

PERHITUNGAN BIAYA SEWA JARINGAN TRANSMISI 500 KV JAWA-BALI DENGAN METODE BASIS ARUS

Heriawan Kukuh Setyadi^{*)}, Hermawan, and Susatyo Handoko

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

^{*)} Email: heriawan_kukuh@yahoo.co.id

Abstrak

Permintaan energi listrik yang selalu mengalami peningkatan di setiap tahunnya tidak diimbangi dengan adanya pusat pembangkit baru. Hal tersebut terjadi karena keterbatasan dana investasi yang dimiliki PLN. Oleh karenanya PLN perlu menyusun skema untuk mengatasi masalah tersebut. Salah satu skema yang dapat disusun adalah skema sewa jaringan transmisi. Sewa jaringan transmisi pada prinsipnya bertujuan untuk menyalurkan daya dari pembangkit milik sendiri ke beban pihak lain dengan menyewa jaringan transmisi. Diperlukan suatu metode untuk menghitung biaya sewa jaringan transmisi yaitu dengan menggunakan metode basis arus. Metode basis arus dalam menentukan alokasi biaya sewa jaringan transmisi dengan menghitung seluruh perubahan arus antara sebelum dan sesudah adanya sewa jaringan. Penelitian ini, dalam menghitung biaya sewa transmisi menggunakan sistem transmisi 500 kV dengan metode basis arus. Melalui metode tersebut diperoleh biaya sewa jaringan transmisi untuk setiap studi kasus. Pada kasus 1 perhitungan biaya sewa jaringan transmisi dengan inject daya 50 MW dari Tanjung Jati-Ungaran diperoleh biaya sebesar Rp2.504.782.753,-. Kasus 2 perhitungan dengan inject daya 100 MW dari Tanjung Jati-Pedan sebesar Rp11.716.146.528,-. Kasus 3 perhitungan dengan inject daya 200 MW dari Gresik-Cilegon sebesar Rp81.241.618.173,-. Dari hasil analisis yang dilakukan, metode basis arus dengan kelebihan dan kekurangannya dapat menjadi alternatif metode perhitungan biaya sewa jaringan transmisi.

Kata kunci : Sistem transmisi 500 KV Jawa-Bali, sewa transmisi, metode basis arus, inject daya wheeling.

Abstract

Electrical energy demand always increased in each year is not matched with the new power plant. It happens because of the limitations fund owned by PLN. Therefore PLN needs to prepare schemes to resolve the issue. Scheme that can be set is the transmission rental scheme. Transmission rental scheme in principle to distribute power from self-owned plant to load by renting transmission. We need a method to calculate the cost by using current base method. Current base method for determining the allocation of transmission network rental cost with count all current changes between before and after rental. Final assignment, in calculating rental cost using 500 kV transmission system with current base method. Through these methods obtained transmission network rental cost for each case study. In the first case the calculation of rental cost inject power transmission with 50 MW from Tanjung Jati-Ungaran obtained cost of Rp83.492.758,-. Case 2 calculation to inject a 100 MW power from Tanjung Jati-Pedan obtained cost of Rp390.538.218,-. Case 3 calculations with inject 200 MW power from Gresik-Cilegon obtained cost of Rp904.351.291,-. From the the analysis, current base method with advantages and disadvantages can be an alternative method to calculate the transmission rental cost.

Keywords : 500KV transmission system, transmission rental cost, current base method, inject

1. Pendahuluan

Energi listrik merupakan energi yang sangat penting di zaman modern seperti saat ini. Permintaan energi listrik dari waktu ke waktu selalu mengalami peningkatan. Namun peningkatan permintaan suplai energi listrik tidak diimbangi dengan adanya pusat-pusat pembangkit yang baru sehingga rawan terjadinya krisis listrik. Untuk

mengatasi terjadinya krisis energi listrik tentunya mulai saat ini sudah harus disusun skema-skema yang mampu mengatasi masalah tersebut. Perusahaan Listrik Negara (PLN) sebagai penyedia utama jasa ketenagalistrikan di Indonesia belum mampu menyediakan seluruh kebutuhan listrik yang semakin meningkat permintaannya hingga 9% atau sebesar 5000 MW per-tahunnya. Keterbatasan kemampuan dana investasi membuat PLN tidak dapat

secara ekspansif membangun pembangkit-pembangkit listrik baru guna mencukupi kebutuhan daya yang diperlukan. Oleh karena itu, keterlibatan swasta diperlukan sebagaimana diatur dalam Undang-Undang Nomor 30 tahun 2009 tentang Ketenagalistrikan (UU 30/2009). Khusus untuk memenuhi 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 dan memanfaatkan jaringan transmisi milik PLN atau pemegang IUPL lain.[4]

Power wheeling merupakan pemanfaatan bersama jaringan transmisi oleh pemegang izin usaha penyediaan tenaga listrik lainnya 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 merupakan salah satu skema yang memberikan kesempatan bagi pihak ketiga *Independent Power Producer* (IPP) untuk membangun dan menyediakan listrik bagi pihak swasta dimana PLN tidak menjadi *off-taker* sepenuhnya selain itu bertujuan antara lain agar aset jaringan transmisi dan distribusi sebagai salah satu aset bangsa dapat dimanfaatkan secara optimal, peningkatan utilisasi jaringan transmisi sebagai salah satu bentuk efisiensi pada lingkup nasional, mempercepat penambahan kapasitas pembangkit nasional untuk menunjang pertumbuhan ekonomi nasional.

