



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TE141599

**STUDI BIAYA TRANSMISI DI SISTEM KELISTRIKAN JAWA-
BALI KARENA INJEKSI DAYA DI SISTEM 150 KV
MENGUNAKAN SEQUENTIAL QUADRATIC
PROGRAMMING (SQP)**

Sampulur Kerta Sugih Harta
NRP 2213105007

Dosen Pembimbing
Dr. Rony Seto Wibowo, S.T., M.T
Ir. R. Wahyudi

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TE141599

**STUDI BIAYA TRANSMISI DI SISTEM KELISTRIKAN JAWA -
BALI KARENA INJEKSI DAYA DI SISTEM 150 KV
MENGUNAKAN *SEQUENTIAL QUADRATIC
PROGRAMMING (SQP)***

Sampulur Kerta Sugih Harta
NRP 2213105007

Dosen Pembimbing
Dr. Rony Seto Wibowo, ST.,MT.
Ir. R. Wahyudi

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015



FINAL PROJECT - TE 141599

**STUDY OF THE TRANSMISSION COSTS AT JAVA AND BALI
ELECTRICITY SYSTEM AS THE POWER INJECTION OF 150
KV SYSTEM USING SEQUENTIAL QUADRATIC
PROGRAMMING (SQP)**

Sampulur Kerta Sugih Harta
NRP 2213105007

Supervisor
Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT.
Ir. R. Wahyudi

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty Of Industry Technology
Sepuluh Nopember Institute Of Technology
Surabaya 2015

**STUDI BIAYA TRANSMISI DI SISTEM KELISTRIKAN JAWA
DAN BALI KARENA INJEKSI DAYA DI SISTEM 150 KV
MENGUNAKAN *SEQUENTIAL QUADRATIC PROGRAMMING*
(SQP)**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

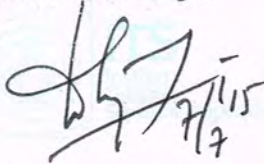
Menyetujui :

Dosen Pembimbing I

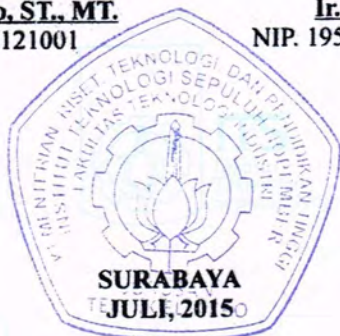


Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT.
NIP. 197411292000121001

Dosen Pembimbing II



Ir. R. Wahyudi
NIP. 195102021976031003



ABSTRAK

STUDI BIAYA TRANSMISI DI SISTEM KELISTRIKAN JAWA – BALI KARENA INJEKSI DAYA DI SISTEM 150 KV MENGGUNAKAN SEQUENTIAL QUADRATIC PROGRAMMING (SQP)

Sampulur Kerta Sugih Harta
2213105007

Dosen Pembimbing I : Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT.
Dosen Pembimbing II : Ir. R. Wahyudi

Saat ini konsep *power wheeling* sedang dalam perintisan untuk dapat diimplementasikan di Indonesia, terutama pada sistem jaringan transmisi. Maka diperlukan suatu metode perhitungan untuk mengetahui besar biaya *power wheeling*. Salah satu metode perhitungan yang dapat mencakup biaya tetap saluran transmisi berdasarkan penggunaan sebenarnya pada jaringan transmisi adalah metode perhitungan MW-Mile. Metode MW-Mile sendiri terdiri dari tiga pendekatan, yakni MW-Mile Reserve, MW-Mile Absolute, MW-Mile Dominant. Adapun metode LMP yaitu biaya tambahan untuk menyediakan daya tambahan satu MW pada titik tertentu. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik dari masing-masing metode pendekatan MW-Mile serta mengetahui pengaruh *power wheeling* terhadap aliran daya saluran dan *losses* sistem. Pengujian dan analisis dilakukan pada sistem kelistrikan 150 kV Krian-Gresik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode pendekatan MW-Mile reserve merupakan metode perhitungan paling adil bagi pengguna dan pemilik jaringan transmisi karena besar biaya *power wheeling* sesuai dengan perubahan tingkat pembebanan saluran transmisi. Implementasi *power wheeling* dapat mempengaruhi aliran daya saluran dan *losses* sistem.

Kata kunci: *power wheeling*, MW-Mile reserve, MW-Mile Absolute, MW-Mile Reserve, LMP, studi aliran daya, *losses* sistem.

Halaman ini sengaja dikosongkan

ABSTRACT

STUDY OF THE TRANSMISSION COSTS AT JAVA AND BALI ELECTRICITY SYSTEM AS THE POWER INJECTION OF 150 KV SYSTEM USING SEQUENTIAL QUADRATIC PROGRAMMING (SQP)

**Sampulur Kerta Sugih Harta
2213105007**

Advisor I : Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT.

Advisor II : Ir. R. Wahyudi

Currently the concept of pioneering power wheeling is being to be implemented in Indonesia, especially on the transmission network system. It would require a large calculation method to determine the cost of power wheeling. One of the methods of calculation which can include fixed costs based on actual usage of the transmission line on the transmission network is MW-Mile calculation method. MW-Mile method consists of three approaches, namely MW-Mile Reserve, MW-Mile Absolute, MW-Mile Dominant. The method of LMP is an additional cost to provide one additional MW power at a certain point. This research was conducted to determine the characteristics of each approach MW-Mile as well as to determine the effect of power wheeling to the flow channel power and system losses. Testing and analysis was performed on the electrical system of 150 kV at Krian-Gresik. The results showed that the MW-Mile method reserve approach is the fairest calculation method for users and network owners tansmision, because of the cost of power wheeling proportional with the changes in the loading level of the transmission line. Implementation of the wheeling power can affect the flow of the channel power and system losses.

Keywords: power wheeling, MW-Mile reserve, MW-Mile Absolute, MW-Mile Reserve, LMP, power flow studies, system losses.

Hamalan ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala Rahmat, Karunia dan Petunjuk yang telah dilimpahkan-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir yang berjudul:

STUDI BIAYA TRANSMISI DI SISTEM KELISTRIKAN JAWA DAN BALI KARENA INJEKSI DAYA DI SISTEM 150 KV MENGGUNAKAN *SEQUENTIAL QUADRATIC PROGRAMMING* (SQP)

Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan jenjang pendidikan S1 pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Atas selesainya penyusunan tugas akhir ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya
2. Bapak H. Yaman, S.Pd. dan Ibu Hj. Yiyi Kartini, S.Pd selaku orang tua penulis, yang telah mendoakan, menasehati, dan terus mengobarkan semangat kepada penulis.
3. Bapak Dr. Eng. Rony Seto Wibowo, ST., MT. dan Bapak Ir. R. Wahyudi selaku dosen pembimbing, atas petunjuk, arahan, dan dukungan selama penyelesaian tugas akhir ini.
4. Gelly Nahriah Tejawulan dan Mario F. Lando selaku kakak kandung penulis, yang telah mendoakan, membantu dalam bentuk materi maupun moril, dan mendukung penulis.
5. Teman – teman *Paparonz Family*, Rurizwan Syahrul Wibisana, Masluchi Aidil Fais, Rycy Andrianto, Annisa Taradini, Nani, Kharismawan, atas dukungan dan waktu yang diberikan dalam pengerjaan tugas akhir ini.
6. Teman – teman *Chila Kost*, Arif Setiawan, Nurman Khakim, Yulian Angga Adiatama, Gingin Ginanjar, Agung Try Laksono yang sudah berbagi baik suka, duka tiada tara selama masa perkuliahan.
7. Teman – Teman Lab. Simulasi Sistem Tenaga yang selalu mendukung dalam mengerjakan tugas akhir.

8. Teman – teman lintas jalur gasal 2013/2014 yang tidak bisa disebutkan satu persatu yang selalu menemani dan membantu selama kuliah di Teknik Elektro ITS.
9. Serta Semua pihak yang telah membantu kelancaran penyelesaian Tugas Akhir ini yang tidak bisa diucapkan satu persatu.

Besar harapan penulis agar tugas akhir ini dapat menambah ilmu dan wawasan bagi para pembaca. Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan, untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran demi penyempurnaan di masa yang akan datang.

Surabaya, Juli 2015

Penulis

DAFTAR ISI

JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK.....	i
<i>ABSTRACT</i>	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Permasalahan	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan.....	3
1.5 Metodologi.....	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
1.7 Relevansi dan Manfaat.....	5

BAB II TRANSMISI BERBAYAR DAN METODE PENENTUAN HARGA

2.1 <i>Optimal Power Flow (OPF)</i>	7
2.2 Optimasi <i>Sequential Quadratic Programming (SQP)</i>	9
2.3 Pasat Tenaga Listrik	10
2.3.1 Model Pasar Tenaga Listrik.....	10
2.4 Penerapan Transaksi <i>Wheeling</i> Dalam Pasar Energi Listrik 13	
2.4.1 Penjualan dan Pembelian Energi Listrik Dalam Saluran Transmisi.....	13
2.4.2 Tipe-tipe dari <i>Wheeling</i>	15
2.5 Metode MW-Mile.....	16
2.5.1 Nilai Variabel P_i^k Pada Metode MW-Mile.....	18
2.6 <i>Locational Marginal Price (LMP)</i>	18
2.7 <i>Losses</i> Jaringan	19

BAB III SISTEM KELISTRIKAN 500 KV JAWA – BALI DAN SUB SISTEM 150 KV KRIAN GRESIK

3.1	Sumber Data	21
3.1.1	Saluran Transmisi	22
3.1.2	Panjang Saluran.....	22
3.1.3	Jenis Penghantar.....	25
3.1.4	Beban Sistem.....	30
3.1.5	Unit Pembangkit	33
3.1.6	Biaya Pembangkitan	35
3.2	Program Bantu Analisis.....	35
3.2.1	Matrix <i>Laboratory</i>	35
3.2.1.1	<i>Optimal Power Flow</i>	36
3.2.1.2	<i>Microsoft Excel</i>	36
3.2.1.3	SQP Pada <i>MatPower</i>	36
3.3	SQP Pada <i>MatPower</i>	36
3.3.1	Sintaksis SQP (fmincon).....	36
3.3.2	Input Argumen dari SQP (fmincon).....	38
3.4	Penerapan SQP Pada <i>MatPower 5.0</i>	38
3.5	Pembuatan Case Data Jawa – Bali & Krian Gresik.....	40
3.6	Penerapan Case Data Jawa – Bali & Krian Gresik Pada <i>MatPower 5.0</i>	42
3.6.1	MVA Base	42
3.6.2	Bus Data.....	42
3.6.3	Generator Data	43
3.6.4	Branch Data	44
3.6.5	Area Data	45
3.6.6	Generator Cost Data.....	45
3.7	Variabel Pada Biaya <i>Power Wheeling</i>	45
3.7.1	Variabel C_k	46
3.7.2	Variabel L_k	46
3.7.3	Variabel $MW_{t,k}$	46
3.7.4	Variabel P_i	46
3.8	Konfigurasi Skenario.....	46
3.9	Diagram Alir Penelitian.....	47

BAB IV HASIL SIMULASI DAN ANALISA DATA

4.1	Bus Case	50
4.1.1	<i>Optimal Powe Flow</i> Sebelum Injeksi Daya	50
4.2	Penerapan Skenario	58

4.2.1	Perubahan Aliran Daya.....	59
4.2.2	Biaya <i>Power Wheeling</i> Dengan Metode MW-Mile Reverse	67
4.2.2.1	Kondisi Beban Tidak Penuh.....	67
4.2.2.2	Kondisi Beban Penuh.....	71
4.2.3	Biaya <i>Power Wheeling</i> Dengan Metode MW-Mile Absolute	75
4.2.3.1	Kondisi Beban Tidak Penuh.....	75
4.2.3.2	Kondisi Beban Penuh.....	79
4.2.4	Biaya <i>Power Wheeling</i> Dengan Metode MW-Mile Dominant	84
4.2.4.1	Kondisi Beban Tidak Penuh.....	84
4.2.4.2	Kondisi Beban Penuh.....	88
4.2.5	Penerapan LMP	84
4.3	Perbandingan Biaya <i>Power Wheeling</i>	93
4.4	Perbandingan Perubahan <i>Losses</i> Sistem	94

BAB V PENUTUP

5.1.	Kesimpulan.....	95
5.2.	Saran.....	96

DAFTAR PUSTAKA	97
----------------------	----

LAMPIRAN

BIODATA PENULIS

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Panjang Saluran Transmisi.....	22
Tabel 3.2 Tabel Jenis-Jenis Penghantar Saluran Transmisi	25
Tabel 3.3 Tabel Beban Tidak Penuh Pada GITET Jaringan Transmisi.....	31
Tabel 3.4 Tabel Beban Penuh Pada GITET Jaringan Transmisi	32
Tabel 3.5 Data Pembangkitan Beban Tidak Penuh Pada Jaringan Transmisi	33
Tabel 3.6 Data Pembangkitan Beban Penuh Pada Jaringan Transmisi	34
Tabel 3.8 Pilihan Algoritma OPF Untuk fmincon	39
Tabel 4.1 Aliran Daya Sub-Sistem 150 kV Krian-Gresik sebelum Injeksi Daya Beban Tidak Penuh.....	50
Tabel 4.2 Aliran Daya Sub-Sistem 150 kV Krian-Gresik Sebelum Injeksi Daya Beban Penuh	54
Tabel 4.3 Selisih Perubahan Aliran Daya Sub-Sistem 150 kV Krian - Gresik Setelah Injeksi Daya Beban Tidak Penuh	59
Tabel 4.4 Selisih Perubahan Aliran Daya Sub-Sistem 150 kV Krian- Gresik Setelah Injeksi Daya Beban Penuh.....	63
Tabel 4.5 Biaya Power Wheeling Saluran 150 kV Krian – Gresik Menggunakan Metode MW-Mile Reserve Beban Tidak Penuh	67
Tabel 4.6 Biaya Power Wheeling Saluran 150 kV Krian – Gresik Menggunakan Metode MW-Mile Reserve Beban Penuh... 71	
Tabel 4.7 Biaya Power Wheeling Saluran 150 kV Krian – Gresik Menggunakan Metode MW-Mile Absolute Beban Tidak Penuh	76
Tabel 4.8 Biaya Power Wheeling Saluran 150 kV Krian – Gresik Menggunakan Metode MW-Mile Absolute Beban Penuh... 80	

Tabel 4.9 Biaya Power Wheeling Saluran 150 kV Krian – Gresik Menggunakan Metode MW-Mile Dominant Beban Tidak Penuh	84
Tabel 4.10 Biaya Power Wheeling Saluran 150 kV Krian – Gresik Menggunakan Metode MW-Mile Dominant Beban Penuh	88
Tabel 4.11 Biaya Payment LMP	92

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Model Bilateral.....	10
Gambar 2.2 Model Power Pool.....	11
Gambar 2.3 Penentuan Harga Pada Model Power Pool.....	12
Gambar 2.4 Lintasan Yang Dihasilkan Oleh Transaksi 100 MW Dari Kontrol Area A Ke Kontrol Area F.....	15
Gambar 2.5 Pelanggan Di A Yang Terhubung Dengan Penjual Di D	16
Gambar 3.1 Penggunaan Function Fmincon Pada MatPower.....	38
Gambar 3.2 Penggunaan Algoritma SQP Dalam Fmincon.....	39
Gambar 3.3 Single Line Diagram Sistem 500 kV Jawa – Bali	40
Gambar 3.4 Single Line Diagram Sistem 150 kV Krian & Gresik	41
Gambar 3.5 Flowchart Pengerjaan Tugas Akhir.....	47
Gambar 4.1. Peta Jaringan Sistem 500 kV Jawa – Bali	49
Gambar 4.2 Peta Jaringan Sub Sistem 150 kV Krian & Gresik	49
Gambar 4.3 Grafik Perbedaan Payment LMP.....	92
Gambar 4.3 Grafik Perbandingan Biaya Power Wheeling.....	93
Gambar 4.4 Grafik Perbandingan Losses Sebelum & Sesudah Injeksi Daya	94

Halaman ini sengaja dikosongkan

BIODATA PENULIS



Penulis memiliki nama lengkap Sampulur Kerta Sugih Harta. Penulis lahir di Kota Tasikmalaya tanggal 08 Agustus 1991. Penulis adalah anak ke-2 dari pasangan H. Yaman dan Hj. Yiyi Kartini. Setelah enam tahun menempuh pendidikan dasar di SDN Kahuripan 2 Kota Tasikmalaya, penulis melanjutkan pendidikan ke SMPN 2 Kota Tasikmalaya dan lulus pada tahun 2007. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan di SMKN 2 Kota Tasikmalaya dan lulus pada tahun 2010. Pada tahun yang sama, penulis masuk ke Jurusan D3 Teknik Elektro program studi Teknik Listrik, Sekolah Vokasi, Universitas Gajah mada (UGM), Yogyakarta dan lulus pada tanggal 28 Agustus 2013 dengan gelar Ahli Madya (A.Md). Pada tahun yang sama, penulis melanjutkan pendidikan lintas jalur di Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. Di semester kedua, penulis mulai mendalami Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga. Penulis dapat dihubungi melalui email sampulurksh@gmail.com.

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan listrik masyarakat Indonesia mengalami kenaikan setiap tahunnya. Menurut RUPTL PT. PLN 2013-2022, antara tahun 2008 dan 2012, penjualan listrik meningkat dari 128 TWh pada 2008 menjadi 172 TWh pada 2012 dan jumlah pelanggan meningkat dari 39 juta pada 2008 menjadi 50 juta pada 2012. Konsumsi energi listrik Indonesia diperkirakan akan meningkat dari 189 TWh menjadi 386 TWh. Sedangkan, kebutuhan listrik Jawa-Bali diperkirakan akan meningkat dari 144 TWh menjadi 275 TWh. Untuk melayani pertumbuhan kebutuhan listrik tersebut, diperlukan tambahan kapasitas pembangkit sebanyak 59,5 GW untuk seluruh Indonesia, atau pertambahan kapasitas rata-rata mencapai 6 GW per tahun.

Power *wheeling* merupakan pemanfaatan bersama suatu jaringan tenaga listrik oleh pihak penyedia listrik lain sebagai suatu alternatif permasalahan penyediaan pasokan serta keandalan sistem tenaga listrik. Definisi lain adalah penggunaan jaringan transmisi atau distribusi untuk mengirimkan daya listrik dari dan ke entitas lain (Merill,1989) atau pengiriman daya listrik dari penjual ke pembeli melalui jaringan yang dimiliki oleh pihak ketiga (Sood,2002).

Istilah *power wheeling* di Indonesia dikenal dengan Pemanfaatan Bersama Jaringan Transmisi (PBJT) atau sewa jaringan transmisi. Payung hukum mekanisme PBJT ini telah terdapat pula pada UU Nomor 30 Tahun 2009 tentang Ketenagalistrikan. Dengan adanya konsep *power wheeling*, perusahaan swasta pembangkit listrik non-IPP dapat menyewa jaringan transmisi milik PLN untuk mengirimkan energi listrik ke pelanggan-pelanggannya. Dengan konsep ini PLN selaku penyedia listrik nasional diuntungkan karena mendapatkan solusi alternatif masalah penyediaan energi listrik di Indonesia. Adanya *wheeling* dalam sistem tenaga listrik ini menjadi landasan adanya *transmission open access*, dimana jaringan transmisi dibuka selebar-lebarnya untuk setiap perusahaan pembangkitan tenaga listrik. Dalam tugas akhir ini akan diberikan salah satu alternatif dalam hal perhitungan harga dari sewa transmisi akibat injeksi daya atau transaksi daya di sistem 150 kV menggunakan Metode MW-Mile yang harapannya bisa dijadikan landasan atau gambaran jika diaplikasikan di kehidupan nyata, adapun

jaringan tenaga listrik yang dipakai pada tugas akhir ini menggunakan sistem jaringan tenaga listrik 500 kV Jawa – Bali dan 150 kV Krian – Gresik.

1.2 Permasalahan

Permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana aliran daya pada sistem kelistrikan 500 kV Jawa-Bali dan sub-sistem 150 kV Krian & Gresik sebelum terjadinya injeksi daya atau transaksi daya ?
2. Bagaimana aliran daya pada sistem kelistrikan 500 kV Jawa-Bali dan sub-sistem 150 kV Krian & Gresik setelah terjadinya injeksi daya atau transaksi daya ?
3. Apa pengaruh implementasi *power wheeling* terhadap losses keseluruhan saluran ?
4. Berapa harga sewa saluran transmisi pada kelistrikan sub-sistem 150 kV Krian & Gresik akibat adanya injeksi daya ?
5. Apa karakteristik dari setiap metode pendekatan MW-Mile ?

1.3 Batasan Masalah

Untuk memperjelas pembahasan dalam tugas akhir ini, maka perlu adanya batasan masalah, yaitu :

1. Perhitungan Optimal Power Flow dilakukan menggunakan program Matpower 5.0 dengan algoritma pemrograman *Sequential Quadratic Programming (SQP)*,
2. Metode yang digunakan untuk menentukan besar biaya sewa transmisi adalah MW-Mile dan LMP (*Locational Marginal Pricing*),
3. Data pembebanan yang digunakan adalah data pembebanan pada tanggal 08 November 2014, pengambilan data diambil pada saat beban penuh pukul 19.00 WIB dan beban rendah pukul 03.00 WIB,
4. Sistem transmisi yang menjadi objek penelitian merupakan sistem transmisi 500 kV Jawa-Bali dan sub-sistem 150 kV Krian & Gresik,
5. Perhitungan harga sewa transmisi dilakukan pada sistem 150 kV Krian & Gresik,
6. Penelitian ini difokuskan pada pemilihan metode pendekatan MW-Mile yang paling *fair* bagi pengguna dan pemilik jaringan serta pengaruh implementasi *power wheeling* terhadap pembebanan saluran dan *losses* saluran,

7. Penelitian ini tidak mencakup perhitungan biaya penambahan peralatan, biaya congestion saluran dan biaya denda akibat *losses*.
8. Data yang digunakan mengacu pada data sistem Jawa-Bali tahun 2014 yang dimiliki PT. P3B JB, serta beberapa asumsi.

1.4 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai melalui penelitian pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui prinsip sewa jaringan transmisi untuk pemanfaatan bersama antara pihak pemilik jaringan transmisi dengan pihak penyewa jaringan transmisi,
2. Mengetahui pengaruh/perubahan aliran daya pada sistem kelistrikan 500 kV Jawa-Bali dan 150 kV Krian & Gresik karena adanya daya injeksi pada sub system kelistrikan 150 kV Krian & Gresik,
3. Mengetahui pengaruh implementasi *power wheeling* terhadap *losses* sistem,
4. Mengetahui harga/biaya transmisi pada sistem kelistrikan 150 kV Krian & Gresik,
5. Mengetahui karakteristik dari setiap metode pendekatan MW-Mile dalam menentukan biaya implementasi *power wheeling*.
6. Mengaplikasikan metode perhitungan sewa transmisi dalam era transaksi *wheeling*.

1.5 Metodologi

Untuk mencapai tujuan tugas akhir, maka dilakukan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Pengumpulan data dan studi literatur
Hal yang dilakukan pertama kali adalah pengumpulan data jamali sistem kelistrikan 500 kV Jawa-Bali dari PT. P3B JB dan studi literatur. Hal ini dilakukan untuk memperkuat pemahaman tentang permasalahan yang dihadapi. Literatur yang digunakan berupa buku, jurnal ilmiah (*paper*), artikel-artikel di internet.
2. Simulasi OPF pada sistem 500 kV Jawa-Bali dan 150 kV Krian & Gresik

Setelah mendapatkan data-data dan literatur yang menunjang, penulis akan mensimulasikan OPF pada sistem 500 kV Jawa-Bali dan 150 kV Krian & Gresik. Simulasi ini dilakukan menggunakan *software* Matlab R2013a dengan aplikasi Matpower 5.0.

3. Analisis data hasil simulasi
4. Dari simulasi yang telah dilakukan akan didapat hasil-hasil yang akan dianalisis. Dalam hal ini adalah pengaruh injeksi daya ke sistem 150 kV Krian & Gresik. Data yang diambil dari hasil simulasi selanjutnya digunakan untuk mencari biaya sewa transmisi pada saluran sistem 150 kV Krian & Gresik.
5. Kesimpulan
Langkah akhir dalam penyusunan tugas akhir ini adalah pembuatan kesimpulan dari permasalahan yang berusaha diselesaikan. Selain itu juga akan diberikan saran atau rekomendasi berkaitan dengan apa yang telah dilakukan.

1.6 Sistematika Penulisan

Dalam penulisan buku tugas akhir ini sistematika penulisan yang digunakan adalah sebagai berikut :

BAB 1 Pendahuluan

Bab ini berisi tentang penjelasan latar belakang, permasalahan, batasan masalah, tujuan, metode penelitian, sistematika penulisan, dan relevansi dari penelitian yang dilakukan untuk tugas akhir ini.

BAB 2 Power Wheeling and Pricing Method

Bab ini berisi tinjauan pustaka atas penelitian yang sudah ada sebelumnya, teori-teori yang mendukung penelitian seperti *wheeling* tenaga listrik dan metode MW-Mile sebagai penentuan biaya jaringan transmisi.

BAB 3 Perancangan Metode Perhitungan Biaya Transmisi

Bab ini berisi tentang perancangan sistem dan penjelasan bagaimana cara menghitung pembagian sewa saluran transmisi. Selain itu juga terdapat konfigurasi skenario dan diagram alir yang dilakukan pada penelitian ini.

BAB 4 Analisis dan Hasil Simulasi

Bab ini berisi tentang hasil simulasi sistem sebelum dan setelah injeksi daya ke sistem. Pada bab ini dibahas juga tentang studi kasus alokasi biaya sewa saluran transmisi transaksi tenaga listrik.

BAB 5 Penutup

Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran mengenai hasil penulisan laporan tugas akhir yang telah diselesaikan.

1.7 Relevansi atau Manfaat

Hasil yang diperoleh dari tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Dapat mengetahui prinsip sewa jaringan transmisi untuk pemanfaatann bersama antara pihak pemilik jaringan dengan pihak penyewa jaringan transmisi,
2. Dengan mengetahui metode penentuan biaya transmisi yang tepat diharapkan dapat menjadi landasan implementasi *wheeling* sistem kelistrikan di Indonesia,
3. Dapat menjadi referensi bagi orang lain yang hendak mempelajari masalah yang serupa.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II TRANSMISI BERBAYAR DAN METODE PENENTUAN HARGA

2.1 *Optimal Power Flow (OPF)*

Pada Tugas Akhir ini digunakan OPF untuk meminimalkan biaya pembangkitan, meminimalkan loses daya aktif dan daya reaktif yang di injeksikan ke sebuah sistem kelistrikan.

Optimal Power Flow adalah upaya yang dilakukan dalam pengoperasian sistem tenaga listrik supaya daya yang dialirkan dari generator hingga sampai ke beban dengan hasil yang optimal dan murah serta tanpa mengganggu berbagai batasan-batasan pengoperasian seperti batasan minimal dan maksimal daya pembangkitan oleh generator, batasan tegangan, frekuensi, harga, faktor daya, batasan area pengoperasian, keamanan, emisi dan sebagainya. Selain itu, OPF dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan optimisasi sistem tenaga listrik yang sangat kompleks dengan waktu yang relatif singkat.

