

PERHITUNGAN BIAYA SEWA JARINGAN TRANSMISI 500 KV JAWA-BALI DENGAN METODE MW-MILE BIALEK TRACING

Kurniawan Galih, Hermawan, and Susatyo Handoko

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Diponegoro Semarang
Jl. Prof. Sudharto, SH, kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

**)Email: kurniawan_galih86@yahoo.com*

Abstrak

Kebutuhan energi listrik dari tahun ke tahun selalu mengalami peningkatan. Permintaan energi listrik yang paling besar di pulau Jawa ada pada sektor industri. Besarnya biaya investasi transmisi lokasi dan jarak menjadi sebuah masalah pembangunan pembangkit untuk keperluan sendiri. Sewa jaringan transmisi atau dalam istilah Power Wheeling mengatasi besarnya biaya pembangunan dalam penyaluran daya listrik. Pada penelitian ini perhitungan sewa jaringan transmisi menggunakan Metode MW-mile Bialek Tracing. Perhitungan aliran daya AC diambil dari sistem transmisi 500 kV Jawa-Bali sebagai studi kasus. Terdapat tiga kasus tentang biaya sewa jaringan transmisi ketika adanya proses inject daya di sistem jaringan transmisi 500 kV Jawa-Bali. Perubahan biaya karena proses wheeling inilah yang nantinya ditetapkan harga sewa jaringan transmisi. Studi kasus pertama yaitu perhitungan biaya wheeling dengan inject daya wheeling 50 MW dari Tanjung Jati ke Ungaran sebesar Rp44.862.986,-. Studi kasus kedua perhitungan biaya wheeling dengan inject daya wheeling 100 MW dari Tanjung Jati ke Pedan sebesar Rp171.934.712,-. Studi kasus ketiga perhitungan biaya wheeling dengan inject daya wheeling 200 MW dari Gresik ke Cilegon sebesar Rp967.319.983,-.

Kata kunci : Jaringan transmisi Jawa Bali 500 kV, sewa jaringan transmisi, metode MW-mile Bialek.

Abstract

Electricity demand from year to year always increasing. Demand for power is the biggest on the island of Java, is from the industrial sector. The cost of investment location and distance becomes a problem power plant for their own purposes. To overcome the investment of transmission cost, one of solution is transmission network rental which is known also as Power Wheeling. This final assignment present MW-Mile Bialek Tracing Method for rental transmission in case of 500 kV transmission system Java Bali. There are three cases of transmission network rental cost when any process in the system to inject power transmission lines of 500kV Java-Bali. Changes in costs cause wheeling process is what will set the rental cost transmission network. The first case study is the calculation of the cost of wheeling to inject 50 MW of power wheeling Tanjung Jati to Ungaran for Rp44.862.986, -. The second case study costing wheeling wheeling inject 100 MW power from Tanjung Jati to Pedan of Rp 171.934.712, -. The third case study costing wheeling wheeling inject 200 MW power from Gresik to Cilegon for Rp967.319.983, -.

Keywords: Java-Bali transmission network of 500kV, transmission network rental, MW-mile method Bialek.

1. Pendahuluan

Pengertian energi adalah sesuatu yang tidak dapat diciptakan dan dimusnahkan. Ini sesuai dengan bunyi hukum kekal energi “ Energi tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan, energi hanya dapat diubah dari satu bentuk energi ke bentuk energi yang lain.” Energi listrik juga sangat dibutuhkan untuk industri-industri besar maupun industri kecil, perkantoran, pertokoan dan lain sebagainya. Khusus untuk memenuhi besarnya kebutuhan tenaga listrik bagi kawasan industri baru dimana PLN belum mampu memenuhi tenaga listriknya, maka pemerintah menyiapkan skema *power wheeling* atau sewa

jaringan transmisi agar pengembangan kawasan industri tersebut dapat membangun pembangkit sendiri atau memanfaatkan pembangkit yang dimiliki oleh pemegang Izin Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (IUPL) lain dan memanfaatkan jaringan transmisi milik PLN atau pemegang IUPL lain.

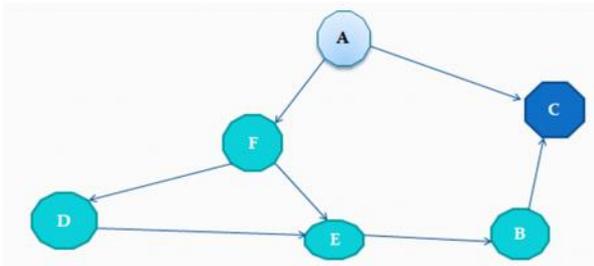
Di negara Indonesia ini PLN (Perusahaan Listrik Negara) sebagai badan pemegang Izin Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (IUPL), Unit P3B lewat jaringan transmisi 500 kV Jawa-Bali mengatur energi listrik tersalurkan secara merata. Pada penelitian ini perhitungan biaya sewa jaringan transmisi dengan menggunakan metode MW-

Mile Bialek Tracing. Terdapat 3 studi kasus yang akan dibahas. Studi kasus 1 yaitu perhitungan biaya *wheeling* dengan *inject* daya *wheeling* 50 MW dari Tanjung Jati ke Ungaran. Studi kasus 2 yaitu perhitungan biaya *wheeling* dengan *inject* daya *wheeling* 100 MW dari Tanjung Jati ke Pedan. Studi kasus 3 yaitu perhitungan biaya *wheeling* dengan *inject* daya *wheeling* 200 MW dari Gresik ke Cilegon.

