

# OPTIMAL POWER FLOW: MODELING AND SIMULATION, SOLUTION METHODS, AND ITS APPLICATION USING *POWERWORLD SOFTWARE*<sup>®</sup>

Didi Istardi<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Program Studi Teknik Elektro Politeknik Batam  
Parkway St. Batam Centre, Batam. Telp 0778-469856  
e-mail : [istardi@polibatam.ac.id](mailto:istardi@polibatam.ac.id)

## Abstrak

*Optimal power flow has been used to solve a large class of problems in the power industry, including planning, generation dispatch, and security constrained dispatch. The OPF problem can be described as the cost of minimization of real power generation in an interconnected system where real and reactive power, transformer taps, and phase-shift angles are controllable and a wide range of inequality constraints are imposed. It is a static and a nonlinear optimization problem. In this paper, we will try to see how the OPF is modeled and simulated using powerworld software<sup>®</sup>, and what solution methods can be used to implement the models. Applications of the optimal power flow methods will also be analyzed based on this software.*

**Keyword** : Electricity markets, strategic bidding, powerworld, optimal power flow

## 1. PENDAHULUAN

Sistem tenaga listrik telah mengalami pertumbuhan dan perkembangan teknologi yang saling berkelanjutan dalam tiga sektor bisnis ketenagalistrikan, yaitu sektor pembangkitan, transmisi, dan distribusi. Pada tahun 1990-an, sistem transmisi tidak menarik para pelaku usaha untuk terjun disektor ini, hal ini ditandai dengan rendahnya kompetisi antar pelaku dalam mengelola sistem interkoneksi antar transmisi, sehingga tidak sulit untuk membagi beban listrik antara beberapa unit pembangkit. Peningkatan beban dan kompleksitas dalam mengoperasikan listrik membuka kembali peran dari sektor transmisi dalam bisnis ketenagalistrikan ini. Sehingga membuat para operator listrik di sektor pembangkit maupun distribusi berusaha untuk memaksimalkan penggunaan peralatan mereka agar mampu bersaing dalam bisnis ini. Hal ini menjadi tidak praktis untuk menentukan strategi operasi yang diperlukan hanya berdasarkan pengamatan dan pengalaman operator operasi listrik. Dengan mempertimbangkan masalah efisiensi dari sisi ekonomi, maka sebuah metoda yang terintegrasi harus diterapkan. Salah satu metode yang digunakan yaitu metode Optimal Power Flow (OPF) yang telah dikembangkan selama bertahun-tahun untuk memenuhi persyaratan ini sangat praktis daya sistem operasi [2].

Optimal Power Flow (OPF) dapat lebih mudah dipahami jika kita berpikir dalam hal arus listrik konvensional, dimana tujuannya adalah untuk menentukan kondisi operasi stabil dari jaringan listrik. Dalam OPF ini, pertama-tama akan ditentukan besarnya tegangan dan sudut fasa disemua jaringan bus yang mengacu pada level tertentu dari beban dan generator yang biasanya dinyatakan dalam satuan per-unit (pu). Daya yang mengalir melalui jaringan ini kemudian akan dihitung. Sehingga dari aliran daya ini akan diketahui kelayakan dari sistem ini jika ditinjau dari sisi ekonomi dan kerugian setiap sistemnya. Metode OPF ini juga akan menentukan batasan-batasan yang diperbolehkan dalam sistem ini sebagai sebuah fungsi. Batasan ini persamaan jaringan, kondisi pada saat pembebanan, dan batasan daya aktif dan reaktif dari generator. Pemilihan dari solusi optimal mana yang akan dicari dapat ditentukan juga seperti misalnya biaya pembangkitan daya aktif oleh generator.

Berdasarkan pada hal tersebut di atas, maka akan sangat memakan waktu jika dilakukan dengan menggunakan iterasi biasa. Hal inilah yang melatarbelakangi penulis untuk menggunakan sebuah software Powerworld dalam menyelesaikan masalah ini dalam makalah ini. Selain itu juga bisa digunakan untuk membantu dalam pembelajaran dalam mata kuliah Transmisi dan Distribusi di Politeknik Batam.

## 2. DASAR TEORI

Metode OPF akan menentukan kondisi operasi optimal dari jaringan listrik yang mengalami hambatan secara fisik dan operasional. Faktor mana yang akan dicari titik optimalnya, akan dirumuskan dan diselesaikan dengan menggunakan algoritma optimasi yang sesuai, seperti metode Newton. Batasan-batasan yang harus diperhatikan dalam metode OPF ini yaitu seperti pengaturan pembangkit listrik, ketersediaan sistem transmisi, batas desain peralatan listrik, dan strategi operasi. Masalah semacam ini jika diimplementasi dalam bentuk persamaan matematika merupakan sebuah persamaan statis nonlinier, dengan fungsi objektif direpresentasikan sebagai persamaan nonlinier.

