
Jurnal ***Rekayasa Elektrika***

VOLUME 12 NOMOR 1

APRIL 2016

**Komputasi Aliran Daya Optimal Sistem Tenaga Skala Besar dengan
Metode Primal Dual Interior Point**

10-15

Syafii dan Ikhwannul Kadri Masrul

JRE	Vol. 12	No. 1	Hal 1-40	Banda Aceh, April 2016	ISSN. 1412-4785 e-ISSN. 2252-620X
-----	---------	-------	----------	---------------------------	--------------------------------------

Komputasi Aliran Daya Optimal Sistem Tenaga Skala Besar dengan Metode Primal Dual Interior Point

Syafi dan Ikhwannul Kadri Masrul
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Andalas
Kampus Limau Manis, Padang 25163
e-mail: syafi@ft.unand.ac.id

Abstrak—Makalah ini membahas tentang penggunaan metode Primal Dual Interior Point dalam analisa aliran daya optimal. Analisa aliran daya optimal dengan metode Primal Dual Interior Point selanjutnya dibandingkan dengan Metode Linear Programming menggunakan program Matpower. Hasil simulasi memperlihatkan bahwa perhitungan komputasi Metode Primal Dual Interior Point memberikan hasil yang sama dengan Metode Linear Programming untuk total biaya pembangkitan dan besar daya yang dibangkitkan oleh masing-masing pembangkit. Tetapi dalam hal waktu komputasi Metode Primal Dual Interior Point lebih cepat dibanding Metode Linear Programming terutama untuk sistem yang besar. Metode Primal Dual Interior Point menyelesaikan masalah dalam waktu 40,59 detik, sedangkan Metode Linear Programming membutuhkan waktu selama 239,72 detik untuk sistem skala besar 9241 bus. Hal ini karena algoritma penyelesaian PDIP dimulai dari titik awal x_0 , yang terletak didalam daerah feasible bergerak menuju titik optimal, berbeda dengan metode simplex yang bergerak sepanjang batas daerah feasible dari satu titik ekstrim ke titik ekstrim lainnya. Dengan demikian Metode Primal Dual Interior Point lebih efisien dalam menyelesaikan masalah aliran daya optimal sistem tenaga skala besar.

Kata kunci: *metode primal dual interior point, metode linear programming, waktu komputasi, aliran daya optimal*

Abstract—This paper focuses on the use of Primal Dual Interior Point method in the analysis of optimal power flow. Optimal power flow analysis with Primal Dual Interior Point method then compared with Linear Programming Method using Matpower program. The simulation results show that the computation results of Primal Dual Interior Point similar with Linear Programming Method for total cost of generation and large power generated by each power plant. But in terms of computation time Primal Dual Interior Point method is faster than the method of Linear Programming, especially for large systems. Primal Dual Interior Point method have solved the problem in 40.59 seconds, while Linear Programming method takes longer 239.72 seconds for large-scale system 9241 bus. This is because the settlement PDIP algorithm starts from the starting point x_0 , which is located within the area of feasible move towards the optimal point, in contrast to the simplex method that moves along the border of the feasible from one extreme point to the other extreme point. Thus Primal Dual Interior Point method have more efficient in solving optimal power flow problem of large-scale power systems.

Keywords: *primal dual interior point methods, methods of linear programming, computing, optimal power flow*

I. PENDAHULUAN

Aliran daya optimal merupakan masalah pemrograman tak linear berukuran besar (Large scale nonlinear programming), dalam perkembangannya memerlukan waktu bertahun-tahun untuk memperoleh algoritma yang efisien untuk penyelesaiannya. Berbagai teknik matematika telah banyak dikembangkan diantaranya Metode gradient merupakan pendekatan pertama penyelesaian masalah tersebut [1]. Metode yang lebih lengkap, handal dalam menangani kendala pertidaksamaan dan relatif cepat adalah metode linear programming berbasis simplek [1], [2]. Namun untuk permasalahan dengan ukuran yang semakin besar, metode simplek membutuhkan sejumlah iterasi cukup banyak untuk mencapai konvergen karena kerumitan waktu eksponensialnya. Hal ini telah memotivasi

para ahli matematika untuk mencari metode baru dapat menghitung sistem yang rumit dengan hasil yang lebih baik yaitu metode interior point [3], [4].