2. Metode

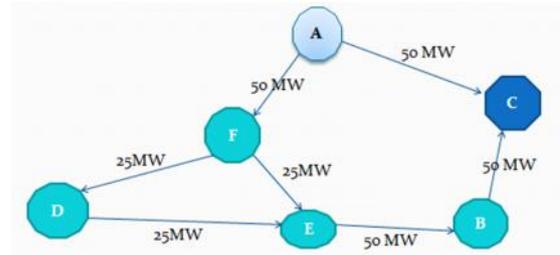
2.1 Power Wheeling

Sewa jaringan transmisi merupakan pemanfaatan bersama jaringan transmisi oleh pemegang izin usaha penyediaan tenaga listrik jaringan transmisi milik PLN, yang prinsipnya untuk menyalurkan daya dari pembangkit milik pihak tersebut di suatu tempat ke beban khusus pihak tersebut di tempat lain, dengan membayar sewa/biaya transmisi. Sewa jaringan transmisi dari pihak Penyediaan Tenaga Listrik (IUPL) nantinya mengatur harga sewa untuk oenyaluran daya menggunakan jaringan transmisi milik pemerintah.



Gambar 1 Konfigurasi sistem interkoneksi dengan enam area kendali

Sistem tenaga listrik yang terdiri dari enam area kendali yang terinterkoneksi satu sama lain ditunjukkan pada gambar 1. Misalkan telah terjadi kesepakatan jual beli tenaga listrik antara area kendali A dan C sebesar 100 MW. Dalam hal ini A selaku penjual dan C selaku pembeli, maka area kendali A akan menaikkan pembangkitan terjadwal sebesar 100 MW dan area kendali C akan menurunkan pembangkitan terjadwal sebesar 100 MW, dengan satu anggapan bahwa rugi-rugi jaringan tidak ada. Perubahan aliran daya pada masing-masing saluran transmisi sebagaimana ditunjukkan pada gambar 2. Perubahan tersebut diperoleh dari selisih perhitungan aliran daya antara sebelum dan sesudah adanya transaksi. Daya tidak mengalir langsung melalui saluran yang menghubungkan area kendali A dan C tetapi daya mengalir menyebar ke semua saluran transmisi yang terinterkoneksi.



Gambar 2 Ilustrasi sewa jaringan transmisi

2.2 Metode MW-Mile Bialek Tracing

Metode *MW-mile Bialek Tracing* adalah metode perhitungan biaya sewa jaringan transmisi listrik. Perhitungan biaya sewa jaringan transmisi memperhitungkan losses dan besarnya daya pada sisi kirim dan terima pada saluran. Metode *MW-mile Bialek tracing* menggunakan jaringan transmisi yang aktual. Perhitungan daya yang digunakan untuk perhitungan metode ini menggunakan daya rata-rata antara daya yang dikirim dan di terima pada saluran.

Dengan daya *MW-mile Bialek Tracing* pada saluran tersebut, dapat digunakan dalam menghitung alokasi biaya sewa jaringan transmisi dengan menggunakan rumus .

$$MW \text{ Bialek}_k = \sum_{k=1}^n \left[\frac{P_{(i)(k)} - P_{(j)(k)}}{2} \right] + P_{(j)(k)}$$

Dimana :

- $P_{(i)(k)}$ = Daya pada saluran di sisi kirim (MW)
- $P_{(j)(k)}$ = Daya pada saluran di sisi terima (MW)

$$MW \text{ Mil Bialek} = \sum_{k=1}^n C_k \times L_k \times MW \text{ Bialek}_k$$

Dimana :

- C_k = biaya investasi jaringan transmisi (Rp / mile)
- L_k = panjang saluran k (mile)
- $MW\text{-Bialek}_k$ = aliran daya aktif saluran k (MW)

Alokasi biaya transaksi *wheeling* (Sewa jaringan transmisi) ke bus t (TC_t) adalah sebagai berikut:

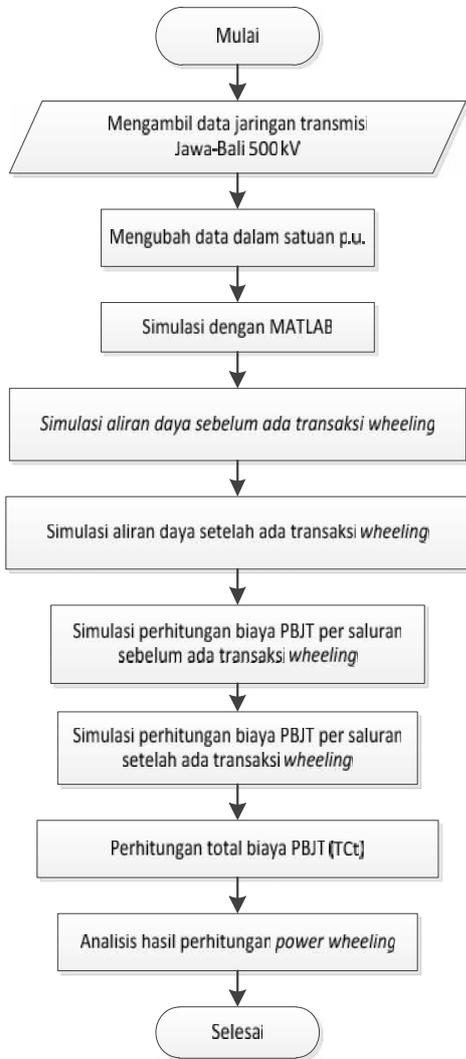
$$TC_t = TC \times \frac{\sum_{t=1}^w CK \text{ Mile}_t}{\sum_{t=1}^w MW \text{ Mile}_t}$$

