



TUGAS AKHIR - EE 184801

**STUDI MANAJEMEN ALIRAN DAYA UNTUK
SISTEM HYBRID PLTS INTERKONEKSI DENGAN
SISTEM KELISTRIKAN 20 KV PLN TOMIA**

Sebastian Pratama Ateng
NRP 07111540000145

Dosen Pembimbing
Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D.
Dr. Ir. Soedibyo, M. MT.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019



FINAL PROJECT - EE 184801

**POWER FLOW MANAGEMENT FOR HYBRID PV
SYSTEM INTERCONNECTED TO 20 KV GRID SYSTEM
PLN TOMIA**

Sebastian Pratama Ateng
NRP 07111540000145

Supervisors
Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D.
Dr. Ir. Soedibyo, M. MT.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Electrical Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “**STUDI MANAJEMEN ALIRAN DAYA UNTUK SISTEM HYBRID PLTS INTERKONEKSI DENGAN SISTEM KELISTRIKAN 20 KV PLN TOMIA**” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juni 2019

Sebastian Pratama Ateng
07111540000145

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

**STUDI MANAJEMEN ALIRAN DAYA UNTUK SISTEM
HYBRID PLTS INTERKONEKSI DENGAN SISTEM
KELISTRIKAN 20 KV PLN TOMIA**

TUGAS AKHIR

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

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

**Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D.
NIP. 19731119 200003 1 001**

**Dr. Ir. Soedibyo, M.MT.
NIP. 19551207 198003 1 004**



Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

STUDI MANAJEMEN ALIRAN DAYA UNTUK SISTEM HYBRID PLTS INTERKONEKSI DENGAN SISTEM KELISTRIKAN 20 KV PLN TOMIA

Sebastian Pratama Ateng
0711154000145

Dosen Pembimbing 1 : Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D.
Dosen Pembimbing 2 : Dr. Ir. Soedibyo, M.MT.

ABSTRAK

Potensi energi matahari sebagai sumber daya energi terbarukan menjadi salah satu alternatif untuk menambah kapasitas energi dalam memenuhi kebutuhan beban. Dengan memanfaatkan teknologi sistem hybrid PLTS menggunakan sistem *photovoltaic*/PV dan baterai telah banyak diaplikasikan untuk menambah kapasitas pembangkitan energi dengan sumber energi terbarukan. Pada sistem kelistrikan PLN Tomia terdapat empat sistem PLTS yang berada pada empat lokasi yang berbeda dengan masing – masing pembangkit terinterkoneksi dengan grid pada jaringan 20 kV dan sumber pembangkit grid berupa diesel generator. Untuk itu diperlukan suatu studi dalam manajemen aliran daya antara PLTS (PV)-Baterai dengan grid generator untuk memenuhi seluruh kebutuhan beban selama 24 jam. Dalam studi ini akan merancang jadwal aliran daya yang optimal dengan batasan – batasan setiap komponen yang terintegrasi pada sistem. Hasil dari perhitungan ini adalah daya keluaran pembangkitan dengan biaya minimum pada tiap level beban dengan menggunakan metode quadratic programming pada perhitungan DC optimal power flow dengan biaya pembangkitan paling optimal hybrid seharga \$1.660 dan diesel \$6.340 dengan kondisi SOC baterai awal rata-rata 80%.

Kata kunci: Photovoltaic, energy storage, optimal power flow, quadratic programming, grid connected system

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

POWER FLOW MANAGEMENT FOR HYBRID PV SYSTEM INTERCONNECTED TO 20 KV GRID SYSTEM PLN TOMIA

Sebastian Pratama Ateng
07111540000145

1st Advisor : Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D.
2nd Advisor : Dr. Ir. Soedibyo, M.MT.

ABSTRACT

Solar energy potential as one of a renewable energy source sources can be utilized as an alternative energy for additional capacity in order to supply the required load. Implementing hybrid system of Solar Farm with photovoltaic cell and battery, the energy potential might be leveraged as additional energy supply or as a reserve. The system installed in PLN Tomia, Southeast Sulawesi plant, four locations of solar farms are built and interconnected to 20 kV grid distribution system with the main grid generation diesel generator. Optimal power flow is required to manage the power flow between solar farms system, battery and diesel generator for supplying the customer load in 24 hours. The research conducted the design of optimal scheduling of each generator and considering the corresponding constraints for each components that integrated within the system. The output of this calculation are generation power and energy storage power in each period with minimum generation cost utilizing quadratic programming method on DC optimal power flow calculation resulting total optimal generation cost \$1.660 for hybrid generation and \$6.340 for diesel generation with the average initial SOC of four batteries around 80%.

Key Word: Photovoltaic, Energy Storage, Optimal Power Flow, Quadratic Programming, Grid Connected System

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur senantiasa penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa. Karena atas limpahan berkah dan rahmat dan penyertaan-Nya, penulis dapat menyelesaikan buku penelitian ini dengan judul **“Studi Manajemen Aliran Daya untuk Sistem Hybrid PLTS Interkoneksi dengan Sistem Kelistrikan 20 kV PLN Tomia”**. Buku ini penulis persembahkan khususnya untuk keluarga penulis dan umumnya untuk bahan referensi penelitian selanjutnya. Penulisan buku penelitian ini dilakukan dengan penuh kesungguhan agar penelitian ini dapat bermanfaat di masa yang akan datang, namun penulis menyadari bahwa buku penelitian ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran dari pembaca untuk perbaikan di masa yang akan datang.

Selama pengerjaan penelitian ini, penulis mendapatkan banyak bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada semua pihak yang membantu dan membimbing dalam proses pengerjaan penelitian ini :

1. Kedua orang tua tercinta, Bapak Handi Ateng dan Ibu Fransiska yang selalu memberikan doa dan dukungan yang sangat berarti selama penyusunan penelitian.
2. Bapak Dedet Candra Riawan, S.T., M.Eng., Ph.D. dan Bapak Dr. Ir. Soedibyo, M. MT. selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan masukan dan bimbingan sehingga buku penelitian ini dapat diselesaikan dengan sebaik mungkin.
3. Bapak Dr. Rony Seto Wibowo ST., MT. yang memberikan saran dan masukan dalam pengerjaan metode penelitian yang dijalankan.
4. Teman-teman asisten Laboratorium Konversi Energi B101 yang selalu memberikan support dan semangatnya.
5. Nadya Juliana Bano atas waktu, dukungan moral dan ceritanya yang selalu mendukung selama pengerjaan.
6. Rekan – rekan grup Balikpapan Doli Sihombing, Adrian Hartanto, Leonard Chandra, Halim Chandra atas bantuan dan semangat dalam hidup.

7. Teman-teman e55 yang telah berjuang bersama semenjak awal masuk perkuliahan.
8. Dan semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

Penulis mengucapkan terima kasih atas segala doa dan dukungan yang telah diberikan kepada penulis selama ini. Penulis juga memohon maaf atas segala kekurangan pada penelitian ini. Semoga penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi mahasiswa Teknik Elektro ITS pada khususnya dan seluruh pembaca pada umumnya.