Penelitian ini menggunakan sistem transmisi 500 kV Jawa Bali dengan 25 bus dan 30 saluran. Perhitungan biaya sewa jaringan yaitu dengan menggunakan metode basis arus. Diberikan *inject* dari satu titik dan diterima di satu titik serta divariasi nilai besaran *inject* dan jauhnya antara titik *inject* dengan titik terima sehingga diketahui perbedaan nilai biaya antar masing-masing *inject*. Metode basis arus merupakan metode yang dikembangkan guna memperbaiki kelemahan metode yang selama ini digunakan dalam menghitung alokasi biaya sewa jaringan.^[16] Metode tersebut diharapkan dapat diaplikasikan sebagai salah satu alternatif dalam penentuan harga sewa jaringan transmisi oleh PLN.

2. Metode

2.1 Metode Aliran Daya

Langkah awal yang dilakukan untuk menghitung aliran daya adalah membentuk matrik admitansi terlebih dahulu berdasarkan data saluran sistem. Kemudian mengasumsikan tegangan awal dari masing-masing bus. Dilanjutkan dengan perhitungan daya pada tiap bus.

Persamaan umum untuk arus yang mengalir menuju suatu bus adalah

$$\begin{aligned} I_1 &= Y_{11}V_1 + Y_{12}V_2 + \dots + Y_{1n}V_n \\ I_2 &= Y_{21}V_1 + Y_{22}V_2 + \dots + Y_{2n}V_n \\ I_3 &= Y_{31}V_1 + Y_{32}V_2 + \dots + Y_{3n}V_n \\ \dots &= \dots + \dots + \dots + \dots \\ \dots &= \dots + \dots + \dots + \dots \\ \dots &= \dots + \dots + \dots + \dots \\ I_n &= Y_{n1}V_1 + Y_{n2}V_2 + \dots + Y_{nn}V_n \end{aligned}$$

(1.1)

Persamaan aliran daya kompleks pada saluran :

$$P_{pq} + jQ_{pq} = V_p I_{pq}^* \quad (1.2)$$

Sehingga diperoleh nilai arus yang mengalir pada bus kirim (p) dari suatu saluran p ke q adalah :

$$I_{pq} = (V_p - V_q) y_{pq} \quad (1.3)$$

Dimana :

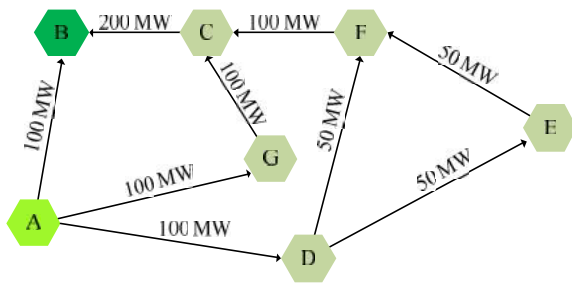
y_{pq} = admitansi saluran

Hasil yang diperoleh dari perhitungan aliran daya yang nantinya nilai arus digunakan di dalam perhitungan biaya sewa jaringan transmisi.

2.2 Power Wheeling/Sewa Jaringan Transmisi

Power wheeling/sewa jaringan transmisi adalah proses pengiriman energi listrik dari suatu pembangkit selaku penjual ke beban selaku pembeli melalui sistem saluran transmisi milik pihak ke-tiga. Jadi untuk membentuk suatu transaksi *wheeling* minimal terdapat tiga pihak yang terkoneksi dalam satu sistem tenaga listrik (STL) yaitu pihak pembangkitan, pihak beban dan pihak jaringan transmisi.

Sistem tenaga listrik yang terdiri dari tujuh area kendali yang terinterkoneksi satu sama lain. Misalkan telah terjadi kesepakatan jual beli tenaga listrik antara area kendali A dan B sebesar 300 MW. Dalam hal ini A selaku penjual dan B selaku pembeli, maka area kendali A akan menaikkan pembangkitan terjadwal sebesar 300 MW dan area kendali B akan menurunkan pembangkitan terjadwal sebesar 300 MW, dengan satu anggapan bahwa rugi-rugi jaringan tidak ada. Perubahan aliran daya pada masing-masing saluran transmisi sebagaimana ditunjukkan pada gambar 1. 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 B tetapi daya mengalir menyebar ke semua saluran transmisi yang terinterkoneksi.