Tujuan utama dari metode OPF adalah untuk menentukan pengaturan variabel kontrol dan sistem persamaan yang mengoptimalkan nilai fungsi objektif. Pemilihan fungsi ini harus didasarkan pada analisis yang cermat dari sistem daya listrik dan secara ekonomi. Persamaan yang digunakan dimetode ini merupakan persamaan aliran daya yang terlihat dibawah ini:

$$P_k = \sum_{j=1}^5 |V_k| |V_j| (G_{kj} \cos(\theta_k - \theta_j) + B_{kj} \sin(\theta_k - \theta_j)) \quad (1)$$

$$Q_k = \sum_{j=1}^5 |V_k| |V_j| (G_{kj} \sin(\theta_k - \theta_j) - B_{kj} \cos(\theta_k - \theta_j)) \quad k = 1, \dots, 5$$

Sedangkan untuk mencari solusi secara ekonomi akan menggunakan persamaan dibawah ini:

$$F_T = \sum_{k=1}^{ng} F_k(P_{gk}) \quad (2)$$

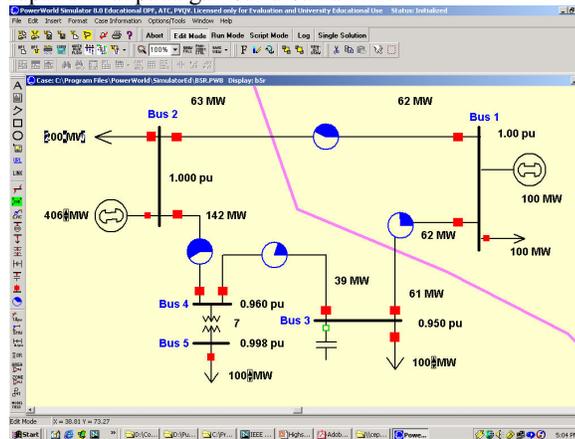
dimana  $F_k$  adalah biaya bahan bakar unit  $k$ ,  $P_{gk}$  adalah daya aktif yang dibangkitkan oleh unit  $k$ , and  $ng$  adalah jumlah generator dalam sistem, termasuk juga *slack generator*. Dan nilai  $F_k$  dapat dituliskan dalam persamaan,

$$F_k(P_{gk}) = a_k + b_k P_{gk} + c_k P_{gk}^2 \quad (3)$$

dimana  $a_k$ ,  $b_k$ , and  $c_k$  adalah koefisien biaya unit  $k$  [2].

### 3. PENGENALAN SOFTWARE POWERWORLD®

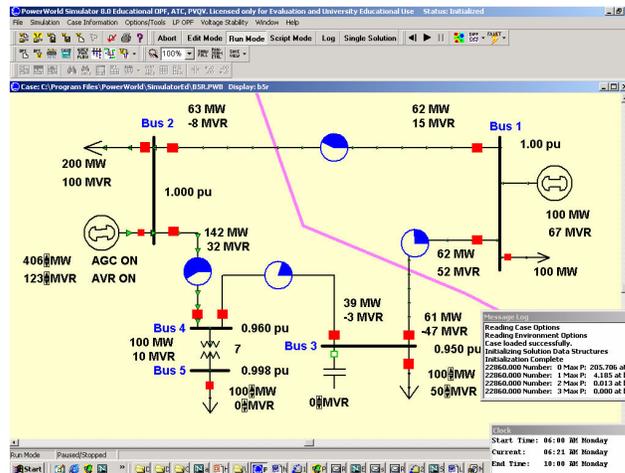
*Powerworld®* simulator merupakan sebuah perangkat lunak terintegrasi yang pada intinya digunakan untuk memecahkan masalah sistem ketenagalistrikan dengan melakukan pemodelan dari sistem tersebut. Hal ini membuat *powerworld®* simulator sangat berguna sebagai paket analisis aliran daya yang berdiri sendiri. Sistem pemodelan dapat dimodifikasi dengan cepat atau bahkan dibangun dari awal dengan menggunakan editor grafis dengan fitur lengkap dari *powerworld®* Simulator ini. Sistem transmisi listrik dapat diaktifkan atau tidak dari simulasi ini, transmisi baru atau pembangkit daya dapat ditambahkan, dan transaksi listrik baru dapat didirikan yang semua dapat dilakukan hanya dengan beberapa langkah saja. *Powerworld®* simulator ini juga akan menampilkan secara grafis dan animasi yang akan sangat membantu pemahaman dalam melihat karakteristik, masalah, dan kendala, serta bagaimana untuk mengatasinya dari sistem ketenagalistrikan. Tampilan dari *powerworld®* simulator ini dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 1. Tampilan dari *powerworld®*