Dimana :

- TC_t = *Transmission cost with wheeling* (Rp)
- TC = *Total line cost* (Rp)
- $MW \text{ mile}_t$ = Selisih MW mile setelah penambahan *power wheeling* dengan sebelum penambahan *power wheeling* (RpMW)
- $\sum_{t=1}^w MW \text{ Mile}_t$ = Jumlah MW mile setelah penambahan *power wheeling* (Rp MW)

3. Hasil dan Analisis
3.1 Diagram Alir Penelitian

Langkah-langkah penelitian yang dilakukan pada penelitian ini ditunjukkan pada gambar berikut.



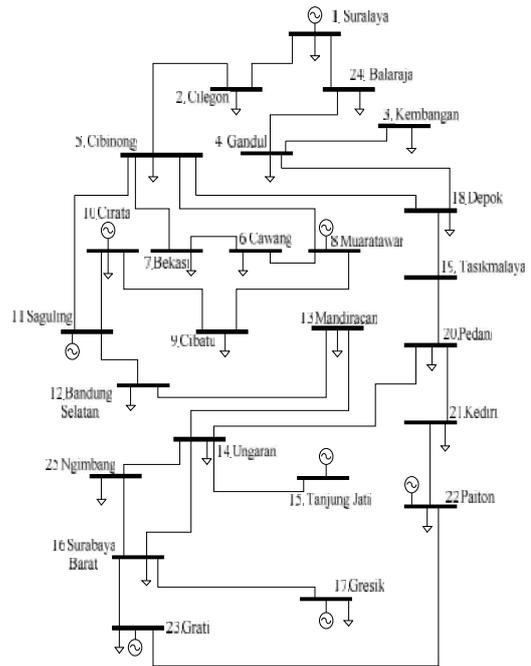
Gambar 3 Diagram Alir Penelitian

3.2 Data Jaringan Transmisi Jawa-Bali 500 kV

Sistem jaringan transmisi Jawa-Bali 500 kV ditunjukkan pada gambar 4, terdiri dari 8 pembangkit, 25 bus, dan 30 saluran yang terhubung interkoneksi.

Basis-basis yang digunakan dalam simulai ini adalah sebagai berikut :

- Basis daya semu : 100 MVA
- Basis tegangan : 500 kV
- Basis impedansi : 2500



Gambar 4 Singge line diagram sistem interkoneksi Jawa-Bali 500 kV

3.3 Data Bus

Data masing-masing bus pada jaringan transmisi Jawa-Bali 500 kV diambil pada tanggal 25 September 2013. Data yang digunakan sebagai bahan simulasi adalah data beban rata-rata harian. Data tersebut disajikan pada tabel berikut.

Tabel 1 Data pembangkit dan beban rata-rata

Nama Bus	Pembangkit				Beban	
	MW	MVAR	Q min	Q max	MW	MVAR
Suralaya	3097	1213	-600	2040	222	-64
Cilegon	-	-	-	-	289	31
Kembangan	-	-	-	-	561	173
Gandul	-	-	-	-	647	105
Cibinong	-	-	-	-	401	300
Cawang	-	-	-	-	501	145
Bekasi	-	-	-	-	784	271
Muara Tawar	937	437	-700	1640	0	0
Cibatu	-	-	-	-	811	472
Cirata	209	103	-488	760	595	207
Saguling	187	47	-140	440	0	0
Bandung Selatan	-	-	-	-	497	230
Mandiracan	-	-	-	-	-35	73
Ungaran	-	-	-	-	811	447
Tanjung Jati	2122	157	-240	720	345	73
Subaya Barat	-	-	-	-	913	445
Gresik	399	114	-610	660	178	33
Depok	-	-	-	-	416	95
Tasikmalaya	-	-	-	-	195	49
Pedan	-	-	-	-	645	147
Kediri	-	-	-	-	168	-59
Paiton	4169	577	-840	1920	619	7

Nama Bus	Pembangkit				Beban	
	MW	MVAR	Q min	Q max	MW	MVAR
Grati	165	40	-302	566	389	179
Balaraja	-	-	-	-	611	243
Ngimbang	-	-	-	-	271	19

3.4 Data Biaya Sewa Jaringan Transmisi (BSJT)

Biaya operasional per tahun yaitu Rp1.829.201.150.000,00 dan biaya investasi per tahun yaitu Rp6.182.536.432.875,00. Total biaya saluran transmisi adalah penjumlahan dari biaya operasional dan biaya investasi jaringan. Sehingga total biaya saluran transmisi Jawa-Bali 500 kV per tahun adalah Rp 8.011.737.582.875,00. Dan total biaya saluran transmisi (TC) Jawa-Bali 500 kV dalam 1 hari yaitu Rp22.254.826.619,00.