Surabaya, Juni 2019

Sebastian Pratama Ateng

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	iii
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT.....	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL.....	xvii
BAB I.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Tugas Akhir.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Metodologi.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
1.7 Relevansi.....	6
BAB 2.....	7
2.1 Sistem Tenaga Listrik Hybrid PLTS-Baterai.....	7
2.2 Sistem Photovoltaic.....	9
2.3 Sistem Baterai.....	10
2.4 Aliran Daya Optimal Arus Searah (DCOPF).....	12
2.5 Metode Quadratic Programming.....	15
2.6 <i>Life Cycle Costing Analysis</i>	15
2.6.1 Nilai Waktu Uang.....	16
2.6.2 Life-Cycle Costing.....	17
BAB 3.....	19

3.1	Algoritma	19
3.2	Quadratic Programming pada MATLAB.....	20
3.3	Implementasi Quadratic Programming pada Dynamic DC Optimal Power Flow.....	21
3.3.1	Inisialisasi fungsi objektif dan constraint	21
3.3.2	Variabel kontrol	23
3.3.3	Pembentukan vektor x_{\max} dan x_{\min}	24
3.3.4	Pembentukan matriks H dan C	25
3.3.5	Pembentukan matriks A	25
3.3.6	Pembentukan vektor lb dan ub	26
3.4	Sistem Kelistrikan Jaringan PLN Tomia 20 kV	29
3.5	Sistem Kelistrikan PLTS-Baterai PLN Tomia 20 kV.....	31
3.3	Load Profile Eksisting.....	32
3.4	Pola Pengoperasian Sementara.....	32
BAB 4	35
4.1	Data Model Dynamic OPF Sistem Tomia 20 kV	35
4.2	Simulasi Sistem Hybrid PLTS PLN Tomia 20 kV	40
4.2.1	Optimal Scheduling Kondisi Baterai Penuh	40
4.2.2	Optimal Scheduling Kondisi Baterai Minimum	43
4.2.3	Optimal Scheduling SOC minimum 5%	47
4.2.4	Optimal Scheduling Kondisi Iradiasi Minimum	50
4.3	Analisis Pola Pengoperasian Manual dan Optimal	54
BAB 5	57
5.1	Kesimpulan.....	57
5.2	Saran	57
DAFTAR PUSTAKA	59
LAMPIRAN	61

BIOGRAFI PENULIS 89

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sistem Kelistrikan Pembangkit-Distribusi-Beban	7
Gambar 2.2 Sistem Interkoneksi Hybrid <i>AC-Coupled</i> Tipikal	8
Gambar 2.3 <i>Kurva Input-Output</i>	9
Gambar 3.1 Diagram Alur Penyelesaian Tugas Akhir (a).....	19
Gambar 3.2 Diagram Alur Penyelesaian Tugas Akhir (b).....	20
Gambar 3.3 Sistem Kelistrikan 3 bus	25
Gambar 3.4 Single Line Diagram Sistem Tomia 20 kV.....	30
Gambar 3.5 Skema Interkoneksi PLTS(PV)-Baterai Tipikal	31
Gambar 3.6 Load Profile Operasi Sistem PLN Tomia	32
Gambar 3.7 Grafik Penjadwalan Daya Terbangkit Manual	33
Gambar 4.1 Grafik daya terbangkit kondisi baterai penuh.....	41
Gambar 4.2 Grafik daya PV-Baterai pada kondisi baterai penuh...	41
Gambar 4.3 Grafik energi baterai kondisi penuh	42
Gambar 4.4 Grafik posisi SOC baterai kondisi baterai penuh	43
Gambar 4.5 Grafik daya terbangkit kondisi baterai minimum	44
Gambar 4.6 Grafik PV-Baterai kondisi baterai minimum.....	45
Gambar 4.7 Grafik energi baterai kondisi baterai minimum	46
Gambar 4.8 Grafik SOC kondisi baterai minimum.....	46
Gambar 4.9 Grafik daya terbangkit SOC minimum 5%	48
Gambar 4.10 Grafik PV-Baterai constraint SOC minimum 5%	48
Gambar 4.11 Grafik energi baterai SOC minimum 5%	49
Gambar 4.12 Grafik SOC baterai constraint SOC minimum 5% ...	50
Gambar 4.13 Grafik daya terbangkit iradiasi minimum.....	51
Gambar 4.14 Grafik daya PV-Baterai iradiasi minimum.....	52
Gambar 4.15 Grafik energi baterai iradiasi minimum... ..	52
Gambar 4.16 Grafik SOC baterai iradiasi minimum.....	53
Gambar 4.17 Grafik cost structure sistem hybrid PLTS-Baterai...	55
Gambar 4.18 Grafik perbandingan daya pembangkitan.....	55

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Data Beban Waktu 24 jam.....	34
Tabel 4.1 Data diesel generator.....	35
Tabel 4.2 Spesifikasi Sistem Photovoltaic Eksisting	35
Tabel 4.3 Spesifikasi modul <i>photovoltaic</i>	36
Tabel 4.4 Data iradiasi matahari dan temperatur	36
Tabel 4.5 Kapasitas baterai di tiap lokasi	37
Tabel 4.6 Spesifikasi baterai di tiap lokasi	37
Tabel 4.7 Perhitungan LCC untuk sistem PV-Baterai.....	38
Tabel 4.8 Data jaringan distribusi 20 kV PLN Pulau Tomia	39
Tabel 4.9 Kondisi awal saat simulasi kasus pertama	40
Tabel 4.10 Kondisi awal baterai kondisi baterai minimum	44
Tabel 4.11 Kondisi baterai <i>constraint minimum</i> 5%	47
Tabel 4.12 Data iradiasi matahari dan temperatur kasus 4	51

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi matahari menjadi salah satu energi alternatif baru terbarukan yang memiliki salah satu potensial terbesar yang terdapat di Indonesia, upaya pemanfaatan dari potensi energi terbarukan ini terus diusahakan. Potensi Indonesia yang terletak di daerah khatulistiwa menjadi posisi yang strategis untuk menerapkan energi baru terbarukan, khususnya energi matahari atau solar energi.

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia sudah menetapkan target penggunaan energi baru terbarukan di Indonesia sebesar 31% pada tahun 2025 dari total energi yang telah kita konsumsi. Salah satu aspek dari energi baru terbarukan itu adalah energi matahari, penerapan energi matahari di Indonesia sudah diimplementasikan pada daerah residential, industri dan skala PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya)[1]. Sistem penyimpanan berupa baterai juga diimplementasikan untuk mengurangi sifat *intermittent* dari pembangkit energi terbarukan untuk memastikan keandalan dan koordinasi dengan *utility grid*[2].