Beberapa perangkat lunak seperti Matlab, Mathcad, Mathematica dan sebagainya sudah mulai digunakan untuk memecahkan masalah simulasi sistem tenaga listrik. Dari sekian banyak bahasa pemrograman, Matlab merupakan yang paling populer karena fitur bahasa pemrograman berorientasi pada matriks, kemampuan *plotting* dan *graphical environment (Simulink)*, dan kontrol skema desain yang sangat sederhana [4], [5].

Dengan demikian maka dalam pembahasan kali ini akan dianalisis bagaimana proses mengoptimalkan daya pada sistem kelistrikan menggunakan metode berbasis interior point. Optimasi ini dilakukan untuk mengetahui berapa besar daya masing-masing unit pembangkit

untuk mendapatkan biaya pembangkitan yang minimum. Metode primal dual interior point (PDIP), yaitu metode penyelesaian optimasi persamaan kuadrat linear dan non linear. Penyelesaian persamaan kuadrat dilakukan dengan memotong fungsi pembatas sehingga proses dan waktu perhitungn relative lebih cepat dari metode biasa. Performasi hasil perhitungan akan dibandingkan dengan metode berbasis *linear programming*.

II. STUDI PUSTAKA

A. Optimal Power Flow

Program Aliran Daya Optimal (OPF) menjadi penting dalam perencanaan dan pengoperasian sistem tenaga proses restrukturisasi pengelolaan kelistrikan, namun algoritma penyelesaiannya harus mempunya sifat-sifat: cepat, akurat dan andal [1]. Program ekonomi dispatch klasik (yang memisahkan antara perhitungan ekonomi dispatch dengan perhitungan aliran daya) tidak mampu lagi mengkaver semua keinginan tersebut. Maka perhitungan ekonomi dispatch harus sekaligus menghitung aliran daya secara simultan yang disebut Program Aliran Daya Optimal yang mampu menghitung dispatch daya yang paling murah dengan memenuhi semua kendala aliran daya dan batas-batas pengoperasian sistem. Program aliran daya optimal ini dimaksud dapat memenuhi permintaan tersebut.

Faktor yang mempengaruhi daya pembangkitan pada harga yang paling murah adalah operasi efisien dari generator, biaya bahan bakar dan rugi-rugi (losses) transmisi. Operasi yang paling efisien belum dapat menjamin biaya minimum jika berada dalam kawasan dengan biaya bahan bakar tinggi, begitu juga jika pusat pebangkit terletak jauh dari pusat beban rugi-rugi (losses) saluran akan lebih besar, sehingga lebih dominan pengaruhnya untuk mencapai titik ekonomis. Oleh karena itu ada dua fungsi objektif yang sering digunakan dalam rumusan aliran daya optimal yaitu :

1. Minimum biaya total daya pembangkit.
2. Minimum rugi-rugi (losses) daya aktif transmisi pada keseluruhan atau sebagian jaringan.

Hasil yang akan diperoleh dengan pengurangan/ minimum fungsi ojektif tersebut : untuk penghematan biaya pembangkitan (alasan ekonomis) dan pada saat yang sama akan menambah pembangkitan reserve (alasan keamanan)

Masalah aliran daya optimal dengan variabel daya aktif dan reaktif dapat di representasikan pada persamaan berikut [6]:

$$MinF = \sum_{i=1}^{NG} (a_i + biP_{gi} + c_i P_{gi}^2), \quad (1)$$

dengan kendala:

$$Pi(V, \theta) = P_{Gi} - P_{Di} \quad (2)$$

$$Qi(V, \theta) = Q_{Gi} - Q_{Di} \quad (3)$$

$$P_{Gi \min} \leq P_{Gi}(V, \theta) \leq P_{Gi \max} \quad (4)$$

$$Q_{Gi \min} \leq Q_{Gi}(V, \theta) \leq Q_{Gi \max} \quad (5)$$

$$V_{i \min} \leq V_i \leq V_{i \max} \quad (6)$$

Dimana:

P_{Gi} = Keluaran daya aktif generator bus i

Q_{Gi} = Keluaran daya reaktif generator bus i.