Rumus perhitungan biaya saluran transmisi adalah sebagai berikut :

$$\text{Biaya tiap saluran} = Ck \times Lk \tag{3.1}$$

$$Ck = \frac{TC}{TD} \tag{3.2}$$

Dimana :

- Ck : biaya per panjang saluran transmisi (Rp / mile)
- Lk : panjang tiap saluran transmisi (mile)
- TC: total biaya saluran transmisi (Rp)
- TD: total panjang semua saluran transmisi (mile)

Nilai Ck dapat dihitung sebagai berikut :

$$Ck = \frac{Rp\ 22.254.826.619}{1894.44\ mile}$$

$$Ck = 11.747.426,00\ \text{rupiah / mile}$$

Komponen Ck tersebut kemudian dikali dengan panjang masing-masing saluran untuk mendapatkan biaya per saluran (Ck Lk).

3.5 Perancangan Software

Software yang dirancang terdiri dari dua program, pertama program untuk menghitung aliran daya dan yang kedua program yang digunakan untuk menghitung biaya Sewa jaringan program *toolbox* Hadi Saadat yang nantinya dapat menghitung dan menampilkan hasil dalam bentuk nilai daya aktif (MW), daya reaktif (MVAR), daya semu (MVA), dan rugi-rugi daya (*losses*) dalam satuan MW dan MVAR.

The screenshot shows a 'Command Window' with the following data:

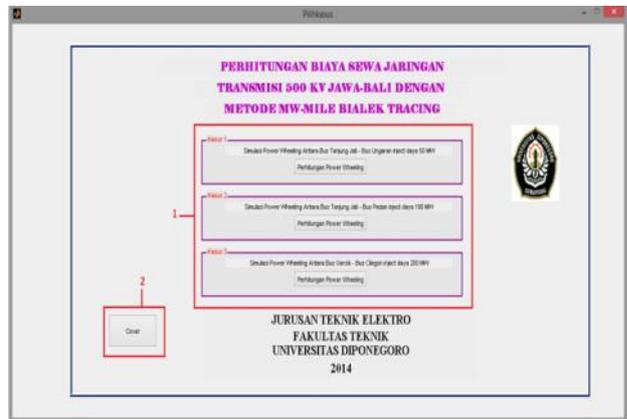
Line	Power at bus 4 line flow from to	3MW	Mvar	MVA	Real	Arus	Im	--Line loss--	Transformer
1	2220.949	397.743	2256.283		7.897	-1.800	0.413	2.818	
2	805.487	183.584	826.144		13.877	-2.100	7.284	26.757	
24	1413.462	214.159	1433.571						
2	-275.000	-104.000	294.009						
1	-805.074	-180.766	825.118		7.897	-1.800	0.413	2.818	
5	530.074	76.766	535.604		5.202	-0.782	3.747	-46.900	
3	-594.000	-194.000	624.878						
4	-594.000	-194.000	624.878		-5.769	2.477	0.592	-2.552	
4	-798.000	-274.000	843.730						
3	594.592	191.448	624.654		-5.769	2.477	0.592	-2.552	
18	-241.437	-301.518	386.271		-2.166	3.200	0.052	-0.079	
24	-1151.156	-163.929	1162.769		11.363	-2.336	4.022	16.472	
5	-332.000	-306.000	451.509						
2	-526.327	-123.666	540.660		5.202	-0.782	3.747	-46.900	
7	601.921	330.986	686.921		5.753	-3.796	2.120	13.254	
8	-204.957	-40.507	208.921		-2.017	0.571	0.270	-10.316	

Gambar 7 Hasil load flow per saluran
3.6 Program Perhitungan Biaya Sewa

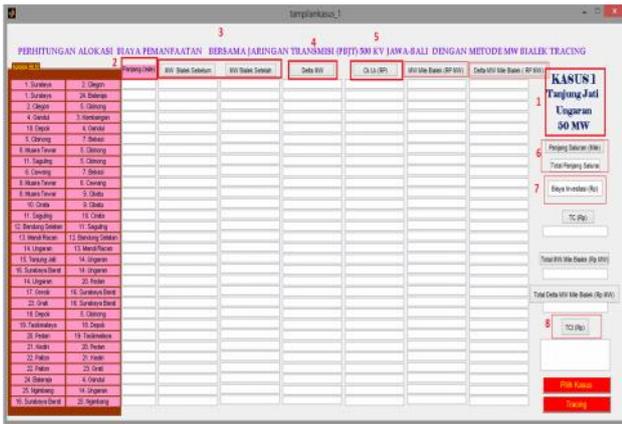
Pada tampilan selanjutnya seperti yang ditunjukkan pada gambar 9 merupakan pilihan studi kasus. Terdapat tiga studi kasus yang akan ditampilkan, yaitu:

- Studi kasus 1 : *Inject* daya *wheeling* Tanjung Jati – Ungaran sebesar 50 MW.
- Studi kasus 2 : *Inject* daya *wheeling* Tanjung Jati – Pedan sebesar 100 MW.
- Studi kasus 3 : *Inject* daya *wheeling* Gresik – Cilegon sebesar 200 MW.

