i \le V_{i\,max}$ metoda decoupled :

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H & 0 \\ 0 & L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\delta \\ \dfrac{\Delta|V|}{V} \end{bmatrix}$$

dari matrik diatas didapat dua persamaan berikut :

$$[\Delta P] = [H][\Delta\delta]$$

dan $$[\Delta Q] = [L]\left[\frac{\Delta V}{V}\right]$$

dengan elemen dari Jacobian untuk H dan L adalah :

$$H_{ij} = L_{ij} = \frac{\delta P_i}{\delta\delta_j} = |V_i V_j|\left[G_{ij}\sin\left[\delta_i - \delta_j\right] - B_{ij}\cos\left[\delta_i - \delta_j\right]\right]$$

Elemen diagonal O adalah :

$$H_{ii} = \frac{\delta P_i}{\delta\delta_j} = -\sum_{\substack{j=1 \\ j\ne i}}^{n} |V_i V_j Y_{ij}| \sin\left[\theta_{ij} + \delta_i - \delta_j\right]$$

$$= -V_i^2 B_{ii} - Q_i$$

$$L_{ii} = \frac{\delta Q_i |V_i|}{\delta V_i} = |2V_i^2 Y_{ii}| \sin\theta_{ii} + \sum_{\substack{j=1 \\ j\ne i}}^{n} |V_i V_j Y_{ij}| \sin\left[\theta_{ij} + \delta_i - \delta_j\right]$$

$$= V_i^2 B_{ii} + Q_i$$

Fungsi Obyektif

Fungsi objektif dari aliran daya optimal pada generator guna meminimisasi biaya dengan persamaan biaya dari daya yang dihasilkan generator :

$$C_{Pgi} = a_i + b_i P_{gi} + c_i P_{gi}^2$$

dimana P_{Gi} merupakan daya keluaran pada generator ke i, sehingga fungsi objek adalah penjumlahan biaya dari masing-masing generator yang dapat ditulis sebagai berikut :

$$f(x) = \sum_i (a_i + b_i P_{Gi} + c_i P_{Gi}^2)$$

Persamaan Kekangan

Persamaan aliran daya Grainger dan Stevenson dengan daya aktif dan reaktif pada masing-masing bus ;

$$\frac{\partial P_i}{\partial\delta_j} = 0 = -|V_i V_j|\left\{B_{ij}\cos\left(\delta_j - \delta_i\right) + G_{ij}\sin\left(\delta_j - \delta_i\right)\right\} - P_{gi} + P_{di}$$

$$|V_j|\frac{\partial Q_i}{\partial|V_j|} = 0 = -|V_i V_j|\left\{B_{ij}\cos\left(\delta_j - \delta i\right) + G_{ij}\sin\left(\delta_j - \delta_i\right)\right\} - Q_{gi} + Q_{di}$$

dengan persamaan kekangan tegangan :

V_{Gi}-$V_{Gi\,set}$ = 0

Pertidaksamaan Kekangan

Daya maksimum dan minimum generator ke bus i :

$$P_{gi\,min} \le P_{gi} \le P_{gimaks}$$

$$Q_{gi\,min} \le Q_{gi} \le Q_{gimaks}$$

Perbandingan tap maksimum dan minimum dari perubahan tap transformator yang diinginkan dan perubahan phasa transformator mempunyai

nilai maksimum dan minimum dengan pertidaksamaan kekangan :

$$t_{km\,min} \le t_{km} \le t_{km\,max}$$

$$\alpha_{km\,min} \le \alpha_{km} \le \alpha_{km\,max}$$

Guna mempertahan kualitas pelayanan listrik dan keamanan sistem, tegangan bus mempunyai besaran maksimum. Batas dari pertidaksamaan kekangan adalah :

$$V_{i\,min} \le V_i \le V_{i\,max}$$

.