Gambar 1 Ilustrasi Sewa Jaringan Transmisi

2.3 Metode Basis Arus (MBA)

Didalam mengestimasi biaya penggunaan kapasitas saluran transmisi didasarkan pada besar arus yang ditimbulkan oleh transaksi *wheeling* pada setiap saluran. Hal ini tersebut diharapkan dapat memperbaiki kelemahan metode selama ini. MBA didalam menentukan arus injeksinya secara implisit telah memperhitungkan daya reaktif dan parameter R dan X dipertimbangkan didalam menghitung distribusi arus pada setiap saluran transmisi. Dasar alokasi biaya kepada tiap transaksi *wheeling* adalah arus yang ditimbulkan oleh suatu *wheeling* pada saluran transmisi. Jadi apabila terdapat *wheeling* sejumlah w , termasuk didalamnya pembangkitan dan beban sistem pemilik saluran transmisi. Untuk suatu *wheeling* yang ke i dengan daya tertentu akan menimbulkan arus pada saluran yang ke j sebesar $I_{j,i}$. Biaya total untuk saluran ke j per tahun adalah sebesar BT_j . Maka alokasi biaya per tahun untuk sewa jaringan ke i dari saluran ke j per tahun ($BSJT_{j,i}$) adalah sebagai berikut :

$$BSJT_{j,i} = \frac{|I_{j,i}|}{\sum_{k=1}^w |I_{j,k}|} BT_j \quad (1.4)$$

Dimana $I_{j,k}$ adalah besar arus pada saluran ke j yang ditimbulkan oleh transaksi *wheeling* ke k .

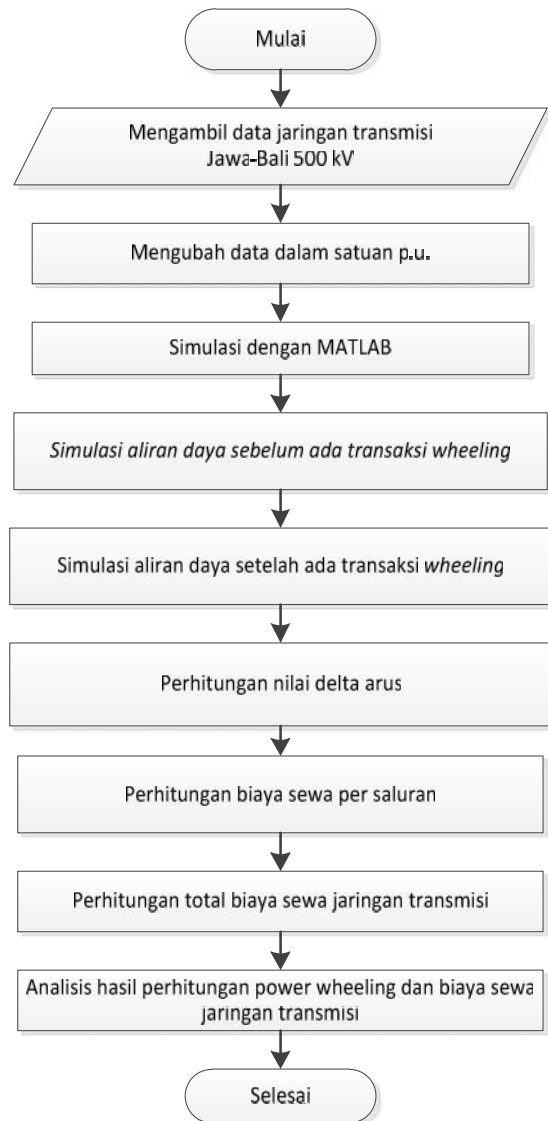
Apabila didalam sistem tenaga listrik tersebut terdapat sejumlah l saluran transmisi maka biaya penggunaan kapasitas saluran transmisi total per tahun untuk *wheeling* ke i ($BSJT_{tot,i}$) adalah sebagai berikut :

$$BSJT_{tot,i} = \sum_{j=1}^l BSJT_{j,i} \quad (1.5)$$

Dimana :

- BT dinyatakan dalam satuan mata uang/waktu
- BSJT dinyatakan dalam satuan mata uang/waktu

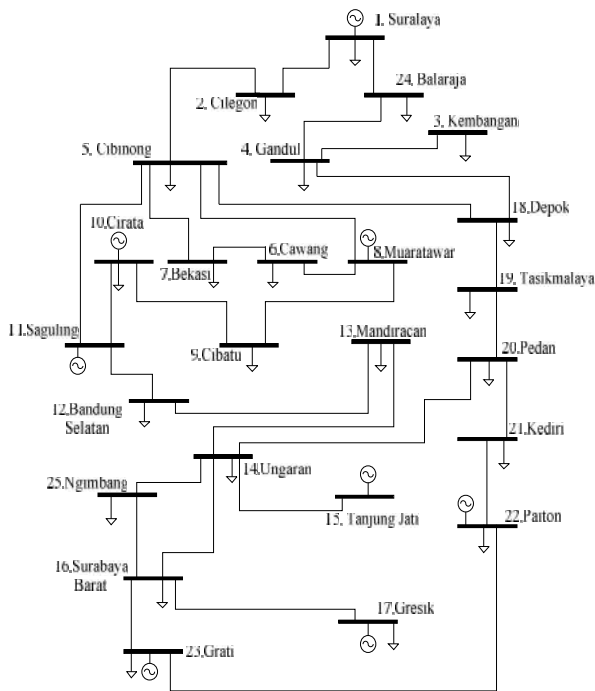
2.4 Diagram Alir Penelitian



Gambar 2 Diagram Alir Penelitian

2.5 Data Jaringan Transmisi Jawa-Bali 500 kV^[12]

Sistem jaringan transmisi Jawa-Bali 500 kV ditunjukkan pada gambar 3.2, terdiri dari 8 pembangkit, 25 bus, dan 30 saluran yang terhubung interkoneksi.