Masing-masing studi kasus tersebut menggunakan data beban rata-rata pada tanggal 25 September 2013.



Gambar 9 Tampilan untuk pilih studi kasus



Gambar 10 Tampilan GUI hasil perhitungan sewa jaringan transmisi

3.7 Hasil Simulasi Aliran Daya Studi Kasus 1

Simulasi aliran daya pada penelitian ini menggunakan MATLAB dengan toolbox Hadi Saadat. Simulasi aliran daya tersebut dengan metode Newton Raphson. Berikut hasil simulasi aliran daya studi kasus 1 sebelum *inject* daya *wheeling* dan setelah *inject* daya *wheeling* sebesar 50 MW Tanjung Jati – Ungaran..

Tabel 3 Hasil simulasi aliran daya studi kasus 1

No	Bus asal	Bus tujuan	MW sebelum (MW)	MW setelah (MW)	Delta MW (MW)
1	Suralaya	Cilegon	797,160	797,518	0,359
2	Suralaya	Balaraja	1504,951	1505,729	0,778
3	Cilegon	Cibinong	506,254	506,609	0,356
4	Gandul	Kembangan	561,26	561,260	0,000
5	Depok	Gandul	321,149	320,380	-0,769
6	Cibinong	Bekasi	623,607	623,806	0,199
7	Muara Tawar	Cibinong	208,9945	208,593	-0,401
8	Saguling	Cibinong	25,583	25,546	-0,037
9	Cawang	Bekasi	161,436	161,237	-0,198
10	Muara Tawar	Cawang	663,817	663,618	-0,200
11	Muara Tawar	Cibatu	62,5965	63,199	0,602
12	Cirata	Cibatu	749,335	748,732	-0,603
13	Saguling	Cirata	1137,124	1136,519	-0,605
14	Bandung Selatan	Saguling	977,666	977,023	-0,644
15	Mandiracan	Bandung Selatan	1483,3495	1482,701	-0,649
16	Ungaran	Mandiracan	1470,380	1469,723	-0,657
17	Tanjung Jati	Ungaran	1766,430	1815,841	49,411
18	Subaya Barat	Ungaran	389,6655	389,724	0,058
19	Ungaran	Pedan	183,910	183,523	-0,387
20	Gresik	Subaya Barat	220,953	220,953	-0,001
21	Grati	Subaya Barat	1703,904	1704,033	0,129
22	Depok	Cibinong	286,749	287,033	0,284
23	Tasikmalaya	Depok	1032,295	1031,799	-0,496
24	Pedan	Tasikmalaya	1246,593	1246,085	-0,508
25	Kediri	Pedan	1729,5705	1729,454	-0,117
26	Paiton	Kediri	1585,361	1585,237	-0,124
27	Paiton	Grati	1942,200	1942,331	0,130
28	Balaraja	Gandul	888,5705	889,342	0,771
29	Ngimbang	Ungaran	339,0175	339,093	0,076
30	Subaya Barat	Ngimbang	612,6695	612,743	0,073

Dari hasil simulasi aliran daya pada studi kasus 1 tersebut dapat dilihat bahwa dengan adanya *inject* daya *wheeling* dari bus Tanjung Jati ke bus Ungaran sebesar 50 MW maka aliran daya setiap saluran mengalami perubahan. Pada saluran Tanjung Jati ke Ungaran nilai delta MW sebesar 50 MW sesuai dengan nilai *inject* daya *wheeling* studi kasus 1. Untuk saluran yang lain tetap mengalami perubahan aliran daya meskipun perbedaannya kecil. Hal tersebut karena sistem Jaringan transmisi Jawa-Bali 500 kV merupakan sistem yang saling terinterkoneksi.

3.8 Hasil Simulasi Aliran Daya Studi Kasus 2

Simulasi aliran daya pada penelitian ini menggunakan MATLAB dengan toolbox Hadi Saadat. Simulasi aliran daya tersebut dengan metode Newton Raphson. Berikut hasil simulasi aliran daya studi kasus 2 sebelum *inject* daya *wheeling* dan setelah *inject* daya *wheeling* sebesar 100 MW Tanjung Jati – Pedan. Kolom MW sebelum artinya aliran daya sebelum adanya *inject* daya *wheeling*. Kolom MW setelah artinya aliran daya setelah adanya *inject* daya *wheeling*. Delta MW dihitung dengan cara MW setelah dikurangi dengan MW sebelum.