Dalam penelitian ini PLTS yang digunakan berupa pembangkit listrik yang menggunakan sel *photovoltaic (PV)* yang memanfaatkan energi dari sinar matahari, dimana selanjutnya sistem PLTS dimaksud PLT *Photovoltaic*. Hal ini menjadi tantangan teknis untuk mengintegrasikan sistem hybrid dengan sistem kelistrikan yang sudah ada, sistem hybrid antara PV-Baterai dengan *grid* dapat dioperasikan secara efektif dan maksimal.

Dalam operasi antara sistem hybrid PV-Baterai dengan grid terdapat kendala teknis yang harus dihadapi, dibutuhkan suatu manajemen aliran daya antara *photovoltaic*, baterai dan grid yang optimal sehingga dapat memenuhi kebutuhan beban yang diperlukan[3].

Optimal power flow merupakan bentuk economic dispatch yang mempertimbangkan aliran daya pada saluran transmisi. OPF berfungsi untuk mengatur pembebanan setiap pembangkit pada suatu sistem kelistrikan yang terkoneksi dengan memperhatikan batasan operasi yang dilakukan untuk pembebanan selama 24 jam[4].

Penelitian ini menganalisis penggunaan aliran daya optimal DC diintegrasikan dengan PLTS (*photovoltaic*) dan sistem *battery storage* yang terhubung dengan *diesel generator*. Operasi optimal pembangkitan dilakukan dengan memperhatikan batasan operasi dari diesel generator yang bertujuan untuk meminimalkan total biaya pembangkitan dengan integrasi oleh *photovoltaic* dan sistem baterai.

Dynamic Direct Current Optimal Power Flow akan digunakan untuk mendapatkan nilai yang optimal pada pembebanan setiap jam untuk masing – masing pembangkit menggunakan *Quadratic Programming* pada sistem *grid connected*.

Analisis dilakukan pada sistem kelistrikan hybrid *Photovoltaic*-Baterai PLN Pulau Tomia interkoneksi dengan sistem 20 kV, Sulawesi Tenggara, Indonesia untuk mendapatkan penjadwalan yang optimal memenuhi kebutuhan beban selama 24 jam dengan memperhitungkan faktor iradiasi matahari, cuaca dan temperatur pada area sistem *Photovoltaic*-Baterai Pulau Tomia.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang yang telah dijelaskan didapatkan permasalahan utama yaitu diperlukan adanya perencanaan pembebanan sumber pembangkit yang paling optimal untuk memenuhi kebutuhan beban dengan sumber pembangkit yang tidak menentu/*intermittent* berupa *photovoltaic* dan sistem penyimpanan energi baterai.

Permasalahan utama interkoneksi dengan sistem penyimpanan energy baterai adalah manajemen aliran daya untuk setiap sumber. Dalam penelitian tugas akhir ini akan membahas penjadwalan manajemen aliran daya yang dirancang selama selang waktu per jam dengan pertimbangan batasan rating setiap komponen PLTS, generator dan kapasitas sistem baterai, daya beban untuk memenuhi kebutuhan beban selama 24 jam beroperasi penuh dan dengan total biaya paling ekonomis. Selain itu kapasitas saluran dan batasan SOC sistem baterai dan daya pembangkitan generator akan menjadi pertimbangan untuk *optimal power flow*.

1.3 Tujuan Tugas Akhir

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

1. Membuat program pembebanan ekonomis pembangkit dynamic optimal power flow arus searah terintegrasi dengan sistem PLTS (*photovoltaic*) dan sistem penyimpanan baterai
2. Merancang model penjadwalan untuk sistem kelistrikan hybrid pada *Photovoltaic*-Baterai-PLTD (Grid) pada PLN Tomia jaringan 20 kV
3. Mendapatkan penjadwalan aliran daya optimal untuk sistem *Photovoltaic*-Baterai-PLTD(Grid) untuk memenuhi beban selama 24 jam

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Tidak memperhatikan peralatan elektronika daya
2. Tegangan baterai konstan
3. Daya *discharge* dan *charge* baterai memiliki efisiensi 100%
4. Beban dinamis selama 24 jam dengan selang waktu 1 jam
5. Rugi pada jaringan diabaikan
6. Rugi umur baterai diabaikan
7. Simulasi menggunakan software MATLAB

1.5 Metodologi

Penelitian ini akan melakukan studi analisis terhadap penjadwalan pembebanan optimal pada setiap pembangkit pada sistem kelistrikan PLN Tomia jaringan 20 kV untuk beban dinamis selama 24 jam dengan memperhatikan batasan *ramp rate* generator, besaran saluran dan kontribusi dari *energi storage*. *Quadratic programming* digunakan untuk menyelesaikan perhitungan dynamic DCOPF. Perhitungan optimal *Dynamic* DCOPF akan disimulasikan dalam program M-file. Tahapan dalam pengerjaan penelitian ini adalah:

1. Studi literatur
Literatur yang digunakan mengacu pada referensi jurnal ilmiah, buku cetak dan paper conference. Literatur yang dipelajari meliputi sistem hybrid pembangkit PLTS dan baterai, *optimal power flow* dan penggunaan quadratic programming pada *Matlab Matpower* untuk perhitungan *Dynamic DCOPF*.
2. Pengumpulan data
Data yang diperlukan pada analisis yaitu data pembangkitan *diesel/photovoltaic/battery*, data saluran dan data beban untuk sistem kelistrikan di Pulau Tomia. Data pembangkitan terdiri dari kapasitas tiap pembangkitan, koefisien biaya dan *ramp rate*, selain itu juga data iradiasi matahari dan temperatur pada daerah Pulau Tomia. Data saluran terdiri dari impedansi dan kapasitas setiap saluran. Data beban yaitu beban dinamis yang terdapat pada setiap bus dengan rentang waktu satu jam.
3. Simulasi dan analisis
Simulasi dilakukan menggunakan *quadratic programming* pada *MATLAB Matpower* dengan permasalahan dan batasan yang ditentukan sesuai dengan spesifikasi sistem kelistrikan PLN Tomia jaringan 20 kV. Kemudian disimulasikan beberapa kondisi sistem dan dilakukan analisa pada tiga skenario yang berbeda.
4. Penulisan buku
Hasil penelitian yang telah dilakukan dilaporkan dalam bentuk laporan tugas akhir dan dikembangkan dalam bentuk jurnal. Hasil studi analisis laporan ditulis berdasarkan kesimpulan dan hasil analisis permasalahan beserta tahapan – tahapannya.

1.6 Sistematika Penulisan

Laporan Tugas Akhir ini disusun dalam suatu sistematika sebagai berikut:

Bab 1 : PENDAHULUAN

Bab ini membahas mengenai latar belakang, perumusan masalah, tujuan tugas akhir, batasan masalah, metodologi, sistematika penulisan, serta relevansi dari Tugas Akhir.

Bab 2 : MANAJEMEN ALIRAN DAYA OPTIMAL SISTEM HYBRID PLTS-BATERAI

Bab ini berisi dasar teori mengenai sistem kelistrikan hybrid PLTS-Baterai, *optimal power flow*, *DC power flow*, *Dynamic Optimal Power Flow*, sistem PLTS, *energi storage*, serta penjelasan tentang *quadratic programming*.