Gambar 3 Single line diagram sistem interkoneksi Jawa-Bali 500 kV

Berikut ini data beban rata-rata yang digunakan dalam simulasi perhitungan sewa jaringan transmisi.

Tabel 1. Data jaringan transmisi

No.	Nama Bus	Pembangkit		Beban	
		MW	MVAR	MW	MVAR
1	Suralaya	3097	1213	222	-64
2	Cilegon	-	-	289	31
3	Kembangan	-	-	561	173
4	Gandul	-	-	647	105
5	Cibinong	-	-	401	300
6	Cawang	-	-	501	145
7	Bekasi	-	-	784	271
8	Muara Tawar	937	437	0	0
9	Cibatu	-	-	811	472
10	Cirata	209	103	595	207
11	Saguling	187	47	0	0
12	Bandung Selatan	-	-	497	230
13	Mandiracan	-	-	-35	73
14	Ungaran	-	-	811	447
15	Tanjung Jati	2122	157	345	73
16	Subaya Barat	-	-	913	445
17	Gresik	399	114	178	33
18	Depok	-	-	416	95
19	Tasikmalaya	-	-	195	49
20	Pedan	-	-	645	147
21	Kediri	-	-	-168	-59
22	Patton	4169	577	619	7
23	Grati	165	40	389	179
24	Balaraja	-	-	611	243
25	Ngimbang	-	-	271	19

Sedangkan untuk biaya per saluran diperoleh dari biaya operasional P3B bersumber dari APBN-P 2013[8] dan untuk biaya investasi jaringan dihitung berdasarkan

referensi 13. Biaya per saluran dihitung berdasarkan panjang tiap saluran yang nilainya berbeda-beda.

3. Hasil Dan Analisa

Perhitungan sewa jaringan transmisi disimulasikan menggunakan dua buah program yaitu *toolbox* Hadi Saadat yang digunakan untuk perhitungan aliran daya dan yang kedua GUI yang digunakan untuk menghitung besar biaya sewa jaringan.

Untuk perhitungan biaya sewa jaringan dihitung dan ditampilkan menggunakan GUI yang merupakan kepanjangan dari *Graphical User Interface*. Hasil dari aliran daya menggunakan *toolbox* Hadi Saadat selanjutnya dimasukkan ke dalam GUI yang telah dibuat dan dihitung nilai-nilainya agar sesuai dengan yang diharapkan. Nantinya GUI ini akan menampilkan tabel yang berisi bus kirim dan bus terima, biaya per saluran, nilai arus sebelum ada transaksi, nilai arus setelah ada transaksi, delta arus, selanjutnya menampilkan biaya per saluran yang diakibatkan oleh adanya transaksi, yang terakhir nilai dari masing-masing saluran akan ditotal sehingga diketahui biaya yang harus ditanggung oleh pelaku transaksi *wheeling*/sewa jaringan transmisi.

Berikut ini tampilan awal dari GUI yang telah dibuat :



Gambar 4 Tampilan awal GUI

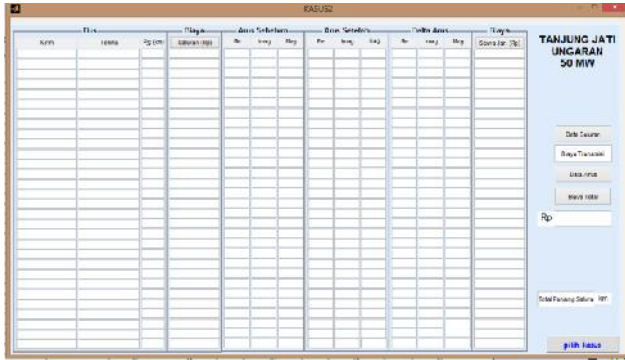
Pada tampilan awal terdapat dua *push button* yaitu *push button* masuk dan *push button* keluar. *Push button* masuk jika di klik maka akan masuk ke dalam halaman selanjutnya untuk memilih studi kasus yang ingin dihitung.



