

Penentuan LBMP Menggunakan Metoda OPF

Hermagasantos Zein
Teknik Konversi Energi, Politeknik Negeri Bandung
Jl. Gegerkalong Hilir, Ds. Ciwaruga, Bandung
INDONESIA
Mail Box: Pos 1234, Indonesia
Email: hermaga_s@yahoo.co.id

Abstrak

Krisis energi telah mendapat perhatian serius dari para ahli mulai dari perkembangan teknologi maupun disevikasi sumber energi primernya, namun ancaman krisis energi masih belum dapat dihindarkan. Mulai awal tahun 1990 perhatian telah tertuju pada peningkatan efisiensi operasi dan transparansi, sehingga bisnis dalam tenaga listrik dirubah dari sistem monopoli yang dikuasai oleh negara ke sistem pasar (sistem kompetisi). Dalam sistem pasar ini, perhitungan menjadi lebih kompleks yang khususnya dalam menentukan harga energi. Penentuan harga listrik dalam sistem pasar yang telah teruji saat ini metoda LBMP (locational based marginal pricing) seperti yang diterapkan oleh negara bagian New York, Amerika Serikat. Namun perhitungannya menggunakan metoda dispath sehingga persoalan rugi-rugi harus dihitung kembali secara terpisah. Kelemahan lain metoda ini adalah hasilnya belum tentu dapat diaplikasikan ke dalam sistem tenaga listrik (grid), ini terbukti dari hasil simulasi yang menunjukkan dua saluran penghubung antar lokasi terbebani lebih. Tulisan ini mengajukan metode perhitungan LBMP dengan metoda OPF (optimal power flow) sehingga penyelesaian dapat dilakukan keseluruhan (holistik), baik rugi-rugi maupun jaminan dapat diterapkan ke grid. Selanjutnya dibuat simulasi perhitungan dengan sistem tenaga listrik 7 bus dengan dua lokasi. Hasil simulasi (baik beban berat maupun beban ringan) menunjukkan bahwa metoda dispath dalam menentukan LBMP mempunyai kelemahan sehingga perlu perhitungan ulang bila dibandingkan dengan metoda OPF (yang berkerja holistik).

Kata kunci: energi, LBMP, grid, dispath, OPF

1. PENDAHULUAN

Krisis energi telah memicu para ahli untuk mencari solusi pemecahannya. Usaha-usaha teknologi untuk mendapatkan efisiensi pembangkit telah berkembang mulai pertengahan abad 19 yang lalu dan saat ini telah sampai pada titik kulminasinya. Namun ancaman kekurangan energi terus berlanjut pada abad 20 ini yang disebabkan oleh menipisnya cadangan energi dari fosil. Akibat dari semua itu, harga energi untuk masa yang akan datang sulit diprediksi, walaupun sumber-sumber energi alternatif sudah digiatkan dalam dua darsawarsa yang lalu. Awal tahun 1990, para ahli mulai tertuju pada efisiensi operasi dan transparansi sehingga bisnis ketenagalistrikan dirubah dari sistem monopoli yang dikuasai oleh negara ke sistem pasar (sistem kompetisi). Saat ini sudah banyak negara berhasil melaksanakannya, seperti Amerika Serikat, Inggris, Australia dan lainnya. Dalam kompetisi tenaga listrik, penentuan harga energi listrik sebaiknya didasarkan pada metoda

Locasional Based Marjinal Pricing (LBMP) karena telah teruji dalam aplikasinya, seperti

sistem kompetisi listrik di New York. Berdasarkan metoda LBMP ini, harga energi ditentukan oleh karakterakter lokasi tertentu sehingga harga energi listrik dapat berbeda antar lokasi. Namun penentuan LBMP sampai sekarang (seperti yang diterapkan *New York Independent Service Operator/NYISO*) hanya ditentukan berdasarkan metoda dispath dengan limit saluran daya aktif. Metoda perhitungan tersebut tidak mencakup perhitungan rugi-rugi. Akibatnya, rugi-rugi harus dihitung secara terpisah dan umumnya diperkirakan saja, misalnya 2%. Bila perhitungan ini diterapkan ke sistem sudah tentu ada perubahan dari keadaan riilnya karena adanya rugi-rugi itu. Operasi sistem tenaga listrik arus memenuhi syarat kendala-kendala sistem, baik limit tegangan di setiap bus, limit arus tiap saluran maupun keseimbangan daya setiap generator. Disamping itu rugi-rugi adalah bagian yang tidak dapat dipisahkan dalam sistem tenaga listrik karena

selalu ada secara alamiah dan tidak dapat dihindarkan. Tulisan ini akan menggunakan perhitungan *Optimal Power Flow* (OPF) dalam menentukan LBMP tersebut dengan mekanismenya dimuat dalam Gambar 1. Melalui perhitungan OPF, semua kendala sistem dan rugi-rugi sudah pasti terpenuhi sehingga hasilnya dapat diterapkan tanpa ada perubahan lagi.