Bab 3 : QUADRATIC PROGRAMMING DYNAMIC DC OPTIMAL POWER FLOW DALAM SISTEM KELISTRIKAN HYBRID PLTS PLN TOMIA SISTEM 20 KV

Bab ini menjelaskan mengenai sistem kelistrikan eksisting di Pulau Tomia jaringan 20 kV, data peralatan yang digunakan, data beban yang disuplai, penerapan DC *optimal power flow* dengan metode *quadratic programming* dan pola pengoperasian sementara yang belum dioptimalkan.

Bab 4 : ANALISA DAN SIMULASI

Menjelaskan tentang hasil simulasi aliran daya dinamis optimal DC dengan model sistem kelistrikan PLN Pulau Tomia jaringan 20 kV menggunakan *quadratic programming* dan analisis dari setiap skenario simulasi yang dilakukan serta melakukan perbandingan antara pola pengoperasian manual dan pola operasi optimal.

Bab 5 : PENUTUP

Kesimpulan yang diperoleh dari hasil pembahasan masalah dan saran – saran yang dapat dilakukan yang berhubungan dengan pokok – pokok pembahasan.

1.7 Relevansi

Hasil yang diperoleh dari Tugas Akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

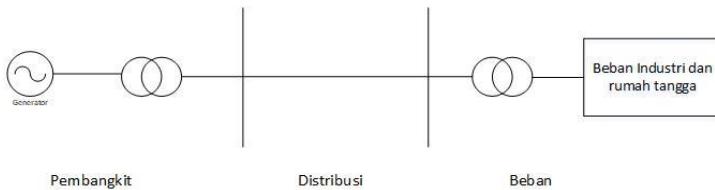
1. Memberikan manfaat terhadap perkembangan sistem tenaga pada permasalahan mengenai aliran daya optimal dengan integrasi PLTS dan *energi storage* serta implementasi studi analisis pola operasi pada sistem kelistrikan eksisting
2. Dapat menambah penguasaan ilmu pengetahuan dan teknologi (IPTEK) dibidang optimasi pembangkitan tenaga listrik bagi penulis
3. Dapat menjadi referensi bagi mahasiswa lain yang akan mengambil Tugas Akhir dengan topik yang serupa

BAB 2

MANAJEMEN ALIRAN DAYA OPTIMAL SISTEM HYBRID PLTS-BATERAI

2.1 Sistem Tenaga Listrik Hybrid PLTS-Baterai

Dalam definisinya sistem *hybrid generation* adalah sebuah sistem kelistrikan dengan beberapa sumber energi alternatif, salah satunya adalah dengan energi matahari menggunakan sel *photovoltaic*. Pada sistem tenaga listrik yang diteliti memiliki 3 bagian utama, yaitu pembangkitan, distribusi dan beban, seperti pada gambar skema berikut[5].



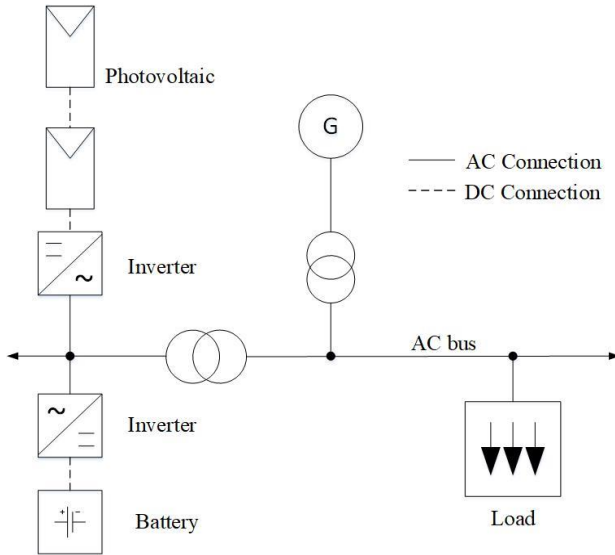
Gambar 2.1 Sistem Kelistrikan Pembangkit-Distribusi-Beban

Energi listrik dibangkitkan oleh pembangkit tenaga listrik dimulai dari sisi pembangkitan, pembangkit yang digunakan dapat berupa PLTG, PLTU, PLTGU yang menggunakan energi fosil sedangkan PLTA, PLTB, PLTS atau PLT Geothermal merupakan pembangkit energi alternatif baru terbarukan. Saluran transmisi dan distribusi berfungsi untuk menyalurkan daya listrik ke beban.

Pada sistem model hybrid khususnya dengan PLTS terdapat dua macam koneksi yang digunakan yaitu *grid connected* dan *islanded system*. Pada sistem *grid connected* dibagi menjadi dua kategori: *direct connection* dan interkoneksi dengan sistem penyimpanan energi berupa baterai. Kemudian dari sistem *grid-connected* dengan baterai dibedakan menjadi dua jenis interkoneksi yaitu sistem *ac-coupled* atau sistem *dc-coupled*[6].

Pada penelitian ini sistem yang dibahas pada sistem kelistrikan PLN Tomia jaringan 20 kV ini adalah skema interkoneksi *grid* dengan sistem penyimpanan energi menggunakan topologi *ac-coupled*. Hubungan *ac-coupled* ini diinterkoneksi pada level

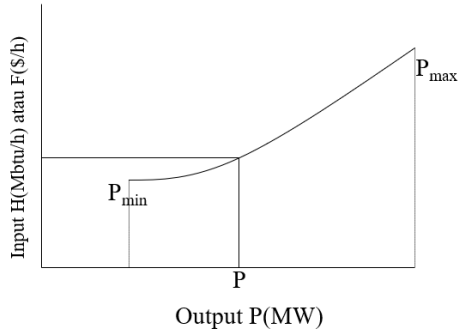
tegangan rendah. Kelebihan dari topologi *ac-coupled* lebih cocok untuk sistem PLTS dengan kapasitas besar karena semua komponen berada pada level tegangan yang sama yang dapat memudahkan integrasi setiap pembangkit alternatif pada bus yang sama[2].



Gambar 2.2 Sistem Interkoneksi Hybrid *AC-Coupled* Tipikal

Pada gambar 2.2 menunjukkan koneksi interkoneksi sistem hybrid dengan AC-Coupled pada level tegangan rendah. Keluaran aliran daya AC dari sistem hybrid ini akan dinaikkan ke level tegangan menengah agar bisa di injeksikan ke jaringan distribusi.

Unit pembangkit termal atau biasa yang disebut generator adalah pembangkit yang menghasilkan energi listrik dari energi panas (termal). Pembangkit termal di deskripsikan dengan karakteristik kurva input-output (bahan bakar dan daya output) untuk melakukan pengoperasian pembangkit secara optimal dan ekonomis. Unit pembangkitan termal ini berupa pembangkit listrik yang menggunakan bahan bakar batu bara, diesel, dan gas.