P_{Di} = Daya aktif beban bus i.

Q_{Di} = Daya reaktif beban bus i.

P_i = Fungsi Daya aktif yang diinjeksikan pada bus i.

Q_i = Fungsi Daya reaktif yang diinjeksikan pada bus i.

V_i = Besar tegangan pada bus i

B. Metode Primal Dual

1. Formulasi Umum Primal Permasalahan Pemograman Linear

Fungsi Tujuan:

$$\text{maks} \quad Z = \sum_{j=1}^n b_j x_j \quad (7)$$

$$\text{pembatas} \quad \sum_{j=1}^n A_{ij} x_j \leq c_i \quad (8)$$

$$x_j \geq 0 \quad (9)$$

untuk semua: $i=1, 2, 3, \dots, m$
 $j=1, 2, 3, \dots, n$

2. Formulasi Umum Dual Permasalahan Pemograman Linear

Fungsi tujuan :

$$\text{min} \quad Z = \sum_{i=1}^m c_i y_i \quad (10)$$

$$\text{pembatas} \quad \sum_{i=1}^m A_{ij} y_i \leq b_j \quad (11)$$

3. Ketentuan Ketentuan Pada Metode Primal Dual

- Koefisien fungsi tujuan primal menjadi konstanta dual
- Konstanta pada primal menjadi koefisien fungsi tujuan pada dual
- Fungsi tujuan maksimal pada primal menjadi fungsi tujuan minimal pada dual
- Setiap kolom pada primal berkorespondensi dengan baris pada dual
- Setiap baris pada primal berkorespondensi dengan kolom pada dual
- Tanda ketidaksamaan bergantung pada fungsi tujuan.

Algoritma penyelesaian OPF dengan PDIP dapat diuraikan sebagai berikut :

- a. Inisialisasi masalah
- b. Mengubah masalah ketimpangan menjadi masalah kesetaraan menggunakan fungsi penghalang dan

- variabel slack
- Persamaan Lagrangian untuk masalah optimasi
 - Memecahkan system persamaan dengan metode Newton
 - Menentukan panjang ukuran langkah
 - Memperbarui solusi
 - Hitung parameter penghalang
 - Jika kriteria konvergensi terpenuhi maka solusi optimal ditemukan.

C. Matpower

Matpower adalah paket M-file Matlab untuk memecahkan masalah aliran daya dan aliran daya optimal [7]. Hal ini dimaksudkan sebagai alat simulasi bagi para peneliti dan pendidik yang sudah digunakan dan dimodifikasi. Matpower dirancang untuk memberikan kinerja terbaik sambil menjaga kode tetap sederhana untuk dipahami dan dimodifikasi.

Fungsi utama Matpower adalah untuk memecahkan masalah aliran daya dan aliran daya optimal baik AC

maupun DC. Matpower sangat mudah digunakan, kita hanya harus menuliskan kode simulasi apa yang kita ingin jalankan pada *command window* matlab. Contoh, jika kita tuliskan `runpf('case14')`; maka matlab akan memanggil pemecahan aliran daya tegangan AC untuk sistem 14 bus, jika kita menuliskan `runopf('case14')`; maka matlab akan memanggil pemecahan aliran daya optimal tegangan AC untuk sistem 14 bus.