### 4. APLIKASI OPF – PROSES JUAL BELI LISTRIK DI PASAR KETENEGALISTRIKAN

Dalam pasar ketenagalistrikan ideal akan berlaku juga sebuah proses jual beli seperti proses yang terjadi di bursa efek pada umumnya, seperti proses penawaran. Sehingga dalam proses ini perlu adanya beberapa pelaku perusahaan listrik yang baru, baik itu dari pelaku di generator, transmisi, maupun distribusi. Pada aplikasi ini, akan digunakan metode OPF dengan algoritma *market-clearing* dan *gaming behavior*. Proses aliran daya pada jual beli listrik ini secara ringkas dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Aliran daya dalam proses jual beli listrik

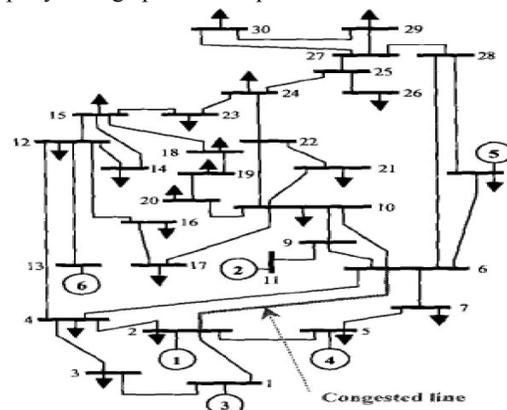
#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Simulasi yang akan dilakukan disini menggunakan *Powerworld*<sup>®</sup> software. Model sistem ketenagalistrikan yang akan digunakan yaitu sistem IEEE 30 bus, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Parameter dari generator dan lokasi busnya dapat dilihat pada Tabel 1. Total beban 283,4 MW. Beban diasumsikan inelastis.

Tabel 1. Generator data

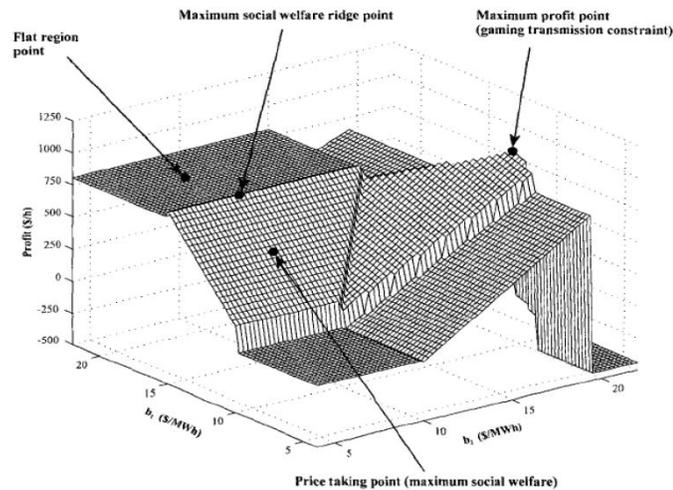
| Genera<br>tor | Bus | $P_{min}$<br>(MW) | $P_{max}$<br>(MW) | Incremental<br>cost (\$/MWh) |
|---------------|-----|-------------------|-------------------|------------------------------|
| 1             | 2   | 0                 | 100               | 12.5                         |
| 2             | 11  | 0                 | 115               | 8                            |
| 3             | 1   | 0                 | 150               | 10                           |
| 4             | 5   | 0                 | 150               | 15.01                        |
| 5             | 8   | 0                 | 200               | 20                           |
| 6             | 13  | 0                 | 200               | 20                           |

Metode OPF seperti dijelaskan dalam bab sebelumnya, akan digunakan untuk mensimulasikan kondisi pasar listrik. Aliran daya DC akan digunakan disini dengan mengasumsikan tidak ada rugi-rugi daya di transmisi, sehingga besarnya tegangan antar bus hampir sama atau satu pu dan sudut pada transmisi juga kecil. Dalam simulasi ini akan digunakan batasan beban, batas minimum dan maksimum generator, dan transmisi. Diasumsikan, perusahaan A memiliki generator generator #1 dan #2, perusahaan B awalnya memiliki generator # 3, # 4, # 5, dan # 6 yang mempunyai harga penawaran pada *incremental cost*.