Gambar 2.3 Kurva Input-Output

Pengaruh perubahan *input* (bahan bakar) berbanding lurus dengan *output* (daya) dari pembangkitan unit termal. Input dari kurva karakteristik tersebut dapat berupa energi panas yang dibutuhkan (H) dalam $Mbtu/h$ atau dikonversikan ke dalam nilai ekonomis berupa total biaya produksi per-jam (F) dalam $$/h$. Kurva karakteristik input output ini direpresentasikan dengan kurva non-linear fungsi kuadrat, yang di modelkan sebagai berikut:

$$F_h(P_h) = a P_h^2 + b P_h + c \quad (2.1)$$

Dengan,

F_h = Total biaya operasi pembangkit termal ($$/h$)

a, b, c = Koefisien pembangkit termal

P_h = Daya yang dibangkitkan pembangkit termal per-jam (MW)

2.2 Sistem Photovoltaic

Daya yang dibangkitkan oleh peembangkit listrik tenaga surya memiliki karakteristik yang intermiten dan berubah – ubah sesuai tergantung oleh cuaca. Pada sistem pembangkitan menggunakan *photovoltaic*, output tenaga listrik yang dihasilkan bergantung pada faktor utama yaitu iradiasi matahari dan temperatur.

Iradiasi matahari berbanding lurus dengan daya listrik yang dihasilkan oleh sistem *photovoltaic*, parameter yang digunakan dalam sistem *photovoltaic* diuji pada *standard test condition* (STC), pada umumnya yaitu saat data iradiasi yang diterima oleh PV sebesar 1000

W/m^2 dan temperatur sel $25^\circ C$, parameter *standard test condition* pada setiap manufaktur modul PV secara umum sama tetapi ada beberapa manufaktur yang menggunakan ukuran standard yang berbeda.

Daya output PV dapat dikalkulasi berdasarkan persamaan (2.2). Karena pada pengoperasiannya PV tidak menggunakan bahan bakar, maka biaya bahan bakar untuk pembangkitan oleh PV dapat diabaikan tetapi dihitung berdasarkan besaran investasi. Rumusan dari daya terbangkit modul PV dapat dimodelkan sebagai berikut:

$$P_M(G_{eff}, T_c) = P_{STC} \cdot \frac{G_{eff}}{G^*} [1 - \gamma(T_c - T_c^*)] \cdot N_s \cdot N_p \quad (2.2)$$

$$T_c = T_a + C_t \cdot G_{eff} \quad (2.3)$$

$$C_t = \frac{NOCT(C^o)-20}{G^*} \quad (2.4)$$

Dengan,

P_M = Daya output PV (Watt)

P_{STC} = Daya maksimal PV saat *standard test condition* (Watt)

G_{eff} = Irradiasi matahari efektif (W/m^2)

G^* = Irradiasi matahari saat *standard test condition* (W/m^2)

γ = koefisien temperature ($\%/^\circ C$)

T_c = Temperatur aktual sel PV ($^\circ C$)

T_c^* = Temperatur sel PV saat *standard test condition* ($^\circ C$)

N_s = Jumlah modul PV seri

N_p = Jumlah modul PV paralel

T_a = Temperatur lingkungan ($^\circ C$)

2.3 Sistem Baterai

Daya yang dibangkitkan oleh *Photovoltaic* tidak tetap dan stabil, tetapi berfluktuasi dan tergantung pada iradiasi matahari atau bisa disebut bersifat intermiten. Penggunaan baterai sebagai *energy*

storage dapat menjaga energi yang dihasilkan oleh PV untuk menjaga kestabilan penyaluran daya pada sistem. Sistem baterai sebagai *energy storage* menjadi salah satu solusi untuk masalah pembangkitan yang tidak menentu.

Pada umumnya tipe baterai elektrokimia yang digunakan dalam sistem PLTS berkarakteristik *deep cycle*, memiliki lifetime yang panjang dan arus *discharge* atau *charge* yang besar, contohnya seperti tipe *Lead acid*, *Lithium Ion*, dan *Nickel Cadmium/ Nickel Iron* yang memiliki karakteristik operasinya tersendiri. Dalam pengoperasiannya baterai juga memerlukan batas untuk arus *charging* atau *discharging*, dan batasan maksimal ini menentukan level arus *discharge* dan *charge* yang diijinkan. Kondisi baterai juga diperhitungkan secara matematis dengan *State of Charge* (SOC).

SOC adalah salah satu metode untuk mengestimasi kondisi dari baterai dan menentukan kapasitas yang dimiliki oleh baterai. Besaran SOC minimal yang diijinkan yaitu 20% dan sedangkan SOC maksimal sebesar 100%, pada kasus tertentu batasan atas SOC bisa mencapai nilai lebih rendah pada 80%. Pada saat nilai SOC mencapai nilai maksimalnya maka baterai akan menghentikan proses pengisian baterai.

State of Charge baterai dapat dimodelkan dengan persamaan matematis dengan fungsi waktu sebagai berikut:

$$SOC = \frac{C(t)}{C_{ref}} \quad (2.4)$$

$$C(t) = \frac{Ah(0) - Ah(t)}{C_{ref}} \quad (2.5)$$

$$SOC_{min} \leq SOC(t) \leq SOC_{max} \quad (2.6)$$

Kemudian untuk perhitungan akumulasi energi baterai dapat dimodelkan dengan persamaan matematis untuk menjaga batasan maksimum dan minimum baterai sebagai berikut:

$$E_{ES,min} \leq E_0 - \sum_{t=1}^T E_{ES}(t) \leq E_{ES,max} \quad (2.7)$$

$$E_{ES}(t) = P_{ES}(t) \times t \quad (2.8)$$

$$-P_{ES,Charge,max}(t) \leq P_{ES}(t) \leq P_{ES,Discharge,max}(t) \quad (2.9)$$

Penjelasan:

$C(t)$	= Kapasitas baterai saat waktu t (Ah)
$C_{ref}(t)$	= Kapasitas baterai referensi (Ah)
t	= Waktu optimasi (per jam)
$E_{ES,min}$	= Batas bawah energi baterai (kWh)
$E_{ES,max}$	= Batas atas energi baterai (kWh)
E_0	= Energi baterai saat kondisi awal
$E_{ES}(t)$	= Energi baterai saat waktu t
P_{ES}	= Daya output baterai (kW)
$P_{ES,charge,max}$ <i>charge</i>	= Batas daya maksimum baterai saat kondisi
$P_{ES,discharge,max}$ <i>discharge</i>	= Batas daya minimum baterai saat kondisi

2.4 Aliran Daya Optimal Arus Searah (DCOPF)

Dalam penelitian ini digunakan DC *power flow* yang merupakan penyederhanaan dari sistem AC *power flow*, sebuah sistem DC *power flow* hanya memeperhitungkan sisi daya aktif dan tidak mempertimbangkan daya reaktif. Untuk melakukan perhitungan ke dalam DC power flow diperlukan beberapa pendekatan.