Untuk menampilkan hasil dari data yang telah diinputkan kembali ke dalam bentuk struct, maka digunakan perintah :

```
>> results = runopf(casedata)
```

III. METODE

Simulasi aliran daya optimal dilakukan menggunakan program Matpower pada beberapa kasus sistem tenaga menggunakan arsip data IEEE 30, IEEE 300 bus [8], dan case 2869 dan 9241 bus. Data 9241 merupakan data sistem kelistrikan eropa dapat merepresentasikan sistem tenaga skala besar [9]. Cara kerja Matpower untuk masalah OPF secara singkat adalah sebagai berikut:

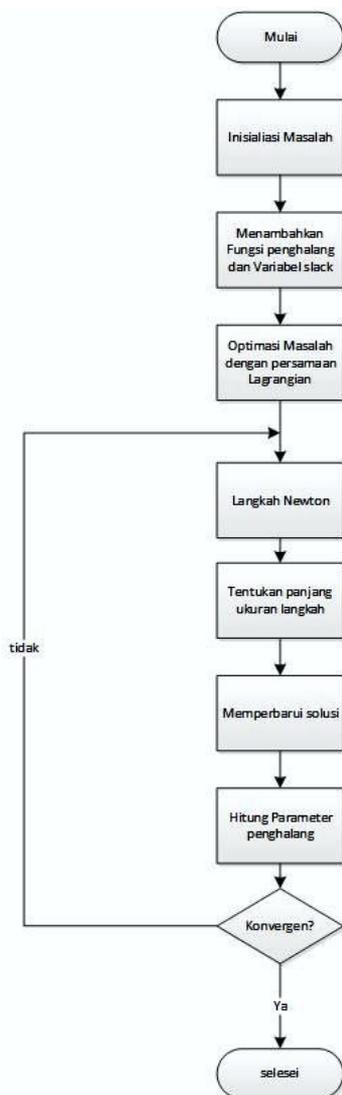
- Memuat data ke struktur data mpc
- Mengkonversi data ke penomoran internal dan menghapus bagian data yang tidak akan digunakan.
- Membangun matriks dan vektor yang diperlukan untuk merumuskan masalah OPF (Ybus, batas variabel, biaya, dll).
- Membangun objek model OPF dengan semua variabel dan indeks informasi kendala.
- Memanggil program pemecah terpilih seperti *Primal Dual Interior Point Method* (PDIPM).
- Mengemas hasil pemecahan masalah ke dalam struktur hasil
- Mengkonversi hasil pemecahan masalah kembali ke format penomoran eksternal dan menambahkan kembali bagian data yang tidak digunakan.
- Mencetak dan atau menyimpan hasil simulasi.

Selanjutnya hasil simulasi dengan metode *primal dual interior point* dianalisa dan dibandingkan dengan hasil simulasi dari metode *linear programming*. Parameter yang menentukan keunggulan suatu algoritma yang diterapkan adalah kecepatan waktu komputasi untuk sistem berukuran besar disamping juga keakuratan hasil perhitungan yang diperoleh.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil *running* program menggunakan *toolbox* Matpower untuk data sistem tenaga IEEE 30 bus, IEEE 300 bus, sistem 2869 bus dan sistem 9241 bus menggunakan metode *primal dual interior point* dan metode *linear programming* diperoleh hasil perhitungan total biaya pembangkitan masing sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1.

Berdasarkan hasil simulasi tersebut diperoleh bahwa kedua metode mempunyai keakuratan hasil perhitungan



Gambar 1. Flowchart Metode *Primal Dual Interior Point*

Tabel 1. Perbandingan biaya pembangkitan kedua metode

Kasus	Biaya Pembangkitan (\$/Hour)	
	Metode PDIP	Metode LP
IEEE 30 bus	8906.14	8906.14
IEEE 300 bus	719725.11	719725.11
Sistem 2869 bus	133999.29	133999.29
Sistem 9241 bus	315912.43	315911.85

yang sama, seperti terlihat pada Tabel 1. Sedangkan untuk perhitungan besar biaya pembangkitan untuk kedua metode juga menghasilkan nilai yang sama besar, sebagai contoh hasil perhitungan sistem IEEE 30 bus diperlihatkan pada Tabel 2.