Gambar 3. Sistem IEEE 30 bus

Dalam rangka untuk menggambarkan kondisi dari ini, transmisi antara bus #2 dan bus #6 mempunyai kemampuan maksimum batas 30MW. Semua transmisi yang lain mempunyai batas maksimum 150 MW, yang memastikan bahwa dalam kondisi normal sistem akan bekerja dengan baik dan tidak ada kendala. Dalam simulasi akan terlihat bahwa jika Perusahaan A tidak mengajukan tawaran, maka keuntungan yang didapat oleh perusahaan pengelola sistem in adalah 3,325 \$ /jam, seperti terlihat pada gambar 4.



**Gambar 4.** Hasil simulasi dari *powerworld*<sup>®</sup>

Dari gambar 4 ini terlihat bahwa harga pada titik yang dikehendaki adalah keuntungan yang dihasilkan jika tawaran perusahaan A pada *incremental cost*,  $b_1 = 12,5$  \$/MWh dan  $b_2 = 8$  \$/MWh. Pada titik ini akan menghasilkan keuntungan yang maksimum. *The maximum social welfare ridge point* adalah keuntungan yang maksimal bagi perusahaan A sambil mempertahankan kesejahteraan sosial maksimum pengiriman. Pungguk bukit ini didefinisikan oleh  $b_1 = 15,0$  \$ / MWh dan  $b_2 = 15,0$  \$ / MWh. Intinya disorot pada pungguk bukit ini untuk  $b_1 = 15,0$  \$ / MWh dan  $b_2 = 8$  \$ / MWh. Pada kondisi flat (kondisi menguntungkan) keuntungan perusahaan A adalah konstan dan wilayah didefinisikan oleh  $b_1 = 15,0$  \$/MWh, dan  $b_2 = 15,0$  \$/MWh. Seperti terlihat pada gambar 3 pada daerah flat nilai  $b_1 = 19,0$  \$/MWh dan  $b_2 = 8$  \$/MWh. Untuk keuntungan yang maksimum terletak pada daerah *gaming transmission constraint*. Generator #1 akan mempunyai penawaran di bawah *incremental cost* ( $b_1 = 10,01$  \$/MWh) pada bus #2, sehingga saluran transmisi antara bus #2 dan bus #6 harus dibatasi. Hal ini memungkinkan generator #2 untuk menaikkan tawaran ( $b_2 = 19,54$  \$/MWh) dan LMP pada bus #11 akan mempunyai keuntungan yang maksimal. Ringkasan dari simulasi ini akan terlihat pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Perbandingan hasil dari simulasi

| Point               | $b_1$ (\$/MWh) | $P_1$ (MW) | LMP2(\$/ MWh) | $b_2$ (\$/ MWh) | $P_2$ (MW ) | LMP11(\$ /MWh) | $\Pi_A$ (\$/h ) | $SW_{+A}$ (\$/h ) |
|---------------------|----------------|------------|---------------|-----------------|-------------|----------------|-----------------|-------------------|
| Price Taking        | 12.5           | 18.4       | 12.5          | 8               | 115         | 12.5           | 518             | 4435              |
| Max. Social welfare | 15             | 18.4       | 15            | 8               | 115         | 15             | 851             | 4435              |
| Flat region         | 18             | 0          | 15.01         | 8               | 115         | 15.01          | 806             | 4389              |
| Max. Profit         | 10.01          | 36.4       | 10.01         | 19.5            | 97          | 19.54          | 1028            | 4354              |

## 5. KESIMPULAN

Pemakaian software *powerworld*<sup>®</sup> sangat membantu sekali dalam mensimulasikan masalah tentang pergerakan dari aliran daya pada sistem tenaga listrik. Sehingga dengan ini, prakiraan tentang kondisi dari sistem tenaga listrik dapat diketahui secara dini. Selain itu juga telah ditampilkan adanya prakiraan dari keuntungan yang bisa didapat oleh para pelaku usaha disektor ini.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- Acha, Enrique; Fuerte-Esquivel, Claudio R.; Ambriz-Pérez, Hugo; Angeles-Camacho, César, FACTS – Modelling and Simulation in Power Networks, 2004 John Wiley & Sons.
- Benjamin F. Hobbs, Member, IEEE, Carolyn B. Metzler, and Shi Jong- Pang, "Strategic Gaming Analysis for Electric Power Systems: An MPEC Approach," IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS, VOL. 15, NO. 2, MAY 2000.
- Overbye, T.J., "Power System Simulation: Understanding Small and Large Systems Operation," IEEE Power and Energy Magazine, Vol 2, No. 1, January/February 2004
- Shane Rourke, Mark O'Malley, Kado Miyakawa and Chen-Ching, "Strategic Bidding in an Optimal Power Flow Electricity Market", Paper accepted for presentation at 2003 IEEE Bologna PowerTech Conference, June 23-26.