Pada studi aliran daya konvensional, nilai variabel kontrol telah ditentukan sebelumnya. Namun pada OPF, nilai dari beberapa atau semua variabel kontrol harus dicari terlebih dahulu untuk menemukan nilai maksimum atau minimum suatu *objective*. OPF digunakan di sebagian besar *energi management systems* (EMS) sekarang ini.

OPF yang paling umum, biasanya digunakan untuk meminimalkan suatu *objective function* $F(x,u)$ yang memenuhi batasan-batasan $g(x,u)=0$ dan $h(x,u) \leq 0$, di mana $g(x,u)$ merepresentasikan *nonlinear equality constraints* (persamaan aliran daya) dan $h(x,u)$ adalah *nonlinear inequality constraints*. Vektor x sendiri biasanya berisi variabel-variabel seperti *voltage magnitude* dan sudut fasanya dan juga keluaran MVAr dari generator yang didisain untuk pengaturan tegangan bus. Vektor x juga bisa berisi parameter-parameter yang bernilai tetap seperti sudut fasa pada *reference bus*, line parameter, dll[1]. Vektor u berisi variabel control meliputi:

- Daya aktif dan daya reaktif dari pembangkitan
- *Phase-shifter angles*
- *Net interchange*

- Beban MW dan MVAr
- Saluran transmisi DC
- *Setting* pengaturan tegangan
- *Setting* LTC trafo
- *Line switching*

Adapun jenis-jenis penggunaan OPF yang sering digunakan dewasa ini, di antaranya

- OPF untuk meminimalkan biaya pembangkitan
- OPF untuk meminimalkan *losses* daya aktif
- OPF untuk perencanaan daya reaktif (VAr)
- dan sebagainya[2]

Persamaan dari optimal power flow dari segi biaya pembangkitan dapat direpresentasikan pada persamaan berikut ini:

$$F_i(P_i) = a_i P_i^2 + b_i P_i + c_i \dots \dots \dots (2.1)$$

dimana :

- F_i = besar biaya pembangkitan pada pembangkit ke- i (Rp)
- P_i = daya *output* dari pembangkit ke- i (MW)
- $a_i, b_i,$ dan c_i = *cost coefficient* unit generator ke- i

Dalam menyelesaikan suatu masalah optimasi, seperti OPF, ada dua batasan, yakni *equality* dan *inequality constraints*. *Equality constraints* merupakan batasan yang harus diikuti, seperti persamaan keseimbangan daya (*power balance*) aktif dan reaktif pada sistem. Sedangkan didalam ketetapan, *inequality constraints* boleh atau tidak mungkin mengikat.

***Equality constraints* (Batasan Persamaan)**

$$P_i = P_{gi} - P_{di} = V_i \sum_{j=1}^n V_j (G_{ij} \cos \theta_{ij} + B_{ij} \sin \theta_{ij}) \dots \dots \dots (2.2)$$

$$Q_i = Q_{gi} - Q_{di} = V_i \sum_{j=1}^n V_j (G_{ij} \sin \theta_{ij} - B_{ij} \cos \theta_{ij}) \dots \dots \dots (2.3)$$

dimana:

$i = 1, 2, \dots, n$ menyatakan jumlah bus. P_i dan Q_i menyatakan injeksi daya aktif dan reaktif di bus i . P_{gi} dan Q_{gi} menyatakan daya aktif dan reaktif generator di bus i . P_{di} dan Q_{di} menyatakan daya aktif dan reaktif beban di bus i . $Y_{ij} = G_{ij} + B_{ij}$ menyatakan elemen dari matriks Y-bus dari bus i ke bus j .

Inequality constraints (Batasan Pertidaksamaan)

1. Batasan kapasitas pembangkit:

$$Pg_i \min \leq Pg_i \leq Pg_i \max \dots\dots\dots(2.4)$$

$$Qg_i \min \leq Qg_i \leq Qg_i \max \dots\dots\dots(2.5)$$

2. Batasan tegangan:

$$V_i \min \leq V_i \leq V_i \max \dots\dots\dots(2.6)$$

3. Batasan saluran transmisi:

$$S_l \leq S_l \max \dots\dots\dots(2.7)$$

Dalam tugas akhir ini, analisis OPF diselesaikan dengan simulasi menggunakan *software MatPower 5.0*.

2.2 Optimisasi Sequential Quadratic Programming (SQP) ^[3]

Sequential Quadratic Programming (SQP) adalah metode paling populer untuk *nonlinear constrained optimization*. Metode SQP bekerja dengan mengkonversi fungsi-fungsi umum menjadi fungsi kuadratik. Metode ini menghasilkan subproblem dari quadratic programming pada tiap iterasi, dan solusi dari subproblem ini dapat digunakan untuk menentukan nilai taksirn dari solusi di iterasi berikutnya. Algoritma SQP dapat dinyatakan dalam persamaan:

$$F(x) = f + g^T x + \frac{1}{2} x^T H x \dots\dots\dots (2.8)$$

Batasan dalam SQP dapat dibedakan menjadi 2, yaitu *equality constraint* dan *inequality constraint*, sesuai dengan kebutuhan perhitungan. Batasan *equality constraint* pada persamaan (2.9) sedangkan untuk *inequality constraint* pada persamaan (2.12).

- *Equality constraint*

Value untuk *equality constraint*: $lb = ub = b_{eq} \dots\dots\dots(2.9)$

Maka:

$$b_{eq} \leq Ax \leq b_{eq} \dots\dots\dots(2.10)$$

$$Ax = b_{eq} \dots\dots\dots(2.11)$$

- *Inequality constraint*

Value untuk *inequality constraint*: $lb < ub \quad (2.12)$

Maka:

$$lb \leq Ax \leq ub \dots\dots\dots(2.13)$$

2.3 Pasar Tenaga Listrik

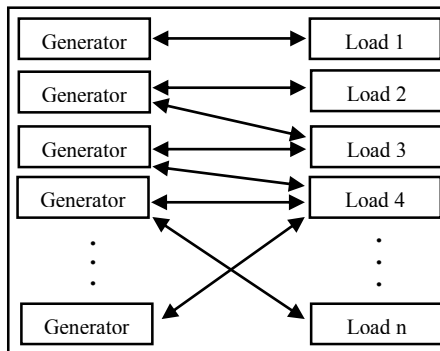
Daya yang terkirim merupakan satu kesatuan dari berbagai layanan dari tiap-tiap bagian dalam sistem tenaga listrik, yaitu: transmisi, distribusi, pengaturan frekuensi, pengaturan tegangan, dan juga pembangkitan. Setiap layanan memerlukan pasar yang terpisah. Liberalisasi pasar tenaga listrik tidak selalu berarti bahwa akan terjadi kompetisi secara utuh dan tidak perlu juga memasukkan semua komponen mulai dari sisi pembangkitan hingga layanan-layanan penyokong/tambahan ke dalam pasar. Karena pada kenyataannya, sulit sekali melihat perbedaan-perbedaan yang jelas dari masing-masing pasar tersebut. Namun, bagaimanapun juga untuk memperjelas struktur dari pasar kita perlu tahu juga mengenai teori-teori yang membentuk pasar tunggal untuk satu layanan dalam system tenaga listrik dan analisa mengenai hal tersebut.

2.3.1 Model Pasar Tenaga Listrik

Pasar listrik di berbagai negara dapat dikelompokkan menjadi 3 model:

1. Model Bilateral

Berdasarkan kontrak bilateral, pemasok dan konsumen dapat mengatur transaksi listrik antara keduanya secara bebas berdasarkan kesepakatan financial mereka. Efisiensi ekonomi dapat diraih atau dinaikkan karena konsumen akan bersaing untuk membeli listrik dari perusahaan pembangkit yang menjual listrik dengan harga yang paling murah. Secara visual kontrak bilateral dapat ditunjukkan seperti gambar berikut:



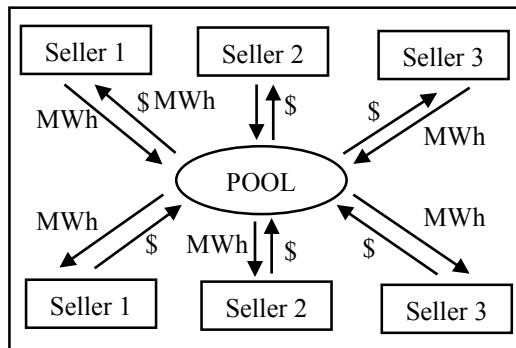
Gambar 2.1 Model Bilateral

Seperti terlihat pada gambar di atas, sekumpulan lebih dari satu generator dan lebih dari satu beban dapat membentuk satu kontrak bilateral. Beberapa generator bisa saja hanya mempunyai satu beban untuk disupply, demikian juga beberapa beban boleh disupply oleh satu generator saja.

2. Model Power pool

Dalam kontrak ini tidak ada transaksi langsung antara pihak produsen dan konsumen. Semua perdagangan dilakukan melalui centralized market place (pool). Metode ini mengandalkan atau menyandarkan diri pada system pelelangan closed-order-book. Central marketplace (pool) operator menerima penawaran harga dan jumlah daya yang dibangkitkan dan digunakan sementara itu titik keseimbangan antara pasokan dan permintaan menentukan harga pembukaan pasar. Untuk model ini terdapat 4 tingkat, yaitu:

- a. Bidding (tawar-menawar)
- b. Production planning and pricing
- c. Pengiriman
- d. Pembayaran

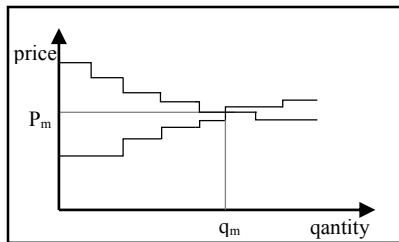


Gambar 2.2 Model Power Pool

Penawaran dilakukan sehari sebelum transaksi dilakukan. Dalam satu hari tersebut penawaran dibagi dalam tiap jam atau tiap setengah jam. Setiap penawaran yang terjadi berdasarkan pembagian waktu tersebut dilakukan dengan deadline yang telah ditentukan. Generator menawarkan harga dan besar daya listrik dalam tiap section jam atau setengah jam tadi. Consumer atau beban mengajukan penawaran

berdasarkan energi yang diminta dan harga maksimum yang ingin dibayarkan.

Ketika buku penawaran ditutup operator pool menghitung besar market clearing price (p_m) dan besar quantity (q_m) untuk setiap section yang dijadwalkan. Solusi pasar adalah berdasarkan keseimbangan yang merupakan titik singgung antara kurva supply dan permintaan, yang juga mengacu pada system marginal price (SMP) yang diberlakukan kepada setiap unit yang dibangkitkan.



Gambar 2.3 Penentuan Harga Pada Model Power Pool

Setelah semua penawaran menemui kesepakatan pada $h-1$ maka transaksi pengiriman daya terjadi pada hari h . kontrak pengiriman daya dipenuhi berdasarkan persetujuan yang telah disepakati pada hari sebelumnya mengenai waktu yang dijadwalkan, daya puncak, dan quantity.

3. Model Hybrid

Transaksi campuran atau dikenal juga dengan model *hybrid* adalah jenis transaksi yang menerapkan kombinasi kedua jenis transaksi pada pasar tenaga listrik seperti yang dijelaskan sebelumnya. Pemilihan jenis transaksi yang terjadi menjadi hak dari konsumen tenaga listrik. Konsumen dapat dengan bebas memilih melakukan pembelian daya dari pasar tenaga listrik sesuai harga pasar yang ditentukan oleh operator tenaga listrik atau memilih membelinya langsung dari produsen tenaga listrik dengan pertimbangannya masing-masing.

Tahap akhir dari model pool ini adalah proses pembayaran. Pembeli membayar besar energi yang dikonsumsi kepada *Pool Operator*. Sementara *Pool Operator* membayar pihak pembangkit atas besar energi yang diinjeksikan ke pool. Sistem *marginal price* diterapkan kepada semua pelaku pasar.

Pada penjelasan mengenai pasar energi diatas, pada transaksi jual beli yang terjadi, transmisi, distribusi, serta layanan tambahan diabaikan. Telah dijelaskan bahwa pasar energi seperti diatas cocok diterapkan pada deregulasi pasar energi[4].

2.4 Penerapan Transaksi *Wheeling* Dalam Pasar Energi Listrik

Power wheeling sudah tidak asing dalam dunia kelistrikan. Salah satu definisi adalah penggunaan jaringan transmisi atau distribusi untuk mengirimkan daya listrik dari dan ke entitas lain (Merill, 1989).

Konsep *power wheeling* ini muncul seiring adanya deregulasi industry kelistrikan di negara-negara maju. Deregulasi sistem menyebabkan sektor pembangkitan, transmisi, dan distribusi merupakan sector independen yang tidak saling berhubungan. Sehingga tercipta kompetisi pada sector pembangkitan, transmisi, dan distribusi untuk mendapatkan konsumen sebanyak-banyaknya.

Adanya deregulasi industry kelistrikan tersebut menjadi landasan adanya transmision open access, yaitu jaringan transmisi dibuka selebar-lebarnya untuk setiap perusahaan pembangkitan tenaga listrik. Dengan perubahan sistem ini jaringan transmisi dapat digunakan lebih optimal mungkin serta konsumen dapat menentukan pilihan untuk membeli layanan dan energi listrik dari sumber berbesa (Lee, 2001).

Dengan adanya deregulasi tersebut maka dapat dilakukan penelitian tentang suatu metode perhitungan biaya transmisi. Dan sampai sekarang sudah banyak sekali metode yang terbentuk[5].

2.4.1 Penjualan dan Pembelian Energi Listrik Dalam Saluran Transmisi^[6]

Untuk membicarakan *wheeling* tidak dapat lepas dari kerja sistem transmisi itu sendiri. Sistem transmisi dibangun selain untuk menyalurkan energi listrik ke sistem *distribusi*, juga untuk menghubungkan satu pihak dengan pihak yang lain untuk memperoleh keandalan dana untuk pertukaran energi listrik.

Pusat-pusat pembangkit biasanya dihubungkan satu dengan yang lain. Dengan menghubungkan pusat-pusat pembangkit maka akan dapat ditentukan generator mana yang seharusnya dioperasikan (*unit commitment*), mempermudah perbaikan sistem interkoneksi secara

periodik, mengganti secara cepat hilangnya salah satu pembangkit saat terjadi gangguan.

Sistem transmisi secara terus-menerus terhubung dengan jaringan interkoneksi untuk memperoleh keandalan dalam layanannya. Jaringan energi listrik tidak seperti jaringan pipa ataupun jaringan telpon. Kedua jaringan tersebut dapat diatur sehingga aliran produknya mengikuti lintasan yang telah ditentukan untuk mencapai tujuan. Karena sistem transmisi terhubung secara interkoneksi, yang menyebabkan setiap generator terhubung dengan setiap pelanggan bercampur menjadi satu apakah sebagai sumber atau sebagai tujuan.

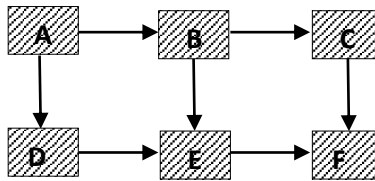
Energi listrik mempunyai sifat-sifat yang unik, yang tidak dapat disimpan (untuk maksud dan tujuan tertentu), dan mengalir secara terus menerus dari sumber ke beban. Setiap pihak menjual dan membeli energi listrik melalui jaringan yang tidak boleh terputus dan transaksi yang dilakukan harus memperhatikan keandalan dari jaringan itu sendiri.

Ketika pihak A ingin menjual energi listrik ke pihak B dan sistem mereka terhubung dengan baik, mereka pertama-tama harus menyetujui jumlah energi yang ditransaksikan, waktu transaksi dan harga. Sebagai contoh pihak B ingin membeli 100 MW dari pihak A untuk jam berikutnya dengan harga \$20/MWh. Secara sederhana kerja dari transaksi ini dapat digambarkan sebagai berikut. Pertama, kedua pihak menyetujui waktu dimulai dan berakhirnya transaksi. Anggap transaksi dimulai pada pukul 4 pm dan berakhir pada pukul 5 pm. Pada pukul 4 pm pihak A mulai membangkitkan 100 MW lebih besar dari daya yang dia butuhkan untuk beban sebelumnya dan pihak B 100 MW lebih kecil dari bebannya. 100 MW akan mengalir dari A ke B melalui saluran transmisi. Dan pada pukul 5 pm pihak A mulai mengurangi pembangkitan 100 MW dan pihak B mulai membangkitkan 100 MW lebih. Prosedur yang nyata akan sangat kompleks karena suatu transaksi akan melibatkan faktor-faktor dan pihak-pihak lain.

Biasanya transaksi terjadi antar kontrol area. Masing-masing kontrol area mempunyai unit pembangkit dengan jumlah dan kapasitas yang cukup terhubung satu sama lain untuk menyuplai beban dalam suatu daerah tertentu. Kontrol area harus dapat mengontrol pertukaran energi yang terjadi dalam kenyataan melalui sistemnya menuju/dari sistem lain. Harus dapat mengontrol kecukupan unit pembangkitannya sehingga pertukaran energi sesuai dengan yang direncanakan. Kontrol area harus dilibatkan dalam semua rencana transaksi pertukaran energi.

Perencanaan akan tampak sebagai prosedur yang mudah ketika hanya dua kontrol area yang terlibat. Tetapi bila lebih dari dua kontrol area hal ini akan menjadi sesuatu yang kompleks. Seperti tampak pada Gambar 2.4, contoh area A dan F secara nyata dihubungkan dengan B, C, D, dan E. Meskipun semua sistem tenaga listrik dalam satu sistem interkoneksi terhubung secara tidak langsung, hampir semua sistem mempunyai hubungan yang langsung dengan sistem yang berdekatan. Hal ini memungkinkan melacak lintasan dari satu kontrol area ke kontrol area yang lain. Ketika sistem A dan F tidak terhubung secara langsung, pertukaran 100 MW yang mereka lakukan akan mengalir melalui sistem transmisi yang dimiliki oleh kontrol area yang lain. Dalam kenyataan, meskipun kontrol area A dan F terhubung secara langsung, 100 MW transaksi tetap akan mengalir melalui sistem transmisi yang terhubung dengan keduanya. Karena 100 MW transaksi akan menggunakan semua lintasan yang mampu dilaluinya.

Dalam melakukan transaksi hal yang harus diperhatikan adalah aliran daya pada masing-masing saluran. Karena kelebihan aliran daya dalam saluran dapat menyebabkan gangguan yang menyebar ke seluruh sistem.



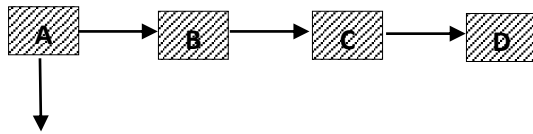
Gambar 2.4 Lintasan Yang Dihasilkan Oleh Transaksi 100 MW Dari Kontrol Area A Ke Kontrol Area F

2.4.2 Tipe-tipe dari *Wheeling*

Dalam contoh diatas *wheeling* terjadi ketika terjadi transaksi antar kontrol area (*area to area wheeling*). *Wheeling* juga dapat terjadi antar bus (*bus to bus wheeling*), bus dengan kontrol area (*bus to area wheeling*) atau sebaliknya. Dalam kasus dimana *wheeling* terjadi antar bus, disini dapat dimungkinkan bila sumber berada pada bus tertentu dan beban juga terkonsentrasi pada bus tertentu.

Salah satu pihak yang melakukan transaksi mungkin benar-benar tidak punya pembangkit, ia membeli energi listrik untuk dijual kembali. Ini dapat digambarkan sebagai *distribution company* dalam pasar yang kompetitif. Tentunya transaksi seperti ini akan sangat kompleks, karena

akan memerlukan koordinasi dengan berbagai pihak, khususnya kontrol area untuk memperoleh keandalan serta perencanaan pembangkitan. Hal ini dapat dicontohkan seperti tampak pada Gambar 2.5, pelanggan *retail* (konsumen besar) berada dalam kontrol area A dia akan membeli dari pembangkit di daerah kontrol D. Dia pertama-tama melakukan negosiasi kontrak jual beli dengan D, kita anggap negosiasinya berhasil. Dan kita anggap juga bahwa tersedia kapasitas saluran transmisi serta disetujuinya *wheeling* dengan pihak A, B dan C. Persetujuan ini telah mencakup penggunaan transmisi mereka dan setia *incremental cost* yang berhubungan dengan transfer tersebut.



Wholesale Customer

Gambar 2.5 Pelanggan Di A Yang Terhubung Dengan Penjual Di D

Karena konsumen *retail* bukan kontrol area, maka dia juga harus menegosiasikan dengan kontrol area A dan D untuk memperoleh pelayanan kontrol. Bila hal ini tidak dilakukan maka salah satu komponen penting dalam pertukaran energi belum dipenuhi, yaitu keandalan. Kontrol termasuk banyak hal perencanaan pembangkit, menempatkan pembangkit dari waktu ke waktu berdasarkan perubahan kebutuhan dari pelanggan, serta menangani keadaan darurat. Karenanya selain kontrak dengan pihak penjual di D, konsumen retail ini juga harus mengadakan kontrak dengan A untuk pelayanan cadangan agar dapat menjaga kelangsungan suplai ke pelanggannya saat sumber (pembangkit penjual D) tidak beroperasi sebagaimana mestinya[6].

2.5 Metode MW-Mile^[7]

Metode MW-Mile merupakan metode *embedded cost* yang juga dikenal sebagai metode *line-by-line* karena memperhitungkan biaya aliran daya transmisi dalam MW dan panjang saluran transmisi dalam mil. Metode ini merupakan metode yang dapat mencakup biaya tetap saluran transmisi berdasarkan penggunaan yang sebenarnya jaringan transmisi. Metode ini mempertimbangkan biaya yang berhubungan dengan setiap transaksi *wheeling* berdasarkan penggunaan kapasitas transmisi sebagai

fungsi dari besar daya transaksi, jalur yang digunakan dan jarak saluran transmisi yang dilalui. Metode ini memerlukan pendekatan perhitungan aliran daya arus searah. Secara umum, persamaan untuk metode MW-Mile adalah :

$$TC_1 = \frac{\sum_{k \in K} c_k L_k MW_{t,k}}{P_i} \dots\dots\dots(2.14)$$

Dengan,

TC_1 = Total biaya teralokasi untuk transaksi t dalam rupiah

L_k = panjang saluran dalam k mil,

c_k = biaya per MW per satuan panjang saluran k,

$MW_{t,k}$ = aliran daya pada saluran k karena transaksi t,

P_i = kapasitas saluran, atau kapasitas saluran tidak terpakai, atau saluran terpakai pada saluran i.

Pada metode MW-mile terdapat tiga pendekatan tentang bagaimana hubungan biaya pada tiap saluran dialokasikan pada seluruh pengguna jaringan transmisi (Orfanos, 2011), yaitu:

1. *Reverse MW-Mile Approach*

$$P_i^k = +P_i^k \text{ atau } -P_i^k$$

Dengan P_i^k adalah perubahan aliran daya pada saluran i yang disebabkan oleh pengguna k, sehingga jika nilai saluran bertambah setelah diimplementasikan *power wheeling* maka nilai P_i^k akan menjadi $+P_i^k$. Sebaliknya jika nilai aliran daya berkurang setelah diimplementasikan *power wheeling* maka nilai P_i^k akan menjadi $-P_i^k$.

2. *Absolute MW-Mile Approach*

$$P_i^k = |P_i^k|$$

Dengan P_i^k adalah perubahan aliran daya pada saluran i yang disebabkan oleh pengguna k, sehingga jika aliran daya pada saluran i bertambah atau berkurang maka nilai P_i^k akan selalu positif dengan besaran sesuai dengan besar aliran daya yang berubah pada saluran i yang disebabkan oleh pengguna k.

3. *Dominant MW-Mile Approach*

$$P_i^k = +P_i^k \text{ atau } 0$$

Dengan P_i^k adalah perubahan aliran daya pada saluran i yang disebabkan oleh pengguna k , sehingga jika nilai saluran bertambah setelah diimplementasikan *power wheeling* maka nilai P_i^k akan menjadi $+P_i^k$. Sebaliknya jika nilai aliran daya berkurang setelah diimplementasikan *power wheeling* maka nilai P_i^k akan menjadi 0.

Perbedaan pokok dari ketiga pendekatan diatas adalah bagaimana arah aliran daya diposisikan dalam penentuan biaya jaringan transmisi. Aliran daya yang mengalir searah dengan aliran daya utama disebut *dominant flow* sedangkan aliran daya yang mengalir berlawanan arah dengan aliran daya utama disebut *counter flow* atau aliran daya negatif. *Counter flow* atau aliran daya negatif ini mengurangi beban pembangkitan dan rugi dapat dikurangi (Pan, 2000)

2.5.1 Nilai Variabel P_i^k Pada Metode MW-Mile

Pada metode MW-Mile terdapat tiga pendekatan tentang besar nilai variable pembagi atau P_i (Orfanos, 2013), yaitu :

1. Total *Capacity*
Pada pendekatan ini P_i adalah kapasitas total saluran i , yang berarti daya maksimal yang dapat melewati saluran i dengan nominal tegangan yang sudah ditentukan.
2. Used *Capacity*
Pada pendekatan ini P_i adalah nilai daya yang mengalir pada saluran i sebelum diimplementasikan *power wheeling*.
3. Unused *Capacity*
Pada pendekatan ini P_i adalah nilai hasil dari selisih antara kapasitas total saluran i dengan daya yang mengalir pada saluran i sebelum diimplementasikannya *power wheeling*[7].

2.6 Locational Marginal Price (LMP)

Locational Marginal Price (LMP) adalah biaya marjinal yang dipasok dari kenaikan energi listrik berikutnya pada bus tertentu, mengingat bahwa biaya pembangkitan marjinal dan aspek fisik dari sistem transmisi. LMP dapat juga digunakan untuk pendefinisian istilah “*Nodal Price*”, atau LMP adalah biaya tambahan untuk menyediakan daya tambahan satu MW pada titik tertentu. Nilai LMP pada setiap titik atau bus atau zona berbeda-beda dikarenakan adanya batasan aliran daya dari setiap saluran, hal ini yang dapat menyebabkan kemungkinan adanya biaya kemacetan.

Pelaku pasar membayar biaya kemacetan dibawah situasi yang dibatasi berdasarkan peredaan LMP. Biaya ini muncul ketika permintaan energi di jalur transmisi melebihi dari kemampuan jalur transmisi dijalur itu. Dalam situasi yang dibatasi, setiap pelakuu pasar dikenai biaya kemacetan didasarkan pada nilai MWh dari pembangkit yang digunakan untuk menyuplai beban tersebut. Biaya akan didasarkan pada MWh dan perbedaan injeksi LMP. Jika besarnya nilai daya yang dibangkitkan tidak sama dengan permintaan beban (lebih besar atau lebih kecil), maka FTR dapat menjual atau membeli energi ke “pasar spot”[8]. “Pasar spot” disini ialah sebuah perusahaan yang ditetapkan pemerintah dalam Undang-undang sebagai pengelola kelistrikan tunggal (PLN).

Net Paymen LMP antara 2 bus dihitung berdasarkan persamaan berikut:

$$Net\ Paymen\ LMP = amount\ of\ LMP \times (LMP_1 - LMP_2) ..(2.15)$$

Dimana: *amount of LMP* = besarnya daya yang ditransferkan dalam MW.