Dari tabel terlihat bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara generator 1 dengan generator lainnya. Dimana generator 1 membangkitkan daya paling besar dibanding generator lain. Ini disebabkan karena Generator 1 merupakan bus referensi, yaitu bus yang berfungsi mensuplai kekurangan daya aktif dan daya reaktif dalam sistem. Yang mana bus referensi ini biasanya adalah pembangkit dengan kapasitas terbesar. Selain itu koefisien biaya Pembangkit 1 adalah yang paling murah dibanding yang lain, sehingga untuk mendapatkan biaya pembangkitan yang minimal, maka daya terbesar dibangkitkan oleh Generator 1.

Hasil perhitungan waktu komputasi dan jumlah iterasi masing-masing algoritma diperlihatkan pada Tabel 3. Total biaya pembangkitan dihitung dalam proses iterasi yang pada simulasi OPF. Hasil akhir dari kedua metode memang menunjukkan hasil yang persis sama, tetapi waktu komputasi dan jumlah iterasi yang dilakukan oleh kedua metode tersebut berbeda seperti terlihat pada Tabel 3.

Berdasarkan hasil yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa penyelesaian aliran daya optimal berbasis algoritma interior-point memberikan hasil yang lebih baik dari sisi waktu komputasi dan jumlah iterasi. Untuk sistem tenaga berukuran kecil kecepatan komputasi masih relatif sama dan cepat. Tetapi jika ukuran sistem semakin besar (>300 bus) maka perbedaannya cukup signifikan dan lama, sedangkan untuk metode interior point pertumbuhan ukuran sistem tidak terlalu mempengaruhi hasil kecepatan hitung sehingga metode ini menjadi alternatif yang paling

Tabel 2. Perbandingan daya setiap pembangkit

Generator #	Daya (MW)	
	Metode PDIP	Metode LP
1	212.23	212.23
2	36.23	36.23
3	29.35	29.35
4	12.94	12.94
5	4.4	4.4
6	0	0

Tabel 3. Perbandingan waktu komputasi dan jumlah iterasi

Kasus	Waktu Komputasi		Jumlah Iterasi	
	Metode PDIP	Metode LP	Metode PDIP	Metode LP
IEEE 30	1.53	3.64	11	7
IEEE 300	2.37	4.27	19	20
Sistem 2869 bus	10.03	22.87	36	50
Sistem 9241 bus	40.59	239.72	45	69

tetap untuk penyelesaian masalah aliran daya optimal untuk sistem tenaga yang besar.

Untuk case 30, jumlah iterasi perhitung metode PDIP lebih banyak dibanding metode LP, sedangkan waktu komputasi metode PDIP tetap lebih cepat dibanding metode LP. Hal ini disebabkan karena proses yang dilakukan dalam metode PDIP yang memeriksa masalah langsung ke titik kritis menuju solusi sehingga titik optimal lebih cepat ditemukan. sedangkan metode LP sifatnya memeriksa setiap titik ekstrem, sehingga solusi optimal lebih lama ditemukan. Tetapi untuk kasus IEEE 300 bus, sistem 2869 bus, dan sistem 9241 bus jumlah iterasi metode PDIP lebih sedikit dibanding metode LP dan waktu komputasi PDIP lebih cepat dibanding metode LP.

Dari hasil simulasi waktu komputasi menunjukkan bahwa perhitungan dengan algoritma berbasis interior point menjadi alternatif yang paling tepat untuk penyelesaian masalah aliran daya optimal untuk sistem tenaga yang besar, karena pertumbuhan waktu kumputasi terhadap ukuran sistem mendekati linear, sedangkan penyelesaian berbasis simplek tumbuh secara eksponensial. Hasil studi beberapa kasus menunjukkan program aliran daya optimal berbasis interior point dengan perumusan aliran daya AC terbukti handal dan akurat.