Tabel 4 Hasil simulasi aliran daya studi kasus 2

No	Bus asal	Bus tujuan	MW sebelum (MW)	MW setelah (MW)	Delta MW (MW)
1	Suralaya	Cilegon	797.1595	797.646	0.486
2	Suralaya	Balaraja	1504.9505	1507.202	2.251
3	Cilegon	Cibinong	506.2535	506.737	0.483
4	Gandul	Kembangan	561.26	561.260	0.000
5	Depok	Gandul	321.1485	318.923	-2.226
6	Cibinong	Bekasi	623.607	621.009	-2.598
7	Muara Tawar	Cibinong	208.9945	214.105	5.110
8	Saguling	Cibinong	25.5825	26.037	0.454
9	Cawang	Bekasi	161.4355	164.027	2.592
10	Muara Tawar	Cawang	663.817	666.419	2.602
11	Muara Tawar	Cibatu	62.5965	54.869	-7.728
12	Cirata	Cibatu	749.3345	757.078	7.743
13	Saguling	Cirata	1137.124	1144.896	7.772
14	Bandung Selatan	Saguling	977.666	985.926	8.260
15	Mandiracan	Bandung Selatan	1483.3495	1491.722	8.372
16	Ungaran	Mandiracan	1470.3795	1479.039	8.659
17	Tanjung Jati	Ungaran	1766.43	1865.235	98.805
18	Subaya Barat	Ungaran	389.6655	382.911	-6.755
19	Ungaran	Pedan	183.9095	259.099	75.189
20	Gresik	Subaya Barat	220.953	220.953	-0.001
21	Grati	Subaya Barat	1703.904	1690.047	-13.857
22	Depok	Cibinong	286.749	278.105	-8.644
23	Tasikmalaya	Depok	1032.295	1021.270	-11.026
24	Pedan	Tasikmalaya	1246.5925	1235.256	-11.337
25	Kediri	Pedan	1729.5705	1743.208	13.637
26	Paiton	Kediri	1585.3605	1599.362	14.001
27	Paiton	Grati	1942.2	1928.126	-14.074
28	Balaraja	Gandul	888.5705	890.803	2.232
29	Ngimbang	Ungaran	339.0175	332.212	-6.805
30	Subaya Barat	Ngimbang	612.6695	605.777	-6.893

Dari data hasil simulasi aliran daya pada studi kasus 2 tersebut dapat dilihat bahwa nilai perubahan aliran daya yang terbesar terdapat pada saluran Tanjung Jati ke Ungaran dan saluran Ungaran ke Pedan. Pada saluran yang lain tetap mengalami perubahan nilai aliran daya. Hal tersebut karena sistem jaringan transmisi Jawa-Bali 500 kV merupakan sistem interkoneksi. Nilai perubahan aliran daya pada studi kasus 2 ini cenderung lebih besar daripada studi kasus 1 karena *inject* daya *wheeling* pada studi kasus 2 nilainya lebih besar daripada studi kasus 1.

3.9 Hasil Simulasi Aliran Daya Studi Kasus 3

Simulasi aliran daya pada penelitian ini menggunakan MATLAB dengan *toolbox* Hadi Saadat. Simulasi aliran daya tersebut dengan metode Newton Raphson. Berikut hasil simulasi aliran daya studi kasus 3 sebelum *inject* daya *wheeling* dan setelah *inject* daya *wheeling* sebesar 200 MW Gresik – Cilegon. Kolom MW sebelum artinya aliran daya sebelum adanya *inject* daya *wheeling*. Kolom MW setelah artinya aliran daya setelah adanya *inject* daya *wheeling*. Delta MW dihitung dengan cara MW setelah dikurangi dengan MW sebelum.

Tabel 5 Hasil simulasi aliran daya studi kasus 3

No	Bus asal	Bus tujuan	MW sebelum (MW)	MW setelah (MW)	Delta MW (MW)
1	Suralaya	Cilegon	797,1595	797,646	0,486
2	Suralaya	Balaraja	1504,9505	1507,202	2,251
3	Cilegon	Cibinong	506,2535	506,737	0,483
4	Gandul	Kembangan	561,26	561,260	0,000
5	Depok	Gandul	321,1485	318,923	-2,226
6	Cibinong	Bekasi	623,607	621,009	-2,598
7	Muara Tawar	Cibinong	208,9945	214,105	5,110
8	Saguling	Cibinong	25,5825	26,037	0,454
9	Cawang	Bekasi	161,4355	164,027	2,592
10	Muara Tawar	Cawang	663,817	666,419	2,602
11	Muara Tawar	Cibatu	62,5965	54,869	-7,728
12	Cirata	Cibatu	749,3345	757,078	7,743
13	Saguling	Cirata	1137,124	1144,896	7,772
14	Bandung Selatan	Saguling	977,666	985,926	8,260
15	Mandiracan	Bandung Selatan	1483,3495	1491,722	8,372
16	Ungaran	Mandiracan	1470,3795	1479,039	8,659
17	Tanjung Jati	Ungaran	1766,43	1865,235	98,805
18	Subaya Barat	Ungaran	389,6655	382,911	-6,755
19	Ungaran	Pedan	183,9095	259,099	75,189
20	Gresik	Subaya Barat	220,953	220,953	-0,001
21	Grati	Subaya Barat	1703,904	1690,047	-13,857
22	Depok	Cibinong	286,749	278,105	-8,644
23	Tasikmalaya	Depok	1032,295	1021,270	-11,026
24	Pedan	Tasikmalaya	1246,5925	1235,256	-11,337
25	Kediri	Pedan	1729,5705	1743,208	13,637
26	Paiton	Kediri	1585,3605	1599,362	14,001
27	Paiton	Grati	1942,2	1928,126	-14,074
28	Balaraja	Gandul	888,5705	890,803	2,232
29	Ngimbang	Ungaran	339,0175	332,212	-6,805
30	Subaya Barat	Ngimbang	612,6695	605,777	-6,893

Dari data hasil simulasi aliran daya pada studi kasus 3 dapat dilihat bahwa nilai perubahan aliran daya tersebut yang paling besar diantara studi kasus 1 dan studi kasus 2. Hal tersebut karena pada studi kasus 3 nilai *inject* daya

wheeling yang paling besar diantara pada studi kasus 1 dan 2. Pada setiap saluran mengalami perubahan nilai aliran daya karena sistem jaringan transmisi Jawa-Bali 500 kV merupakan sistem interkoneksi.