Untuk mendukung hal itu dilakukan simulasi pada sistem tenaga listrik 7 bus yang dibagi menjadi dua lokasi (Gambar 2). Dalam simulasi ini dibuat dua khaus yang sangat berbeda, yaitu untuk beban berat dan beban ringan. Disamping itu, penawaran dari setiap GENCO (*generator company*) dibuat berbeda satu sama lainnya baik di dalam satu lokasi maupun antar lokasi.

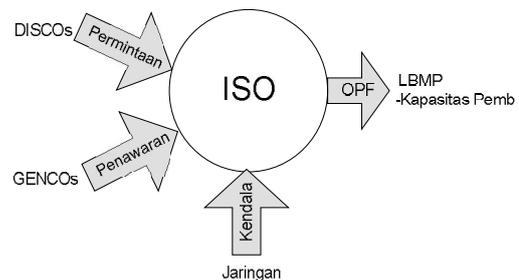
2. Metoda LBMP dengan OPF

Model yang dikembangkan disini adalah bahwa LBMP ditentukan oleh penawaran, permintaan, rugi-rugi energi listrik dan kendala jaringan pada sistem tenaga listrik yang digunakan. Disini berlaku hukum penawaran dan permintaan secara hukum ekonomi konvensional, namun bisnis dalam tenaga listrik ada hal lain yang harus dipertimbangkan, seperti rugi-rugi daya yang secara alamiah tidak dapat dihindarkan dan adanya kendala sistem sehingga pembangkit tidak akan leluasa untuk meninjeksikan dayanya ke dalam jaringan (*grid*). Adanya persoalan tersebut, penentuan LBMP yang selama ini dihitung berdasarkan permintaan dan penawaran saja dengan optimasi *dispatch* (seperti yang diterapkan oleh New York *Independent Service Operator*/NYISO), maka penentuan LBMP harus dilakukan dengan *Optimal Power Flow*/OPF. Adapun mekanismenya dimuat dalam Gambar 1, yaitu sebagai metoda LBMP yang diusulkan.

Dalam mekanisme pada Gambar 1 tersebut, setiap DISCO (beban) melakukan permintaan pada ISO (operator) berupa kapasitas daya dan harga yang diinginkan, sedangkan setiap GENCO (generator) menawarkan kapasitas daya dan harga energinya kepada operator. Kemudian operator melakukan perhitungan OPF untuk menentukan harga energi listrik tiap lokasi dan kapasitas daya masing-masing generator.

OPF yang digunakan disini telah mengakomodasi semua kendala sistem, baik batasan setiap tegangan bus, batasan daya aktif-reaktif setiap generator maupun batasan maksimum setiap saluran. Dengan mengakomodasi hal-hal tersebut maka keluarannya sudah pasti harga yang optimal dan kapasitas daya setiap generator yang dapat diserap oleh jaringan (*grid*). Keuntungan lainnya adalah bahwa rugi-rugi daya secara

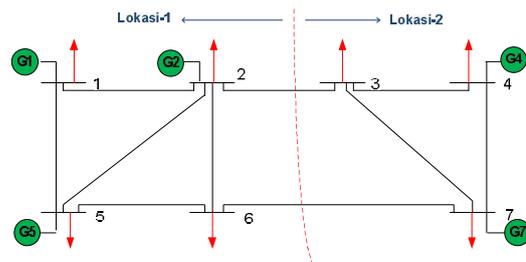
otomatis sudah dapat diperhitungkan disini. Bila dibandingkan dengan metoda yang menggunakan optimasi *dispatch*, hanya kendala daya aktif generator saja, maka dalam metoda ini rugi-rugi daya dihitung secara terpisah. Kelemahan lainnya adalah kapasitas generator yang telah ditentukan tidak ada jaminan dapat diserap oleh jaringan karena ada kemungkinan kendala sistem dilanggar. Dalam kasus ada kendala sistem terlanggar, operator akan melakukan perubahan-perubahan sampai tidak ada lagi kendala sistem terlanggar. Metoda *dispatch* ini sangat baik diterapkan untuk sistem tenaga listrik yang kokoh (jaring tidak terbatas) karena sistem dapat menerima injeksi daya yang dihasilkan dari perhitungannya. Namun masih mengandung kelemahan karena rugi-rugi daya diabaikan dalam perhitungannya. Masalah rugi-rugi daya ini akan merupakan penyelesaian terpisah dari metoda ini.