2.7 Losses Jaringan

Daya listrik yang dikirim dan disalurkan dari gardu induk satu ke gardu induk lain melalui penghantar. Penyaluran daya listrik tersebut mengalami rugi daya, ini disebabkan karena penghantar mempunyai resistans dan reaktans.

Besar nilai resistans, induktansi dan kapasitans tergantung pada jenis penghantar dan panjang penghantar. Setiap jenis penghantar mempunyai ukuran, resistansi, dan reaktansi yang berbeda beda. Resistansi dan reaktansi penghantar dinotasikan dalam ohm/km, sehingga semakin panjang penghantar maka nilai resistansi dan reaktansi total saluran juga semakin besar.

Losses pada jaringan transmisi terdapat dua jenis, yaitu *losses* daya aktif dan *losses* daya reaktif. *Losses* daya aktif diakibatkan oleh resistansi, sedangkan *losses* daya reaktif diakibatkan oleh reaktans.

$$P_{loss} = I^2 \times R(2.16)$$

$$Q_{loss} = I^2 \times X(2.17)$$

Dengan P_{loss} adalah besar nilai rugi daya aktif, Q_{loss} adalah besar nilai rugi daya reaktif, I adalah nilai arus yang mengalir pada saluran, R adalah resistansi total pada saluran, X adalah reaktansi total pada sluran.

Maka besar nilai *losses* dapat dihitung menggunakan persamaan (persamaan berapa) dan persamaan (persmaan berapa).

Losses merupakan salah satu masalah penting dalam sistem transmisi. *Losses* selalu ada di sistem transmisi, dan terjadi secara realtime. Di sisi lain biaya pembangkitan mahal, sehingga *losses* jaringan sangat merugikan. Agar tidak merugi, sistem transmisi dibuat agar *losses* menjadi seminimal mungkin. Salah satu cara untuk meminimalkan *losses* adalah dengan menaikkan level tegangan.

BAB III

SISTEM KELISTRIKAN 500 KV JAWA – BALI DAN SUB SISTEM 150 KV KRIAN GRESIK

Pada bab ini akan menjelaskan tentang pembuatan dan penerapan sistem transmisi 500 kV Jawa – Bali dan sub-sistem 150 kV Krian & Gresik. Pengolahan data dan perhitungan dikerjakan dengan menggunakan program *MatPower 5.0* yang diselesaikan dengan algoritma *sequential quadratic programming* pada software Matlab.

Pada tugas akhir ini, SQP yang digunakan adalah SQP pada aplikasi matlab (*fmincon*) yang telah *include* didalam program tersebut.

Penelitian ini dilaksanakan dengan tujuan untuk mengetahui perbandingan hasil dari tiga metode pendekatan MW-Mile yang berbeda. Pada penelitian ini PT PLN P3B berperan sebagai institusi penyedia jasa transmisi. Pelanggan pengguna jaringan transmisi 500 kV Jawa-Bali dan 150 kV Krian-Gresik merupakan perusahaan pembangkit listrik swasta. Studi aliran daya akan dilakukan di sistem transmisi 500 kV Jawa-Bali dan 150 kV Krian-Gresik. Untuk menentukan tarif *power wheeling* akan diimplementasikan pada sub sistem 150 kV Krian – Gresik. Kemudian akan dilakukan studi kasus dengan skenario untuk mengetahui metode pendekatan MW-Mile yang paling *fair* bagi pengguna dan pemilik jaringan transmisi dalam menghitung biaya *power wheeling*.

3.1 Sumber Data

Sumber data yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari studi *literature* seperti makalah atau paper, buku referensi, situs-situs internet dan hasil penelitian yang berkaitan. Selain itu juga diperlukan data jaringan transmisi 500 kV Jawa-Bali dan 150 kV Krian-Gresik meliputi data generator di kedua sistem, data beban terpasang, data transmisi seperti panjang saluran, nilai impedansi dan kemampuan hantar arus. Data yang digunakan adalah data sistem Jawa-Bali tahun 2014 yang dimiliki Penyaluran dan Pusat Pengaturan Beban (P3B) ditambah dengan beberapa asumsi. Beberapa asumsi ditambah karena data yang dibutuhkan bersifat rahasia perusahaan atau belum ditetapkan dalam undang-undang ketenagalistrikan.

3.1.1 Saluran Transmisi

Sistem Jawa-Bali 500 kV dan 150 kV Krian-Gresik terhubung dengan 138 buah saluran yang menghubungkan GITET-GITET dari cilegon hingga Paiton. Saluran transmisi sistem 500 kV Jawa – Bali dan 150 kV Krian – Gresik menggunakan saluran ganda dan saluran tunggal.

3.1.2 Panjang Saluran

Bedasarkan data dari P3B tahun 2014, sistem 500 kV Jawa-Bali dan sub-sistem 150 kV Krian-Gresik memiliki total saluran transmisi sepanjang 1.3093,72 Mile. Saluran tersebut menghubungkan antar gardu induk tegangan tinggi baik menggunakan sirkit ganda maupun sirkit tunggal. Dibawah ini tabel panjang saluran 500 kV Jawa-Bali (Kuning) dan 150 kV Krian – Gresik (Hijau).

Tabel 3.1 Panjang Saluran Transmisi

No	Dari-Ke	Panjang	No	Dari-Ke	Panjang
		Mile			Mile
1	SRLAYA-CLGON	8.015688	70	GRLMA-ALAP	3.06336
2	SRLAYA-CLGON	8.015688	71	SGMDU-ALTAP	0.6213712
3	SRLAYA-BRAJA	39.95417	72	SBBRT-BBDAN	6.4647459
4	SRLAYA-BRAJA	39.95417	73	DRYJO-BBDAN	8.2020997
5	CLGON-CIBNG	81.27535	74	SBRAT-KLANG	2.1437306
6	BKASI-CIBNG	23.54997	75	SBRAT-KLANG 1	4.2539072
7	BKASI-CWANG	10.43904	76	SBRAT-KLANG 2	4.2539072
8	GNDUL-BRAJA	28.89376	77	SBRAT-SWHAN1	9.9916488
9	GNDUL-BRAJA	28.70735	78	SBRAT-SWHAN2	9.9916488
10	GNDUL-KMBGN	18.70327	79	SBRAT-TNDES 1	9.1838662
11	GNDUL-KMBGN	18.70327	80	SBRAT-TNDES 2	9.1838662
12	CIBNG-SGLNG	49.95824	81	WARU-KLANG 2	6.6735266
13	CIBNG-SGLNG	52.07091	82	WARU-KLANG-1	6.6735266
14	DEPOK-CIBNG	8.699197	83	WARU-BDRAN5 1	6.0863308
15	DEPOK-CIBNG	8.699197	84	WARU-BDRAN5 2	6.0863308
16	DEPOK-GNDUL	4.660284	85	WARU-ISPDO 1	0.7456454

Lanjutan Tabel 3.1 Panjang Saluran Transmisi

No	Dari-Ke	Panjang	No	Dari-Ke	Panjang
		Mile			Mile
17	DEPOK-GNDUL	4.660284	86	WARU-ISPDO 2	0.7456454
18	MTWAR - CBNGN	31.37925	87	WARU-RNKUT 1	2.9515132
19	MTWAR - CWANG	25.41408	88	WARU-RNKUT 2	2.9515132
20	TSKBR-DEPOK	171.2499	89	WARU-SWHAN 1	6.6673129
21	TSKBR-DEPOK	171.2499	90	WARU-SWHAN 2	6.6673129
22	CBATU-CRATA	28.58307	91	DARMO-WARU 1	2.8160542
23	CBATU-CRATA	28.58307	92	DARMO-WARU 2	2.8160542
24	CBATU-MTWAR	29.95009	93	GRLMA - WARU 1	15.347868
25	CBATU-MTWAR	29.95009	94	GRLMA - WARU 2	15.347868
26	SGLNG-BDSLN	23.36356	95	JTSEL - WARU 2	15.347868
27	SGLNG-BDSLN	23.36356	96	BDRAN-BNGIL	16.621679
28	SGLNG-CRATA	15.65855	97	BDRAN-BNGIL	16.621679
29	SGLNG-CRATA	15.65855	98	BDRAN-SDATI	16.621679
30	MDRCN-BDSLN	74.19172	99	BDRAN-SDATI	16.621679
31	MDRCN-BDSLN	74.19172	100	TNDES-DARMO 1	2.8160542
32	MDRCN-UNGRN	138.5036	101	TNDES-DARMO 2	2.8148115
33	MDRCN-UNGRN	138.193	102	PERAK-TNDES 1	5.499135
34	UNGAR-PEDAN	46.78925	103	PERAK-TNDES 2	5.499135
35	UNGRN-NBANG	129.0588	104	TNDES-SWHAN 1	1.9883878
36	UNGRN-TJATI	83.76084	105	TNDES-SWHAN 2	1.9883878
37	UNGRN-TJATI	83.76084	106	SWHAN-KRBAN 1	3.5293884
38	PEDAN-KDIRI	125.7655	107	SWHAN-KRBAN 2	3.5293884
39	PEDAN-KDIRI	125.7655	108	GRBRU-TNDES 2	8.5500676
40	PEDAN-TSKBR	188.8968	109	PERAK-UJUNG 1	2.4854848
41	PEDAN-TSKBR	188.8968	110	PERAK-UJUNG 2	2.4854848

Lanjutan Tabel 3.1 Panjang Saluran Transmisi

No	Dari-Ke	Panjang	No	Dari-Ke	Panjang
		Mile			Mile
42	NBANG-SBBRT	29.57727	111	SWHAN-UDAAN 1	2.3425694
43	GRBRU-SBBRT	14.87563	112	SWHAN-UDAAN 2	2.3425694
44	GRBRU-SBBRT	14.29154	113	SWHAN-KPANG 1	2.5165533
45	SBBRT - UNGRN	165.9745	114	SWHAN-KPANG 2	2.5165533
46	SBBRT-GRATI	57.4147	115	KJLAN-UJUNG 2	5.0952438
47	SBBRT-GRATI	57.4147	116	GLTMR-BKLAN 1	10.153205
48	PITON-GRATI	54.61853	117	GRLMA-GLTMR 1	4.6292154
49	PITON-GRATI	54.61853	118	GRLMA-GLTMR 2	4.6292154
50	PITON-KDIRI	129.9287	119	UJUNG-BKLAN	10.153205
51	PITON-KDIRI	129.9287	120	KJLAN-GLTMR	5.0952438
52	SBBRT-SBRAT	0.006214	121	SAMPG-PMKSN	16.915588
53	GRSIK-GRSIK150KV	0.006214	122	SAMPG-SMNEP	46.226288
54	SGMDU-BRATA 2	0.310686	123	SAMPG-BKLAN 1	16.915588
55	SGMDU-BRATA 2	0.310686	124	SAMPG-BKLAN 2	16.915588
56	SGMDU-PKMIA 1	4.97097	125	PMKSN-SMNEP	45.111549
57	SGMDU-PKMIA 2	4.97097	126	SLILO-KJLAN 1	2.7153921
58	GRLMA-SGMDU 1	3.744383	127	SLILO-KJLAN 2	2.7153921
59	GRLMA-SGMDU 2	3.744383	128	SLILO-NGAGL 1	1.8516862
60	GRLMA-SGMDU 3	3.746868	129	SLILO-NGAGL 2	1.8516862
61	SGMDU-LNGAN 1	17.52267	130	RNKUT-SLILO 1	4.2315378
62	SGMDU-LNGAN 2	17.52267	131	RNKUT-SLILO 2	4.2315378
63	SGMDU-ALTAP	0.621371	132	SLILO-WKRMO 1	3.2621988
64	LNGAN-BABAT 1	16.96343	133	SLILO-WKRMO 2	3.2621988
65	LNGAN-BABAT 2	16.96343	134	SBSLN-RNKUT 2	5.7582468

Lanjutan Tabel 3.1 Panjang Saluran Transmisi

No	Dari-Ke	Panjang	No	Dari-Ke	Panjang
		Mile			Mile
66	LNGAN-PCRAN 1	16.96343	135	SBSLN-RNKUT 1	5.7582468
67	LNGAN-PCRAN 2	16.96343	136	NGAGL-SIMPG 1	2.3984928
68	ALTAP-SBRAT 1	9.941939	137	NGAGL-SIMPG 2	2.3984928
69	ALTAP-SBRAT 2	9.941939	138	SBRAT-DRYJO	2.1437306

3.1.3 Jenis Penghantar

Saluran transmisi tiap fasenya tersusun dari 4 sub penghantar. Dibawah ini jenis-jenis penghantar saluran transmisi 500 kV Jawa – Bali (kuning) dan 150 kV Krian – Gresik (hijau).

Tabel 3.2 Tabel Jenis-Jenis Penghantar Saluran Transmisi

Dari - Ke	Type	R'	X'	B'	Batas
		ohm/km	ohm/km	ohm/km	MVA
SRLAYA-CLGON	OHL-500kV-ACSR-GANNET 4X392.8mm (2400A)	0.0251	0.2808	4.049	2078.461
SRLAYA-CLGON	OHL-500kV-ACSR-GANNET 4X392.8mm (2400A)	0.0251	0.2808	4.049	2078.461
SRLAYA-BRAJA	OHL-500kV-ACSR-DOVE 4X327.9mm (1980A)	0.0293	0.2815	4.032	1714.73
SRLAYA-BRAJA	OHL-500kV-ACSR-DOVE 4X327.9mm (1980A)	0.0293	0.2815	4.032	1714.73
CLGON-CIBNG	OHL-500kV-ACSR-GANNET 4X392.8mm (2400A)	0.0251	0.2808	4.049	2078.461
BKASI-CIBNG	OHL-500kV-ACSR-DOVE 4X327.9mm (1980A)	0.0293	0.2815	4.032	1714.73
BKASI-CWANG	OHL-500kV-ACSR-DOVE 4X327.9mm (1980A)	0.0293	0.2815	4.032	1714.73
GNDUL-BRAJA	OHL-500kV-ACSR-DOVE 4X327.9mm (1980A)	0.0293	0.2815	4.032	1714.73
GNDUL-BRAJA	OHL-500kV-ACSR-DOVE 4X327.9mm (1980A)	0.0293	0.2815	4.032	1714.73
GNDUL-KMBGN	OHL-500kV-ACSR-GANNET 4X392.8mm (2400A)	0.0251	0.2808	4.049	2078.461
GNDUL-KMBGN	OHL-500kV-ACSR-GANNET 4X392.8mm (2400A)	0.0251	0.2808	4.049	2078.461
CIBNG-SGLNG	OHL-500kV-ACSR-GANNET 4X392.8mm (2400A)	0.0251	0.2808	4.049	2078.461
CIBNG-SGLNG	OHL-500kV-ACSR-GANNET 4X392.8mm (2400A)	0.0251	0.2808	4.049	2078.461
DEPOK-CIBNG	OHL-500kV-ACSR-DOVE 4X327.9mm (1980A)	0.0293	0.2815	4.032	1714.73

Lanjutan Tabel 3.2 Tabel Jenis-Jenis Penghantar Saluran Transmisi

Dari - Ke	Type	R'	X'	B'	Batas
		ohm/km	ohm/km	ohm/km	MVA
DEPOK-CIBNG	OHL-500kV-ACSR-DOVE 4X327.9mm (1980A)	0.0293	0.2815	4.032	1714.73
DEPOK-GNDUL	OHL-500kV-ACSR-DOVE 4X327.9mm (1980A)	0.0293	0.2815	4.032	1714.73
DEPOK-GNDUL	OHL-500kV-ACSR-DOVE 4X327.9mm (1980A)	0.0293	0.2815	4.032	1714.73
MTWAR - CBNGN	OHL-500kV-ACSR-DOVE 4X327.9mm (1980A)	0.0293	0.2815	4.032	1714.73
MTWAR - CWANG	OHL-500kV-ACSR-DOVE 4X327.9mm (1980A)	0.0293	0.2815	4.032	1714.73
TSKBR-DEPOK	OHL-500kV-ACSR-GANNET 4X392.8mm (2400A)	0.0251	0.2808	4.049	2078.461
TSKBR-DEPOK	OHL-500kV-ACSR-GANNET 4X392.8mm (2400A)	0.0251	0.2808	4.049	2078.461
CBATU-CRATA	OHL-500kV-ACSR-DOVE 4X327.9mm (1980A)	0.0293	0.2815	4.032	1714.73
CBATU-CRATA	OHL-500kV-ACSR-DOVE 4X327.9mm (1980A)	0.0293	0.2815	4.032	1714.73
CBATU-MTWAR	OHL-500kV-ACSR-DOVE 4X327.9mm (1980A)	0.0293	0.2815	4.032	1714.73
CBATU-MTWAR	OHL-500kV-ACSR-DOVE 4X327.9mm (1980A)	0.0293	0.2815	4.032	1714.73
SGLNG-BDSL N	OHL-500kV-ACSR-GANNET 4X392.8mm (2400A)	0.0251	0.2808	4.049	2078.461
SGLNG-BDSL N	OHL-500kV-ACSR-GANNET 4X392.8mm (2400A)	0.0251	0.2808	4.049	2078.461
SGLNG-CRATA	OHL-500kV-ACSR-DOVE 4X327.9mm (1980A)	0.0293	0.2815	4.032	1714.73
SGLNG-CRATA	OHL-500kV-ACSR-DOVE 4X327.9mm (1980A)	0.0293	0.2815	4.032	1714.73
MDRCN-BDSL N	OHL-500kV-ACSR-DOVE 4X327.9mm (1980A)	0.0293	0.2815	4.032	1714.73
MDRCN-BDSL N	OHL-500kV-ACSR-DOVE 4X327.9mm (1980A)	0.0293	0.2815	4.032	1714.73
MDRCN-UNGRN	OHL-500kV-ACSR-DOVE 4X327.9mm (1980A)	0.0293	0.2815	4.032	1714.73
MDRCN-UNGRN	OHL-500kV-ACSR-DOVE 4X327.9mm (1980A)	0.0293	0.2815	4.032	1714.73
UNGAR-PEDAN	OHL-500kV-ACSR-DOVE 4X327.9mm (1980A)	0.0293	0.2815	4.032	1714.73
UNGRN-NBANG	OHL-500kV-ACSR-DOVE 4X327.9mm (1980A)	0.0293	0.2815	4.032	1714.73
UNGRN-TJATI	OHL-500kV-ACSR-GANNET 4X392.8mm (2400A)	0.0251	0.2808	4.049	2078.461
UNGRN-TJATI	OHL-500kV-ACSR-GANNET 4X392.8mm (2400A)	0.0251	0.2808	4.049	2078.461
PEDAN-KDIRI	OHL-500kV-ACSR-GANNET 4X392.8mm (2400A)	0.0251	0.2808	4.049	2078.461
PEDAN-KDIRI	OHL-500kV-ACSR-GANNET 4X392.8mm (2400A)	0.0251	0.2808	4.049	2078.461
PEDAN-TSKBR	OHL-500kV-ACSR-GANNET 4X392.8mm (2400A)	0.0251	0.2808	4.049	2078.461

Lanjutan Tabel 3.2 Tabel Jenis-Jenis Penghantar Saluran Transmisi

Dari - Ke	Type	R'	X'	B'	Batas
		ohm/km	ohm/km	ohm/km	MVA
PEDAN-TSKBR	OHL-500kV-ACSR-GANNET 4X392.8mm (2400A)	0.0251	0.2808	4.049	2078.461
NBANG-SBBRT	OHL-500kV-ACSR-DOVE 4X327.9mm (1980A)	0.0293	0.2815	4.032	1714.73
GRBRU-SBBRT	OHL-500kV-ACSR-DOVE 4X327.9mm (1980A)	0.0293	0.2815	4.032	1714.73
GRBRU-SBBRT	OHL-500kV-ACSR-DOVE 4X327.9mm (1980A)	0.0293	0.2815	4.032	1714.73
SBBRT - UNGRN	OHL-500kV-ACSR-DOVE 4X327.9mm (1980A)	0.0293	0.2815	4.032	1714.73
SBBRT-GRATI	OHL-500kV-ACSR-GANNET 4X392.8mm (2400A)	0.0251	0.2808	4.049	2078.461
SBBRT-GRATI	OHL-500kV-ACSR-GANNET 4X392.8mm (2400A)	0.0251	0.2808	4.049	2078.461
PITON-GRATI	OHL-500kV-ACSR-GANNET 4X392.8mm (2400A)	0.0251	0.2808	4.049	2078.461
PITON-GRATI	OHL-500kV-ACSR-GANNET 4X392.8mm (2400A)	0.0251	0.2808	4.049	2078.461
PITON-KDIRI	OHL-500kV-ACSR-GANNET 4X392.8mm (2400A)	0.0251	0.2808	4.049	2078.461
PITON-KDIRI	OHL-500kV-ACSR-GANNET 4X392.8mm (2400A)	0.0251	0.2808	4.049	2078.461
SBBRT-SBRAT	OHL-500kV-ACSR-GANNET 4X392.8mm (2400A)	1.00E-07	1.12E-06	1.62E-11	2078.461
GRSIK-GRSIK150KV	OHL-500kV-ACSR-GANNET 4X392.8mm (2400A)	1.00E-07	1.12E-06	1.62E-11	2078.461
SGMDU-BRATA 2	OHL-70kV-ACSR/OSTRICH 176.7mm (440A)	4.35E-05	7.74E-05	5.91E-10	53.34716
SGMDU-BRATA 2	OHL-70kV-ACSR/OSTRICH 176.7mm (440A)	4.35E-05	7.74E-05	5.91E-10	53.34716
SGMDU-PKMIA 1	OHL-150kV-ACSR AW 330 mm2 (740A)	0.00028416	0.0012352	8.99E-09	192.2576
SGMDU-PKMIA 2	OHL-150kV-ACSR AW 340 mm2 (740A)	0.00031296	0.00122176	8.99E-09	192.2576
GRLMA-SGMDU 1	OHL-150kV-ACSR AW 2x340 mm2 (1480A)	0.000117869	0.000460145	6.77E-09	384.5153
GRLMA-SGMDU 2	OHL-150kV-ACSR AW 2x340 mm2 (1480A)	0.000117869	0.000460145	6.77E-09	384.5153
GRLMA-SGMDU 3	OHL-150kV-DOVE 2X327.94mm (1200A)	0.000141343	0.000668848	9.83E-09	311.7691
SGMDU-LNGAN 1	OHL-150kV-TACSR 240mm (973A)	0.001429063	0.004373256	3.17E-08	252.7928
SGMDU-LNGAN 2	OHL-150kV-TACSR 240mm (973A)	0.001429063	0.004373256	3.17E-08	252.7928
SGMDU-ALTAP	OHL-150kV-ACSR AW 2x340 mm2 (1480A)	1.96E-05	7.64E-05	1.12E-09	384.5153
LNGAN-BABAT 1	OHL-150kV-TACSR 240mm (973A)	0.001383455	0.004233584	3.07E-08	252.7928
LNGAN-BABAT 2	OHL-150kV-TACSR 240mm (973A)	0.001383455	0.004233584	3.07E-08	252.7928
LNGAN-PCRAN 1	OHL-150kV-TACSR 240mm (973A)	0.001383455	0.004233584	3.07E-08	252.7928

Lanjutan Tabel 3.2 Tabel Jenis-Jenis Penghantar Saluran Transmisi

Dari - Ke	Type	R'	X'	B'	Batas
		ohm/km	ohm/km	ohm/km	MVA
LNGAN-PCRRAN 2	OHL-150kV-TACSR 240mm (973A)	0.001383455	0.004233584	3.07E-08	252.7928
ALTAP-SBRAT 1	OHL-150kV-ACSR AW 2x340 mm2 (1480A)	0.00031296	0.00122176	1.80E-08	384.5153
ALTAP-SBRAT 2	OHL-150kV-ACSR AW 2x340 mm2 (1480A)	0.00031296	0.00122176	1.80E-08	384.5153
GRLMA-ALAP	OHL-150kV-ACSR AW 2x340 mm2 (1480A)	9.64E-05	0.000376455	5.54E-09	384.5153
SGMDU-ALTAP	OHL-150kV-ACSR AW 2x340 mm2 (1480A)	1.96E-05	7.64E-05	1.12E-08	384.5153
SBBRT-BBDAN	OHL-150kV-ACSR AW 330 mm2 (740A)	0.00036955	0.001606378	1.17E-08	192.2576
DRYJO-BBDAN	OHL-150kV-ACSR AW 330 mm2 (740A)	0.000468864	0.00203808	1.48E-08	192.2576
SBRAT-KLANG 1	OHL-150kV-ACSR AW 2x340 mm2 (1480A)	0.000133908	0.000522761	7.69E-09	384.5153
SBRAT-KLANG 2	OHL-150kV-ACSR AW 2x340 mm2 (1480A)	0.000133908	0.000522761	7.69E-09	384.5153
SBRAT-SWHAN1	OHL-150kV-ACSR AW 2x340 mm2 (1480A)	0.000314525	0.001227869	1.81E-08	384.5153
SBRAT-SWHAN2	OHL-150kV-ACSR AW 2x340 mm2 (1480A)	0.000314525	0.001227869	1.81E-08	384.5153
SBRAT-TNDES 1	OHL-150kV-ACSR AW 340 mm2 (740A)	0.000578194	0.002257202	1.66E-08	192.2576
SBRAT-TNDES 2	OHL-150kV-ACSR AW 340 mm2 (740A)	0.000578194	0.002257202	1.66E-08	192.2576
WARU-KLANG 2	OHL-150kV-DOVE 2X327.94mm (1200A)	0.000251746	0.001191281	1.75E-08	311.7691
WARU-KLANG-1	OHL-150kV-DOVE 2X327.94mm (1200A)	0.000251746	0.001191281	1.75E-08	311.7691
WARU-BDRAN5 1	OHL-150kV-ACSR AW 330 mm2 (740A)	0.000347918	0.001512348	1.10E-08	192.2576
WARU-BDRAN5 2	OHL-150kV-ACSR AW 330 mm2 (740A)	0.000347918	0.001512348	1.10E-08	192.2576
WARU-ISPDO 1	OHL-150kV-ACSR AW 330 mm2 (740A)	4.26E-05	0.00018528	1.35E-09	192.2576
WARU-ISPDO 2	OHL-150kV-ACSR AW 330 mm2 (740A)	4.26E-05	0.00018528	1.35E-09	192.2576
WARU-RNKUT 1	OHL-150kV-ACSR AW 2x340 mm2 (1480A)	9.29E-05	0.00036271	5.34E-09	384.5153
WARU-RNKUT 2	OHL-150kV-ACSR AW 2x340 mm2 (1480A)	9.29E-05	0.00036271	5.34E-09	384.5153
WARU-SWHAN 1	OHL-150kV-ACSR AW 2x340 mm2 (1480A)	0.000209879	0.000819343	1.21E-08	384.5153
WARU-SWHAN 2	OHL-150kV-ACSR AW 2x340 mm2 (1480A)	0.000209879	0.000819343	1.21E-08	384.5153
DARMO-WARU 1	OHL-150kV-ACSR AW 340 mm2 (740A)	0.000177292	0.000692127	5.09E-09	192.2576
DARMO-WARU 2	OHL-150kV-ACSR AW 340 mm2 (740A)	0.000177292	0.000692127	5.09E-09	192.2576
GRLMA - WARU 1	OHL-150kV-DOVE 2X327.94mm (1200A)	0.000578968	0.002733972	4.03E-08	311.7691