Gambar 5 Tampilan untuk pilih studi kasus yang ingin ditampilkan

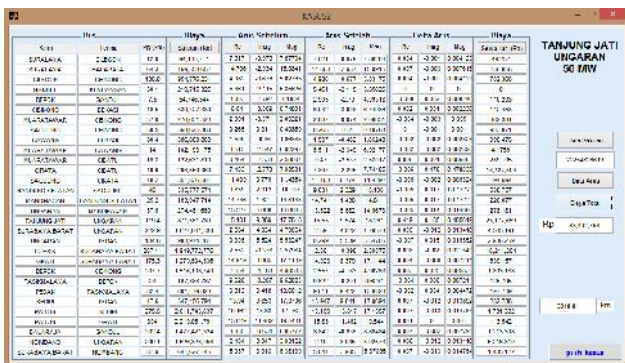
Pada tampilan kedua terdapat pilihan studi kasus yang ingin dihitung. Pilihan studi kasus yang akan dihitung ada tiga studi kasus yaitu studi kasus antara bus Tanjung Jati – Ungaran dengan *inject* daya sebesar 50 MW, antara bus Tanjung Jati – Pedan dengan *inject* daya sebesar 100 MW, dan antara bus Gresik – Cilegon dengan *inject* daya sebesar 200 MW.

Setelah memilih salah satu studi kasus maka ditampilkan halaman perhitungan sewa jaringan transmisi.



Gambar 6 Tampilan GUI sebelum dimasukkan data

Dari gambar 6 dapat dilihat tampilan yang masih kosong sehingga harus dipilih data saluran untuk memuatkan data selanjutnya memasukkan besaran biaya. Selanjutnya dipilih biaya saluran yang otomatis akan menghitung sesuai nilai yang telah dimasukkan. Pilih data arus untuk memanggil data aliran arus yang ada. Untuk mengetahui besar biaya *wheeling* per saluran maka dipilih biaya *wheeling* dan pilih biaya total untuk menghitung biaya keseluruhan. Dapat dilihat tampilan program setelah dijalankan sebagai berikut.



Gambar 7 Tampilan biaya total

Gambar 7 menunjukkan tampilan program yang telah dijalankan sehingga diperoleh nilai biaya total yaitu sebesar Rp83.492.758,00 Selain itu gambar 7 juga merupakan tampilan akhir dari perhitungan biaya.

3.1 Hasil Perhitungan Biaya Sewa Jaringan Transmisi dan Analisis

Dari simulasi aliran daya sistem asli maka diperoleh besaran arus untuk masing-masing saluran adalah sebagai berikut.

Tabel 2 Hasil simulasi sistem asli dan perhitungan biaya per saluran

Bus Krm	Bus Trm	Biaya per Saluran (Rp)	Arus Sebelum <i>Wheeling</i> (pu)		
			Re	Im	Mag
1	2	2.824.911.327	7,81	-0,97	7,87
1	4	14.080.759.558	14,79	-2,93	15,08
2	5	28.643.286.939	4,98	-0,67	5,02
4	3	6.591.459.762	5,46	-2,11	5,85
18	4	1.642.390.306	3,00	-2,79	4,10
5	7	10.182.819.898	6,04	-3,00	6,74
8	5	8.299.545.680	2,09	-0,07	2,09
11	5	11.058.761.395	0,26	0,31	0,40
6	7	17.606.424.082	1,59	-0,46	1,66
8	6	3.065.795.238	6,51	-2,34	6,92
8	9	3.678.954.286	0,46	-2,53	2,58
10	9	8.956.501.803	7,40	-2,77	7,90
11	10	10.555.095.034	11,40	0,77	11,43
12	11	10.073.327.211	9,83	2,31	10,10
13	12	5.518.431.429	14,74	1,42	14,81
14	13	8.233.850.068	13,52	5,66	14,66
15	14	26.146.853.674	15,10	9,38	17,78
16	14	48.811.839.899	2,58	4,03	4,79
14	20	29.519.228.436	0,30	5,52	5,53
17	16	58.493.183.290	2,55	-0,37	2,58
23	16	38.388.136.089	14,91	8,38	17,11
18	5	45.483.262.212	2,55	-4,18	4,90
19	18	5.036.663.606	9,62	-0,20	9,62
20	19	18.044.394.830	9,81	9,41	13,60
21	20	10.423.703.810	13,94	9,85	17,07
22	21	60.352.369.117	10,16	13,83	17,16
22	23	66.571.553.743	15,82	11,46	19,54
24	4	44.322.639.729	8,835	-0,63	8,85
25	14	45.789.841.735	2,484	3,04	3,93
16	25	19.248.814.388	5,037	3,91	6,38

Nilai biaya per saluran diperoleh dari besar biaya per kilometer per bulan yaitu Rp 218.985.374,- dikalikan dengan panjang masing-masing saluran.

3.2 Kasus *Wheeling* antara bus Tanjung Jati dengan bus Ungaran 50 MW

Pada studi kasus pertama terjadi transaksi sebesar 50 MW dimana bus kirim adalah bus Tanjung Jati dan bus sisi terima adalah bus Ungaran. Tabel 3 menunjukkan besar arus yang mengalir saat terjadi transaksi serta nilai selisih arus antara sistem asli dengan sistem setelah transaksi. Diperoleh pula nilai biaya per saluran yang dihitung menggunakan persamaan 1.4 dan total biaya yang dihitung dengan persamaan 1.5.