Simulasi terhadap variasi koefisien biaya pembangkit juga dianalisa dalam makalah ini.

Kasus 1: Kasus dasar dengan koefisien unit pembangkit seperti Tabel 4.

Hasil simulasi memberikan total biaya pembangkitan sebesar: 8925.62 \$/hour atau sama dengan Rp. 119.076.782,- per jam. Sedangkan daya keluaran masing-masing pembangkit ada:

- Generator 1 24,4 MW
- Generator 2 5,37 MW

Tabel 4. Koefisien biaya pembangkit pada kasus 1

Unit	Pmin (MW)	Pmax (MW)	ai	bi	ci
1	0	360.2	0.25	30	0
2	0	140	0.25	30	0
5	0	100	0.02	30	0
8	0	100	0.02	30	0
11	0	100	0.02	30	0
13	0	100	0.02	30	0

- Generator 5 77,45 MW
- Generator 8 59,69 MW
- Generator 11 63,48 MW
- Generator 13 54,83 MW

Berdasarkan hasil daya keluaran pembangkit, terlihat bahwa daya yang dihasilkan oleh Generator 1 dan 2 kecil dibandingkan Generator 3, 4, 5 dan 6. Itu disebabkan koefisien biaya pada Generator 1 dan 2 mahal. sehingga untuk mendapatkan biaya yang minimal, daya lebih besar dibangkitkan oleh Generator 3, 4, 5 dan 6.

Kasus 2: Kasus dimana koefisien unit pembangkit diperbesar seperti Tabel 5.

Hasil simulasi memberikan total biaya pembangkitan sebesar: 9911.76 \$/hour atau sama dengan Rp.132.232.886,- per jam. Sedangkan daya keluaran masing-masing pembangkit ada:

- Generator 1 75,11 MW
- Generator 2 56,78 MW
- Generator 5 22,05 MW
- Generator 8 18,83 MW
- Generator 11 58,51 MW
- Generator 13 56,69MW

Berdasarkan hasil daya keluaran pembangkit tersebut, terlihat bahwa daya yang dibangkitkan oleh generator 3 dan 4 lebih kecil dibanding generator lainnya. Sama dengan pada kasus 1, ini dilakukan untuk menghasilkan biaya pembangkitan yang minimal, sehingga pembangkit yang mahal sedikit membangkitkan daya dibanding pembangkit dengan koefisien yang lebih murah.

Kasus 3: Kasus dimana koefisien unit pembangkit diperkecil seperti Tabel 6.

Hasil simulasi memberikan total biaya pembangkitan sebesar: 7085.18 \$/hour atau sama dengan Rp.94.523.455,- per jam. Sedangkan daya keluaran masing-masing pembangkit ada:

- Generator 1 45,19 MW
- Generator 2 46,65 MW
- Generator 5 51,57MW
- Generator 8 47,87 MW
- Generator 11 48,34 MW
- Generator 13 46,36 MW

Berdasarkan hasil simulasi dengan memvariasikan koefisien biaya pembangkit, diperoleh hasil bahwa pembangkit dengan biaya murah akan diatur untuk memberikan daya lebih banyak pada hasil *dispatch* atau komposisi daya melayani beban. Sedangkan pembangkit

Tabel 5. Koefisien biaya pembangkit pada kasus 2

Unit	Pmin (MW)	Pmax (MW)	ai	bi	ci
1	0	360.2	0.25	10	0
2	0	140	0.25	20	0
5	0	100	0.25	40	0
8	0	100	0.25	40	0
11	0	100	0.25	20	0
13	0	100	0.25	20	0

Tabel 6. Koefisien biaya pembangkit pada kasus 3

Unit	Pmin (MW)	Pmax (MW)	ai	bi	ci
1	0	360.2	0.1	20	0
2	0	140	0.1	20	0
5	0	100	0.1	20	0
8	0	100	0.1	20	0
11	0	100	0.1	20	0
13	0	100	0.1	20	0

yang lebih mahal akan mendapat bagaian yang lebih sedikit. Selain itu koefisien a dari biaya suatu pembangkit lebih dominan mempengaruhi hasil biaya total pembangkitan. Karena koefisien a dari biaya pembangkit berbanding kuadrat dengan daya output pembangkit.