3.10 Perhitungan Biaya Sewa Jaringan Transmisi Jawa-Bali 500 kV Studi Kasus 1

Data lengkap studi kasus 1 dapat dilihat pada lampiran. Biaya sewa jaringan transmisi (TCt) studi kasus 1 dihitung dengan rumus berikut.

$$TC_t = TC \times \frac{dMW \text{ Mile } t}{\sum_{t=1}^w MW \text{ Mile } t}$$

$$TCt = 22.254.826.619 \times \frac{22.286.695 .367.161}{44.927.229 .079}$$

TCt = Rp 44.862.986
Dan nilai TCt / kWh :

$$TC_t/kWh = \frac{44.862.986}{24 \times 50.000}$$

$$TCt / kWh = Rp 37,39/ kWh$$

Pada studi kasus 1 yaitu dengan penambahan *inject* daya *wheeling* sebesar 50 MW dari Tanjung Jati ke Ungaran besar biaya sewa jaringan transmisi adalah Rp Rp 44.862.986,-.Hasil TCt / kWh adalah Rp 37.39/ kWh.Nilai delta MW-Mile Bialek terbesar pada saluran tanjung Jati-ungaranRp 48.618.637.462rupiah MW. Hal tersebut karena perubahan aliran daya paling besar akibat *inject* daya *wheeling* terdapat pada saluran Tanjung Jati ke Ungaran. Namun karena transaksi sewa jaringan transmisi berakibat pada seluruh sistem maka pelaku penyewa jaringan transmisi harus membayar untuk seluruh perubahan yang diakibatkan adanya transaksi.

3.11 Perhitungan Biaya Sewa Jaringan Transmisi Jawa-Bali 500 kV Studi Kasus 2

Data lengkap studi kasus 2 dapat dilihat pada lampiran. Biaya sewa jaringan transmisi (TCt) studi kasus 2dihitung dengan rumus berikut.

$$TC_t = TC \times \frac{dMW \text{ Mile } t}{\sum_{t=1}^w MW \text{ Mile } t}$$

$$TCt = 22.254.826.619 \times \frac{173.171.702.833}{22.414.939.840.915}$$

TCt = Rp 171.934.712 ,-
Dan nilai TCt / kWh :

$$TC_t/kWh = \frac{171.934.712}{24 \times 30 \times 100.000}$$

$$TCt / kWh = Rp 71,64/ kWh$$

Pada studi kasus 2 yaitu dengan penambahan *inject* daya *wheeling* sebesar 100 MW dari Tanjung Jati ke Pedan besar biaya sewa jaringan transmisi adalah Rp 171.934.712 ,- . Hasil TCt / kWh adalah Rp 71,64 / kWh. Nilai delta MW-Mile terbesar terdapat pada saluran Tanjung Jati ke Ungaran sebesar 2.916.631.180.724,210

rupiah MW dan saluran Ungaran ke Pedan sebesar 2.886.366.214.031,200 rupiah MW. Hal tersebut karena perubahan aliran daya paling besar setelah adanya *inject* daya *wheeling* terdapat pada saluran tersebut. Namun karena transaksi *power wheeling* berakibat pada seluruh sistem maka pelaku penyewa jaringan transmisi harus membayar untuk seluruh perubahan yang diakibatkan adanya transaksi *power wheeling*.

3.12 Perhitungan Biaya Sewa Jaringan Transmisi Jawa-Bali 500 kV Studi Kasus 3

Data lengkap studi kasus 3 dapat dilihat pada lampiran. Biaya sewa jaringan transmisi (TCt) studi kasus 3 dihitung dengan rumus berikut.

$$TC_t = TC \times \frac{d \text{ MW Mile } t}{\sum_{t=1}^w \text{ MW Mile } t}$$

$$TC_t = 22.254.826.619 \times \frac{1.010.682.329.061}{23.252.450.467.143}$$

$$TC_t = \text{Rp } 967.319.983,-$$

Dan nilai TCt / kWh :

$$kWh = \frac{967.319.983}{24 \times 200.000}$$

$$TC_t / \text{kWh} = \text{Rp } 201,52,- / \text{kWh}$$

Jadi biaya sewa jaringan transmisi dari Gresik ke Cilegon dengan *Inject* daya *wheeling* 200 MW sebesar Rp 967.319.983,-. Hasil TCt / kWh adalah Rp 201,52 / kWh. Nilai delta MW terbesar terdapat pada saluran Gresik ke Surabaya Barat yaitu 200MW. Di antara biaya persaluran kasus 3, saluran Pedan-Tasikmalaya memiliki biaya delta MW-Mile Bialek paling besar yaitu Rp. 204.635.352.294. Di samping itu Saluran Pedan-Tasikmalaya memiliki panjang saluran terpanjang berjarak 188,8968 mile dalam penyaluran daya, panjang saluran mempengaruhi besarnya perhitungan sewa jaringan transmisi. Sehingga membuat mahal harga sewa transmisi. Saluran Pedan ke Tasikmalaya sehingga biaya untuk saluran tersebut paling mahal di antara saluran yang lain. Perhitungan biaya *power wheeling* dengan metode MW-Mile Bialek *tracing* semakin besar perubahan aliran daya akibat *inject* daya *wheeling* dan semakin panjang saluran transmisi maka semakin besar pula biaya sewa jaringan transmisi.