Lanjutan Tabel 3.2 Tabel Jenis-Jenis Penghantar Saluran Transmisi

Dari - Ke	Type	R'	X'	B'	Batas
		ohm/km	ohm/km	ohm/km	MVA
GRLMA - WARU 2	OHL-150kV-DOVE 2X327.94mm (1200A)	0.000578968	0.002733972	4.03E-08	311.7691
JTSEL - WARU 2	OHL-150kV-DOVE 2X327.94mm (1200A)	0.000578968	0.002733972	4.03E-08	311.7691
BDRAN-BNGIL	OHL-150kV-DOVE 1X327.94mm (600A)	0.00125404	0.00428321	3.05E-08	155.8846
BDRAN-BNGIL	OHL-150kV-DOVE 1X327.94mm (600A)	0.00125404	0.00428321	3.05E-08	155.8846
BDRAN-SDATI	OHL-150kV-DOVE 1X327.94mm (600A)	0.00125404	0.00428321	3.05E-08	155.8846
BDRAN-SDATI	OHL-150kV-DOVE 1X327.94mm (600A)	0.00125404	0.00428321	3.05E-08	155.8846
TNDES-DARMO 1	OHL-150kV-ACSR AW 340 mm2 (740A)	0.000177292	0.000692127	5.09E-09	192.2576
TNDES-DARMO 2	OHL-150kV-ACSR AW 340 mm2 (740A)	0.000177214	0.000691822	5.09E-09	192.2576
PERAK-TNDES 1	OHL-150kV-DOVE 1X327.94mm (600A)	0.000414888	0.001417062	1.01E-08	155.8846
PERAK-TNDES 2	OHL-150kV-DOVE 1X327.94mm (600A)	0.000414888	0.001417062	1.01E-08	155.8846
TNDES-SWHAN 1	OHL-150kV-ACSR AW 2x340 mm2 (1480A)	6.26E-05	0.000244352	3.60E-09	384.5153
TNDES-SWHAN 2	OHL-150kV-DOVE 2X327.94mm (1200A)	7.50E-05	0.000354944	5.21E-09	311.7691
SWHAN-KRBAN 1	OHL-150kV-DOVE 1X327.94mm (600A)	0.000266278	0.000909482	6.48E-09	155.8846
SWHAN-KRBAN 2	OHL-150kV-DOVE 1X327.94mm (600A)	0.000266278	0.000909482	6.48E-09	155.8846
GRBRU-TNDES 2	OHL-150kV-ACSR 2x240mm2 (2580A)	0.000203648	0.000608054	2.21E-08	670.3037
PERAK-UJUNG 1	OHL-150kV-ACSR 402.8mm (740A)	0.0002912	0.0006352	4.49E-09	192.2576
PERAK-UJUNG 2	OHL-150kV-ACSR 402.8mm (740A)	0.0002912	0.0006352	4.49E-09	192.2576
SWHAN-UDAAN 1	CAB-150kV-CU 800mm (920A)	5.10E-05	0.000165428	1.76E-07	239.023
SWHAN-UDAAN 2	CAB-150kV-CU 800mm (920A)	5.10E-05	0.000165428	1.76E-07	239.023
SWHAN-KPANG 1	CAB-150kV-CU 240mm (550A)	0.00014094	0.00021384	1.18E-07	142.8942
SWHAN-KPANG 2	CAB-150kV-CU 240mm (550A)	0.00014094	0.00021384	1.18E-07	142.8942
KJRAN-UJUNG 2	OHL-150kV-ACSR 330 mm (740A)	0.000291264	0.00126608	9.21E-09	192.2576
GLTMR-BKLAN 1	OHL-150kV-HAWK 1x281.1mm (580A)	0.000895432	0.002592178	1.88E-08	150.6884
GRLMA-GLTMR 1	OHL-150kV-HAWK 1x281.1mm (580A)	0.00040826	0.001181868	8.58E-09	150.6884
GRLMA-GLTMR 2	OHL-150kV-HAWK 1x281.1mm (580A)	0.00040826	0.001181868	8.58E-09	150.6884
UJUNG-BKLAN	OHL-150kV-HAWK 1x281.1mm (580A)	0.000895432	0.002592178	1.88E-08	150.6884

Lanjutan Tabel 3.2 Tabel Jenis-Jenis Penghantar Saluran Transmisi

Dari - Ke	Type	R'	X'	B'	Batas
		ohm/km	ohm/km	ohm/km	MVA
KJРАН-GLTMR	OHL-150kV-ACSR 330 mm (740A)	0.00291264	0.00126608	9.21E-09	192.2576
SAMPG-PMKSN	OHL-150kV-HAWK 1x281.1mm (580A)	0.00149182	0.004318657	3.14E-08	150.6884
SAMPG-SMNEP	OHL-150kV-HAWK 1x281.1mm (580A)	0.004076791	0.011801864	8.57E-08	150.6884
SAMPG-BKLAN 1	OHL-150kV-HAWK 1x281.1mm (580A)	0.00149182	0.004318657	3.14E-08	150.6884
SAMPG-BKLAN 2	OHL-150kV-HAWK 1x281.1mm (580A)	0.00149182	0.004318657	3.14E-08	150.6884
PMKSN-SMNEP	OHL-150kV-HAWK 1x281.1mm (580A)	0.00397848	0.011517264	8.36E-08	150.6884
SLILO-KJРАН 1	OHL-150kV-DOVE 1X327.94mm (600A)	0.000204866	0.000699724	4.90E-09	155.8846
SLILO-KJРАН 2	OHL-150kV-DOVE 1X327.94mm (600A)	0.000204866	0.000699724	4.90E-09	155.8846
SLILO-NGAGL 1	CAB-150kV-AL 800mm (730A)	6.00E-05	0.00012671	1.35E-07	189.6596
SLILO-NGAGL 2	CAB-150kV-AL 800mm (730A)	6.00E-05	0.00012671	1.35E-07	189.6596
RNKUT-SLILO 1	OHL-150kV-ACSR AW 2x340 mm ² (1480A)	0.000133204	0.000520012	7.65E-09	384.5153
RNKUT-SLILO 2	OHL-150kV-ACSR AW 2x340 mm ² (1480A)	0.000133204	0.000520012	7.65E-09	384.5153
SLILO-WKRMO 1	CAB-150kV-CU 800mm (920A)	7.10E-05	0.00023037	2.45E-07	239.023
SLILO-WKRMO 2	CAB-150kV-CU 800mm (920A)	7.10E-05	0.00023037	2.45E-07	239.023
SBSLN-RNKUT 2	OHL-150kV-ZEBRA 2X428.9 mm (1500A)	0.00014176	0.00100825	1.55E-08	389.7114
SBSLN-RNKUT 1	OHL-150kV-ZEBRA 2X428.9 mm (1500A)	0.00014176	0.00100825	1.55E-08	389.7114
NGAGL-SIMPG 1	CAB-150kV-AL 800mm (730A)	7.76E-05	0.000164127	1.74E-07	189.6596
NGAGL-SIMPG 2	CAB-150kV-AL 800mm (730A)	7.76E-05	0.000164127	1.74E-07	189.6596
SBRAT-DRYJO	OHL-150kV-ACSR AW 330 mm ² (740A)	0.000122544	0.00053268	3.88E-09	192.26

3.1.4 Beban Sistem

Pada penelitian ini, digunakan data pembebanan dalam kondisi beban puncak rata-rata pukul 18.00-22.00 WIB dan beban tidak puncak rata-rata pukul 09.00-15.00 WIB pada tanggal 08-11-2014, 500 kV Jawa-Bali (Kuning), 150 kV Krian – Gresik (Hijau), seperti ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 3.3 Tabel Beban Tidak Penuh Pada GITET Jaringan Transmsi

No	GITET (BUS)	P (MW)	Q (MW)	No	GITET (BUS)	P (MW)	Q (MW)
1	Suralaya	149	42	33	Peran	27.2	12.3
2	Cilegon	320	161	34	Surabaya Barat	40.6	14.4
3	Cawang	679	195	35	BBDAN	73	27
4	Balaraja	589	221	36	Kilang	60.06	21.84
5	Kembangan	673	276	37	Dryjo	111.6	39.8
6	Bekasi	1191	366	38	Sawahana	42.3	17.1
7	Gandul	871	93	39	Tandes	106	30.89
8	Cibinong	348	334	40	Waru	108	43.68
9	Depok	414	118	41	Baduran	99.9	3.1
10	MuaraTawar	0	0	42	Ispatindo	117.3	4.45
11	Tasikmalaya	109	50	43	Rungkut	134	41.81
12	Cibatu	887	598	44	Darmo	57.3	21.84
13	Cirata	568	218	45	Jt Selatan	0	0
14	Saguling	0	0	46	Bangil	20.28	7.059
15	Bandung Selatan	421	238	47	Sedati	0	0
16	Mandiracan	229	19	48	Perak	9.9	3.6
17	TanjungJati	241	78	49	Krban	52.1	27.5
18	Unggaran	770	522	50	Gresik Baru	0	0
19	Pedan	704	246	51	Ujung	17.9	9.8
20	Ngimbang	125	15	52	Udaan	29.3	7.8
21	Gresik	0	0	53	Kupang	37.2	8.5
22	Surabaya Barat	0	0	54	Kenjeran	70	20
23	Grati	515	241	55	Gilitimur	3.9	1.25
24	Kediri	585	226	56	Bangkalan	19.5	7
25	Paiton	622	103	57	Sampang	18.7	6.8
26	Segoromadu	63.1	25	58	Pakemasan	25.1	8.8
27	Gresik Lama	0	0	59	Sumenep	22.6	6.6

Lanjutan Tabel 3.3 Tabel Beban Tidak Penuh Pada GITET Jaringan Transmsi

No	GITET (BUS)	P (MW)	Q (MW)	No	GITET (BUS)	P (MW)	Q (MW)
28	Brata	2	2	60	Sukolilo	75.7	26.5
29	Petro Kimia	26.2	10.1	61	Ngagel	15.99	5.88
30	Lamongan	28.4	11.4	62	Wonokromo	59.3	22.6
31	Alta Prima	30	10.1	63	Surabaya Barat	23	9
32	Babat	14.8	8.97	64	Simpang	35.1	12.5

Tabel 3.4 Tabel Beban Penuh Pada GITET Jaringan Transmsi

No	GITET (BUS)	P (MW)	Q (MW)	No	GITET (BUS)	P (MW)	Q (MW)
1	Suralaya	159	46	33	Peran	30.6	10.7
2	Cilegon	314	144	34	Surabaya Barat	26.4	7.6
3	Cawang	596	163	35	BBDAN	54.6	21.8
4	Balaraja	450	160	36	Kilang	63.97	24.18
5	Kembangan	649	236	37	Dryjo	76.4	21.8
6	Bekasi	1118	382	38	Sawahana	39.3	14
7	Gandul	782	91	39	Tandes	119	21.14
8	Cibinong	461	318	40	Waru	105	47.58
9	Depok	432	62	41	Baduran	91.3	4.7
10	MuaraTawar	0	0	42	Ispatindo	109.3	4.45
11	Tasikmalaya	295	109	43	Rungkut	120	37.13
12	Cibatu	911	509	44	Darmo	68.3	27.3
13	Cirata	626	224	45	Jt Selatan	0	0
14	Saguling	0	0	46	Bangil	25.09	8.06
15	Bandung Selatan	562	268	47	Sedati	0	0
16	Mandiracan	309	131	48	Perak	9.2	3.6
17	TanjungJati	352	74	49	Krban	43.5	20.9
18	Unggaran	1007	606	50	Gresik Baru	0	0
19	Pedan	688	237	51	Ujung	19.9	10.9

Lanjutan Tabel 3.4 Tabel Beban Penuh Pada GITET Jaringan Transmsi

No	GITET (BUS)	P (MW)	Q (MW)	No	GITET (BUS)	P (MW)	Q (MW)
20	Ngimbang	197	34	52	Udaan	23.4	7.8
21	Gresik	0	0	53	Kupang	37.2	7.8
22	Surabaya Barat	0	0	54	Kenjeran	76	20
23	Grati	631	303	55	Gilitimur	7.1	1.25
24	Kediri	785	279	56	Bangkalan	40.2	9.4
25	Paiton	742	123	57	Sampang	42.3	9.6
26	Segoromadu	51.5	18	58	Pakemasari	49.2	17.2
27	Gresik Lama	0	0	59	Sumenep	37.8	6.6
28	Brata	1	1	60	Sukolilo	88.1	35.1
29	Petro Kimia	29.3	10.1	61	Ngagel	16.77	6.24
30	Lamongan	41	14.6	62	Wonokromo	61.6	24.2
31	Alta Prima	21.8	7	63	Surabaya Barat	29	9
32	Babat	38.6	23.79	64	Simpang	34.3	11.7

3.1.5 Unit Pembangkit

Sistem 500 kV Jawa-Bali dan sub-sistem 150 kV Krian-Gresik memiliki kemampuan pembangkitan sebesar 29.159 MW yang dipasok dari PLTU, PLTGU, PLTA, PLTP. Sedangkan untuk sistem 500 kV Jawa-Bali memiliki 51 unit pembangkit terbungkus pada 8 GITET, dan sub-sistem 150 kV Krian-Gresik memiliki 11 unit pembangkit.

Pada penelitian ini digunakan data pembangkitan pada masing-masing generator dalam kondisi beban puncak 19.00 WIB pada tanggal 08-11-2014 seperti ditunjukkan pada tabel 3.4.

Tabel 3.5 Data Pembangkitan Beban Tidak Penuh Pada Jaringan Transmisi

Nama Pembangkit	Primover	Daya Terbangkitkan	
		P (MW)	Q (MW)
PLTU suryalaya	Uap	3261.09	897.34
PLTGU Muaratawar	Gas & Uap	1583.37	863.9

Lanjutan Tabel 3.5 Data Pembangkitan Beban Tidak Penuh Pada Jaringan Transmisi

Nama Pembangkit	Primover	Daya Terbangkitkan	
		P (MW)	Q (MW)
PLTA Cirata	Air	341	161
PLTA Saguling	Air	338.43	124.57
PLTU Tjati	Uap	2024	303
PLTGU Gresik Blok 1	Gas & Uap	418.06	120.02
PLTGU Gresik Blok 2	Gas & Uap	236.65	67.307
PLTGU Gresik Blok 3	Gas & Uap	231.14	105.91
PLTGU Grati	Gas & Uap	243.66	28.35
PLTU Paiton	Uap	4085.45	797.51
PLTU Perak	Uap	0	0
PLTU Gresik	Uap	425.98	178.03
PLTG Gresik	Gas	0	0

Tabel 3.6 Data Pembangkitan Beban Penuh Pada Jaringan Transmisi

Nama Pembangkit	Primover	Daya Terbangkitkan	
		P (MW)	Q (MW)
PLTU suryalaya	Uap	3287.43	959.67
PLTGU Muaratawar	Gas & Uap	1643.5	803.96
PLTA Cirata	Air	344	163
PLTA Saguling	Air	391.74	107.57
PLTU Tjati	Uap	2639	360
PLTGU Gresik Blok 1	Gas & Uap	458.85	125.08
PLTGU Gresik Blok 2	Gas & Uap	236.65	67.307
PLTGU Gresik Blok 3	Gas & Uap	238.22	128.75
PLTGU Grati	Gas & Uap	344.58	132.31
PLTU Paiton	Uap	4200.77	866.69

Lanjutan Tabel 3.6 Data Pembangkitan Beban Penuh Pada Jaringan Transmisi

Nama Pembangkit	Primover	Daya Terbangkitkan	
		P (MW)	Q (MW)
PLTU Perak	Uap	0	0
PLTU Gresik	Uap	418.4	137.72
PLTG Gresik	Gas	0	0

3.1.6 Biaya Pembangkitan

Parameter biaya pembangkitan PLTU, PLTG, PLTGU, PLTA diambil dari data biaya pembangkitan dalam tugas akhir atau jurnal yang didalamnya terdapat data biaya pembangkitan sistem Jawa – Bali.

3.2 Program Bantu Analisis

Untuk dapat menghitung tarif *power wheeling* menggunakan metode MW-Mile, diperhitungkan studi aliran daya beban. Karena sistem 500 kV Jawa-Bali dan sub-sistem 150 kV Krian - Gresik termasuk sistem yang besar, maka mendapatkan hasil yang lebih akurat digunakan perangkat lunak untuk membantu proses komputasi. Perangkat lunak yang digunakan pada penelitian ini adalah MATLAB dan Microsoft Excel.

3.2.1 Matrix Laboratory (Matlab)

Matlab merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk mengolah data yang berupa matrix. Dalam software Matlab terdapat suatu *tool* tambahan untuk keperluan ketenagalistrikan, *tool* yang digunakan adalah *MatPower 5.0*. Dengan *tool MatPower* dapat dilakukan beberapa perhitungan yang berkaitan dengan ketenagalistrikan, diantaranya power flow, optimal power flow, dan lain-lain. Untuk dapat melakukan analisis studi aliran daya, terdapat beberapa parameter yang harus dimasukkan ke dalam perangkat lunak MATLAB. Masukkan tersebut diantaranya: parameter generator, parameter bus, parameter saluran transmisi, parameter beban yang diserap dan parameter biaya pembangkitan.

MatPower adalah sebuah paket dari Matlab M-File yang berguna untuk menyelesaikan permasalahan sistem tenaga listrik. Permasalahan yang dimaksud adalah tentang studi aliran daya dan OPF. Paket ini berisi *tools* simulasi untuk para peneliti dan pelaku pendidikan yang dapat

digunakan dan dimodifikasi dengan mudah. Hal ini dikarenakan *Matpower* memang didesain untuk memberikan hasil simulasi terbaik yang mudah dimengerti.

Matpower menyediakan *steady-state* model dari sistem kelistrikan standar yang biasanya digunakan untuk analisis aliran daya. Dalam analisis menggunakan *Matpower*, biasanya semua nilai dari besaran-besaran yang dianalisis dinyatakan dalam satuan per unit dan sudut dari bilangan kompleks dinyatakan dalam satuan radian namun ada juga yang tidak dalam satuan per unit. Dan biasanya semua generator dan cabang yang *offline* dihilangkan sebelum membentuk model untuk menyelesaikan problem aliran daya atau OPF. Dalam simulasi dengan *Matpower* semua bus diberi nomor berurutan, dimulai pada 1, dan generator disebut berdasarkan nomer bus di mana generator tersebut terhubung. Berdasarkan kelebihan dari bahasa pemrograman Matlab dalam menangani matriks dan vektor, maka model dan persamaan yang disajikan di *MatPower* juga dalam matriks dan bentuk vektor.

3.2.1.1 Optimal Power Flow

Studi aliran daya optimal yang dilakukan pada penelitian menggunakan perangkat lunak MATLAB dan tambahan program *Matpower* untuk menjalankan perintah *optimal power flow*.

3.2.1.2 Microsoft Excel

Perangkat lunak Microsoft excel digunakan untuk perhitungan dan *shorting* data yang diperoleh dari hasil perhitungan di MATLAB.

3.3 SQP Pada *MatPower*

Sequential Quadratic Programming (SQP) adalah metode paling populer untuk *nonlinear constrained optimization*. Metode SQP bekerja dengan mengkonversi fungsi-fungsi umum menjadi fungsi kuadratik. Metode ini menghasilkan subproblem dari *quadratic programming* pada tiap iterasi, dan solusi dari subproblem ini dapat digunakan untuk menentukan nilai taksiran dari solusi di iterasi berikutnya.

3.3.1 Sintaksis SQP (*fmincon*)

- $x = \text{fmincon}(\text{fun}, x_0, A, b)$

Untuk meminimalkan fungsi x dengan nilai awal x_0 yang diuraikan dalam fungsi fun pada *inequality constraints* linear $A * x \leq b$, dimana x_0 akan menjadi skalar, vector, atau matrix.

- $x = fmincon$ (fun,x0,A,b,Aeq,beq)
Meminimalkan subjek fun ke *equality constraints* linear $Aeq*x = beq$ dan $A*x \leq b$. Jika tidak ada *inequalities*, maka $A = []$ dan $B = []$.
- $x = fmincon$ (fun,x0,A,b,Aeq,beq,lb,ub)
Mendefinisikan batas bawah dan batas atas dalam variabel x , sehingga solusinya akan selalu dalam batasan $lb \leq x \leq ub$. Jika ada *equality* yang tidak mempunyai batasan, maka $Aeq = []$ dan $beq = []$, dan jika lb tidak terbatas diseting $ib = -inf$ begitu juga untuk ub.
- $x = fmincon$ (fun,x0,A,b,Aeq,beq,lb,ub,nonlcon)
Meminimalkan *inequality constraints* nonlinear $c(x)$ atau *equality constraints CEQ* (x) yang di definisikan dalam nonlcon. $fmincon$ mengoptimalkan sedemikian rupa sehingga $c(x) \leq 0$ dan $CEQ(x) = 0$.
- $x = fmincon$ (fun,x0,A,b,Aeq,beq,lb,ub,nonlcon,options)
Meminimalkan dengan optimasi *option* yang di tentukan dalam struktur *option*, dengan optimset untuk setingan *option*. Jika tidak terdapat batasan *equality constraints* dan *inequality constraints* maka nonlcon = [].
- $x = fmincon$ (problem)
Mendapatkan nilai minimum untuk *problem*, dimana struktur *problem* dijelaskan dalam *input argument*.
- $[x,fval] = fmincon(...)$
Mengembalikan nilai objektif dari fungsi fun pada solusi x .
- $[x,fval,exitflag] = fmincon(...)$
Mengisikan kembali nilai *exitflag* yang mendeskripsikan kondisi keluaran $fmincon$.
- $[x,fval,exitflag,output] = fmincon(...)$
Mengisikan kembali stuktur keluaran dengan informasi tentang optimasi.
- $[x,fval,exitflag,output,lambda] = fmincon(...)$
Mengisikan kembali stuktur *lambda* dengan bagian yang berisi pengali *Lagrange* sebagai solusi x .
- $[x,fval,exitflag,output,lambda,grad] = fmincon(...)$
Mengisikan kembali nilai *gradient* sebagai solusi x .
- $[x,fval,exitflag,output,lambda,grad,hessian] = fmincon(...)$
Mengisikan kembali nilai nilai dari *hessian* sebagai solusi x .

3.3.2 Input Argumen Dari SQP (fmincon)

- Fun Sebuah fungsi yang dimaksimalkan dan merupakan fungsi yang diisikan faktor x kemudian mengembalikan skalar f yang fungsi tujuan dievaluasi pada x . Pada penulisannya di Matlab *myfun*.
- x_0 *Optional*. Vektor yang menyatakan *initial point* dari algoritma *fmincon*.
- Aineq Matrik yang menyatakan koefisien linier dari *inequality constraints* $A * x \leq b$.
- bineq Vektor yang menyatakan vector konstan pada *inequality constraints* $A * x \leq b$.
- Aeq Matrik yang menyatakan koefisien linier dari *equality constraints* $Aeq * x = beq$.
- Beq Vektor yang menyatakan vector konstan dari *equality constraints* $Aeq * x = beq$.
- Lb Vektor yang menyatakan batas bawah dari permasalahan $lb \leq x \leq ub$.
- Ub Vektor yang menyatakan batas bawah dari permasalahan $lb \leq x \leq ub$.
- Nonlcon fungsi untuk batasan *nonlinear*.

3.4 Penerapan SQP Pada MatPower 5.0

Pada tugas akhir ini SQP yang dignakan ialah SQP pada aplikasi matlab (*fmincon*) yang sudah *include* di dalam program tersebut. *Fmincon* ialah sebuah *toolbox* matlab yang bisa digunakan untuk proses optimalisasi.

Sebagai mana dijelaskan sebelumnya bahwa SQP terdapat didalam function "*fmincon*" maka dari itu untuk mengaktifkan SQP terlebih dahulu harus mengaktifkan/menggunakan function "*fmincon*". Dalam *function matpower option (mpoption.m)* struct *opf* baris 1386 "*DEFAULT*" harus diganti menjadi "*FMINCON*".

```
1384         'opf',                struct(...
1385         'ac',                 struct(...
1386         'solver',            'FMINCON' ), ...
1387         'dc',                 struct(...
1388         'solver',            'DEFAULT' ), ...
```

Gambar 3.1 Penggunaan Function *Fmincon* Pada *MatPower*

Pada *manual book matPower 5.0* dijelaskan bahwa algoritma SQP didalam *fmincon* ialah nomor 6 sebagaimana ditunjukkan tabel dibawah ini.

Tabel 3.8 Pilihan Algoritma OPF Untuk *fmincon*

Name	Default	Description
fmincon.alg	4	Algorithm used by fmincon in Matlab Opt Toolbox ≥ 4 1 – active-set 2 – interior-point, default “bfgs” Hessian approximation 3 – interior-point, “bfgs” Hessian approximation 4 – interior-point, exact user-supplied Hessian 5 – interior-point, Hessian via finite-differences 6 – sqp, sequential quadratic programming
fmincon.tol_x	10^{-4}	Termination tolerance on x^*
fmincon.tol_f	10^{-4}	Termination tolerance f^*
fmincon.max_it	0	Maximum number of iteration n^* 0 -> use solver’s default value

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa SQP terdapat pada algoritma nomor 6. Pada program function “*moption_info_fmincon.m*” dimana jika dalam keadaan *default* algoritma yang dipakai ialah nomor 4 (line ke 10), maka dari itu untuk menggunakan algoritma SQP harus diganti menjadi nomor 6.

```

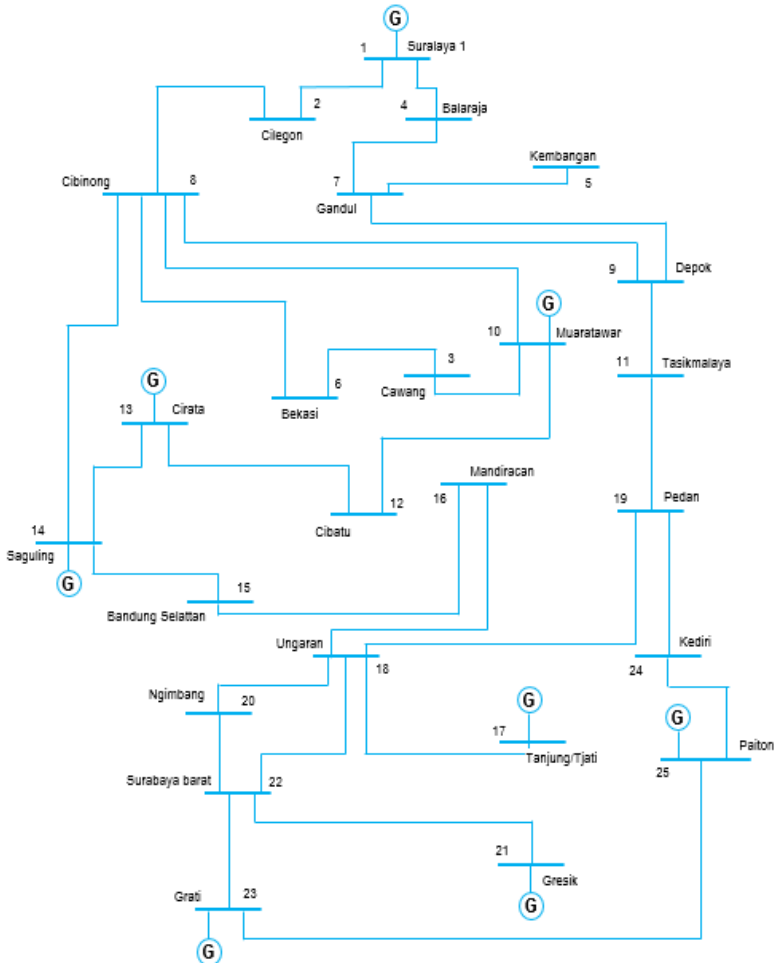
1  function opt = moption_info_fmincon(selector)
2  if nargin < 1
3      selector = 'D';
4  end
5  if have_fun('fmincon')
6      switch upper(selector)
7          case {'D', 'N'} %% default and valid options
8              opt = struct(...
9                  'fmincon', struct(...
10                     'alg', 6, ...
11                     'tol_x', 1e-4, ...
12                     'tol_f', 1e-4, ...
13                     'max_it', 0 ...
14                 ) ... % 'opt_fname', '', 'opts', []
15             );
16          case 'E' %% exceptions used by nested_struct_copy() for applying
17              opt = struct([]); %% no exceptions
18          %
19              opt = struct(...
20                  'name', { 'fmincon.opts' }, ...
21                  'check', 0, ...
22                  'copy_mode', { '' } ...
23              );
24          otherwise
25              error('moption_info_fmincon: '%s'' is not a valid input argument', selector);
26          end
27      else
28          opt = struct([]); %% FMINCON is not available
29      end

```

Gambar 3.2 Penggunaan Algoritma SQP Dalam *Fmincon*

3.5 Pembuatan Case Data Jawa – Bali & Krian Gresik

Untuk lebih memudahkan dalam memahami alur aliran daya maka dari itu dibuat single line diagram masing masing sistem baik 500 kV Jawa – Bali maupun 150 kV Krian & Gresik. Dibawah ini ialah *single line diagram* sistem transmisi 500 kV Jawa – Bali dan sub-sistem 150 kV Krian & Gresik.