Tabel 3 Hasil studi kasus 1

Saluran		Arus Setelah Wheeling (pu)		Delta Arus (pu)			Biaya Sewa per Saluran (Rp)
		Re	Im	Re	Im	Mag	
		1	2	7,821	-0,979	0,004	
1	4	14,80	-2,937	0,007	-0,003	0,008	236.856
2	5	4,986	-0,677	0,004	-0,001	0,004	782.360
4	3	5,461	-2,115	0,000	0,000	0,000	-
18	4	2,995	-2,79	-0,008	0,002	0,008	110.293
5	7	6,042	-3,008	0,002	0,001	0,002	112.453
8	5	2,087	-0,074	-0,004	-0,003	0,005	662.381
11	5	0,265	0,31	0,000	-0,001	0,001	903.871
6	7	1,597	-0,462	-0,002	-0,002	0,003	998.476
8	6	6,511	-2,349	-0,002	-0,002	0,003	41.759
8	9	0,47	-2,537	0,006	0,001	0,006	289.105
10	9	7,397	-2,295	-0,006	0,478	0,478	18.427.504
11	10	11,40	0,774	-0,006	-0,002	0,006	194.694
12	11	9,834	2,329	-0,005	0,017	0,018	588.757
13	12	14,74	1,438	-0,005	0,017	0,018	220.077
14	13	13,52	5,682	0,004	-0,001	0,004	49.257
15	14	15,55	9,574	0,007	-0,003	0,008	236.856
16	14	2,59	4,022	-0,005	0,014	0,015	278.181
14	20	0,299	5,539	0,449	0,185	0,486	23.177.659
17	16	2,56	-0,398	0,006	-0,012	0,013	4.563.191
23	16	14,92	8,379	-0,007	0,015	0,017	2.936.269
18	5	2,557	-4,183	0,008	-0,020	0,022	16.211.264
19	18	9,622	-0,201	0,004	-0,006	0,007	539.157
20	19	9,811	9,422	0,003	0,005	0,006	1.803.188
21	20	13,94	9,841	-0,004	0,006	0,007	125.795
22	21	10,16	13,81	-0,002	0,004	0,004	197.749
22	23	15,83	11,46	0,007	-0,012	0,014	282.788
24	4	8,842	-0,636	0,007	-0,013	0,015	1.731.382
25	14	2,49	3,035	0,001	0,000	0,001	113.542
16	25	5,044	3,905	0,007	-0,002	0,007	1.213.308
Total Biaya							83.492.758

Pada studi kasus pertama ini antara bus Tanjung Jati dengan bus Ungaran sebesar 50 MW besar biaya total adalah sebesar Rp 83.492.758,00. Apabila dihitung biaya per kWh maka akan diperoleh biaya sebesar Rp 69,577. Nilai biaya per saluran paling besar ialah pada saluran antara bus Tanjung Jati dengan bus Ungaran yang dikarenakan ada lonjakan nilai arus yang sangat besar.

3.3 Kasus Wheeling antara bus Tanjung Jati dengan bus Pedan 100 MW

Studi kasus kedua memiliki transaksi daya yang lebih besar daripada studi kasus 1, selain itu jarak antara bus kirim dan bus terima juga lebih jauh. Pada studi kasus kedua terjadi transaksi sebesar 100 MW dimana bus kirim adalah bus Tanjung Jati dan bus sisi terima adalah bus Pedan. Berikut ini adalah tabel yang menunjukkan hasil perhitungan biaya sewa jaringan transaksi pada kasus kedua.

Tabel 4 Hasil studi kasus 2

Saluran		Arus Setelah Wheeling (pu)		Delta Arus (pu)			Biaya Sewa per Saluran (Rp)
		Re	Im	Re	Im	Mag	
		1	2	7,82	-0,97	0,005	
1	4	14,81	-2,93	0,022	-0,003	0,022	689.876
2	5	4,98	-0,67	0,005	-0,001	0,005	967.350
4	3	5,46	-2,11	0,000	-0,001	0,001	37.516
1	4	2,98	-2,79	-0,023	0,001	0,023	308.691
5	7	6,01	-3,00	-0,027	0,001	0,027	1.364.014
8	5	2,14	-0,07	0,051	-0,001	0,051	6.584.488
1	5	0,27	0,31	0,005	-0,001	0,005	4.572.235
6	7	1,62	-0,46	0,026	-0,001	0,026	9.040.287
8	6	6,54	-2,34	0,027	0,000	0,027	397.102
8	9	0,38	-2,54	-0,077	-0,003	0,077	3.676.539
1	9	7,48	-2,28	0,079	0,487	0,493	18.827.339
1	10	11,48	0,78	0,078	0,013	0,079	2.416.331
1	11	9,92	2,39	0,083	0,084	0,118	3.884.672
1	12	14,83	1,51	0,084	0,089	0,122	1.510.171
1	13	13,60	5,74	0,074	0,081	0,110	2.039.269
1	14	15,97	9,80	0,869	0,419	0,965	44.864.989
5	14	2,52	3,98	-0,057	-0,049	0,075	25.918.359
1	20	0,99	5,74	0,690	0,225	0,726	122.394.441
4	16	2,56	-0,39	0,010	-0,020	0,022	16.815.576
2	16	14,79	8,32	-0,125	-0,064	0,140	10.586.868
1	5	2,46	-4,18	-0,087	0,003	0,087	27.167.443
1	18	9,52	-0,20	-0,101	0,002	0,101	1.780.175
2	19	9,73	9,41	-0,077	-0,004	0,077	3.424.379
2	20	14,11	9,84	0,170	-0,009	0,170	3.438.066
2	21	10,33	13,82	0,174	-0,007	0,174	20.297.017
2	23	15,71	11,38	-0,119	-0,078	0,142	16.274.280
2	4	8,85	-0,63	0,022	-0,002	0,022	3.675.453
2	14	2,42	2,99	-0,057	-0,050	0,076	30.009.200
1	25	4,98	3,87	-0,057	-0,047	0,074	7.515.184
Total Biaya							390.538.218