Gambar 1: Mekanisme Penentuan LBMP dengan OPF

3. Simulasi

Untuk menunjang metoda yang telah dijelaskan di atas dibuat simulasi numerik dengan sistem tenaga listrik 7 bus pada Gambar 2. Sistem ini terdiri dari dua lokasi yang dipisahkan oleh garis merah putus-putus. Di lokasi-1 terdapat 4 bus (B1, B2, B5 dan B6) dengan tiga generator yang masing-masing terkoneksi ke B1, B2 dan B5. Sedangkan di lokasi-2 terdapat 3 bus (B3, B4 dan B7) dengan dua generator yang masing-masing terkoneksi ke B4 dan B7.



Gambar 2: Sistem tenaga listrik 7 bus

Sedangkan data-data dimuat dalam bentuk tabel dalam satuan pu dengan daya dasar 100 MVA dan tegangan dasar 20 kV. Tabel 1 memuat data

penawaran dan batasan-batasan dari masing-masing generator. Sedangkan Tabel 1 memuat data karakteristik masing-masing saluran.

Tabel 1: Penawaran dan batasan pembangkit

kit	Penawaran [Rp/MW]	Daya aktif [pu]	Daya reaktif [pu]
1	9.6	0.301<P<1.30	-1.801<Q<1.801
2	15.3	0.200<P<1.20	-1.252<Q<1.252
4	8.8	0.253<P<1.80	-1.503<Q<1.503
5	5.3	0.200<P<0.60	-1.254<Q<1.254
7	10.5	0.255<P<1.60	-1.505<Q<1.505

Tabel 2: Karakteristik saluran

Dari	Ke	R	X	Y	S _{mak}
1	2	0.05	0.06	0.02	0.90
1	5	0.08	0.30	0.03	0.80
2	3	0.20	0.50	0.03	0.50
2	5	0.10	0.10	0.02	0.60
2	6	0.05	0.10	0.025	0.90
3	4	0.05	0.10	0.025	0.70
3	7	0.02	0.05	0.03	0.86
4	7	0.04	0.03	0.02	0.90
5	6	0.10	0.30	0.03	0.50
6	7	0.25	0.55	0.01	0.50

Selanjutnya dibuat beberapa kasus perhitungan dari sistem tenaga listrik tersebut (Gambar 2), yaitu untuk mensimulasikan kasus saluran macet dan tidak macet. Hasil simulasi tersebut dalam bentuk secara rinci di bawah ini.

Kasus 1: Kongesti

Dalam kasus ini dibuat beban lebih berat sehingga ada saluran yang macet (over) diantara kedua lokasi. Adapun beban untuk masing-masing bus dimuat dalam Tabel-3 dengan satuan dalam pu, baik untuk beban aktif maupun untuk beban reaktifnya.

Tabel 3: Baban bus

Bus	Beban aktif	Beban reaktif	Lokasi
B1	0.80	0.55	1
B2	0.70	0.35	1
B3	0.60	0.30	2
B4	0.70	0.25	2
B5	0.60	0.40	1
B6	0.90	0.50	1
B7	0.80	0.50	2

Selanjutnya, tabel-tabel berikut ini adalah menampilkan hasil-hasil perhitungan.