Gambar 3.3 Single Line Diagram Sistem 500 kV Jawa – Bali

3.6 Penerapan Case Data Jawa – Bali & Krian Gresik Pada *MatPower 5.0*

Dalam pembuatan case data Jawa – Bali pada *matPower 5.0* ada beberapa parameter parameter yang diperlukan, antara lain:

3.6.1 MVA Base

Disini menggunakan MVA Base = 100 MVA

3.6.2 Bus Data

Entry data bus berfungsi untuk memasukkan data-data untuk setiap bus, baik bus 500 kV Jawa – Bali maupun 150 kV Krian & Gresik. Data bus ini meliputi:

- BUS_I
Mendefinisikan *bus number (positive integer)*
- BUS_TYPE
Mendefinisian type dari bus (1 = PQ, 2 = PV, 3 = ref, 4 = isolated)
- PD
Mendefinisikan daya real permintaan beban (MW)
- QD
Mendefinisikan daya reaktif permintaan beban (MVA_r)
- GS
Mendefinisikan konduktansi shunt (MW demanded at V = 1.0 p.u.)
- BS
Mendefinisikan sensitivitas shunt (MVA_r injected at V = 1.0 p.u.)
- BUS_AREA
Mendefinisikan *area number (positive integer)*
- VM
Mendefinisikan magnitude tegangan (p.u.)
- VA
Mendefinisikan sudut tegangan (degrees)
- BASE_KV
Mendefinisikan *base* tegangan (kV)
- ZONE
Mendefinisikan *loss zone (positive integer)*
- VMAX
Mendefinisikan magnitude tegangan maksimum (p.u.)
- VMIN
Mendefinisikan magnitude tegangan minimal (p.u.)

3.6.3 Generator Data

Entry data generator berfungsi untuk memasukkan data-data untuk setiap generator, baik generator yang terdapat pada jaringan 500 kV Jawa – Bali maupun 150 kV Krian & Gresik. Data generator ini meliputi:

- GEN_BUS
Mendefinisikan number bus yang terdapat generator didalamnya
- PG
Mendefinisikan output daya aktif generator (MW)
- QG
Mendefinisikan output daya reaktif generator (MVA_r)
- QMAX
Mendefinisikan output daya reaktif maksimum (MVA_r)
- QMIN
Mendefinisikan output daya reaktif minimum (MVA_r)
- VG
Mendefinisikan *setpoint* magnitud tegangan (p.u.)
- MBASE
Mendefinisikan total MVA dari generator tetapi untuk *default* mengacu pada MVABase
- GEN_STATUS s
Mendefinisikan status dari generator (1 = in service, 0 = out of service)
- PMAX
Mendefinisikan output daya aktif maksimum (MW)
- PMIN
Mendefinisikan output daya aktif minimum (MW)
- PC1
Mendefinisikan output daya aktif terendah dari kurva capabilitas PQ (MW)
- PC2
Mendefinisikan output daya aktif tertinggi dari kurva capabilitas PQ (MW)
- QC1MIN
Mendefinisikan output daya reaktif minimal pada Pc1 (MVA_r)
- QC1MAX
Mendefinisikan output daya reaktif maksimum pada Pc1 (MVA_r)
- QC2MIN
Mendefinisikan output daya reaktif minimal pada Pc2 (MVA_r)

- QC2MAX
Mendefinisikan output daya reaktif maksimum pada Pc2 (MVAr)
- RAMP_AGC
Mendefinisikan ramp rate untuk beban AGC (MW/min)
- RAMP_10
Mendefinisikan ramp rate untuk cadangan selama 10 menit (MW)
- RAMP_30
Mendefinisikan ramp rate untuk cadangan selama 30 menit (MW)
- RAMP_Q
Mendefinisikan ramp rate untuk daya reaktif (*2 sec timescale*) (MVAr/min)
- APF
Mendefinisikan factor partisipasi area

3.6.4 Branch Data

Entry data *branch* berfungsi untuk memasukkan data-data kabel transmisi, baik transmisi 500 kV Jawa – Bali maupun 150 kV Krian & Gresik. Data transmisi ini meliputi:

- F_BUS
Mendefinisikan *from bus number*
- T_BUS
Mendefinisikan *to bus number*
- BR_R
Mendefinisikan resistansi saluran transmisi (p.u.)
- BR_X
Mendefinisikan reaktansi saluran transmisi (p.u.)
- BR_B
Mendefinisikan *line charging* transmisi (p.u.)
- RATE_A
Mendefinisikan MVA rating rateA (rating jangka panjang)
- RATE_B
Mendefinisikan MVA rating B (rating jangka pendek)
- RATE_C
Mendefinisikan MVA rating C (emergency rating)
- Ratio
Mendefinisikan ratio, ratio belitan nominal dari transformator
- Angle
Mendefinisikan sudut pergeseran fasa dari transformator (derajat)

- BR_STATUS
Mendefinisikan status *branch* (1 - *in service*, 0 - *out of service*)
- ANGMIN
Mendefinisikan perbedaan sudut minimum, sudut(V_f) - sudut(V_t) (derajat)
- ANGMAX
Mendefinisikan perbedaan sudut maksimum, sudut(V_f) - sudut(V_t) (derajat)

3.6.5 Area Data

Didalam *area data* terdapat parameter-parameter yang dimasukkan diantaranya :

- AREA_I
Mendefinisikan number dari area
- PRICE_REF_BUS
Mendefinisikan bus referensi harga

3.6.6 Generator Cost Data

Didalam *generator cost data* terdapat parameter-parameter yang dimasukkan diantaranya :

- MODEL
Mendefinisikan tentang *cost model*, 1 = *piecewise linear*, 2 = *polynomial*
- STARTUP
Mendefinisikan harga startup dalam US dollars
- SHUTDOWN
Mendefinisikan harga shutdown cost dalam US dollars
- NCOST
Mendefinisikan number dari *cost coefficients* untuk dimasukkan dalam perhitungan *polynomial cost*
- COST
Mendefinisikan parameter untuk mencari fungsi harga total

3.7 Variabel Pada Biaya *Power Wheeling*

Biaya *power wheeling* memiliki 4 variabel yang dipengaruhi banyak rupiah yang harus dibayarkan. Biaya *power wheeling* akan didapatkan dalam satuan rupiah perbulan.

3.7.1 Variabel C_k

Variabel yang pertama adalah variable C_k yaitu nilai harga saluran perkilometer. Nilai C_k ini didapat dari pembagian *revenue requirement* perbulan terhadap panjang total jaringan transmisi. Asumsi bahwa P3B Jawa-Bali untuk saluran transmisi mendapatkan 21,25% dari total pendapatan tahunan keseluruhan P3B, yaitu sebesar Rp 2.318.199.262.500 pertahun. Sehingga nilai C_k perharinya adalah Rp 6.439.442.395,83 dibagi dengan 3788.072 Mile, hasilnya adalah Rp 1.699.926,07 /mile perhari.

3.7.2 Variabel L_k

Variabel kedua adalah variabel L_k yaitu variabel panjang saluran. Data panjang setiap saluran terdapat pada tabel 3.1.

3.7.3 Variabel $MW_{t,k}$

Variabel ke tiga adalah variabel $MW_{t,k}$ yaitu variabel perubahan nilai daya pada saluran k yang disebabkan oleh transaksi t setelah dilakukan *power wheeling* pada sistem.

3.7.4 Variabel P_i

Variabel keempat adalah variabel P_i , yaitu variabel besar nilai kapasitas saluran. Perhitungan biaya *power wheeling* pada penelitian ini nilai kapasitas saluran digantikan dengan nilai *unused capacity*. Nilai *unused capacity* didapat dari nilai kapasitas setiap saluran dikurangi dengan nilai daya yang mengalir pada setiap saluran sebelum dilakukan *power wheeling*. Tujuan menggunakan nilai *unused capacity* adalah supaya harga saluran yang mempunyai utility faktor tinggi, mempunyai harga saluran yang lebih mahal dari saluran yang mempunyai utility factor yang rendah.

3.8 Konfigurasi Skenario

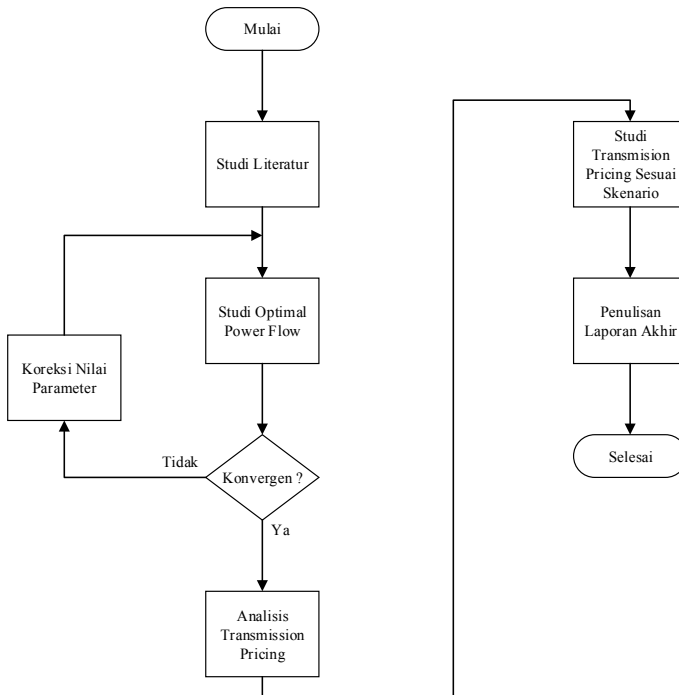
Skenario *power wheeling* yang akan dilakukan adalah dengan penambahan beban dan pembangkit mengacu dari proposal PBJT tahun 2009, yaitu :

“PT Ispat Indo yang terletak di Sidoarjo – Surabaya memiliki beban sebesar 104 MW. Industri ini berencana untuk membangun

pembangkit listrik di Gresik untuk memasok bebannya sendiri melalui mekanisme wheeling“

Simulasi pentarifan dilakukan menggunakan 3 metode pendekatan, yaitu metode absolute MW-Mile, dominant MW-Mile, dan reverse MW-Mile. Simulasi akan dilakukan dalam dua kondisi, kondisi beban penuh dan kondisi tidak beban penuh. Kondisi beban penuh dan kondisi tidak beban penuh saat hari kerja dan hari libur tentunya berbeda cukup jauh. Maka dari itu disimulasikan pada saat hari kerja (senin-jumat) dan hari libur (sabtu-minggu) yang nantinya akan dikalkulasikan selama setahun.

3.9 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.5 Flowchart Pengerjaan Tugas Akhir

Halaman ini sengaja dikosongkan

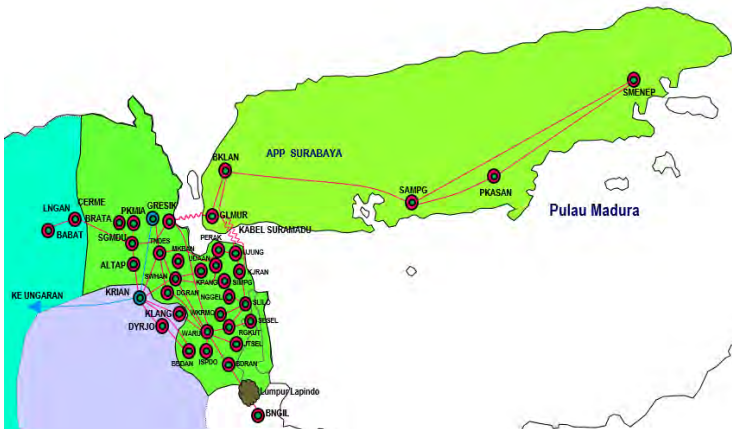
BAB IV

HASIL SIMULASI DAN ANALISA DATA

Penggunaan metode *optimal power flow* pada sistem 500 kV Jawa-Bali dan sub-sistem 150 kV Krian-Gresik yang dilakukan pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besar daya yang mengalir pada setiap saluran di masing masin sistem denga biaya pembangkitan seminimal mungkin serta besar tegangan pada tiap bus mendekati nilai yang dikehendaki. Jaringan transmisi sistem 500 kV Jawa-Bali dan sub-sistem 150 kV Krian-Gresik dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 4.1. Peta Jaringan Sistem 500 kV Jawa – Bali



Gambar 4.2 Peta Jaringan Sub Sistem 150 kV Krian & Gresik

Setelah mengetahui aliran daya pada setiap saluran, maka nilai tersebut akan digunakan untuk menghitung biaya *power wheeling* menggunakan metode MW-Mile. Perhitungan *optimal power flow* sistem 500 kV Jawa-Bali dan sub-sistem 150 kV Krian-Gresik dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *MATPOWER 5.0*. Selanjutnya akan dilakukan analisis simulasi biaya *power wheeling* yang terdiri dari skenario yang sudah dijelaskan dalam bab sebelumnya.

Tujuan disimulasikan kondisi ini adalah untuk mengetahui perbedaan biaya *wheeling* pada kondisi aliran daya yang berbeda.

4.1 Bus Case

Simulasi dalam kondisi normal dilakukan untuk mengetahui kondisi eksisting sistem 500 kV Jawa-Bali dan sub-sistem 150 kV Krian-Gresik sebelum implementasi *power wheeling*. Simulasi pada kondisi normal dilakukan dengan metode *optimal power flow* dengan kondisi pembebanan yang digunakan merupakan kondisi pada waktu beban puncak tanggal 8 November 2014.

4.1.1 Optimal Power Flow Sebelum Injeksi Daya

Pada simulasi *optimal power flow* daya yang dibangkitkan setiap pembangkit akan disalurkan ke beban melalui saluran transmisi. Aliran daya sub sistem 150 kV Krian-Gresik beban tak penuh sebelum dilakukan *power wheeling* dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Aliran Daya Sub-Sistem 150 kV Krian-Gresik sebelum Injeksi Daya Beban Tidak Penuh

Nama Saluran	From Bus	To Bus	Weekday	Weekend
			MW	MW
SBBRT-SBRAT	22	34	716.1811565	481.1687653
GRSIK-GRSIK150KV	21	50	89.16950565	71.97621247
SGMDU-BRATA 2	26	28	1	0.86978
SGMDU-BRATA 2	26	28	1	0.86978
SGMDU-PKMIA 1	26	29	13.00534188	11.31178826
SGMDU-PKMIA 2	26	29	13.19465812	11.47645174

Lanjutan Tabel 4.1 Aliran Daya Sub-Sistem 150 kV Krian-Gresik
sebelum Injeksi Daya Beban Tidak Penuh

Nama Saluran	From Bus	To Bus	Weekday	Weekend
			MW	MW
GRLMA-SGMDU 1	27	26	20.76843963	25.43400978
GRLMA-SGMDU 2	27	26	20.76843963	25.43400978
GRLMA-SGMDU 3	27	26	13.97332176	17.30830687
SGMDU-LNGAN 1	26	30	35.20376578	30.61911849
SGMDU-LNGAN 2	26	30	35.20376578	30.61911849
SGMDU-ALTAP	26	31	-53.11887602	-36.25178426
LNGAN-BABAT 1	30	32	7.4	6.43637
LNGAN-BABAT 2	30	32	7.4	6.43637
LNGAN-PCRAN 1	30	33	13.6	11.82901
LNGAN-PCRAN 2	30	33	13.6	11.82901
ALTAP-SBRAT 1	31	34	-60.81456108	-37.43142432
ALTAP-SBRAT 2	31	34	-60.81456108	-37.43142432
GRLMA-ALAP	27	31	14.60971007	23.73466289
SGMDU-ALTAP	26	31	-53.11887602	-36.25178426
SBBRT-BBDAN	34	35	59.15728611	51.45394018
DRYJO-BBDAN	37	35	13.84271389	12.03999982
SBRAT-KLANG 1	34	36	109.50894	80.31188458
SBRAT-KLANG 2	34	36	109.50894	80.31188458
SBRAT-SWHAN1	34	38	58.59887276	27.14073511
SBRAT-SWHAN2	34	38	58.59887276	27.14073511
SBRAT-TNDES 1	34	39	16.51244542	-2.268854603
SBRAT-TNDES 2	34	39	16.51244542	-2.268854603
WARU-KLANG 2	40	36	-79.46337344	-54.18368788
WARU-KLANG-1	40	36	-79.46337344	-54.18368788

Lanjutan Tabel 4.1 Aliran Daya Sub-Sistem 150 kV Krian-Gresik
sebelum Injeksi Daya Beban Tidak Penuh

Nama Saluran	From Bus	To Bus	Weekday	Weekend
			MW	MW
WARU-BDRAN5 1	40	41	60.09132042	52.26608445
WARU-BDRAN5 2	40	41	60.09132042	52.26608445
WARU-ISPDO 1	40	42	5.65	5.784035
WARU-ISPDO 2	40	42	5.65	5.784035
WARU-RNKUT 1	40	43	156.1372166	133.4881731
WARU-RNKUT 2	40	43	156.1372166	133.4881731
WARU-SWHAN 1	40	38	-97.6672567	-90.23586119
WARU-SWHAN 2	40	38	-97.6672567	-90.23586119
DARMO-WARU 1	44	40	68.54997541	68.72192431
DARMO-WARU 2	44	40	68.54997541	68.72192431
GRLMA - WARU 1	27	40	30.23383558	25.39174697
GRLMA - WARU 2	27	40	30.23383558	25.39174697
JTSEL - WARU 2	45	40	3.04678E-14	-1.13E-13
BDRAN-BNGIL	41	46	10.14	8.81957
BDRAN-BNGIL	41	46	10.14	8.81957
BDRAN-SDATI	41	47	-2.22E-13	-1.06E-12
BDRAN-SDATI	41	47	-2.22E-13	-1.06E-12
TNDES-DARMO 1	39	44	97.1867616	93.62826678
TNDES-DARMO 2	39	44	97.22960876	93.66954306
PERAK-TNDES 1	48	39	-62.16594487	-56.29008208
PERAK-TNDES 2	48	39	-62.16594487	-56.29008208
TNDES-SWHAN 1	39	38	141.950348	157.3018402
TNDES-SWHAN 2	39	38	97.13112787	108.8726239
SWHAN-KRBAN 1	38	49	26.05	22.65777

Lanjutan Tabel 4.1 Aliran Daya Sub-Sistem 150 kV Krian-Gresik
sebelum Injeksi Daya Beban Tidak Penuh

Nama Saluran	From Bus	To Bus	Weekday	Weekend
			MW	MW
SWHAN-KRBAN 2	38	49	26.05	22.65777
GRBRU-TNDES 2	50	39	630.89176	662.8673796
PERAK-UJUNG 1	48	51	57.20614626	51.97691104
PERAK-UJUNG 2	48	51	57.20614626	51.97691104
SWHAN-UDAAN 1	38	52	14.65	12.742275
SWHAN-UDAAN 2	38	52	14.65	12.742275
SWHAN-KPANG 1	38	53	18.6	16.17791
SWHAN-KPANG 2	38	53	18.6	16.17791
KJLAN-UJUNG 2	54	51	-60.78830562	-55.87410479
GLTMR-BKLAN 1	55	56	50.25904782	42.26757904
GRLMA-GLTMR 1	27	55	47.14113767	41.09010063
GRLMA-GLTMR 2	27	55	47.14113767	41.09010063
UJUNG-BKLAN	51	56	35.70182086	32.49280851
KJLAN-GLTMR	54	55	-40.04979416	-36.4636419
SAMPG-PMKSN	57	58	30.83046369	26.81551093
SAMPG-SMNPEP	57	59	16.87081079	14.6739679
SAMPG-BKLAN 1	57	56	-33.21367622	-28.88709738
SAMPG-BKLAN 2	57	56	-33.21367622	-28.88709738
PMKSN-SMNPEP	58	59	5.729189207	4.983062096
SLILO-KJLAN 1	60	54	-15.41853797	-15.72605211
SLILO-KJLAN 2	60	54	-15.41853797	-15.72605211
SLILO-NGAGL 1	60	61	25.54524608	22.21871718
SLILO-NGAGL 2	60	61	25.54524608	22.21871718
RNKUT-SLILO 1	43	60	77.6277651	65.20361909

Lanjutan Tabel 4.1 Aliran Daya Sub-Sistem 150 kV Krian-Gresik sebelum Injeksi Daya Beban Tidak Penuh

Nama Saluran	From Bus	To Bus	Weekday	Weekend
			MW	MW
RNKUT-SLILO 2	43	60	77.6277651	65.20361909
SLILO-WKRMO 1	60	62	29.65	25.788975
SLILO-WKRMO 2	60	62	29.65	25.788975
SBSLN-RNKUT 2	63	43	-11.5	-10.00247
SBSLN-RNKUT 1	63	43	-11.5	-10.00247
NGAGL-SIMPG 1	61	64	17.55	15.26464
NGAGL-SIMPG 2	61	64	17.55	15.26464
SBRAT-DRYJO	34	37	125.443654	109.1081649

Losses jaringan pada kondisi *optimal power flow* ini adalah sebesar 2.794835 MW untuk daya aktif dan 8.835168 MVAR untuk daya reaktif. Perbandingan aliran daya simulasi dan data PLN terdapat pada lampiran.

Aliran daya sub sistem 150 kV Krian-Gresik beban penuh sebelum dilakukan *power wheeling* dapat dilihat pada tabel 4.2 dibawah ini.

Tabel 4.2 Aliran Daya Sub-Sistem 150 kV Krian-Gresik Sebelum Injeksi Daya Beban Penuh

Nama Saluran	From Bus	To Bus	Weekday	Weekend
			MW	MW
SBBRT-SBRAT	22	34	829.2504128	663.3490428
GRSIK-GRSIK150KV	21	50	92.17803333	90.23446162
SGMDU-BRATA 2	26	28	0.5	0.46696
SGMDU-BRATA 2	26	28	0.5	0.46696
SGMDU-PKMIA 1	26	29	14.55150532	13.58994384
SGMDU-PKMIA 2	26	29	14.74849468	13.77391616

Lanjutan Tabel 4.2 Aliran Daya Sub-Sistem 150 kV Krian-Gresik
Sebelum Injeksi Daya Beban Penuh

Nama Saluran	From Bus	To Bus	Weekday	Weekend
			MW	MW
GRLMA-SGMDU 1	27	26	13.32435879	17.20852404
GRLMA-SGMDU 2	27	26	13.32435879	17.20852404
GRLMA-SGMDU 3	27	26	8.728733466	11.52125679
SGMDU-LNGAN 1	26	30	55.10992168	51.46783388
SGMDU-LNGAN 2	26	30	55.10992168	51.46783388
SGMDU-ALTAP	26	31	-78.36984232	-66.73937424
LNGAN-BABAT 1	30	32	19.3	18.024655
LNGAN-BABAT 2	30	32	19.3	18.024655
LNGAN-PCRAN 1	30	33	15.3	14.288975
LNGAN-PCRAN 2	30	33	15.3	14.288975
ALTAP-SBRAT 1	31	34	-89.07718412	-73.17229076
ALTAP-SBRAT 2	31	34	-89.07718412	-73.17229076
GRLMA-ALAP	27	31	0.387608834	7.495370508
SGMDU-ALTAP	26	31	-78.36984232	-66.73937424
SBBRT-BBDAN	34	35	43.34454989	40.4803825
DRYJO-BBDAN	37	35	11.25545011	10.5116475
SBRAT-KLANG 1	34	36	129.7208943	108.9993532
SBRAT-KLANG 2	34	36	129.7208943	108.9993532
SBRAT-SWHAN1	34	38	83.17690539	58.06093389
SBRAT-SWHAN2	34	38	83.17690539	58.06093389
SBRAT-TNDES 1	34	39	33.86952265	17.89032303
SBRAT-TNDES 2	34	39	33.86952265	17.89032303
WARU-KLANG 2	40	36	-97.71355938	-79.11219765
WARU-KLANG-1	40	36	-97.71355938	-79.11219765
WARU-BDRAN5 1	40	41	58.19700422	54.35126211

Lanjutan Tabel 4.2 Aliran Daya Sub-Sistem 150 kV Krian-Gresik
Sebelum Injeksi Daya Beban Penuh

Nama Saluran	From Bus	To Bus	Weekday	Weekend
			MW	MW
WARU-BDRAN5 2	40	41	58.19700422	54.35126211
WARU-ISPDO 1	40	42	2.65	2.474883
WARU-ISPDO 2	40	42	2.65	2.474883
WARU-RNKUT 1	40	43	171.3445593	158.3581801
WARU-RNKUT 2	40	43	171.3445593	158.3581801
WARU-SWHAN 1	40	38	-99.32777046	-97.53758768
WARU-SWHAN 2	40	38	-99.32777046	-97.53758768
DARMO-WARU 1	44	40	60.30175513	64.12968378
DARMO-WARU 2	44	40	60.30175513	64.12968378
GRLMA - WARU 1	27	40	27.38846468	23.47087226
GRLMA - WARU 2	27	40	27.38846468	23.47087226
JTSEL - WARU 2	45	40	1.69642E-12	-2.38E-12
BDRAN-BNGIL	41	46	12.545	11.716025
BDRAN-BNGIL	41	46	12.545	11.716025
BDRAN-SDATI	41	47	2.88802E-12	2.67842E-12
BDRAN-SDATI	41	47	2.88802E-12	2.67842E-12
TNDES-DARMO 1	39	44	94.43842395	96.00943417
TNDES-DARMO 2	39	44	94.48006206	96.05176283
PERAK-TNDES 1	48	39	-77.45773528	-74.46968382
PERAK-TNDES 2	48	39	-77.45773528	-74.46968382
TNDES-SWHAN 1	39	38	105.1990122	126.5276018
TNDES-SWHAN 2	39	38	70.55038205	86.39443565
SWHAN-KRBAN 1	38	49	21.75	20.31276
SWHAN-KRBAN 2	38	49	21.75	20.31276
GRBRU-TNDES 2	50	39	570.9488685	629.3778655

Lanjutan Tabel 4.2 Aliran Daya Sub-Sistem 150 kV Krian-Gresik
Sebelum Injeksi Daya Beban Penuh

Nama Saluran	From Bus	To Bus	Weekday	Weekend
			MW	MW
PERAK-UJUNG 1	48	51	72.84150101	70.15879969
PERAK-UJUNG 2	48	51	72.84150101	70.15879969
SWHAN-UDAAN 1	38	52	11.7	10.926865
SWHAN-UDAAN 2	38	52	11.7	10.926865
SWHAN-KPANG 1	38	53	18.6	17.37091
SWHAN-KPANG 2	38	53	18.6	17.37091
KJRAN-UJUNG 2	54	51	-49.00594157	-48.34836924
GLTMR-BKLAN 1	55	56	92.99277337	85.15729605
GRLMA-GLTMR 1	27	55	67.15694013	62.24280422
GRLMA-GLTMR 2	27	55	67.15694013	62.24280422
UJUNG-BKLAN	51	56	76.71751149	73.3295805
KJRAN-GLTMR	54	55	-34.10616835	-32.59759636
SAMPG-PMKSN	57	58	57.65611953	53.84608391
SAMPG-SMNEP	57	59	29.3465203	27.40730898
SAMPG-BKLAN 1	57	56	-64.69348951	-60.416693
SAMPG-BKLAN 2	57	56	-64.69348951	-60.416693
PMKSN-SMNEP	58	59	8.453479701	7.894871022
SLILO-KJRAN 1	60	54	-3.555975641	-4.983921018
SLILO-KJRAN 2	60	54	-3.555975641	-4.983921018
SLILO-NGAGL 1	60	61	25.53523463	23.84785921
SLILO-NGAGL 2	60	61	25.53523463	23.84785921
RNKUT-SLILO 1	43	60	96.83037943	88.76884724
RNKUT-SLILO 2	43	60	96.83037943	88.76884724
SLILO-WKRMO 1	60	62	30.8	28.764735
SLILO-WKRMO 2	60	62	30.8	28.764735

Lanjutan Tabel 4.2 Aliran Daya Sub-Sistem 150 kV Krian-Gresik
Sebelum Injeksi Daya Beban Penuh

Nama Saluran	From Bus	To Bus	Weekday	Weekend
			MW	MW
SBSLN-RNKUT 2	63	43	-14.5	-13.54184
SBSLN-RNKUT 1	63	43	-14.5	-13.54184
NGAGL-SIMPG 1	61	64	17.15	16.01673
NGAGL-SIMPG 2	61	64	17.15	16.01673
SBRAT-DRYJO	34	37	87.65613143	81.8637449

Nilai negative pada tabel 4.1 dan 4.2 menunjukkan bahwa arah aliran daya bergerak dengan arah yang berlawanan dengan nama saluran. Losses jaringan pada kondisi ini adalah sebesar 3.67301 MW untuk daya aktif dan 11.61022 MVAR untuk daya reaktif. Perbandingan aliran daya simulasi dan data PLN terdapat pada lampiran.