Pendekatan aliran daya ac ke dc dilakukan dengan beberapa asumsi:

1. Rasio resistansi r_{ij} dan x_{ij} pada sistem sangat besar, sehingga $g_{ij} \approx 0$
2. Nilai magnitude tegangan di asumsikan $|V_i| = 1.0$ p.u.
3. Perbedaan sudut tegangan sangat kecil sehingga $\cos(\theta_i - \theta_j) \approx 1.0$ dan $\sin(\theta_i - \theta_j) \approx (\theta_i - \theta_j)$

Dengan perhitungan aliran daya dalam setiap saluran pada metode DC *power flow* dimodelkan dengan persamaan dibawah.

$$P_{ik} = \frac{1}{x_{ik}}(\theta_i - \theta_j) \quad (2.10)$$

Dengan daya yang disetiap bus adalah,

$$P_i = \sum_j^N P_{ij} = \sum_k^N \frac{1}{x_{ij}}(\theta_i - \theta_j) \quad (2.11)$$

Model optimal power flow merupakan perhitungan untuk mengoptimasi aliran daya suatu sistem tenaga listrik. Definisi dari aliran daya optimum adalah perhitungan *economic dispatch* dengan mempertimbangkan aliran daya (*power flow*). Hasil dari perhitungan OPF ini adalah pembebanan tiap pembangkitan dengan memasukkan faktor aliran daya dengan total biaya yang minimum dengan sistem yang interkoneksi. Fungsi objektif tujuan optimasi dapat berupa biaya pembangkitan, perubahan daya pembangkitan, rugi transmisi dan fungsi lainnya. Variabel kontrol yang diatur dalam optimasi ini juga terdapat beberapa macam berupa daya dan tegangan output dari generator, posisi *tap changer* dan *phase shift* transformer, dan lainnya.

Pada penelitian ini, OPF digunakan untuk meminimalkan biaya pembangkitan dengan cara mengkombinasikan daya keluaran dari tiap generator yang terhubung ke sistem untuk meminimalkan biaya pembangkitan dengan batasan – batasan tertentu.

Pada pengaplikasiannya permasalahan *optimal power flow* adalah sebuah permasalahan optimasi yang kompleks. Untuk mendapatkan solusi dengan cepat dan menyederhanakan permasalahan tersebut, DC *power flow* lebih sering digunakan daripada AC *power flow* pada optimasi aliran daya terutama dalam skala sistem yang besar. OPF dengan menggunakan DC power flow disebut DC OPF. Pada perhitungan tersebut, aliran daya reaktif tidak diperhitungkan dan variabel yang di optimasi berupa sudut fasa tegangan pada setiap bus dan daya keluaran generator.

Metode – metode yang diterapkan untuk memecahkan masalah optimal power flow dapat dibedakan menjadi dua kategori: metode konvensional dan meta-heuristik menggunakan *artificial intelligence* (AI). Metode konvensional yang diterapkan antara lain metode lambda iterasi, metode Newton, *Linear programming*, *Non-linear programming*, *Dynamic Programming*, *Interior Point* dan metode dekomposisi. Sedangkan metode AI yang diimplementasikan adalah *Particle Swarm Optimization*, *Differential Optimization*, *Artificial Neural Network*, *Bee Colony Optimization*[7].

Dalam penggunaannya, metode AI saat ini lebih banyak digunakan karena dapat mencapai posisi global optimum tetapi dibutuhkan *tuning* parameter tertentu untuk setiap permasalahan optimasi tetapi tingkat akurasi masih berfluktuasi.

Optimal power flow diaplikasikan pada level beban pada waktu tertentu. Pada kondisi beban yang dinamis, *optimal power flow* dikembangkan untuk perhitungan *dynamic optimal power flow* (DOPF). Output dari perhitungan ini adalah besaran daya yang dibangkitkan oleh tiap generator untuk memenuhi kebutuhan beban yang berubah atau dinamis pada tiap interval waktu tertentu dengan biaya pembangkitan paling minimum dan memenuhi persamaan kestimbangan daya serta dalam batasan sistem.

Permodelan matematis dari *Dynamic DC OPF* dengan persamaan objective function sebagai berikut:

$$F_n(P_n) = \min\{\sum_{t=1}^T \sum_{n=1}^N (a_n^t \cdot P_n^{t^2} + b_n^t \cdot P_n^t + c_n^t)\} \quad (2.12)$$

Atau dalam bentuk sederhana,

$$\min \{\sum_{t=1}^T \sum_{n=1}^N F_n^t(P_n^t)\} \quad (2.13)$$

Fungsi ini meminimalkan total biaya pembangkitan selama T interval waktu diskrit yang ditentukan sebelumnya. Fungsi objektif dalam penelitian ini adalah

$$F = \min\{\sum_{t=1}^{24} F(P_{diesel})^t + F(P_{PV})^t + F(P_{bat})^t\} \quad (2.14)$$

Kemudian fungsi tersebut akan diminimalkan melalui dua batasan *equality constraint* dan *inequality constraint*:

1. Batasan kesetimbangan daya setiap bus i

$$P_{L,i}^t - P_{G,i}^t + P_{IN,i}^t = 0 \quad (2.15)$$

$$P_{IN,i}^t = \sum F_{ij}^t = \sum \frac{1}{x_{ij}} [\theta_i - \theta_j] \quad (2.16)$$

2. Kapasitas saluran transmisi

$$|P_{ij}| \leq P_{ij} \quad (2.17)$$

3. Batasan pembangkitan daya aktif

$$P_{G,min} \leq P_{G,i} \leq P_{G,max} \quad (2.18)$$

4. Ramp rate dari pembangkit

$$-\delta_i \leq P_{G,i}^{t+1} - P_{G,i}^t \leq \delta_i \quad (2.19)$$

2.5 Metode Quadratic Programming

Dalam permasalahan optimasi, linear programming (LP) merupakan model yang handal dalam menyelesaikan dalam permasalahan teknik, industry, bisnis dan sains. Namun LP memiliki beberapa keterbatasan, karena tidak semua permasalahan dapat didekati dengan bentuk linear. Selain itu, model linear hanya bekerja pada permasalahan dengan orde pertama. Tetapi dalam model quadratic programming menyelesaikan permasalahan yang non-linear dan memodelkannya dalam sebuah fungsi objektif.

Quadratic programming merupakan salah satu model khususnya digunakan untuk mencari nilai optimal (nilai minimum atau nilai maksimum) permasalahan fungsi kuadrat dari beberapa variabel yang dalam batasan persamaan linear pada variabel yang telah ditentukan.

Fungsi objektif quadratic programming dimodelkan dalam sebuah persamaan berikut:

$$\min f(x) = \frac{1}{2} x^T Hx + c^T x \quad (2.20)$$

Dengan batasan – batasan

$$lb \leq Ax \leq ub \quad (2.21)$$

$$x_{min} \leq x \leq x_{max} \quad (2.22)$$

$$A_{eq} = b_{eq} \quad (2.23)$$

Batasan tersebut mencakup batasan pertidaksamaan, persamaan dan batasan range variabel kontrol yang digunakan dalam memenuhi fungsi objektif tersebut. Hasil perhitungan *quadratic programming* adalah menentukan nilai x sehingga menghasilkan hasil fungsi objektif dengan nilai minimum.