A. HASIL PERHITUNGAN EKONOMI DISPATCH

Tabel 4: Hasil perhitungan ekonomi dispatch termasuk rugi-rugi

No.Bus	Lamda	Pmin	Popt	Pmak
1	9.60	30.10	130.00	130.00
2	0.00	20.00	.00	120.00
4	8.80	25.30	180.00	180.00
5	5.30	20.00	60.00	60.00
7	10.50	25.50	130,00	160.00
Total:				500,00

Tabel 5: Tegangan dan daya berdasarkan ekonomi dispatch

Bus	Ir	V	sv	Pg	Pd	Qg	Qd
		[KV]	[de]	[MW]	[MW]	[MVar]	[MVar]
B1	0	20.0	.000	130.0	80.0	89.1	55.0
B2	2	19.0	.013	.0	70.0	.0	35.0
B3	2	19.5	.402	.0	60.0	.0	30.0
B4	1	20.0	.466	180.0	70.0	-45.4	25.0
B5	1	20.0	-.008	60.0	60.0	120.7	40.0
B6	2	17.9	.011	.0	80.0	.0	50.0
B7	1	20.0	.427	159.5	80.0	138.3	50.0
Rugi2=		29.5+	17.7j ; tot	529.5	500.0	302.7	285.0

Tabel 6: Cek kendala saluran

Dari	Ke	Pij	Qij	Sij	Sm	Ket
		[MW]	[Mvar]	[MVA]		
B1	B2	29.4	59.5	66.4	90.0	-
B1	B5	20.6	-20.5	29.1	80.0	-
B2	B3	-50.4	24.4	56.0	50.0	Over
B2	B5	-13.8	-33.8	36.5	60.0	-
B2	B6	21.4	39.8	45.2	90.0	-
B3	B4	-59.2	7.0	59.6	70.0	-
B3	B7	-58.2	-25.4	63.5	86.0	-
B4	B7	48.9	-62.6	79.5	90.0	-
B5	B6	5.2	32.8	33.2	50.0	-
B6	B7	-55.7	22.3	60.0	50.0	Over

Tabel 7: Cek kendala daya reaktif pembangkit

No.	Q(min)	Q	Q(mak)	Ket
	[MVar]	[MVar]	[MVar]	-
B1	-180.1	89.1	180.1	-
B4	-150.3	-45.4	150.3	-
B5	-125.4	120.7	125.4	-
B7	-150.5	138.3	150.5	-

Tabel 8: Cek kendala tegangan

No.	V(min)	V	V(mak)	Ket
	[kV]	[kV]	[kV]	-
B1	18.0	20.0	22.0	-
B2	18.0	19.0	22.0	-
B3	18.0	19.5	22.0	-

B4	18.0	20.0	22.0	-
B5	18.0	20.0	22.0	-
B6	18.0	17.9	22.0	Low
B7	18.0	20.0	22.0	-

Terlihat bahwa hasil dari metoda dispath di atas tidak dapat diterapkan kedalam sistem (Gambar 1) karena beberapa kendala dilanggar (lihat huruf berwarna merah), yaitu dua saluran terbebani lebih (saluran 2-3 dan saluran 6-7) dan tegangan di bus-6 (17,9 kV) dibawah batas minimal (18 kV).

B. HASIL PERHITUNGAN OPTIMASI ALIRAN DAYA

Tabel 9: Tegangan dan daya berdasarkan OPF

Bus	I	V	sv	Pg	Pd	Qg	Qd
	[kA]	[KV]	[de]	[MW]	[MW]	[MVar]	[MVar]
B1	.187	21.0	.000	130.0	50.2	80.0	55.0
B2	.243	20.7	-.015	20.0	76.0	70.0	35.0
B3	.245	21.4	.211	.0	.0	60.0	30.0
B4	.392	22.0	.251	180.0	13.7	70.0	25.0
B5	.027	20.9	-.004	60.0	47.3	60.0	40.0
B6	.373	19.7	-.021	.0	.0	80.0	50.0
B7	.175	21.7	.231	122.9	73.2	80.0	50.0
Rugi2=	12,9	tot	512.9	260.4	500.0	285.0	

Tabel 10: Cek kendala saluran

Dari	Ke	Pij	Qij	Sij	Sm	Ket
		[MW]	[Mvar]	[MVA]		
B1	B2	27.7	.8	27.7	90.0	-
B1	B5	22.3	-.1	22.3	80.0	-
B2	B3	-37.5	11.5	39.3	50.0	-
B2	B5	-10.7	1.1	10.7	60.0	-
B2	B6	25.6	38.9	46.6	90.0	-
B3	B4	-50.4	-7.2	50.9	70.0	-
B3	B7	-50.1	-10.1	51.1	86.0	-
B4	B7	58.5	-15.3	60.5	90.0	-
B5	B6	11.4	16.9	20.4	50.0	-
B6	B7	-44.4	8.9	45.3	50.0	-

Ket.: - :Dalam kendala, Over:Aliran daya lebih

Hasil metoda OPF menunjukkan bahwa tidak ada lagi kendala sistem yang dilanggar. Beban saluran 6-7 berdasarkan metoda OPF ini adalah maksimum (100%). Secara rinci perbandingan kedua hasil dapat dilihat dalam Tabel-4.