4.2 Penerapan Skenario

Pada skenario ini, simulasi dilakukan dengan dua kondisi peletakan beban dan pembangkit pada sub-sistem 150 kV Krian-Gresik. Data penambahan beban digunakan dalam penelitian ini mengacu pada proposal PBJT tahun 2009. PT Ispat Indo yang terletak di Sidoarjo - Surabaya memiliki beban sebesar 104 MW. Industri ini berencana untuk membangun pembangkit listrik yang terletak di Gresik untuk memasok bebannya sendiri melalui mekanisme *wheeling*.

Beban = 104 MW, Ispat Indo

Pembangkit = 104, Gresik

Analisis dilakukan terhadap perubahan aliran aktif, biaya *power wheeling* dengan metode MW- Mile *absolute*, biaya *power wheeling* dengan MW-Mile *reverse*, biaya *power wheeling* dengan MW-Mile *dominan* dan total *losses* jaringan terhadap implementasi *power wheeling*. Analisis dilakukan dalam dua kondisi, kondisi beban penuh dan kondisi tidak beban penuh. Kondisi beban penuh dan kondisi tidak beban penuh saat hari kerja dan hari libur tentunya berbeda cukup jauh. Maka dari itu disimulasikan pada saat hari kerja (senin-

Jumat) dan hari libur (Sabtu-Minggu). yang nantinya akan dikalkulasikan selama setahun. Biaya *power wheeling* yang dihitung tersebut hanya sebagai ukuran untuk membandingkan *magnitude* pada setiap metode.

4.2.1 Perubahan Aliran Daya

Implementasi *power wheeling* menyebabkan aliran daya yang mengalir disetiap saluran pada sub-sistem 150 kV Krian-Gresik berubah. Perubahan nilai daya setelah implementasi *power wheeling* pada saat beban tidak penuh dapat dilihat pada tabel 4.3 dan saat beban penuh dapat dilihat pada tabel 4.4 dibawah ini.

Tabel 4.3 Selisih Perubahan Aliran Daya Sub-Sistem 150 kV Krian-Gresik Setelah Injeksi Daya Beban Tidak Penuh

Nama Saluran	From Bus	To Bus	Weekday	Weekend
			MW	MW
SBBRT-SBRAT	22	34	1.433530702	0.011303332
GRSIK-GRSIK150KV	21	50	3.138920451	3.728153558
SGMDU-BRATA 2	26	28	5.3028E-11	1.0118E-10
SGMDU-BRATA 2	26	28	5.3028E-11	1.0118E-10
SGMDU-PKMIA 1	26	29	5.62499E-10	-3.14007E-11
SGMDU-PKMIA 2	26	29	5.71701E-10	-1.48006E-11
GRLMA-SGMDU 1	27	26	11.32911828	11.36237327
GRLMA-SGMDU 2	27	26	11.32911828	11.36237327
GRLMA-SGMDU 3	27	26	7.752547277	7.779256376
SGMDU-LNGAN 1	26	30	-1.45582E-06	9.86275E-07
SGMDU-LNGAN 2	26	30	-1.45582E-06	9.86275E-07
SGMDU-ALTAP	26	31	15.20540118	15.25199518
LNGAN-BABAT 1	30	32	2.96041E-10	4.29878E-13
LNGAN-BABAT 2	30	32	2.96041E-10	4.29878E-13
LNGAN-PCRAN 1	30	33	5.60899E-10	-4.19931E-12
LNGAN-PCRAN 2	30	33	5.60899E-10	-4.19931E-12

Lanjutan Tabel 4.3 Selisih Perubahan Aliran Daya Sub-Sistem 150 kV Krian-Gresik Setelah Injeksi Daya Beban Tidak Penuh

Nama Saluran	From Bus	To Bus	Weekday	Weekend
			MW	MW
ALTAP-SBRAT 1	31	34	23.67166529	23.74318793
ALTAP-SBRAT 2	31	34	23.67166529	23.74318793
GRLMA-ALAP	27	31	16.93199004	16.98202987
SGMDU-ALTAP	26	31	15.20540118	15.25199518
SBBRT-BBDAN	34	35	6.28165E-08	-5.39813E-07
DRYJO-BBDAN	37	35	-5.89338E-08	5.39822E-07
SBRAT-KLANG 1	34	36	10.81328775	10.6432644
SBRAT-KLANG 2	34	36	10.81328775	10.6432644
SBRAT-SWHAN1	34	38	8.839106673	8.563471685
SBRAT-SWHAN2	34	38	8.839106673	8.563471685
SBRAT-TNDES 1	34	39	4.735372342	4.539789864
SBRAT-TNDES 2	34	39	4.735372342	4.539789864
WARU-KLANG 2	40	36	-10.80873021	-10.63980752
WARU-KLANG-1	40	36	-10.80873021	-10.63980752
WARU-BDRAN5 1	40	41	1.61622E-07	8.66657E-07
WARU-BDRAN5 2	40	41	1.61622E-07	8.66657E-07
WARU-ISPDO 1	40	42	52	52
WARU-ISPDO 2	40	42	52	52
WARU-RNKUT 1	40	43	-6.502268136	-6.534943266
WARU-RNKUT 2	40	43	-6.502268136	-6.534943266
WARU-SWHAN 1	40	38	-9.397428938	-9.482728406
WARU-SWHAN 2	40	38	-9.397428938	-9.482728406
DARMO-WARU 1	44	40	5.682719424	5.803788303

Lanjutan Tabel 4.3 Selisih Perubahan Aliran Daya Sub-Sistem 150 kV Krian-Gresik Setelah Injeksi Daya Beban Tidak Penuh

Nama Saluran	From Bus	To Bus	Weekday	Weekend
			MW	MW
DARMO-WARU 2	44	40	5.682719424	5.803788303
GRLMA - WARU 1	27	40	19.60849561	19.53864895
GRLMA - WARU 2	27	40	19.60849561	19.53864895
JTSEL - WARU 2	45	40	1.57327E-12	4.28873E-12
BDRAN-BNGIL	41	46	3.30999E-10	-4.70735E-13
BDRAN-BNGIL	41	46	3.30999E-10	-4.70735E-13
BDRAN-SDATI	41	47	-2.78362E-12	5.0115E-12
BDRAN-SDATI	41	47	-2.78362E-12	5.0115E-12
TNDES-DARMO 1	39	44	5.682902722	5.803911721
TNDES-DARMO 2	39	44	5.685408184	5.806470464
PERAK-TNDES 1	48	39	2.187018854	2.154973281
PERAK-TNDES 2	48	39	2.187018854	2.154973281
TNDES-SWHAN 1	39	38	0.67960163	1.083390611
TNDES-SWHAN 2	39	38	0.445045281	0.762478463
SWHAN-KRBAN 1	38	49	7.15602E-10	2.59988E-11
SWHAN-KRBAN 2	38	49	7.15602E-10	2.59988E-11
GRBRU-TNDES 2	50	39	-1.34943668	0.066713042
PERAK-UJUNG 1	48	51	-2.186396592	-2.154403419
PERAK-UJUNG 2	48	51	-2.186396592	-2.154403419
SWHAN-UDAAN 1	38	52	3.586E-10	9.86002E-11
SWHAN-UDAAN 2	38	52	3.586E-10	9.86002E-11
SWHAN-KPANG 1	38	53	4.28798E-10	-2.54978E-11
SWHAN-KPANG 2	38	53	4.28798E-10	-2.54978E-11

Lanjutan Tabel 4.3 Selisih Perubahan Aliran Daya Sub-Sistem 150 kV Krian-Gresik Setelah Injeksi Daya Beban Tidak Penuh

Nama Saluran	From Bus	To Bus	Weekday	Weekend
			MW	MW
KJRAN-UJUNG 2	54	51	-1.628064822	-1.65403249
GLTMR-BKLAN 1	55	56	5.998309107	5.960654248
GRLMA-GLTMR 1	27	55	8.705876927	8.704920254
GRLMA-GLTMR 2	27	55	8.705876927	8.704920254
UJUNG-BKLAN	51	56	-5.998320819	-5.960628817
KJRAN-GLTMR	54	55	-11.37524421	-11.41501723
SAMPG-PMKSN	57	58	-3.72478E-07	8.09918E-07
SAMPG-SMNEP	57	59	1.28337E-07	-2.77003E-07
SAMPG-BKLAN 1	57	56	2.63313E-06	-5.71547E-06
SAMPG-BKLAN 2	57	56	2.63313E-06	-5.71547E-06
PMKSN-SMNEP	58	59	-1.2761E-07	2.77004E-07
SLILO-KJRAN 1	60	54	-6.501178782	-6.534036804
SLILO-KJRAN 2	60	54	-6.501178782	-6.534036804
SLILO-NGAGL 1	60	61	2.73466E-08	1.59201E-07
SLILO-NGAGL 2	60	61	2.73466E-08	1.59201E-07
RNKUT-SLILO 1	43	60	-6.501178638	-6.534035961
RNKUT-SLILO 2	43	60	-6.501178638	-6.534035961
SLILO-WKRMO 1	60	62	8.96602E-10	-2.96012E-11
SLILO-WKRMO 2	60	62	8.96602E-10	-2.96012E-11
SBSLN-RNKUT 2	63	43	-3.997E-10	1.9007E-12
SBSLN-RNKUT 1	63	43	-3.997E-10	1.9007E-12
NGAGL-SIMPG 1	61	64	5.092E-10	3.01998E-11
NGAGL-SIMPG 2	61	64	5.092E-10	3.01998E-11
SBRAT-DRYJO	34	37	-1.05902E-07	1.01907E-06

Tabel 4.4 Selisih Perubahan Aliran Daya Sub-Sistem 150 kV Krian-Gresik Setelah Injeksi Daya Beban Penuh

Nama Saluran	From Bus	To Bus	Weekday	Weekend
			MW	MW
SBBRT-SBRAT	22	34	1.553923543	0.081310022
GRSIK-GRSIK150KV	21	50	3.713084387	3.747266956
SGMDU-BRATA 2	26	28	-2.21603E-10	1.4751E-10
SGMDU-BRATA 2	26	28	-2.21603E-10	1.4751E-10
SGMDU-PKMIA 1	26	29	6.10001E-12	3.08003E-11
SGMDU-PKMIA 2	26	29	9.00613E-13	5.2701E-11
GRLMA-SGMDU 1	27	26	11.32075384	11.35670793
GRLMA-SGMDU 2	27	26	11.32075384	11.35670793
GRLMA-SGMDU 3	27	26	7.747911345	7.776157377
SGMDU-LNGAN 1	26	30	-1.47788E-06	6.05766E-06
SGMDU-LNGAN 2	26	30	-1.47788E-06	6.05766E-06
SGMDU-ALTAP	26	31	15.19471823	15.24475087
LNGAN-BABAT 1	30	32	-9.0985E-12	5.49001E-11
LNGAN-BABAT 2	30	32	-9.0985E-12	5.49001E-11
LNGAN-PCRAN 1	30	33	-8.39862E-12	4E-11
LNGAN-PCRAN 2	30	33	-8.39862E-12	4E-11
ALTAP-SBRAT 1	31	34	23.65498678	23.73200151
ALTAP-SBRAT 2	31	34	23.65498678	23.73200151
GRLMA-ALAP	27	31	16.91971585	16.97378543
SGMDU-ALTAP	26	31	15.19471823	15.24475087
SBBRT-BBDAN	34	35	-1.78173E-07	-8.84465E-07
DRYJO-BBDAN	37	35	1.78148E-07	8.84615E-07
SBRAT-KLANG 1	34	36	10.820179	10.64598025
SBRAT-KLANG 2	34	36	10.820179	10.64598025
SBRAT-SWHAN1	34	38	8.860844345	8.577024275

Lanjutan Tabel 4.4 Selisih Perubahan Aliran Daya Sub-Sistem 150 kV Krian-Gresik Setelah Injeksi Daya Beban Penuh

Nama Saluran	From Bus	To Bus	Weekday	Weekend
			MW	MW
SBRAT-SWHAN2	34	38	8.860844345	8.577024275
SBRAT-TNDES 1	34	39	4.751879349	4.550866557
SBRAT-TNDES 2	34	39	4.751879349	4.550866557
WARU-KLANG 2	40	36	-10.81482346	-10.64131536
WARU-KLANG-1	40	36	-10.81482346	-10.64131536
WARU-BDRAN5 1	40	41	7.33614E-07	2.17631E-06
WARU-BDRAN5 2	40	41	7.33614E-07	2.17631E-06
WARU-ISPDO 1	40	42	52	52
WARU-ISPDO 2	40	42	52	52
WARU-RNKUT 1	40	43	-6.510630708	-6.541076156
WARU-RNKUT 2	40	43	-6.510630708	-6.541076156
WARU-SWHAN 1	40	38	-9.391236641	-9.478207197
WARU-SWHAN 2	40	38	-9.391236641	-9.478207197
DARMO-WARU 1	44	40	5.67267142	5.798503087
DARMO-WARU 2	44	40	5.67267142	5.798503087
GRLMA - WARU 1	27	40	19.60999802	19.54040678
GRLMA - WARU 2	27	40	19.60999802	19.54040678
JTSEL - WARU 2	45	40	4.1181E-12	3.22195E-12
BDRAN-BNGIL	41	46	-4.89919E-12	3.59996E-11
BDRAN-BNGIL	41	46	-4.89919E-12	3.59996E-11
BDRAN-SDATI	41	47	-4.71745E-12	-3.25891E-12
BDRAN-SDATI	41	47	-4.71745E-12	-3.25891E-12
TNDES-DARMO 1	39	44	5.672772608	5.798645739
TNDES-DARMO 2	39	44	5.675273585	5.801202183
PERAK-TNDES 1	48	39	2.19636846	2.159338544

Lanjutan Tabel 4.4 Selisih Perubahan Aliran Daya Sub-Sistem 150 kV Krian-Gresik Setelah Injeksi Daya Beban Penuh

Nama Saluran	From Bus	To Bus	Weekday	Weekend
			MW	MW
PERAK-TNDES 2	48	39	2.19636846	2.159338544
TNDES-SWHAN 1	39	38	0.639942005	1.065057195
TNDES-SWHAN 2	39	38	0.429258885	0.745718054
SWHAN-KRBAN 1	38	49	-1.08997E-11	6.82014E-11
SWHAN-KRBAN 2	38	49	-1.08997E-11	6.82014E-11
GRBRU-TNDES 2	50	39	-1.477354601	-0.007657227
PERAK-UJUNG 1	48	51	-2.195562774	-2.158557977
PERAK-UJUNG 2	48	51	-2.195562774	-2.158557977
SWHAN-UDAAN 1	38	52	-4.92992E-11	1.39801E-10
SWHAN-UDAAN 2	38	52	-4.92992E-11	1.39801E-10
SWHAN-KPANG 1	38	53	3.79998E-11	6.48015E-11
SWHAN-KPANG 2	38	53	3.79998E-11	6.48015E-11
KJLAN-UJUNG 2	54	51	-1.616805281	-1.649732145
GLTMR-BKLAN 1	55	56	6.000812808	5.960209229
GRLMA-GLTMR 1	27	55	8.72122653	8.714084094
GRLMA-GLTMR 2	27	55	8.72122653	8.714084094
UJUNG-BKLAN	51	56	-6.000802093	-5.96004079
KJLAN-GLTMR	54	55	-11.40204718	-11.4302833
SAMPG-PMKSN	57	58	1.40739E-07	2.21162E-06
SAMPG-SMNPE	57	59	-6.1159E-09	-9.48836E-08
SAMPG-BKLAN 1	57	56	-2.21752E-06	-3.48568E-05
SAMPG-BKLAN 2	57	56	-2.21752E-06	-3.48568E-05
PMKSN-SMNPE	58	59	6.10605E-09	9.5002E-08
SLILO-KJLAN 1	60	54	-6.509239104	-6.539779932
SLILO-KJLAN 2	60	54	-6.509239104	-6.539779932

Lanjutan Tabel 4.4 Selisih Perubahan Aliran Daya Sub-Sistem 150 kV Krian-Gresik Setelah Injeksi Daya Beban Penuh

Nama Saluran	From Bus	To Bus	Weekday	Weekend
			MW	MW
SLILO-NGAGL 1	60	61	8.29528E-08	2.52036E-07
SLILO-NGAGL 2	60	61	8.29528E-08	2.52036E-07
RNKUT-SLILO 1	43	60	-6.509238625	-6.539778476
RNKUT-SLILO 2	43	60	-6.509238625	-6.539778476
SLILO-WKRMO 1	60	62	7.66001E-11	6.79989E-11
SLILO-WKRMO 2	60	62	7.66001E-11	6.79989E-11
SBSLN-RNKUT 2	63	43	-1.6005E-12	-4.17995E-11
SBSLN-RNKUT 1	63	43	-1.6005E-12	-4.17995E-11
NGAGL-SIMPG 1	61	64	-5.70211E-12	-2.06022E-11
NGAGL-SIMPG 2	61	64	-5.70211E-12	-2.06022E-11
SBRAT-DRYJO	34	37	3.0233E-07	1.5016E-06

Peningkatan aliran daya paling signifikan terjadi di saluran Waru – Ispat Indo (Bus 40 – Bus 42) baik saat beban tidak penuh maupun beban penuh dengan total peningkatan sebesar 52 MW di masing – masing saluran. Hal ini disebabkan karena adanya tambahan beban di Ipat Indo.

Penurunan aliran daya paling banyak terjadi pada saluran Kenjeran – Gili Timur baik saat beban tidak penuh maupun beban tidak penuh, dengan total penurunan sebesar -11.40204718 MW pada saat *weekday* dan sebesar -11.4302833 MW pada saat *weekend*.

4.2.2 Biaya *Power Wheeling* Dengan Metode MW-Mile Reverse

Yang ingin kita ketahui pada perhitungan biaya hanya magnitude rupiahnya saja. Biaya yang dihasilkan dari perhitungan adalah sebesar biaya perhari yang nantinya akan dikalkulasikan berdasarkan hari kerja dan hari libur selama setahun. Total hari kerja

selama setahun (senin – jumat) ialah sebanyak 261 hari dan hari libur (sabtu – minggu) sebanyak 104 hari.

4.2.2.1 Kondisi Beban Tidak Penuh

Nilai variabel C_k menggunakan hasil dari perhitungan pada bab 3.7.1. Nilai pembagi menggunakan *unused capacity*. Perhitungan biaya dilakukan menggunakan rumus seperti ditampilkan pada persamaan 2.23. Maka biaya power wheeling menggunakan metode MW-Mile Reserve pada setiap saluran saat beban tidak penuh dapat dilihat pada tabel 4.3 dibawah ini.

Tabel 4.5 Biaya Power Wheeling Saluran 150 kV Krian – Gresik Menggunakan Metode MW-Mile Reserve Beban Tidak Penuh

No	Nama Saluran	Biaya Weekday (Rp)	Biaya Weekend (Rp)
1	SGMDU-BRATA 2	0.000000596	0.000001134
2	SGMDU-BRATA 2	0.000000596	0.000001134
3	SGMDU-PKMIA 1	0.000029703	-0.000001641
4	SGMDU-PKMIA 2	0.000030224	-0.000000774
5	GRLMA-SGMDU 1	221,678.161183281	225,563.990061216
6	GRLMA-SGMDU 2	221,678.161183281	225,563.990061216
7	GRLMA-SGMDU 3	185,204.137187637	188,196.236497246
8	SGMDU-LNGAN 1	-0.225497804	0.149210873
9	SGMDU-LNGAN 2	-0.225497804	0.149210873
10	SGMDU-ALTAP	54,826.033582301	52,000.038220335
11	LNGAN-BABAT 1	0.000038784	0.000000056
12	LNGAN-BABAT 2	0.000038784	0.000000056
13	LNGAN-PCRAN 1	0.000075613	-0.000000561
14	LNGAN-PCRAN 2	0.000075613	-0.000000561
15	ALTAP-SBRAT 1	1,402,487.675795100	1,300,147.930923960
16	ALTAP-SBRAT 2	1,402,487.675795100	1,300,147.930923960

Lanjutan Tabel 4.5 Biaya Power Wheeling Saluran 150 kV Krian –
Gresik Menggunakan Metode MW-Mile Reserve Beban Tidak Penuh

No	Nama Saluran	Biaya Weekday (Rp)	Biaya Weekend (Rp)
17	GRLMA-ALAP	266,015.649511039	274,354.724699967
18	SGMDU-ALTAP	54,826.033582301	52,000.038220335
19	SBBRT-BBDAN	0.006062061	-0.048793557
20	DRYJO-BBDAN	-0.005161789	0.046751545
22	SBRAT-KLANG 1	330,549.281457114	289,607.381669154
23	SBRAT-KLANG 2	330,549.281457114	289,607.381669154
24	SBRAT-SWHAN1	522,257.105602197	456,063.599328245
25	SBRAT-SWHAN2	522,257.105602197	456,063.599328245
26	SBRAT-TNDES 1	472,319.159435019	415,042.051479149
27	SBRAT-TNDES 2	472,319.159435019	415,042.051479149
28	WARU-KLANG 2	-609,654.886667324	-533,119.927020205
29	WARU-KLANG-1	-609,654.886667324	-533,119.927020205
30	WARU-BDRAN5 1	0.014805667	0.074247403
31	WARU-BDRAN5 2	0.014805667	0.074247403
32	WARU-ISPDO 1	393,778.314756404	394,093.890765154
33	WARU-ISPDO 2	393,778.314756404	394,093.890765154
34	WARU-RNKUT 1	-171,768.796626140	-154,239.117062896
35	WARU-RNKUT 2	-171,768.796626140	-154,239.117062896
36	WARU-SWHAN 1	-428,782.477796693	-420,106.190209731
37	WARU-SWHAN 2	-428,782.477796693	-420,106.190209731
38	DARMO-WARU 1	260,361.863164224	266,347.132148139
39	DARMO-WARU 2	260,361.863164224	266,347.132148139
40	GRLMA - WARU 1	2,043,425.852324750	1,997,513.988159700
41	GRLMA - WARU 2	2,043,425.852324750	1,997,513.988159700

Lanjutan Tabel 4.5 Biaya Power Wheeling Saluran 150 kV Krian –
Gresik Menggunakan Metode MW-Mile Reserve Beban Tidak Penuh

No	Nama Saluran	Biaya Weekday (Rp)	Biaya Weekend (Rp)
42	JTSEL - WARU 2	0.000000146	0.000000399
43	BDRAN-BNGIL	0.000071859	-0.000000101
44	BDRAN-BNGIL	0.000071859	-0.000000101
45	BDRAN-SDATI	-0.000000561	0.000001009
46	BDRAN-SDATI	-0.000000561	0.000001009
47	TNDES-DARMO 1	358,675.323618353	349,896.813451394
48	TNDES-DARMO 2	358,877.835004041	350,078.567107789
49	PERAK-TNDES 1	261,686.338350554	239,815.421324564
50	PERAK-TNDES 2	261,686.338350554	239,815.421324564
51	TNDES-SWHAN 1	11,253.949826328	19,399.567755631
52	TNDES-SWHAN 2	8,199.540328050	15,008.485735140
53	SWHAN-KRBAN 1	0.000037582	0.000001326
54	SWHAN-KRBAN 2	0.000037582	0.000001326
55	GRBRU-TNDES 2	710,069.315415024	-16,269.835484779
56	PERAK-UJUNG 1	-79,754.844484045	-75,193.091853086
57	PERAK-UJUNG 2	-79,754.844484045	-75,193.091853086
58	SWHAN-UDAAN 1	0.000007123	0.000001940
59	SWHAN-UDAAN 2	0.000007123	0.000001940
60	SWHAN-KPANG 1	0.000016676	-0.000000970
61	SWHAN-KPANG 2	0.000016676	-0.000000970
62	KJLAN-UJUNG 2	-125,631.053670126	-122,281.304269608
63	GLTMR-BKLAN 1	1,212,823.781504780	1,102,038.822732540
64	GRLMA-GLTMR 1	774,293.308789217	724,650.219679884
65	GRLMA-GLTMR 2	774,293.308789217	724,650.219679884

Lanjutan Tabel 4.5 Biaya Power Wheeling Saluran 150 kV Krian – Gresik Menggunakan Metode MW-Mile Reserve Beban Tidak Penuh

No	Nama Saluran	Biaya Weekday (Rp)	Biaya Weekend (Rp)
66	UJUNG-BKLAN	-1,036,129.486613440	-997,580.328958113
67	KJRAN-GLTMR	-740,893.297394760	-723,960.921131502
68	SAMPG-PMKSN	-0.102210543	0.214046128
69	SAMPG-SMNEP	0.084925210	-0.179973398
70	SAMPG-BKLAN 1	0.739364196	-1.539808426
71	SAMPG-BKLAN 2	0.739364196	-1.539808426
72	PMKSN-SMNEP	-0.075339148	0.162605224
73	SLILO-KJRAN 1	-240,317.026827415	-242,127.893961181
74	SLILO-KJRAN 2	-240,317.026827415	-242,127.893961181
75	SLILO-NGAGL 1	0.000593045	0.003375119
76	SLILO-NGAGL 2	0.000593045	0.003375119
77	RNKUT-SLILO 1	-174,209.867227435	-167,345.144153849
78	RNKUT-SLILO 2	-174,209.867227435	-167,345.144153849
79	SLILO-WKRMO 1	0.000026808	-0.000000867
80	SLILO-WKRMO 2	0.000026808	-0.000000867
81	SBSLN-RNKUT 2	-0.000011533	0.000000055
82	SBSLN-RNKUT 1	-0.000011533	0.000000055
83	NGAGL-SIMPG 1	0.000013557	0.000000792
84	NGAGL-SIMPG 2	0.000013557	0.000000792
85	SBRAT-DRYJO	-0.008109341	0.058093541
Total Perhari		Rp 11,274,817.04	Rp 9,976,307.01
Total pertahun		Rp 2,942,727,248.39	Rp 1,037,535,929.45

Biaya terbesar terdapat pada saluran Gresik Lama – Waru ketika weekday maupun weekend yaitu sebesar Rp 2,043,425.85233

pada saluran satu dan Rp 2,043,425.85233 pada saluran dua. Sehingga total untuk saluran Gresik Lama adalah sebesar Rp 4,086,851.70466. Total biaya Power Wheeling jika menggunakan metode MW-Mile Reserve selama setahun ialah sebesar Rp 3,980,263,076.84.