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan model sistem tenaga, dimana sudah terdapat data-data yang perlukan untuk perhitungan. Penelitian ini akan menentukan operasi ekonomis sistem tenaga 23 bus, dengan tahapan sebagai berikut : Membentuk persamaan perhitungan metoda Decoupled berbasis aliran daya optimal dari daya aktif dan daya reaktif sistem tenaga. Kemudian minimisasi rugi-rugi saluran transmisi. Adapun variabel yang akan dicari dalam penelitian ini adalah :

- Optimisasi daya aktif
- Optimisasi daya reaktif
- Minimisasi rugi-rugi saluran transmisi.

Hasil dan Pembahasan

A. Data Saluran Transmisi dan Beban

Hasil penelitian ini berupa hasil *running* simulasi dari model sistem pada penelitian Penerapan Metoda Decoupled Berbasis Aliran Daya Optimal pada Sistem Tenaga Listrik Sumbar Riau. Data pusat beban dan data saluran ditampilkan pada tabel 1 dan 2.

Tabel 1. Data Pusat Beban

No	RUTE		P(Km)	IMPEDANSI				Y/2
	DARI	KE		R1	JX1	R0	JX0	(PU)
1	Ombilin	Indarung	63,951	7,544	27,114	39,777	116,0690	0,01746
2	Ombilin	Salak	2,417	0,286	1,026	1,558	4,3750	0,00086
3	Salak	Solok	27,480	3,266	12,851	17,092	49,8760	0,00854
4	Solok	Indarung	34,054	4,019	14,851	19,850	62,3790	0,00930
6	Indarung	Pauh Limo	6,660	0,738	14,369	4,369	12,0213	0,00262
7	Pauh Limo	Spang Haru	7,000	0,820	2,823	4,364	12,6210	0,00239
8	Pauh Limo	LB Alung	33,700	3,975	2,968	20,961	61,1655	0,01047
9	Pauh Limo	PI Padang	20,000	2,000	14,288	11,660	36,6400	0,00273
11	PI Padang	LB Alung	13,700	1,666	8,480	7,987	25,0984	-
13	LB Alung	Singkarak	12,000	1,020	5,808	6,660	21,8760	0,00331
14	LB Alung	Maninjau	56,700	6,600	4,980	33,056	103,8744	0,01548
15	Maninjau	Pdg Luar	42,000	1,020	24,040	13,818	52,4580	0,01435
16	Pdg Luar	Payakumbuh	32,000	6,609	17,136	10,528	39,9680	0,01093
17	Payakumbuh	Btg Agam	15,000	4,950	13,056	9,955	34,6310	0,00007
18	Payakumbuh	Koto Pnjang	85,100	3,770	4,931	46,972	155,7330	0,02247
19	Ombilin	Batusangkar	32,610	2,230	35,061	10,042	40,6270	0,01095
20	Batusangkar	Payakumbuh	26,110	7,266	12,911	8,040	32,5280	0,00877
21	Bengkinang	Grd Sakti	46,800	2,775	18,860	28,407	83,9592	0,18650
22	Grd Sakti	Duri Dumai	117,00	13,800	49,140	65,403	205,5690	0,01531
23	Grd Sakti	Tlk Lembu	23,000	1,540	9,269	13,984	41,2620	0,00458
24	Ombilin	Kiliranjao	154,00	3,255	2,968	20,961	61,1655	0,01047

Tabel 2. Data Beban Terpasang

NO	PUSAT BEBAN	BEBAN MW
1	Maninjau	14,00
2	Lubuk Alung	17,50
3	Pauh Limo	23,20
4	Simpang Haru	56,60
5	PIP	18,90
6	Indarung	59,00
7	Solok	16,100
8	Salak	9,50
9	Batusangkar	7,70
10	Payakumbuh	15,80
11	Koto panjang	10,80
12	Bengkinang	12,50
13	Garuda sakti	56,70
14	Teluk lembu	45,20
15	Duri /Dumai	43,20
16	Kiliranjao	16,40
17	Padang Luar	28,10
	Jumlah	**451,20**

Berdasarkan penyelesaian simulasi aliran daya dengan metoda Decoupled diperoleh hasil aliran daya sebagai berikut :