2.6 Life Cycle Costing Analysis

Dalam menentukan biaya listrik yang didapatkan dari sistem hybrid PLTS (PV dan baterai) dapat digunakan beberapa pendekatan, salah satu metode menggunakan pendekatan dari nilai investasi atau

life-cycle costing [6,8]. Dengan mempertimbangkan total biaya investasi peralatan yang dimiliki dan biaya operasi dan pemeliharaan selama utilitas digunakan, maka perbandingan biaya harus dilakukan pada saat investasi awal dilakukan.

2.6.1 Nilai Waktu Uang

Perbandingan antara biaya operasi dan pemeliharaan dengan biaya pembelian peralatan dapat dihitung dengan memasukan faktor *rate inflasi* dan *discount rate* untuk mempertimbangkan biaya yang akan dibayarkan pada tahun – tahun berikutnya setelah investasi pertama dilakukan. Rate inflasi adalah besaran ukuran penurunan nilai uang setiap tahun dalam persen sedangkan *discount rate* adalah tingkat balikan dalam persen untuk menghitung jumlah uang yang akan diterima. Perhitungan ini dapat diformulasikan sebagai berikut:

$$N(n) = N_0(1 + d)^n \quad (2.24)$$

$$C(n) = C_0(1 + i)^n \quad (2.25)$$

Keterangan:

- N = Jumlah investasi uang (N_0 adalah investasi tahun ke-0)
- C = Total biaya (C_0 adalah biaya pada tahun ke-0)
- d = discount rate (%)
- i = inflation rate (%)
- n = jumlah tahun

Berdasarkan rasio inflasi dan discount maka nilai ekuivalen pada saat sekarang (tahun 0) dapat dihitung untuk menilai total biaya yang akan dibayarkan pada tahun yang akan datang, nilai ekuivalen atau *present worth* ini dapat dihitung sebagai berikut:

$$Pr = \left(\frac{1 + i}{1 + d} \right)^n \quad (2.26)$$

$$PW = (Pr)C_0 \quad (2.27)$$

Agar dapat dibandingkan, maka biaya PW setiap tahun dijumlahkan sampai tahun ke- n

$$PW = C_0 + C_0 \left(\frac{1+i}{1+d} \right) + C_0 \left(\frac{1+i}{1+d} \right)^2 + \dots + C_0 \left(\frac{1+i}{1+d} \right)^{(n-1)} \quad (2.28)$$

Jika nilai $x = \frac{1+i}{1+d}$ maka,

$$PW = C_0(1 + x + x^2 + \dots + x^{n-1}) \quad (2.29)$$

$$\frac{1}{1-x} = 1 + x + x^2 + \dots = \sum_{i=0}^{\infty} x^i \quad (2.30)$$

Kemudian total kumulatif dari biaya ekuivalen dapat didefinisikan sebagai,

$$Pa = \frac{PW}{C_0} = \frac{1}{1-x} - \sum_{i=0}^{\infty} x^i = \frac{1}{1-x} - x^n \sum_{i=0}^{\infty} x^i \quad (2.31)$$

$$Pa = \frac{1-x^n}{1-x} \quad (2.32)$$

Penjelasan:

Pr = Rasio nilai ekuivalen

PW = Nilai ekuivalen pada saat waku 0

Pa = Kumulatif biaya ekuivalen sampai tahun ke n

2.6.2 Life-Cycle Costing

Setelah nilai ekuivalen dapat dikalkulasi maka nilai *Life-Cycle Cost* (LCC) dapat dihitung. LCC adalah seluruh penjumlahan dari biaya modal dan nilai ekuivalen biaya terulang/*recurring cost* yang didapatkan, dalam hal ini biaya terulang adalah biaya operasi dan pemeliharaan. Untuk mendapatkan nilai *unit electrical cost* atau biaya listrik per unit maka digunakan pendekatan nilai LCC per tahun (*Annual LCC*) dan dibagi dengan jumlah energi yang di produksi oleh suatu sistem per tahun. Perhitungan biaya listrik dirumuskan sebagai berikut:

$$Annual LCC = \frac{Total LCC}{P_a} \quad (2.33)$$

$$Biaya Listrik = \frac{ALCC(\$)}{Total Produksi Energi per tahun(kWh)} \quad (2.34)$$

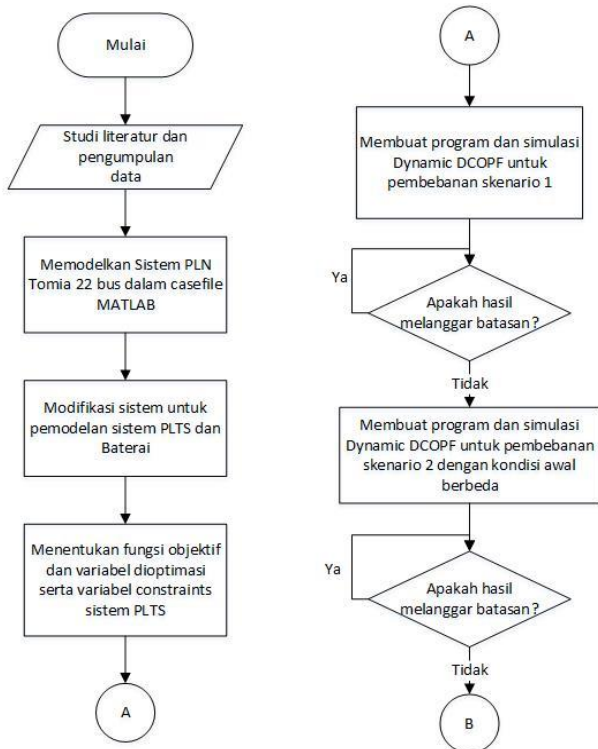
[Halaman Ini Sengaja Dikosongkan]

BAB 3

***QUADRATIC PROGRAMMING DYNAMIC DC OPTIMAL POWER FLOW* DALAM SISTEM KELISTRIKAN HYBRID PLTS PLN TOMIA SISTEM 20 KV**

3.1 Algoritma

Pada penelitian tugas akhir ini digunakan metode *quadratic programming* untuk mendapatkan pola operasi optimum antara transaksi energi dari sumber diesel, modul PLTS dan energi baterai. Dengan alur penyelesaian sesuai dengan urutan sebagai berikut.