V. KESIMPULAN

Simulasi aliran daya optimal dengan metode *primal dual interior point* menggunakan program matpower telah dilakukan dan dapat membantu menyelesaikan perhitungan aliran daya optimal untuk menentukan total biaya minimal pembangkitan dalam pemenuhan seluruh daya beban. Dari hasil simulasi waktu komputasi menunjukkan bahwa perhitungan dengan algoritma berbasis interior point menjadi alternatif yang paling tepat untuk penyelesaian masalah aliran daya optimal untuk sistem tenaga yang besar, karena pertumbuhan waktu kumputasi terhadap ukuran sistem mendekati linear, sedangkan penyelesaian berbasis simplek tumbuh secara eksponensial. Hasil studi beberapa kasus menunjukkan program aliran daya optimal berbasis interior point dengan perumusan aliran daya AC terbukti handal dan akurat.

Berdasarkan hasil simulasi variasi koefisien biaya pembangkit, diketahui bahwa koefisien a dari biaya pembangkit lebih dominan mempengaruhi hasil biaya total pembangkitan dan secara umum pembangkit yang lebih mahal akan mendapatkan bagian yang lebih sedikit dibandingkan dengan pembangkit yang lebih murah dalam hal besar daya yang dibangkitkan untuk melayani kebutuhan beban.

REFERENSI

- [1] Wood, A. J. Wollenberg, B. F. and Sheble G B, 'Power Generation Operation and Control', 3rd Ed, New York, NY: John Wiley & Sons, Inc., 2013.
- [2] Alsac, O., Bright, J., Prais, M., Stott, B., 'Further Developments in LP-based Optimal Power Flow', IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 5, No. 3, Aug. 1990, pp. 697-711.
- [3] Syaifi, Sianipar G, "Optimal Power Flow Solving with Interior Point", Proceedings of SSTE II in Udiklat – PLN Semarang 3 Oct – 1 Nov 2001.
- [4] Trisnadi, Dian Anggun. Studi Aliran Daya Optimal dengan Optimasi Primal Dual Berbasis Metode Newton. Skripsi S1, Teknik Elektro. Universitas Pendidikan Indonesia, 2013.

- [5] Zimmerman R.D., Murillo-Sánchez C.E., and Thomas R. J., "MATPOWER: Steady-State Operations, Planning and Analysis Tools for Power Systems Research and Education," *Power Systems, IEEE Transactions on*, vol. 26, no. 1, pp. 12-19, Feb. 2011.
- [6] Wang H, Murillo-Sánchez C.E, Zimmerman R.D., On Computational Issues of Market-Based, Optimal Power Flow, *IEEE Transaction on Power System*, Vol. 22, No. 3, August 2007
- [7] Zimmerman, R. D. dan C. Murillo-S' anchez. MATPOWERUser's Manual. [Online]tersedia di: <http://www.pserc.cornell.edu/matpower/>
- [8] Power Systems Test Case Archive: <http://www.ee.washington.edu/research/pstca>
- [9] Fliscounakis, S.; Panciatici, P.; Capitanescu, F.; Wehenkel, L., "Contingency Ranking With Respect to Overloads in Very Large Power Systems Taking Into Account Uncertainty, Preventive, and Corrective Actions," *Power Systems, IEEE Transactions on* , vol.28, no.4, Nov. 2013.

Penerbit:

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala

Jl. Tgk. Syech Abdurrauf No. 7, Banda Aceh 23111

website: <http://jurnal.unsyiah.ac.id/JRE>

email: rekayasa.elektrika@unsyiah.net

Telp/Fax: (0651) 7554336