Tabel 3. Aliran daya dan rugi daya saluran dengan metoda Decoupled

Bus		Tegangan (kV)	Aliran Daya Saluran (MW)		Rugi-Rugi Daya Aktif (kW)
dari	ke				
1	2	3	4		5
Payakumbuh		149.900			
	Batusangkar		-66.960	66.970	0.21
	Koto Panjang		-54.950	55.040	0.19
	Padang Luar		-4.490	4.490	0.51
Maninjau		150.003			
	Padang Luar		-32.180	32.190	0.113
	Lubuk Alung		22.210	22.200	0.31
Ombilin		150.310			
	Indarung		7.520	7.510	0.15
	Kiliranjao		-16.620	16.621	0.221
	Salak		93.160	-93.160	0.21
	Batusangkar		83.380	-83.350	0.17

1	2	3	4		5
Lubuk Alung		150.671			
	Pauh Limo		24.570	-24.560	0.51
	PI. Padang		59.190	59.180	0.12
Pauh Limo		149.911			
	PI. Padang		-40.321	40.321	0.161
	Simpang Haru		56.760	-56.850	0.16
	Indarung		15.810	-15.810	0.14
Koto Panjang		150.257			
	Bengkinang		147.060	-147.040	1.23
	Garuda Sakti		11.590	-11.580	0.42
Solok		150.611			
	Indarung		67.490	-67.520	0.23
	Salak		83.460	-83.430	0.0325
Singkarak		149.410			
	Batusangkar		9.175	-9.174	0.435
Garuda Sakti		149.282			
	Bengkinang		-134.330	134.460	0.83
	Duri		43.360	-43.200	0.16
	Teluk Lembu		45.32	-45.200	0.12
Total Rugi Daya					6,6325

Penerapan algoritma menggunakan sistem
tenaga Sumbar Riau yang terdiri dari 24 bus dan 17 pusat beban.

Tabel 3. Menunjukkan suatu hasil simulasi yang konvergen dengan menggunakan metode Decoupled pada perhitungan aliran daya sistem dan tegangan sistem berada pada kendala yang ditetapkan.

Nilai Pembangkitan yang dioperasikan pada *setting* yang ditetapkan dan rugi – rugi daya yang dihasilkan sebesar 1,5 % dari total beban yang dilayani.

Simpulan

Kesimpulan yang didapat dari hasil simulasi adalah :

1. Aliran daya yang dihasil menunjukkan hasil yang optimal pada kekangan sistem.
2. Rugi-rugi daya pembangkitan menunjukkan hasil yang sangat kecil.
3. Tegangan sistem berada pada *setting* yang ditetapkan

DAFTAR PUSTAKA

[1] Benjamin Baran, Jose Vallejos, Rodrigo Ramos and Ubaldo Fernandez, 2001, Multi-objective Reactive Power Compensation, IEEE Transaction on Power System,……..

[2] Eddie Widiono, 2003, Kondisi Kelistrikan Nasional dan Pengembangannya, Seminar Pengembangan Energi, UGM Yogyakarta.

[3] Edgardo D. castronuovo, Jorge M. campagnolo, and Roberto Salgado, 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.

[4] Edgardo D. castronuovo, Jorge M. campagnolo, and Roberto Salgado, …….., New Versions of Interior Point Method Applied to the Optimal Power Flow Problem, ……

[5] Hadi Saadat, 1999, Power System Analysis, McGraw-Hill, Inc, Singapore.
[6] James A. Momoh, 2001, Electric Power System Applications of Optomization, Marcel Dekker, Inc, New York.
[7] 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.
[8] J. J. Grainger and W. D. Stevenson, 1994, Power System Analysis, McGraw-Hill, Inc, New York.
[9] Kundur, P., 1993, Power System Stability and Control, McGraw-Hill, Inc., Toronto, U.S.A.
[10] Luciano V. Barboza, Roberto Salgado, Desember 2000, Corrective Solutions of Stedy State Power System Via Newton Optimasi Method, SBA Controle & Automacao, Vol. 11, No. 3, pp 182 - 186.