4. Kesimpulan

Pada studi kasus 1 yaitu *Inject* daya *wheeling* Tanjung Jati ke Ungaran sebesar 50 MW perhitungan biaya sewa jaringan transmisi sebesar Rp Rp 44.862.986,-. Hasil TCt / kWh adalah Rp 37,39 / kWh. Pada studi kasus 2 yaitu *Inject* daya *wheeling* Tanjung Jati ke Pedan sebesar 100 MW perhitungan biaya sewa jaringan transmisi sebesar Rp 171.934.712,-. Hasil TCt / kWh adalah Rp 71,64 / kWh. Pada studi kasus 3 yaitu *Inject* daya *wheeling* Gresik ke Cilegon sebesar 200 MW perhitungan biaya sewa jaringan transmisi sebesar Rp 967.319.983,-. Hasil TCt / kWh adalah Rp 201,52 / kWh. Perhitungan MW-Mile

tidak hanya memperhitungkan antar saluran yang bertransaksi saja, namun juga memperhitungkan semua saluran karena dengan adanya suatu transaksi *power wheeling* maka akan berdampak pada seluruh sistem jaringan transmisi. Metode MW-Mile Bialek *tracing* memiliki keunggulan yaitu mudah dalam perhitungannya karena tidak memperhitungkan nilai daya reaktif. Namun di sisi lain, karena daya reaktif tidak diperhitungkan maka perhitungan biaya sewa jaringan transmisi tersebut kurang sesuai dengan yang ada di lapangan. Metode MW-Mile Bialek *tracing* terdapat adanya subsidi silang yang artinya apabila dampak *inject power wheeling* menyebabkan penurunan nilai aliran daya di suatu saluran transmisi maka konsumen *power wheeling* berhak mendapat pengurangan biaya sewa. Sedangkan kekurangannya yaitu perhitungan biaya sewa transmisi dengan metode MW-Mile memperhitungkan dampak *inject power wheeling* semua saluran transmisi.

Saran untuk penelitian yaitu masih terdapat beberapa asumsi yang belum diperhitungkan, sehingga masih dapat dikembangkan lebih jauh. Aliran daya yang digunakan bukanlah *Optimal Power Flow* (OPF) sehingga kedepannya dapat menggunakan OPF untuk menghitung biaya sewa jaringan transmisi.

Referensi

- [1]. Andrianto Yudo, 2011, *Perhitungan Pembayaran Sewa Transmisi Berdasarkan Metode MW-Mile untuk Transaksi Wheeling pada Sistem Jaringan Tenaga Listrik Jawa Bali*, Teknik Elektro Fakultas Teknik Industri, Institut Teknologi Sepuluh Noverber, Surabaya
- [2]. Shahidehpour M., Yamin H., Li Z, "Market operations in electric power systems", IEEE Wiley, 2002)
- [3]. <https://ehendra.wordpress.com/stl-01/> diakses pada 3 oktober 2014
- [4]. www.widdiyanto.wordpress.com/2013/05/24/sistem-kelistrikan-jawa-madura-bali/ diakses pada 3 Oktober 2014
- [5]. Hutaeruk, T.S., "Transmisi Daya Listrik", Erlangga, Jakarta 1990.
- [6]. Saadat Hadi, "Power System Analysis", McGraw-Hill, USA, 1999.
- [7]. Beny Marbun, Power wheeling, Model Bisnis Pemanfaatan Bersama Jaringan Transmisi untuk Penyediaan Tenaga Listrik, Disampaikan pada FGD Pemanfaatan Bersama Jaringan Transmisi Jakarta, 27 Februari 2014
- [8]. Electricity Wheeling/Transmission Pricing Framework for Jamaica, PPA Energy 6th December 2012
- [9]. Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik PT.PLN (Persero) 2013-2022.
- [10]. Sulistyono, 1998, *Studi Estimasi Ongkos Penggunaan Kapasitas Saluran Transmisi pada Wheeling dengan Metoda Basis Arus*, Teknik Elektro, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- [11]. Anjaneyulu V., Narasimha Rao P.V., Durga Prakash K.N.S., "Fixed transmission cost allocation using power flow tracing methods". IIAREIE India, 8 August 2013, Vol. 2
- [12]. Ridhani Wahyu. "Optimisasi Biaya Pembangkitan Pada Sistem 500 Kv Jawa-Bali Menggunakan Metode Ant Colony Optimization (Aco)", 1 September 2014
- [13]. *Logsheet* Operasi Harian PT. PLN (PERSERO) P3BJB, Jakarta, 2013.
- [14]. Diskusi Ilmiah *Power Wheeling*, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta, Oktober 2014.
- [15]. Curry Trevor, Wilson Dan, "Western Electricity Coordinating Council", Black & Veatch, 2012.