Tabel 11a: Cek kendala daya aktif pembangkit

No.	P(min)	P	P(mak)	Ket
	[MW]	[MW]	[MW]	-
B1	30.1	130.0	130.0	mak
B2	20.0	20.0	120.0	min
B4	25.3	180.0	180.0	mak
B5	20.0	60.0	60.0	mak
B7	25.5	122.9	130.0	-

Tabel 11b: Cek kendala daya reaktif pembangkit

No.	Q(min)	Q	Q(mak)	Ket
	[MVar]	[MVar]	[MVar]	-
B1	-180.1	50.2	180.1	-
B2	-125.2	76.0	125.2	-
B4	-150.3	13.7	150.3	-
B5	-125.4	47.3	125.4	-
B7	-150.5	73.2	150.5	-

Tabel 12: Cek kendala tegangan

No.	V(min)	V	V(mak)	Ket
	[kV]	[kV]	[kV]	-
B1	18.0	21.0	22.0	-
B2	18.0	20.7	22.0	-
B3	18.0	21.4	22.0	-
B4	18.0	22.0	22.0	mak
B5	18.0	20.9	22.0	-
B6	18.0	19.7	22.0	-
B7	18.0	21.7	22.0	-

Ket.: - :Dalam kendala

Min :Tegangan kurang, Mak :Tegangan lebih

Tabel 13: Perbandingan hasil metoda Dispath dengan OPF

Item	Metoda Dispath	Metoda OPF
1. Jumlah kendala saluran terlanggar	2	0
2. Jumlah kendala tegangan terlanggar	1	0
3. Jumlah kendala pembangkit terlanggar	0	0
4. Generator di bus-2	off	on
5. Rugi-rugi daya	5,74%	2,51%

Tabel-4 menunjukkan bahwa metoda OPF lebih baik dari metoda dispath karena disamping ada pelanggaran sistem, rugi-rugi daya pun lebih besar. Berikut ini adalah penentuan LBMP setiap lokasi dan kuota masing-masing generator yang menang.

Tabel 14a: Perhitungan LBMP di lokasi-1

N-Bus	Beban	Kuota Pemb	Penawaran
	[MW]	[MW]	[Rp./MW]
1	80	130	9,60
2	70	20	15,30
5	60	60	5,30
6	80	0	0
tot	290	210	

LBMP LOKASI- 1 = 15,30Rp/MW

IMPOR DAYA KE-1= 0,80MW

Tabel 14b: Perhitungan LBMP di lokasi-2

N-Bus	Beban	Kuota Pemb	Penawaran
	[MW]	[MW]	[Rp./MW]

3	60	0	0
4	70	180	8,80
7	80	123	10,50
tot	210	303	

LBMP LOKASI-2 = 10,50Rp/MW
IMPOR DAYA KE-2= -0,93MW

Pada lokasi-1, jumlah beban adalah 290 MW dipasok oleh pembangkitnya sebesar 210 MW sehingga kekurangannya dimpor dari lokasi-2 sebesar 80 MW.

Tabel 15: Perbandingan hasil metoda Dispath dengan OPF

Item	Metoda Dispath	Metoda OPF
1. Jumlah kendala saluran terlanggar	2	0
2. Jumlah kendala tegangan terlanggar	1	0
3. Jumlah kendala pembangkit terlanggar	0	0
4. Generator di bus-2	off	on
5. Rugi-rugi daya	5,74%	2,51%
6. Kuota daya generator bus-1 [MW]	130,0	130,0
7. Kuota daya generator bus-2 [MW]	0,0	20,0
8. Kuota daya generator bus-4 [MW]	180,0	180,0
9. Kuota daya generator bus-5 [MW]	60,0	60,0
10. Kuota daya generator bus-7 [MW]	159,5	123,0
11. LBMP lokasi-1 [Rp/MW]	10,5	15,3
12. LBMP lokasi-2 [Rp/MW]	10,5	10,5

Karena penawaran maksimum lebih tinggi di lokasi-1 ini maka LBMP di lokasi-1 adalah sama dengan penawaran maksimumnya, yaitu 15,3 Rp/MW. Sedangkan di lokasi LBMP adalah 10,5 Rp/MW.