4.2.2.2 Kondisi Beban Penuh

Nilai variabel C_k menggunakan hasil dari perhitungan pada bab 3.7.1. Nilai pembagi menggunakan *unused capacity*. Perhitungan biaya dilakukan menggunakan rumus seperti ditampilkan pada persamaan 2.23. Maka biaya power wheeling menggunakan metode MW-Mile Reserve pada setiap saluran saat beban penuh dapat dilihat pada tabel 4.6 dibawah ini.

Tabel 4.6 Biaya Power Wheeling Saluran 150 kV Krian – Gresik Menggunakan Metode MW-Mile Reserve Beban Penuh

No	Nama Saluran	Biaya Weekday (Rp)	Biaya Weekend (Rp)
1	SGMDU-BRATA 2	-0.000002463	0.000001639
2	SGMDU-BRATA 2	-0.000002463	0.000001639
3	SGMDU-PKMIA 1	0.000000325	0.000001632
4	SGMDU-PKMIA 2	0.000000048	0.000002796
5	GRLMA-SGMDU 1	216,558.810884745	219,812.493115630
6	GRLMA-SGMDU 2	216,558.810884745	219,812.493115630
7	GRLMA-SGMDU 3	181,522.713494537	184,075.254496612
8	SGMDU-LNGAN 1	-0.255346230	1.024981389
9	SGMDU-LNGAN 2	-0.255346230	1.024981389
10	SGMDU-ALTAP	59,955.415485319	57,648.237644607
11	LNGAN-BABAT 1	-0.000001260	0.000007557
12	LNGAN-BABAT 2	-0.000001260	0.000007557
13	LNGAN-PCRAN 1	-0.000001141	0.000005410
14	LNGAN-PCRAN 2	-0.000001141	0.000005410
15	ALTAP-SBRAT 1	1,555,629.740903910	1,469,734.169517020
16	ALTAP-SBRAT 2	1,555,629.740903910	1,469,734.169517020

Lanjutan Tabel 4.6 Biaya Power Wheeling Saluran 150 kV Krian –
Gresik Menggunakan Metode MW-Mile Reserve Beban Penuh

No	Nama Saluran	Biaya Weekday (Rp)	Biaya Weekend (Rp)
17	GRLMA-ALAP	254,886.238416662	261,068.773605945
18	SGMDU-ALTAP	59,955.415485319	57,648.237644607
19	SBBRT-BBDAN	-0.015097976	-0.073328121
20	DRYJO-BBDAN	0.015353772	0.075892049
22	SBRAT-KLANG 1	361,660.767030209	324,735.358235112
23	SBRAT-KLANG 2	361,660.767030209	324,735.358235112
24	SBRAT-SWHAN1	572,488.049870841	505,825.464417132
25	SBRAT-SWHAN2	572,488.049870841	505,825.464417132
26	SBRAT-TNDES 1	533,080.252409816	457,947.405877020
27	SBRAT-TNDES 2	533,080.252409816	457,947.405877020
28	WARU-KLANG 2	-670,872.484044963	-599,165.877140718
29	WARU-KLANG-1	-670,872.484044963	-599,165.877140718
30	WARU-BDRAN5 1	0.066095422	0.189722479
31	WARU-BDRAN5 2	0.066095422	0.189722479
32	WARU-ISPDO 1	386,844.946926859	386,447.764250479
33	WARU-ISPDO 2	386,844.946926859	386,447.764250479
34	WARU-RNKUT 1	-186,959.116426804	-174,838.459197826
35	WARU-RNKUT 2	-186,959.116426804	-174,838.459197826
36	WARU-SWHAN 1	-431,383.659235591	-432,242.561638123
37	WARU-SWHAN 2	-431,383.659235591	-432,242.561638123
38	DARMO-WARU 1	240,885.424578489	254,883.574927453
39	DARMO-WARU 2	240,885.424578489	254,883.574927453
40	GRLMA - WARU 1	2,020,617.784492520	1,982,769.586706660
41	GRLMA - WARU 2	2,020,617.784492520	1,982,769.586706660

Lanjutan Tabel 4.6 Biaya Power Wheeling Saluran 150 kV Krian –
Gresik Menggunakan Metode MW-Mile Reserve Beban Penuh

No	Nama Saluran	Biaya Weekday (Rp)	Biaya Weekend (Rp)
42	JTSEL - WARU 2	0.000000383	0.000000300
43	BDRAN-BNGIL	-0.000001084	0.000007911
44	BDRAN-BNGIL	-0.000001084	0.000007911
45	BDRAN-SDATI	-0.000000950	-0.000000656
46	BDRAN-SDATI	-0.000000950	-0.000000656
47	TNDES-DARMO 1	345,516.127454860	360,386.378372587
48	TNDES-DARMO 2	345,699.054144602	360,584.308941242
49	PERAK-TNDES 1	326,763.154710635	306,670.496042698
50	PERAK-TNDES 2	326,763.154710635	306,670.496042698
51	TNDES-SWHAN 1	8,980.300239546	16,397.951957781
52	TNDES-SWHAN 2	6,907.851567463	12,979.553987221
53	SWHAN-KRBAN 1	-0.000000552	0.000003410
54	SWHAN-KRBAN 2	-0.000000552	0.000003410
55	GRBRU-TNDES 2	-664,351.277933508	4,262.846923250
56	PERAK-UJUNG 1	-92,587.378863306	-88,653.148442816
57	PERAK-UJUNG 2	-92,587.378863306	-88,653.148442816
58	SWHAN-UDAAN 1	-0.000000965	0.000002726
59	SWHAN-UDAAN 2	-0.000000965	0.000002726
60	SWHAN-KPANG 1	0.000001478	0.000002492
61	SWHAN-KPANG 2	0.000001478	0.000002492
62	KJРАН-UJUNG 2	-112,910.095498096	-114,601.956144122
63	GLTMR-BKLAN 1	2,429,662.853735530	2,038,522.842894200
64	GRLMA-GLTMR 1	1,002,426.039191300	934,527.613975732
65	GRLMA-GLTMR 2	1,002,426.039191300	934,527.613975732

Lanjutan Tabel 4.6 Biaya Power Wheeling Saluran 150 kV Krian –
Gresik Menggunakan Metode MW-Mile Reserve Beban Penuh

No	Nama Saluran	Biaya Weekday (Rp)	Biaya Weekend (Rp)
66	UJUNG-BKLAN	-1,758,334.462792	-1,651,407.31835143
67	KJRAN-GLTMR	-710,867.365189728	-704,972.694774934
68	SAMPG-PMKSN	0.051907794	0.777691824
69	SAMPG-SMNEP	-0.004522207	-0.068901393
70	SAMPG-BKLAN 1	-0.899021256	-13.327906350
71	SAMPG-BKLAN 2	-0.899021256	-13.327906350
72	PMKSN-SMNEP	0.003682154	0.057038851
73	SLILO-KJRAN 1	-219,740.375078678	-223,101.243695249
74	SLILO-KJRAN 2	-219,740.375078678	-223,101.243695249
75	SLILO-NGAGL 1	0.001798810	0.005402533
76	SLILO-NGAGL 2	0.001798810	0.005402533
77	RNKUT-SLILO 1	-187,864.558664267	-182,832.307992077
78	RNKUT-SLILO 2	-187,864.558664267	-182,832.307992077
79	SLILO-WKRMO 1	0.000002305	0.000002024
80	SLILO-WKRMO 2	0.000002305	0.000002024
81	SBSLN-RNKUT 2	-0.000000047	-0.000001213
82	SBSLN-RNKUT 1	-0.000000047	-0.000001213
83	NGAGL-SIMPG 1	-0.000000151	-0.000000543
84	NGAGL-SIMPG 2	-0.000000151	-0.000000543
85	SBRAT-DRYJO	0.012904351	0.060020738
Total Perhari		Rp 11,301,715.46	Rp 11,167,609.69
Total Tahunan		Rp 2,949,747,734.34	Rp 1,161,431,407.55

Biaya terbesar terdapat pada saluran Gresik Lama – Waru ketika weekday maupun weekend yaitu sebesar Rp 2,020,617.7845

pada saluran satu dan Rp 2,020,617.7845 pada saluran dua. Sehingga total untuk saluran Gresik Lama adalah sebesar Rp 4,041,235.569. Total biaya Power Wheeling jika menggunakan metode MW-Mile Reserve selama setahun ialah sebesar Rp 4,111,179,141.89.

4.2.3 Biaya power wheeling dengan metode MW-Mile Absolute

4.2.3.1 Kondisi Beban Tidak Penuh

Seperti pada metode MW-Mile reserve, nilai variabel C_k menggunakan hasil dari perhitungan pada bab 3.7.1. Nilai pembagi menggunakan *unused capacity*. Perhitungan biaya dilakukan menggunakan rumus seperti ditampilkan pada persamaan 2.23. Maka biaya power wheeling menggunakan metode MW-Mile Absolute pada setiap saluran saat beban tidak penuh dapat dilihat pada tabel 4.7 dibawah ini.

Tabel 4.7 Biaya Power Wheeling Saluran 150 kV Krian – Gresik Menggunakan Metode MW-Mile Absolute Beban Tidak Penuh

No	Nama Saluran	Biaya Weekday (Rp)	Biaya Weekend (Rp)
1	SGMDU-BRATA 2	0.00000060	0.00000113
2	SGMDU-BRATA 2	0.00000060	0.00000113
3	SGMDU-PKMIA 1	0.00002970	0.00000164
4	SGMDU-PKMIA 2	0.00003022	0.00000077
5	GRLMA-SGMDU 1	221,678.16118328	225,563.99006122
6	GRLMA-SGMDU 2	221,678.16118328	225,563.99006122
7	GRLMA-SGMDU 3	185,204.13718764	188,196.23649725
8	SGMDU-LNGAN 1	0.22549780	0.14921087
9	SGMDU-LNGAN 2	0.22549780	0.14921087
10	SGMDU-ALTAP	54,826.03358230	52,000.03822034
11	LNGAN-BABAT 1	0.00003878	0.00000006
12	LNGAN-BABAT 2	0.00003878	0.00000006

Lanjutan Tabel 4.7 Biaya Power Wheeling Saluran 150 kV Krian –
Gresik Menggunakan Metode MW-Mile Abolute Beban Tidak Penuh

No	Nama Saluran	Biaya Weekday (Rp)	Biaya Weekend (Rp)
13	LNGAN-PCRAM 1	0.00007561	0.00000056
14	LNGAN-PCRAM 2	0.00007561	0.00000056
15	ALTAP-SBRAT 1	1,402,487.67579510	1,300,147.93092396
16	ALTAP-SBRAT 2	1,402,487.67579510	1,300,147.93092396
17	GRLMA-ALAP	266,015.64951104	274,354.72469997
18	SGMDU-ALTAP	54,826.03358230	52,000.03822034
19	SBBRT-BBDAN	0.00606206	0.04879356
20	DRYJO-BBDAN	0.00516179	0.04675155
22	SBRAT-KLANG 1	330,549.28145711	289,607.38166915
23	SBRAT-KLANG 2	330,549.28145711	289,607.38166915
24	SBRAT-SWHAN1	522,257.10560220	456,063.59932825
25	SBRAT-SWHAN2	522,257.10560220	456,063.59932825
26	SBRAT-TNDES 1	472,319.15943502	415,042.05147915
27	SBRAT-TNDES 2	472,319.15943502	415,042.05147915
28	WARU-KLANG 2	609,654.88666732	533,119.92702021
29	WARU-KLANG-1	609,654.88666732	533,119.92702021
30	WARU-BDRAN5 1	0.01480567	0.07424740
31	WARU-BDRAN5 2	0.01480567	0.07424740
32	WARU-ISPDO 1	393,778.31475640	394,093.89076515
33	WARU-ISPDO 2	393,778.31475640	394,093.89076515
34	WARU-RNKUT 1	171,768.79662614	154,239.11706290
35	WARU-RNKUT 2	171,768.79662614	154,239.11706290
36	WARU-SWHAN 1	428,782.47779669	420,106.19020973
37	WARU-SWHAN 2	428,782.47779669	420,106.19020973

Lanjutan Tabel 4.7 Biaya Power Wheeling Saluran 150 kV Krian –
Gresik Menggunakan Metode MW-Mile Absolute Beban Tidak Penuh

No	Nama Saluran	Biaya Weekday (Rp)	Biaya Weekend (Rp)
38	DARMO-WARU 1	260,361.86316422	266,347.13214814
39	DARMO-WARU 2	260,361.86316422	266,347.13214814
40	GRLMA - WARU 1	2,043,425.85232475	1,997,513.98815970
41	GRLMA - WARU 2	2,043,425.85232475	1,997,513.98815970
42	JTSEL - WARU 2	0.00000015	0.00000040
43	BDRAN-BNGIL	0.00007186	0.00000010
44	BDRAN-BNGIL	0.00007186	0.00000010
45	BDRAN-SDATI	0.00000056	0.00000101
46	BDRAN-SDATI	0.00000056	0.00000101
47	TNDES-DARMO 1	358,675.32361835	349,896.81345139
48	TNDES-DARMO 2	358,877.83500404	350,078.56710779
49	PERAK-TNDES 1	261,686.33835055	239,815.42132456
50	PERAK-TNDES 2	261,686.33835055	239,815.42132456
51	TNDES-SWHAN 1	11,253.94982633	19,399.56775563
52	TNDES-SWHAN 2	8,199.54032805	15,008.48573514
53	SWHAN-KRBAN 1	0.00003758	0.00000133
54	SWHAN-KRBAN 2	0.00003758	0.00000133
55	GRBRU-TNDES 2	-710,069.31541502	-16,269.83548478
56	PERAK-UJUNG 1	79,754.84448404	75,193.09185309
57	PERAK-UJUNG 2	79,754.84448404	75,193.09185309
58	SWHAN-UDAAN 1	0.00000712	0.00000194
59	SWHAN-UDAAN 2	0.00000712	0.00000194
60	SWHAN-KPANG 1	0.00001668	0.00000097
61	SWHAN-KPANG 2	0.00001668	0.00000097

Lanjutan Tabel 4.7 Biaya Power Wheeling Saluran 150 kV Krian –
Gresik Menggunakan Metode MW-Mile Abolute Beban Tidak Penuh

No	Nama Saluran	Biaya Weekday (Rp)	Biaya Weekend (Rp)
62	KJRAN-UJUNG 2	125,631.05367013	122,281.30426961
63	GLTMR-BKLAN 1	1,212,823.78150478	1,102,038.82273254
64	GRLMA-GLTMR 1	774,293.30878922	724,650.21967988
65	GRLMA-GLTMR 2	774,293.30878922	724,650.21967988
66	UJUNG-BKLAN	1,036,129.48661344	997,580.32895811
67	KJRAN-GLTMR	740,893.29739476	723,960.92113150
68	SAMPG-PMKSN	0.10221054	0.21404613
69	SAMPG-SMNEP	0.08492521	0.17997340
70	SAMPG-BKLAN 1	0.73936420	1.53980843
71	SAMPG-BKLAN 2	0.73936420	1.53980843
72	PMKSN-SMNEP	0.07533915	0.16260522
73	SLILO-KJRAN 1	240,317.02682742	242,127.89396118
74	SLILO-KJRAN 2	240,317.02682742	242,127.89396118
75	SLILO-NGAGL 1	0.00059304	0.00337512
76	SLILO-NGAGL 2	0.00059304	0.00337512
77	RNKUT-SLILO 1	174,209.86722744	167,345.14415385
78	RNKUT-SLILO 2	174,209.86722744	167,345.14415385
79	SLILO-WKRMO 1	0.00002681	0.00000087
80	SLILO-WKRMO 2	0.00002681	0.00000087
81	SBSLN-RNKUT 2	0.00001153	0.00000005
82	SBSLN-RNKUT 1	0.00001153	0.00000005
83	NGAGL-SIMPG 1	0.00001356	0.00000079
84	NGAGL-SIMPG 2	0.00001356	0.00000079
85	SBRAT-DRYJO	0.00810934	0.05809354

Lanjutan Tabel 4.7 Biaya Power Wheeling Saluran 150 kV Krian – Gresik Menggunakan Metode MW-Mile Absolute Beban Tidak Penuh

No	Nama Saluran	Biaya Weekday (Rp)	Biaya Weekend (Rp)
	Total Perhari	Rp 20,477,938.97	Rp 20,032,484.20
	Total pertahun	Rp 5,344,742,071.27	Rp 2,083,378,356.43

Dengan menggunakan metode MW-Mile Absolute, total biaya menjadi lebih besar dari total biaya dengan menggunakan metode MW-Mile Reserve. Total biaya pada metode MW-Mile Absolute yaitu sebesar Rp 7,428,120,427.7. Dengan metode MW-Mile Absolute terdapat selisih sebesar Rp 3,447,857,350.86 dibandingkan dengan metode MW-Mile Reserve ketika kondisi tidak beban penuh.

4.2.3.2 Kondisi Beban Penuh

Seperti pada metode MW-Mile reserve, nilai variabel C_k menggunakan hasil dari perhitungan pada bab 3.7.1. Nilai pembagi menggunakan *unused capacity*. Perhitungan biaya dilakukan menggunakan rumus seperti ditampilkan pada persamaan 2.23. Maka biaya power wheeling menggunakan metode MW-Mile Absolute pada setiap saluran saat beban penuh dapat dilihat pada tabel 4.8 dibawah ini.

Tabel 4.8 Biaya Power Wheeling Saluran 150 kV Krian – Gresik Menggunakan Metode MW-Mile Absolute Beban Penuh

No	Nama Saluran	Biaya Weekday (Rp)	Biaya Weekend (Rp)
1	SGMDU-BRATA 2	0.00000246	0
2	SGMDU-BRATA 2	0.00000246	0
3	SGMDU-PKMIA 1	0.00000033	0
4	SGMDU-PKMIA 2	0.00000005	0
5	GRLMA-SGMDU 1	216,558.81088475	219,812
6	GRLMA-SGMDU 2	216,558.81088475	219,812
7	GRLMA-SGMDU 3	181,522.71349454	184,075

Lanjutan Tabel 4.8 Biaya Power Wheeling Saluran 150 kV Krian –
Gresik Menggunakan Metode MW-Mile Abolute Beban Penuh

No	Nama Saluran	Biaya Weekday (Rp)	Biaya Weekend (Rp)
8	SGMDU-LNGAN 1	0.25534623	1
9	SGMDU-LNGAN 2	0.25534623	1
10	SGMDU-ALTAP	59,955.41548532	57,648
11	LNGAN-BABAT 1	0.00000126	0
12	LNGAN-BABAT 2	0.00000126	0
13	LNGAN-PCRAN 1	0.00000114	0
14	LNGAN-PCRAN 2	0.00000114	0
15	ALTAP-SBRAT 1	1,555,629.74090391	1,469,734
16	ALTAP-SBRAT 2	1,555,629.74090391	1,469,734
17	GRLMA-ALAP	254,886.23841666	261,069
18	SGMDU-ALTAP	59,955.41548532	57,648
19	SBBRT-BBDAN	0.01509798	0
20	DRYJO-BBDAN	0.01535377	0
22	SBRAT-KLANG 1	361,660.76703021	324,735
23	SBRAT-KLANG 2	361,660.76703021	324,735
24	SBRAT-SWHAN1	572,488.04987084	505,825
25	SBRAT-SWHAN2	572,488.04987084	505,825
26	SBRAT-TNDES 1	533,080.25240982	457,947
27	SBRAT-TNDES 2	533,080.25240982	457,947
28	WARU-KLANG 2	670,872.48404496	0
29	WARU-KLANG-1	670,872.48404496	0
30	WARU-BDRAN5 1	0.06609542	0
31	WARU-BDRAN5 2	0.06609542	0
32	WARU-ISPDO 1	386,844.94692686	386,448

Lanjutan Tabel 4.8 Biaya Power Wheeling Saluran 150 kV Krian –
Gresik Menggunakan Metode MW-Mile Abolute Beban Penuh

No	Nama Saluran	Biaya Weekday (Rp)	Biaya Weekend (Rp)
33	WARU-ISPDO 2	386,844.94692686	386,448
34	WARU-RNKUT 1	186,959.11642680	0
35	WARU-RNKUT 2	186,959.11642680	0
36	WARU-SWHAN 1	431,383.65923559	0
37	WARU-SWHAN 2	431,383.65923559	0
38	DARMO-WARU 1	240,885.42457849	254,884
39	DARMO-WARU 2	240,885.42457849	254,884
40	GRLMA - WARU 1	2,020,617.78449252	1,982,770
41	GRLMA - WARU 2	2,020,617.78449252	1,982,770
42	JTSEL - WARU 2	0.00000038	0
43	BDRAN-BNGIL	0.00000108	0
44	BDRAN-BNGIL	0.00000108	0
45	BDRAN-SDATI	0.00000095	0
46	BDRAN-SDATI	0.00000095	0
47	TNDES-DARMO 1	345,516.12745486	360,386
48	TNDES-DARMO 2	345,699.05414460	360,584
49	PERAK-TNDES 1	326,763.15471064	306,670
50	PERAK-TNDES 2	326,763.15471064	306,670
51	TNDES-SWHAN 1	8,980.30023955	16,398
52	TNDES-SWHAN 2	6,907.85156746	12,980
53	SWHAN-KRBAN 1	0.00000055	0
54	SWHAN-KRBAN 2	0.00000055	0
55	GRBRU-TNDES 2	664,351.27793351	0
56	PERAK-UJUNG 1	92,587.37886331	0

Lanjutan Tabel 4.8 Biaya Power Wheeling Saluran 150 kV Krian –
Gresik Menggunakan Metode MW-Mile Abolute Beban Penuh

No	Nama Saluran	Biaya Weekday (Rp)	Biaya Weekend (Rp)
57	PERAK-UJUNG 2	-92,587.37886331	0
58	SWHAN-UDAAN 1	0.00000097	0
59	SWHAN-UDAAN 2	0.00000097	0
60	SWHAN-KPANG 1	0.00000148	0
61	SWHAN-KPANG 2	0.00000148	0
62	KJРАН-UJUNG 2	112,910.09549810	0
63	GLTMR-BKLAN 1	2,429,662.85373553	2,038,523
64	GRLMA-GLTMR 1	1,002,426.03919130	934,528
65	GRLMA-GLTMR 2	1,002,426.03919130	934,528
66	UJUNG-BKLAN	1,758,334.46279298	0
67	KJРАН-GLTMR	710,867.36518973	0
68	SAMPG-PMKSN	0.05190779	1
69	SAMPG-SMNEP	0.00452221	0
70	SAMPG-BKLAN 1	0.89902126	0
71	SAMPG-BKLAN 2	0.89902126	0
72	PMKSN-SMNEP	0.00368215	0
73	SLILO-KJРАН 1	219,740.37507868	0
74	SLILO-KJРАН 2	219,740.37507868	0
75	SLILO-NGAGL 1	0.00179881	0
76	SLILO-NGAGL 2	0.00179881	0
77	RNKUT-SLILO 1	187,864.55866427	0
78	RNKUT-SLILO 2	187,864.55866427	0
79	SLILO-WKRMO 1	0.00000230	0
80	SLILO-WKRMO 2	0.00000230	0

Lanjutan Tabel 4.8 Biaya Power Wheeling Saluran 150 kV Krian –
Gresik Menggunakan Metode MW-Mile Abolute Beban Penuh

No	Nama Saluran	Biaya Weekday (Rp)	Biaya Weekend (Rp)
81	SBSLN-RNKUT 2	0.00000005	0
82	SBSLN-RNKUT 1	0.00000005	0
83	NGAGL-SIMPG 1	0.00000015	0
84	NGAGL-SIMPG 2	0.00000015	0
85	SBRAT-DRYJO	0.01290435	0
Total Perhari		Rp 24,767,102.05	Rp 17,036,022.80
Total Pertahun		Rp 6,464,213,634.62	Rp 1,771,746,371.68

Sama halnya dengan saat kondisi beban tidak penuh, saat kondisi beban penuh dengan menggunakan metode MW-Mile Absolute, total biaya menjadi lebih besar dari total biaya dengan menggunakan metode MW-Mile Reserve. Total biaya pada metode MW-Mile Absolute yaitu sebesar Rp 8,235,960,006.3. Dengan metode MW-Mile Absolute terdapat selisih sebesar Rp 4,124,780,864.41 dibandingkan dengan metode MW-Mile Reserve ketika kondisi beban penuh.

4.2.4 Biaya power wheeling dengan metode MW-Mile Dominant

4.2.4.1 Kondisi Beban Tidak Penuh

Seperti pada metode MW-Mile absolute, nilai variabel C_k menggunakan hasil dari perhitungan pada bab 3.7.1. Nilai pembagi menggunakan *unused capacity*. Perhitungan biaya dilakukan menggunakan rumus seperti ditampilkan pada persamaan 2.23. Maka biaya power wheeling menggunakan metode MW-Mile dominant pada setiap saluran saat beban tidak penuh dapat dilihat pada tabel 4.9 dibawah ini.