Pada studi kasus kedua ini antara bus Tanjung Jati dengan bus Pedan sebesar 100 MW besar biaya total adalah sebesar Rp 390.538.218,00 untuk satu hari. Biaya tersebut jika dihitung untuk nilai per kWh maka biayanya adalah sebesar Rp 162,724.

3.4 Kasus Wheeling antara bus Gresik dengan bus Cilegon 200 MW

Pada studi kasus ketiga terjadi transaksi sebesar 200 MW dimana bus kirim adalah bus Gresik dan bus sisi terima

adalah bus Cilegon. Studi kasus ketiga ini memiliki jarak antara bus sisi kirim dengan bus sisi terima yang jaraknya jauh. Besar biaya total adalah sebesar Rp2.708.053.939,00. Biaya per kWh dari kasus ketiga ini adalah sebesar Rp 564,178.

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel 5 berikut ini.

Tabel 5 Hasil studi kasus 3

Saluran	Arus Setelah Wheeling (pu)		Delta Arus (pu)			Biaya Sewa per Saluran (Rp)
	Re	Im	Re	Im	Mag	
1 2	9,15	-1,06	1,34	-0,08	1,34	13.734.029
1 4	13,6	-3,15	-	1,17	1,19	40.155.273
2 5	4,3	-0,74	0,62	-0,07	0,62	135.163.836 4
4 3	5,48	-2,07	0,02	0,03	0,04	1.696.520
1 8	4,23	-2,46	1,22	0,32	1,27	14.216.099
5 7	5,77	-2,87	0,26	0,13	0,29	15.402.843
8 5	2,66	-0,19	0,57	-0,12	0,58	60.621.155
1 1	0,31	0,30	0,04	-0,004	0,04	38.948.995
6 7	1,89	-0,52	0,29	-0,06	0,30	90.992.360
8 6	6,83	-2,35	0,32	-0,01	0,32	4.540.570
8 9	-0,38	-2,58	-	0,85	0,85	39.974.626
1 0	8,32	-2,13	0,91	0,63	1,11	38.872.821
1 1	12,27	1,04	0,86	0,26	0,90	25.957.340
1 1	10,74	3,33	0,90	1,02	1,36	40.697.332
1 2	15,66	2,53	0,92	1,11	1,44	16.732.997
1 3	14,3	6,69	0,77	1,02	1,28	22.290.224
1 4	14,74	10,29	-	0,90	0,97	47.277.218
1 5	3,04	4,21	0,46	0,18	0,49	155.607.612
1 6	0,35	5,58	0,05	0,05	0,07	13.821.199
1 7	4,51	0,37	1,96	0,75	2,1	904.351.291
2 3	13,89	8,76	-	0,37	1,09	85.513.841
1 8	2,31	-3,82	1,03	0,35	0,43	146.134.268
1 9	10,50	0,46	-	0,67	1,10	17.697.344
2 0	10,45	9,98	0,88	0,56	0,82	34.394.262
2 1	14,29	10,49	0,60	0,63	0,73	14.324.698
2 2	10,31	14,28	0,35	0,15	0,42	51.923.155
2 2	14,59	11,92	0,15	0,42	0,45	51.923.155
2 2	14,59	11,92	-	0,46	1,32	155.404.865
2 4	7,64	-0,87	1,23	-	1,21	232.899.956
2 4	7,64	-0,87	1,18	-0,24	1,21	232.899.956
2 5	3,01	3,23	0,53	0,18	0,56	194.609.611
1 6	5,52	4,25	0,48	0,33	0,58	54.097.598
Total Biaya						2.708.053.939

Berdasarkan tabel 5. Diatas dapat dilihat nilai masing-masing saluran yang memiliki nilai berbeda-beda tergantung dengan besarnya selisih antara arus sebelum ada transaksi dengan arus setelah adanya transaksi sewa jaringan transmisi.

Ketiga studi kasus sewa jaringan transmisi diatas telah mewakili jarak transaksi baik jarak pendek, menengah maupun jarak jauh. Nilai daya semakin besar dan jarak yang semakin jauh mengakibatkan biaya transaksi sewa jaringan transmisi nilainya semakin besar. Sistem perhitungan yang menggunakan nilai mutlak membuat hasil perhitungan semakin besar namun cara ini menghindarkan dari sistem subsidi silang.