Kasus-2: Tanpa kongesti

Untuk kasus ini beban tiap bus dibuat lebih ringan seperti yang termuat dalam Tabel-4 dalam satuan pu.

Tabel 16: Baban bus

No.	P	Q	Lokasi)
	[pu]	[pu]	
B1	0,64	0,44	1
B2	0,56	0,28	1
B3	0,48	0,24	2
B4	0,56	0,20	2
B5	0,48	0,32	1

B6	0,56	0,40	1
B7	0,64	0,40	2

Hasil perhitungan

Tabel 17a: Perhitungan LBMP di lokasi-1

N-Bus	Beban [MW]	Kuota Pemb [MW]	Penawaran [Rp./MW]
1	64	1,30	9,60
2	56	0	0
5	48	60	5,30
6	56	0	0
tot	224	190	

LBMP LOKASI-1 = 9,60Rp/MW
IMPOR DAYA KE-1= 0,34MW

Tabel 17b: Perhitungan LBMP di lokasi-2

N-Bus	Beban [MW]	Kuota Pemb [MW]	Penawaran [Rp./MW]
3	48	0	0
4	56	1,80	8,80
7	64	29	10,50
tot	168	209	

LBMP LOKASI-2 = 10,50Rp/MW
IMPOR DAYA KE-2= -,41MW

Lokasi 1: Pembangkit di bus-2 ditolak karena mahal (15,5 Rp/MW) dua pembangkit beroperasi maksimum dengan total daya 190 MW, Sedangkan total beban di lokasi ini adalah 224 MW sehingga ada impor daya dari lokasi-2 sebesar 34 MW, Harga maksimum pembangkit di lokasi ini adalah 9,6 Rp/MW yang ditawarkan oleh pembangkit di bus-1,

Lokasi 2: Pembangkit di bus-4 beroperasi maksimum (180 MW) karena murah dan pembangkit pada bus-7 beroperasi jauh dibawah maksimum (29 MW) karena termahal, jadi total daya yang dibangkitkan dari lokasi ini adalah 209 MW, Sedangkan total beban di lokasi ini adalah 168 MW, Jadi ada kelebihan pasokan sebesar 41 MW, Harga maksimum di lokasi ini adalah 10,5 Rp/MW. Jadi kasus ini tidak terjadi kongesti, maka LBMP di kedua lokasi adalah sama yaitu jatuh pada harga penawaran maksimum yang masuk sistem (10,5 Rp/MW).

4. PEMBAHASAN

Dalam menentukan LBMP, tidak saja harga energi listrik yang ditentukan tiap lokasi tetapi juga ditentukan kuota daya setiap generator yang menang lelang. Disamping itu, perlu juga diperhatikan hasil kuota daya yang ditetapkan sebagai pemenang tersebut harus dapat diserap

oleh jaringan tenaga listriknya, Jadi LBMP dipengaruhi oleh tiga komponen, yaitu penawaran oleh GENCO (harga dan kapasitas), permintaan oleh DISCO (harga dan kapasitas) dan kondisi jaringan tenaga listriknya, Pengaruh GENCO dan DISCO sudah terlihat dengan jelas karena hal ini menyangkut hukum penawaran-permintaan, Namun dalam bisnis tenaga listrik tidak sama dengan bisnis disektor lainnya, karena ada hal-hal spesifik berupa rugi-rugi daya dan keterbatasan jaringan dalam mentransfer daya dari satu lokasi ke lokasi lainnya, Ada dua hal itu membuat bisnis tenaga listrik menjadi unik,