Tabel 4.9 Biaya Power Wheeling Saluran 150 kV Krian – Gresik Menggunakan Metode MW-Mile Dominant Beban Tidak Penuh

No	Nama Saluran	Biaya Weekday (Rp)	Biaya Weekend (Rp)
1	SGMDU-BRATA 2	0	0
2	SGMDU-BRATA 2	0	0
3	SGMDU-PKMIA 1	0	0
4	SGMDU-PKMIA 2	0	0
5	GRLMA-SGMDU 1	221,678	225,564
6	GRLMA-SGMDU 2	221,678	225,564
7	GRLMA-SGMDU 3	185,204	188,196
8	SGMDU-LNGAN 1	0	0
9	SGMDU-LNGAN 2	0	0
10	SGMDU-ALTAP	54,826	52,000
11	LNGAN-BABAT 1	0	0
12	LNGAN-BABAT 2	0	0
13	LNGAN-PCRAN 1	0	0
14	LNGAN-PCRAN 2	0	0
15	ALTAP-SBRAT 1	1,402,488	1,300,148
16	ALTAP-SBRAT 2	1,402,488	1,300,148
17	GRLMA-ALAP	266,016	274,355
18	SGMDU-ALTAP	54,826	52,000
19	SBBRT-BBDAN	0	0
20	DRYJO-BBDAN	0	0
22	SBRAT-KLANG 1	330,549	289,607
23	SBRAT-KLANG 2	330,549	289,607
24	SBRAT-SWHAN1	522,257	456,064
25	SBRAT-SWHAN2	522,257	456,064

Lanjutan Tabel 4.9 Biaya Power Wheeling Saluran 150 kV Krian –
Gresik Menggunakan Metode MW-Mile Dominant Beban Tidak Penuh

No	Nama Saluran	Biaya Weekday (Rp)	Biaya Weekend (Rp)
26	SBRAT-TNDES 1	472,319	415,042
27	SBRAT-TNDES 2	472,319	415,042
28	WARU-KLANG 2	0	0
29	WARU-KLANG-1	0	0
30	WARU-BDRAN5 1	0	0
31	WARU-BDRAN5 2	0	0
32	WARU-ISPDO 1	393,778	394,094
33	WARU-ISPDO 2	393,778	394,094
34	WARU-RNKUT 1	0	0
35	WARU-RNKUT 2	0	0
36	WARU-SWHAN 1	0	0
37	WARU-SWHAN 2	0	0
38	DARMO-WARU 1	260,362	266,347
39	DARMO-WARU 2	260,362	266,347
40	GRLMA - WARU 1	2,043,426	1,997,514
41	GRLMA - WARU 2	2,043,426	1,997,514
42	JTSEL - WARU 2	0	0
43	BDRAN-BNGIL	0	0
44	BDRAN-BNGIL	0	0
45	BDRAN-SDATI	0	0
46	BDRAN-SDATI	0	0
47	TNDES-DARMO 1	358,675	349,897
48	TNDES-DARMO 2	358,878	350,079
49	PERAK-TNDES 1	261,686	239,815

Lanjutan Tabel 4.9 Biaya Power Wheeling Saluran 150 kV Krian –
Gresik Menggunakan Metode MW-Mile Dominant Beban Tidak Penuh

No	Nama Saluran	Biaya Weekday (Rp)	Biaya Weekend (Rp)
50	PERAK-TNDES 2	261,686	239,815
51	TNDES-SWHAN 1	11,254	19,400
52	TNDES-SWHAN 2	8,200	15,008
53	SWHAN-KRBAN 1	0	0
54	SWHAN-KRBAN 2	0	0
55	GRBRU-TNDES 2	0	-16,270
56	PERAK-UJUNG 1	0	0
57	PERAK-UJUNG 2	0	0
58	SWHAN-UDAAN 1	0	0
59	SWHAN-UDAAN 2	0	0
60	SWHAN-KPANG 1	0	0
61	SWHAN-KPANG 2	0	0
62	KJLAN-UJUNG 2	0	0
63	GLTMR-BKLAN 1	1,212,824	1,102,039
64	GRLMA-GLTMR 1	774,293	724,650
65	GRLMA-GLTMR 2	774,293	724,650
66	UJUNG-BKLAN	0	0
67	KJLAN-GLTMR	0	0
68	SAMPG-PMKSN	0	0
69	SAMPG-SMNEP	0	0
70	SAMPG-BKLAN 1	1	0
71	SAMPG-BKLAN 2	1	0
72	PMKSN-SMNEP	0	0
73	SLILO-KJLAN 1	0	0

Lanjutan Tabel 4.9 Biaya Power Wheeling Saluran 150 kV Krian –
Gresik Menggunakan Metode MW-Mile Dominant Beban Tidak Penuh

No	Nama Saluran	Biaya Weekday (Rp)	Biaya Weekend (Rp)
74	SLILO-KJRAN 2	0	0
75	SLILO-NGAGL 1	0	0
76	SLILO-NGAGL 2	0	0
77	RNKUT-SLILO 1	0	0
78	RNKUT-SLILO 2	0	0
79	SLILO-WKRMO 1	0	0
80	SLILO-WKRMO 2	0	0
81	SBSLN-RNKUT 2	0	0
82	SBSLN-RNKUT 1	0	0
83	NGAGL-SIMPG 1	0	0
84	NGAGL-SIMPG 2	0	0
85	SBRAT-DRYJO	0	0
Total Perhari		Rp 15,876,378.01	Rp 15,004,395.61
Total pertahun		Rp 4,143,734,659.83	Rp 1,560,457,142.94

Dengan menggunakan metode MW-Mile Dominant, total biaya lebih besar dibandingkan dengan total biaya dengan menggunakan metode MW-Mile Reserve. Tetapi lebih kecil dari total biaya menggunakan metode MW-Mile Absolute. Total biaya yang harus dibayar dengan metode MW-Mile Dominan saat beban tidak penuh adalah sebesar Rp 5,704,191,802.77.

4.2.4.2 Kondisi Beban Penuh

Seperti pada metode MW-Mile absolute, nilai variabel C_k menggunakan hasil dari perhitungan pada bab 3.7.1. Nilai pembagi menggunakan *unused capacity*. Perhitungan biaya dilakukan menggunakan rumus seperti ditampilkan pada persamaan 2.23. Maka biaya power wheeling menggunakan metode MW-Mile Absolute

pada setiap saluran saat beban penuh dapat dilihat pada tabel 4.10 dibawah ini.

Tabel 4.10 Biaya Power Wheeling Saluran 150 kV Krian – Gresik Menggunakan Metode MW-Mile Dominant Beban Penuh

No	Nama Saluran	Biaya Weekday (Rp)	Biaya Weekend (Rp)
1	SGMDU-BRATA 2	0	0
2	SGMDU-BRATA 2	0	0
3	SGMDU-PKMIA 1	0	0
4	SGMDU-PKMIA 2	0	0
5	GRLMA-SGMDU 1	216,559	219,812
6	GRLMA-SGMDU 2	216,559	219,812
7	GRLMA-SGMDU 3	181,523	184,075
8	SGMDU-LNGAN 1	0	1
9	SGMDU-LNGAN 2	0	1
10	SGMDU-ALTAP	59,955	57,648
11	LNGAN-BABAT 1	0	0
12	LNGAN-BABAT 2	0	0
13	LNGAN-PCRAN 1	0	0
14	LNGAN-PCRAN 2	0	0
15	ALTAP-SBRAT 1	1,555,630	1,469,734
16	ALTAP-SBRAT 2	1,555,630	1,469,734
17	GRLMA-ALAP	254,886	261,069
18	SGMDU-ALTAP	59,955	57,648
19	SBBRT-BBDAN	0	0
20	DRYJO-BBDAN	0	0
22	SBRAT-KLANG 1	361,661	324,735
23	SBRAT-KLANG 2	361,661	324,735

Lanjutan Tabel 4.10 Biaya Power Wheeling Saluran 150 kV Krian –
Gresik Menggunakan Metode MW-Mile Dominant Beban Penuh

No	Nama Saluran	Biaya Weekday (Rp)	Biaya Weekend (Rp)
24	SBRAT-SWHAN1	572,488	505,825
25	SBRAT-SWHAN2	572,488	505,825
26	SBRAT-TNDES 1	533,080	457,947
27	SBRAT-TNDES 2	533,080	457,947
28	WARU-KLANG 2	0	0
29	WARU-KLANG-1	0	0
30	WARU-BDRAN5 1	0	0
31	WARU-BDRAN5 2	0	0
32	WARU-ISPDO 1	386,845	386,448
33	WARU-ISPDO 2	386,845	386,448
34	WARU-RNKUT 1	0	0
35	WARU-RNKUT 2	0	0
36	WARU-SWHAN 1	0	0
37	WARU-SWHAN 2	0	0
38	DARMO-WARU 1	240,885	254,884
39	DARMO-WARU 2	240,885	254,884
40	GRLMA - WARU 1	2,020,618	1,982,770
41	GRLMA - WARU 2	2,020,618	1,982,770
42	JTSEL - WARU 2	0	0
43	BDRAN-BNGIL	0	0
44	BDRAN-BNGIL	0	0
45	BDRAN-SDATI	0	0
46	BDRAN-SDATI	0	0
47	TNDES-DARMO 1	345,516	360,386

Lanjutan Tabel 4.10 Biaya Power Wheeling Saluran 150 kV Krian –
Gresik Menggunakan Metode MW-Mile Dominant Beban Penuh

No	Nama Saluran	Biaya Weekday (Rp)	Biaya Weekend (Rp)
48	TNDES-DARMO 2	345,699	360,584
49	PERAK-TNDES 1	326,763	306,670
50	PERAK-TNDES 2	326,763	306,670
51	TNDES-SWHAN 1	8,980	16,398
52	TNDES-SWHAN 2	6,908	12,980
53	SWHAN-KRBAN 1	0	0
54	SWHAN-KRBAN 2	0	0
55	GRBRU-TNDES 2	0	0
56	PERAK-UJUNG 1	0	0
57	PERAK-UJUNG 2	0	0
58	SWHAN-UDAAN 1	0	0
59	SWHAN-UDAAN 2	0	0
60	SWHAN-KPANG 1	0	0
61	SWHAN-KPANG 2	0	0
62	KJРАН-UJUNG 2	0	0
63	GLTMR-BKLAN 1	2,429,663	2,038,523
64	GRLMA-GLTMR 1	1,002,426	934,528
65	GRLMA-GLTMR 2	1,002,426	934,528
66	UJUNG-BKLAN	0	0
67	KJРАН-GLTMR	0	0
68	SAMPG-PMKSN	0	1
69	SAMPG-SMNEP	0	0
70	SAMPG-BKLAN 1	0	0
71	SAMPG-BKLAN 2	0	0

Lanjutan Tabel 4.10 Biaya Power Wheeling Saluran 150 kV Krian –
Gresik Menggunakan Metode MW-Mile Dominant Beban Penuh

No	Nama Saluran	Biaya Weekday (Rp)	Biaya Weekend (Rp)
72	PMKSN-SMNEP	0	0
73	SLILO-KJLAN 1	0	0
74	SLILO-KJLAN 2	0	0
75	SLILO-NGAGL 1	0	0
76	SLILO-NGAGL 2	0	0
77	RNKUT-SLILO 1	0	0
78	RNKUT-SLILO 2	0	0
79	SLILO-WKRMO 1	0	0
80	SLILO-WKRMO 2	0	0
81	SBSLN-RNKUT 2	0	0
82	SBSLN-RNKUT 1	0	0
83	NGAGL-SIMPG 1	0	0
84	NGAGL-SIMPG 2	0	0
85	SBRAT-DRYJO	0	0
Total Perhari		Rp 18,126,996.13	Rp 17,036,022.80
Total Pertahun		Rp 4,731,145,990.37	Rp 1,771,746,371.68

Sama halnya dengan kondisi tidak beban penuh, saat beban penuh menggunakan metode MW-Mile Dominant, total biaya lebih besar dibandingkan dengan total biaya dengan menggunakan metode MW-Mile Reserve. Tetapi lebih kecil dari total biaya menggunakan metode MW-Mile Absolute. Total biaya yang harus dibayar dengan metode MW-Mile Dominan adalah sebesar Rp 6,502,892,362,05.

4.2.5 Penerapan LMP

LMP ini diterapkan pada *Firm Transmission Right* (FTR). Pada skenario ini dijelaskan bahwa letak pembangkit tambahan

berada pada bus 27 dan beban tambahan berada pada bus 42. Berdasarkan persamaan 2.27 dengan daya yang ditransferkan sebesar 104 MW, maka *net payment LMP* ialah:

Tabel 4.11 Biaya *Payment LMP*

No	Keadaan	Hari	LMP27 Rp/Mw-hr	LMP42 Rp/Mw-hr	Biaya Rp/MW-hr	Total Biaya Rp/MW-hr
1	Beban Tidak Penuh	Weekday	291854.2	294944.6	Rp 321,400.12	Rp 557,148.43
		Weekend	295322.8	297589.603	Rp 235,748.31	
2	Beban Penuh	Weekday	314390.6	318781.4	Rp 456,648.19	Rp 899,323.38
		Weekend	310195.4	314451.9	Rp 442,675.19	

Perbandingan *LMP Payment* Beban Tidak Penuh & Penuh Rp/MW-hr



Gambar 4.3 Grafik Perbedaan *Payment LMP*

Nilai LMP27 dan LMP42 di atas adalah nilai LMP pada bus 27 dan bus 42 yang didapat dari hasil run *matpower5.0*. Nilai LMP masing masing bus berbeda dikarenakan adanya perbedaan batas saluran aliran daya yang dapat dilewatkan pada saluran tersebut. Nilai LMP juga dipengaruhi dengan besarnya nilai beban pada bus tersebut. Harga Biaya LMP pada saat beban penuh lebih besar dibanding nilai LMP pada saat beban tidak penuh. Harga Biaya LMP tersebut adalah nilai biaya kemacetan yang harus dibayar di setiap jamnya.

4.3 Perbandingan Biaya *Power Wheeling*

Perbandingan perhitungan biaya *power wheeling* pada skenario diatas dapat dilihat pada gambar 4.3 dibawah ini.



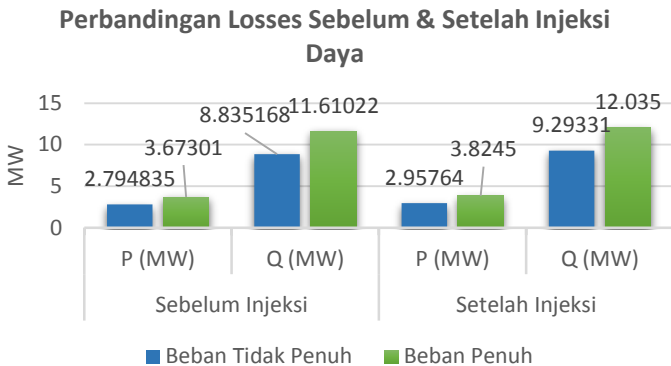
Gambar 4.3 Grafik Perbandingan Biaya Sewa Transmisi

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa saat beban penuh harga *wheeling* lebih mahal dibanding saat beban tidak penuh pada masing-masing metode.

Metode MW-Mile reserve bisa dibilang metode yang paling *fair* dalam menentukan harga sewa transmisi dikarenakan metode MW-Mile reserve menerapkan sistem *pay* dan *reward* dalam perhitungannya. Berdasarkan metode LMP dapat dilihat besar harga lebih rendah dibanding biaya sewa transmisi dengan metode MW-Mile reserve, absolute maupun dominan dikarenakan LMP tidak ada unsur sewa tranmsisi, LMP hanya untuk menggantikan rugi rugi jaringan dan kenaikan biaya operasi karena perubahan *dispatch*.

4.4 Perbandingan Perubahan *Losses* Sistem

Implementasi power wheeling menyebabkan perubahan *losses* sistem. Perbandingan *losses* sistem secara keseluruhan pada skenario yang diterapkan dapat dilihat pada gambar 4.4 dibawah ini.



Gambar 4.4 Grafik Perbandingan *Losses* Sebelum & Sesudah Injeksi Daya

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa *losses* daya aktif dan daya reaktif meningkat seiring dengan adanya injeksi daya. *Losses* daya aktif dan reaktif pada saat beban penuh lebih tinggi dibanding saat beban tidak penuh. Besarnya nilai total *losses* dapat dilihat dalam grafik di atas. Perubahan *losses* sistem dipengaruhi juga oleh letak pembangkit dan beban pada saat terjadi transaksi *power wheeling*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Zaenurijal, Ryan. 2014. *Penempatan Optimal Penyimpan Energi Pada Sistem Distribusi Dengan Pembangkit Tenaga Angin*. Tugas Akhir Pada FTI Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- [2] Ray D, Zimmerman Carlos E. Murillo-S_anchez. December 17, 2014. *Matpower 5.0 User's Manual*.
- [3] Dr. M. Al- Salamah, *Successive Quadratic Programming Method for Constrained Problems*. Industrial Engineering KFUPM.
- [4] Ardiyanto, Tri. 2010. *Alokasi Biaya Sewa Saluran Transmisi Dengan Menggunakan Metode Superposisi Pada Aliran Daya DC*. Tugas Akhir Pada STEI Institut Teknologi Bandung.
- [5] Taufiq, I.S. juni 2014. *Studi Pemanfaatan Bersama Jaringan Transmisi Pada Sistem Transmisi Jawa-Bali*. Skripsi pada FT Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.
- [6] Andrianto, Yudo. 2004. *Perhitungan Pembayaran Sewa Transmisi Berdasarkan Metode MW-Mile Untuk Transaksi Wheeling Pada Sistem Jaringan Tenaga Listrik Jawa Bali*. Tugas Akhir Pada FTI Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- [7] Ardialim, Achmad. 2014. *Studi penentuan tarif power wheeling menggunakan metode MVA-km pada sistem transmisi 500kV Jawa-Bali*. Skripsi pada FT Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.
- [8] Shahidehpour. M., Yamin. H., Li. Z. 2002. *Market Operation in Electric Power System*. New York: John Wiley & Sons, Inc.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Metode MW-Mile membutuhkan analisis aliran daya aktif, menggambarkan penggunaan jaringan yang sebenarnya.
2. Penggunaan *unused capacity* menjadikan metode MW-Mile sudah mencakup keseluruhan biaya karena mempertimbangkan kapasitas jaringan yang tidak digunakan.
3. Metode pendekatan MW-Mile reserve merupakan metode perhitungan paling fair bagi penyewa dan pemilik jaringan transmisi, karena biaya power wheeling sesuai dengan perubahan tingkat pembebanan saluran transmisi. Hal ini karena pada metode MW-Mile reserve menerapkan sistem *pay and reward* dalam perhitungannya.
4. Metode pendekatan MW-Mile Absolute menerapkan sistem *all pay* sehingga menjadikan metode yang paling mahal dibanding metode MW-Mile yang lain.
5. Metode pendekatan MW-Mile Dominant menerapkan prinsip *pay and release* sehingga menjadikan metode ini kurang cocok diterapkan dikenyataannya karena tidak mempertimbangkan arah aliran daya negatif.
6. Implementasi *power wheeling* dengan asumsi arah aliran daya tambahan searah dengan arah aliran daya sistem (*dominant flow*) tidak selalu menyebabkan total *losses* jaringan bertambah besar. Perubahan nilai *losses* sistem dipengaruhi oleh letak pembangkit dan beban *power wheeling*.
7. LMP tidak ada unsur sewa transmisi, LMP hanya untuk menggantikan rugi rugi jaringan dan kenaikan biaya operasi karena perubahan *dispatch*

8. Untuk dapat menggunakan metode penentuan biaya jaringan transmisi lain, PT. P3B JB perlu melakukan evaluasi terhadap data keuangannya sehingga data keuangan jaringan transmisi per segmen per satuan panjang jaringan transmisi dapat diketahui.

5.2 Saran

1. Perlu dilakukan penelitian yang terkait dengan kapasitas jaringan transmisi Jawa-Bali, untuk mengetahui saluran-saluran yang dapat digunakan dalam aplikasi *wheeling* tenaga listrik.
2. Perlu dilakukan penelitian tentang peletakan pembangkit tambahan yang optimal. Peletakan pembangkit agar *power wheeling* menjadi optimal ini memiliki beberapa tujuan. Pertama bertujuan agar mendapatkan biaya seminimal mungkin. Dan yang kedua adalah mendapatkan nilai *losses* sistem seminimal mungkin.

Lampiran 1 Perbandingan OPF Simulasi dan PLN

Saluran	From Bus	To Bus	Simulasi	PLN	% Δ Simulasi & PLN
SBBRT-SBRAT	22	34	829.2504	856.1	3.14%
GRSIK-GRSIK150KV	21	50	92.17803	164.7	44.03%
SGMDU-BRATA 2	26	28	0.5	0.5	0.00%
SGMDU-BRATA 2	26	28	0.5	0.5	0.00%
SGMDU-PKMIA 1	26	29	14.55151	14.8	1.68%
SGMDU-PKMIA 2	26	29	14.74849	14.8	0.35%
GRLMA-SGMDU 1	27	26	13.32436	41	67.50%
GRLMA-SGMDU 2	27	26	13.32436	41	67.50%
GRLMA-SGMDU 3	27	26	8.728733	39.3	77.79%
SGMDU-LNGAN 1	26	30	55.10992	58.5	5.80%
SGMDU-LNGAN 2	26	30	55.10992	58.5	5.80%
SGMDU-ALTAP	26	31	-78.3698	-59.5	24.08%
LNGAN-BABAT 1	30	32	19.3	65.15	70.38%
LNGAN-BABAT 2	30	32	19.3	65.15	70.38%
LNGAN-PCRAN 1	30	33	15.3	15.3	0.00%
LNGAN-PCRAN 2	30	33	15.3	15.3	0.00%
ALTAP-SBRAT 1	31	34	-89.0772	-71.4	19.84%
ALTAP-SBRAT 2	31	34	-89.0772	-71.4	19.84%
GRLMA-ALAP	27	31	0.387609	32.8	98.82%
SGMDU-ALTAP	26	31	-78.3698	-59.5	24.08%
SBBRT-BBDAN	34	35	43.34455	50.5	14.17%
DRYJO-BBDAN	37	35	11.25545	28.7	60.78%
SBRAT-KLANG 1	34	36	129.7209	130.25	0.41%
SBRAT-KLANG 2	34	36	129.7209	130.25	0.41%
SBRAT-SWHAN1	34	38	83.17691	66.45	20.11%
SBRAT-SWHAN2	34	38	83.17691	66.45	20.11%

Saluran	From Bus	To Bus	Simulasi	PLN	%Δ Simulasi & PLN
SBRAT-TNDES 1	34	39	33.86952	34.55	1.97%
SBRAT-TNDES 2	34	39	33.86952	34.55	1.97%
WARU-KLANG 2	40	36	-97.7136	-98.25	0.55%
WARU-KLANG-1	40	36	-97.7136	-98.25	0.55%
WARU-BDRAN5 1	40	41	58.197	62	6.13%
WARU-BDRAN5 2	40	41	58.197	62	6.13%
WARU-ISPDO 1	40	42	2.65	2.5	5.66%
WARU-ISPDO 2	40	42	2.65	2.5	5.66%
WARU-RNKUT 1	40	43	171.3446	214.5	20.12%
WARU-RNKUT 2	40	43	171.3446	214.5	20.12%
WARU-SWHAN 1	40	38	-99.3278	-79.75	19.71%
WARU-SWHAN 2	40	38	-99.3278	-79.75	19.71%
DARMO-WARU 1	44	40	60.30176	49.15	18.49%
DARMO-WARU 2	44	40	60.30176	49.15	18.49%
GRLMA - WARU 1	27	40	27.38846	130	78.93%
GRLMA - WARU 2	27	40	27.38846	130	78.93%
JTSEL - WARU 2	45	40	1.70E-12	0	0.00%
BDRAN-BNGIL	41	46	12.545	12.6	0.44%
BDRAN-BNGIL	41	46	12.545	12.6	0.44%
BDRAN-SDATI	41	47	2.89E-12	0	0.00%
BDRAN-SDATI	41	47	2.89E-12	0	0.00%
TNDES-DARMO 1	39	44	94.43842	83.3	11.79%
TNDES-DARMO 2	39	44	94.48006	83.3	11.83%
PERAK-TNDES 1	48	39	-77.4577	-54.5	29.64%
PERAK-TNDES 2	48	39	-77.4577	-54.5	29.64%
TNDES-SWHAN 1	39	38	105.199	105.2	0.00%
TNDES-SWHAN 2	39	38	70.55038	81	12.90%

Saluran	From Bus	To Bus	Simulasi	PLN	%Δ Simulasi & PLN
SWHAN-KRBAN 1	38	49	21.75	20.75	4.60%
SWHAN-KRBAN 2	38	49	21.75	20.75	4.60%
GRBRU-TNDES 2	50	39	570.9489	603.2	5.35%
PERAK-UJUNG 1	48	51	72.8415	94.4	22.84%
PERAK-UJUNG 2	48	51	72.8415	94.4	22.84%
SWHAN-UDAAN 1	38	52	11.7	11.9	1.68%
SWHAN-UDAAN 2	38	52	11.7	11.9	1.68%
SWHAN-KPANG 1	38	53	18.6	18.9	1.59%
SWHAN-KPANG 2	38	53	18.6	18.9	1.59%
KJLAN-UJUNG 2	54	51	-49.0059	-54.75	10.49%
GLTMR-BKLAN 1	55	56	92.99277	102.4	9.19%
GRLMA-GLTMR 1	27	55	67.15694	68.1	1.38%
GRLMA-GLTMR 2	27	55	67.15694	68.1	1.38%
UJUNG-BKLAN	51	56	76.71751	58.48	23.77%
KJLAN-GLTMR	54	55	-34.1062	-109	68.71%
SAMPG-PMKSN	57	58	57.65612	50.2	12.93%
SAMPG-SMNEP	57	59	29.34652	26.2	10.72%
SAMPG-BKLAN 1	57	56	-64.6935	-59.85	7.49%
SAMPG-BKLAN 2	57	56	-64.6935	-59.85	7.49%
PMKSN-SMNEP	58	59	8.45348	12.6	32.91%
SLILO-KJLAN 1	60	54	-3.55598	-3.8	6.42%
SLILO-KJLAN 2	60	54	-3.55598	-3.8	6.42%
SLILO-NGAGL 1	60	61	25.53523	26.05	1.98%
SLILO-NGAGL 2	60	61	25.53523	26.05	1.98%
RNKUT-SLILO 1	43	60	96.83038	139.65	30.66%
RNKUT-SLILO 2	43	60	96.83038	139.65	30.66%
SLILO-WKRMO 1	60	62	30.8	30.9	0.32%

Saluran	From Bus	To Bus	Simulasi	PLN	%Δ Simulasi & PLN
SLILO-WKRMO 2	60	62	30.8	30.9	0.32%
SBSLN-RNKUT 2	63	43	-14.5	-14.6	0.68%
SBSLN-RNKUT 1	63	43	-14.5	-14.6	0.68%
NGAGL-SIMPG 1	61	64	17.15	26.05	34.17%
NGAGL-SIMPG 2	61	64	17.15	26.05	34.17%
SB RAT-DRYJO	34	37	87.65613	88.8	1.29%