4 Kesimpulan

Metode Basis Arus dapat digunakan sebagai metode perhitungan biaya sewa jaringan transmisi di Indonesia. Hasil perhitungan untuk studi kasus pertama yaitu transaksi sewa jaringan transmisi antara bus Tanjung Jati-Ungaran *inject* 50 MW nilai biaya total sewa jaringan adalah Rp. 2.504.782.753,- atau sebesar Rp 69,577 per kWh. Studi kasus kedua transaksi antara bus Tanjung Jati-Pedan *inject* 100 MW nilai biaya total adalah Rp. 11.716.146.528,- atau Rp 162,724 per kWh. Studi kasus ketiga yaitu transaksi antara bus Gresik-Cilegon *inject* 200 MW nilai biaya total adalah Rp. 81.241.618.173,- atau sebesar Rp 564,178 per kWh. Hasil perhitungan dapat diketahui bahwa semakin jauh jarak antara bus kirim dengan bus terima maka semakin besar pula biaya sewa jaringan transmisi.

Metode aliran daya yang digunakan bukanlah aliran daya optimal sehingga kedepannya aliran daya optimal dapat dipakai untuk menghitung transaksi sewa jaringan transmisi. Jalur transmisi yang menghubungkan antara pembangkit ke jalur transmisi yang sudah ada belum diperhitungkan secara rinci sehingga dapat dikembangkan untuk memperhitungkan nilai pembangunan jaringan transmisi tersebut. Pembangkit dan beban yang terhubung secara langsung dalam sistem 500 kV dapat dikembangkan dalam sistem 150 kV atau 20 kV sehingga dapat disimulasikan secara lebih nyata. Dalam transaksi sewa jaringan transmisi membuat seluruh sistem memperoleh dampak yang berbeda-beda, tentunya tidak semua pihak diuntungkan hal ini masih dapat dianalisis dengan lebih detail

Referensi

- [1]. Allen J. Wood, Bruce F. Wollenberg, "Power Generation Operation and Control", John Wiley & Sons, Inc., Second Edition, New York, 1996.
- [2]. 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 November, Surabaya
- [3]. Anjaneyulu V., Narasimha Rao P.V., Durga Prakash K.N.S., "Fixed transmission cost allocation using power flow tracing methods". IAREIE India, 8 August 2013, Vol. 2
- [4]. Anthonius Apolos, Tambunan Herbert, "Power Wheeling: Skema Alternatif Pemerintah Indonesia Guna Antisipasi Ancaman Krisis Listrik", Legal Updates, Anggraeni and Partners, Juni 2014.
- [5]. Bialek, Janusz., "Tracing the Flow of Electricity", IEE Proc. - Genet Transm, Distrib, Vol. 143, No.4, pp.313320, July 1996.
- [6]. D. Shirmohammadi, Chithra Rajagopalan, Eugene R. Alward, "Cost of Transmission Transactions : An Introduction", IEEE Trans. On Power Systems, Vol 6, No. 3, August 1991.
- [7]. D. Shirmohammadi, P.R. Gribik, E.T.K. Law, J.H. Malinowski, R.E. O'Donnell, "Evaluation of transmission network capacity use for wheeling transactions", IEEE Trans. on Power Systems, vol. 4, pp. 1405-1413, October 1989.
- [8]. Diskusi Ilmiah Power Wheeling. Universitas Gajah Mada. Yogyakarta. Oktober 2014.
- [9]. H. H. Happ, "Cost of Wheeling Methodologies", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 9, No. 1, February 1994.
- [10]. J. W Marangon Lima, " An integrated Framework For Allocation in A Multi-Owned Transmission System", IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 10, No. 2, May 1995.
- [11]. J. W Marangon Lima, " Allocation Of Transmission Fixed Charges: An Overview", IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 11, No. 3, August 1996.
- [12]. Logsheet Operasi Harian PT. PLN (PERSERO) P3BJB, Jakarta, 2013.
- [13]. Mason Tim, "Capital Cost for Transmission and Substations", WECC, October 2012.
- [14]. Murali M., Kumari M.S., Sydulu M., "A comparison of fixed cost based transmission pricing methods". Warangal, India: Electrical Engineering Department, National Institute of Technology.
- [15]. Ross R. Kovacs, "A Load Flow Based Method For Calculating Embedded, Incremental and Marginal Cost of Transmission Capacity", IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 9, No. 1, February 1994.
- [16]. Saadat Hadi, "Powers System Analysis", McGraw-Hill Series in Electrical and Computer Engineering, New York, 1994.
- [17]. Shahidehpour Mohammad, Hatim Yamin, Zuyi Li, "Market operations in Electric Power Systems", New York, 2002
- [18]. Su C.T., Liaw, J.H, "Power wheeling pricing using power tracing and MVA-KM method". Proc. Power Tech., IEE Porto, 10-13 September.2001, Vol. 1, pp. SSMI
- [19]. Sulistyono, 1998, *Studi Estimasi Ongkos Penggunaan Kapasitas Saluran Transmisi pada Wheeling dengan Metoda Basis Arus*, Teknik Elektro, Institut Teknologi Bandung, Bandung.