Metoda dispath dalam menentukan LBMP sangat sederhana karena tidak melibatkan jaringan sistem tenaga listrik dalam perhitungannya, Disini muncul persoalan rugi-rugi dihitung terpisah berikutnya melalui perhitungan aliran daya, Hasil simulasi pada kasus-1 menunjukkan bahwa aliran dari metoda dispath terdapat dua saluran macet, yaitu saluran penghubung antara lokasi-1 ke lokasi-2, Ini akibat penawaran harga di lokasi-2 lebih murah sehingga kuota daya generator di lokasi-2 lebih dan kelebihan ditransfer ke lokasi-1, kapasitas kedua saluran penghubung tidak memadai untuk mentransfer kelebihan daya tersebut sehingga kedua saluran ini terbebani lebih, Untuk mengatasi ini perlu dilakukan perubahan dari hasil dari metoda dispath tersebut sehingga aliran daya pada ke dua saluran penghubung tidak terlanggar lagi, Perubahan itu adalah mengurangi kuota daya di lokasi-2 dan menambah kuota daya di lokasi-1, Melalui metoda OPF, sudah menjamin kendala sistem tidak terlanggar, Ini terlihat dari hasil ke dua simulasi di atas, baik untuk beban berat maupun beban ringan, Hasil metoda OPF ini selalu menjamin dapat diserap oleh sistem, Dengan menggunakan metoda OPF ini maka perubahan hasil perhitungan (kuota daya setiap GENCO) tidak ada lagi, sehingga hasil perhitungannya dapat langsung menetapkan LBMP seperti kasus-1 dan kasus-2 pada simulasi di atas.

5. KESIMPULAN

Bisnis tenaga listrik bersifat unik/khusus karena adanya rugi-rugi daya secara alamiah yang tidak dapat dielakan dan jaringan sebagai sarana untuk menyalurkan energi listrik terbatas sehingga setiap pembangkit tidak leluasa menginjeksikan dayanya ke dalam jaringan (*grid*),

Penentuan harga energi listrik (LBMP) berdasarkan metoda dispath tidak akan menjamin hasilnya (kuota daya setiap GENCO) dapat diinjeksikan ke dalam *grid* karena ada kendala sistem terlanggar, Hal ini dapat ditunjukkan oleh hasil simulasi di atas, untuk khusus beban berat hasil metoda dispath bila

diterapkan sistem (Gambar 2) maka saluran penghubung kedua lokasi berbeban lebih, Kelemahan lain dari metoda dispath adalah tidak mengakomodasi persoalan rugi-rugi, Masalah ini harus dipecahkan secara terpisah setelah perhitungan dispath dilakukan,

Metoda OPF merupakan metoda yang lengkap (holistik) sehingga perhitungannya lebih kompleks dibandingkan metoda dispath, Hasilnya telah mengakomodasi kendala sistem dan rugi-rugi daya, sehingga penerapan metoda OPF dalam menentukan LBMP sangat baik sekali, seperti yang ditunjukkan oleh simulasi di atas baik untuk beban berat maupun untuk beban ringan.

6. DAFTAR PUSTAKA

1. D.Tuglie, G.Patrono, F.Torelli. (2004), Real and Reactive Power Allocation In Bilateral Transaction Markets. *WSEAS Trans. on PowerSystems.*; 3(1): 821-827.
2. Chapman, D., 2010, The Financial Model: An Introduction to locational Based Marginal Pricing Concepts, New York Independent System Operator,
3. Gedra, T,W, (1999), On Transmission Congestion and Pricing, *IEEE Transaction on Power System*, Vol, 14, No, 1,
4. Wakefield, R,A, dkk,(1997), A Transmission Services Costing Framework, *IEEE Transaction on Power System*, Vol,12, No, 4.
5. Hirsh, R,F, (2001), *Power Loss: the origins of deregulation and restructuring in the America electric utility system*, the MIT Press Cambridge, Massachusetts, London, England.
6. Zein, H (2000), Studi Biaya Pelayanan Jaringan Transmisi: Dalam Kontek kompetitif, *Proceeding SSTE-1*
7. Zen, H., 2005, Reduksi langkah, Disertasi S3, Sekolah Teknik Elektor dan Informasi, Institut Teknologi Bandung,
8. Zein H. (2011), *Penentuan Biaya Pokok Penyediaan Tenaga listrik Pada Suatu sistem regional*. Proceedings of Seminar & Pameran Teknologi dan Bisnis Ketenagalistrikan Nasional. Bandung.
9. Zein H. (2011), *ANew Method for Determining Power Decomposition in Electric System*. Proceedings of The^{12th} International Conference on QiR (Quality in Research). Bali.; 1: B4.2.