Gambar 3.1 Diagram Alur Penyelesaian Tugas Akhir (a)



Gambar 3.2 Diagram Alur Penyelesaian Tugas Akhir (b)

3.2 Quadratic Programming pada MATLAB

Dalam Matlab terdapat fungsi quadprog yang bertujuan untuk menyelesaikan permasalahan optimasi fungsi kuadrat dengan quadratic programming. Pada penelitian ini tetapi digunakan skrip matpower yang memiliki fungsi qps_matpower yaitu bentuk pengembangan dari fungsi quadprog yang didesain untuk menyelesaikan permasalahan OPF. Fungsi qps_matpower melakukan optimasi dengan minima function sebagai berikut:

$$\min f(x) = \frac{1}{2}x^T Hx + c^t x \quad (3.1)$$

Dengan syntax berupa

```
qps_matpower(H, C, A, L, U, XMIN, XMAX)
```

Berikut adalah keterangan input pada `qps_matpower`:

- H : matriks simetris nilai koefisien dari persamaan kuadrat yang menyatakan bentuk kuadratik dari fungsi objektif
- C : vektor yang menyatakan bentuk linear dari fungsi objektif
- A : matriks yang menyatakan koefisien dari semua constraint baik equality atau inequality constraint
- L : vektor yang menyatakan batas bawah dari semua constraint equality atau inequality constraint
- U : vektor yang menyatakan batas atas dari semua constraint equality atau inequality constraint
- XMIN : vektor yang menyatakan batasan nilai bawah dari semua variabel kontrol
- XMAX : vektor yang menyatakan batasan nilai atas dari semua variabel kontrol

Hasil optimasi dari `qps_matpower` adalah vektor X yaitu nilai optimal yang dicari dalam penyelesaian masalah.

3.3 Implementasi Quadratic Programming pada Dynamic DC Optimal Power Flow

Implementasi *dynamic DC optimal power flow* dalam program *quadratic programming* (`qps_matpower`) dilakukan dengan inisialisasi permasalahan *dynamic DCOPF* yang dibagi menjadi dua bagian. Inisialisasi pertama yaitu fungsi objektif dan kedua adalah batasan masalah atau *constraint*.

3.3.1 Inisialisasi fungsi objektif dan constraint

Dengan sumber pembangkitan dari beberapa jenis pembangkit berupa diesel, photovoltaic dan baterai dengan interval waktu tertentu maka fungsi objektif biaya pembangkit adalah:

$$\text{minimize } \left\{ \sum_{t=1}^{24} F(P_{diesel})^t + F(P_{PV})^t + F(P_{bat})^t \right\} \quad (3.2)$$

Fungsi ini akan meminimalkan biaya pembangkitan dari semua pembangkit selama interval waktu selama 24 jam. Pada fungsi objektif ini, t merupakan zona waktu diskrit per jam dan dioptimalkan melalui beberapa batasan tertentu yaitu:

Equality constraints

- *Active power balance / Kesetimbangan daya*

$$P_{L,i}^t - P_{G,i}^t + P_{IN,i}^t = 0 \quad (3.3)$$

$$P_{IN,i}^t = \sum F_{ij}^t = \sum \frac{1}{x_{ij}} [\theta_i - \theta_j] \quad (3.4)$$

Keterangan:

$P_{L,i}^t$ = Daya beban pada bus i pada waktu t

$P_{G,i}^t$ = Daya keluaran generator ke I pada waktu t

$P_{IN,i}^t$ = Daya yang mengalir pada saluran dari bus i ke bus j

x_{ij} = Reaktansi saluran ij

θ_i = Sudut tegangan pada bus i

θ_j = Sudut tegangan pada bus j

Inequality Constraints

- Kapasitas saluran transmisi

$$|P_{ij}| \leq P_{ij} \quad (3.5)$$

- Daya pembangkitan

$$P_{diesel,min} \leq P_{diesel,i} \leq P_{diesel,max} \quad (3.6)$$

$$0 \leq P_{PV} \leq P_{PV,max} \quad (3.7)$$

- Ramp rate

$$-\delta_i \leq P_{d,i}^{t+1} - P_{d,i}^t \leq \delta_i \quad (3.8)$$

- Sistem baterai

$$SOC_{min} \leq SOC(t) \leq SOC_{max} \quad (3.9)$$

$$E_{ES}(t) = P_{ES}(t) \times t \quad (3.10)$$

$$-P_{ES,charge,min} \leq P_{ES}(t) \leq P_{ES,discharge,max} \quad (3.11)$$

Keterangan:

P_{ij} = Daya pada saluran i ke j

P_{PV} = Daya keluaran sumber *photovoltaic*

$P_{diesel,min}$ = Daya pembangkitan minimum diesel

$P_{diesel,max}$ = Daya pembangkitan maksimum diesel

$P_{diesel,i}$ = Daya keluaran sumber diesel

$E_{ES}(t)$ = Energi baterai pada waktu t

$P_{ES}(t)$ = Daya baterai pada waktu t

$-P_{ES,charge,max}$ = Daya *charging* maksimum

$P_{ES,discharge,max}$ = Daya *discharging* maksimum

Model pada sistem untuk batasan dalam dynamic DC OPF akan diinisiasikan ke dalam fungsi objektif dan batasan pada quadratic programming, sehingga permasalahan tersebut dapat diselesaikan dengan metode quadratic programming.

3.3.2 Variabel kontrol

Variabel kontrol merupakan variabel yang dioptimasi. Pada permasalahan dynamic DC OPF, variabel yang digunakan adalah

sudut tegangan, daya pembangkitan generator dan daya keluaran dari sistem baterai atau *energy storage*.

Pada *quadratic programming* variabel kontrol ini direpresentasikan dalam bentuk vektor x . Formulasi dalam perhitungan variabel kontrol adalah apabila ng merupakan jumlah generator, nb adalah jumlah bus pada sistem dan ne adalah jumlah *energy storage*, maka jumlah variabel adalah n .

$$n = nb + ng + ne \quad (3.12)$$

Ukuran matriks x yang merupakan variabel kontrol adalah $[n,1]$ yang dapat dituliskan dalam bentuk matriks sebagai persamaan berikut.

$$x = \begin{bmatrix} \theta_i \\ \vdots \\ \theta_{nb} \\ P_{G,i} \\ \vdots \\ P_{G,ng} \\ P_{ES,i} \\ \vdots \\ P_{ES,ne} \end{bmatrix}$$

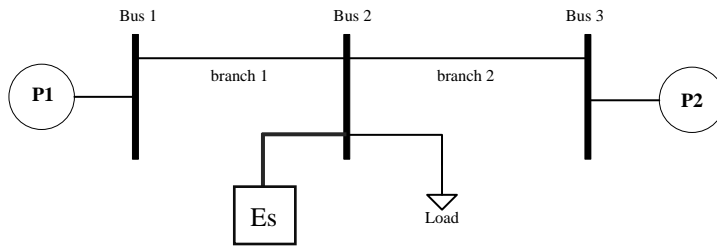
3.3.3 Pembentukan vektor x_{\max} dan x_{\min}

Untuk mendefinisikan batasan pada variabel kontrol maka vektor x_{\max} dan x_{\min} disusun sebagai batas atas dan batas bawah. Pada DC OPF variabel kontrol telah didefinisikan sebagai matriks di atas sehingga vektor x_{\max} dan x_{\min} akan berisi batas atas dan batas bawah sebagai berikut.

$$x_{\min} = \begin{bmatrix} -\text{inf} \\ \vdots \\ -\text{inf} \\ P_{\text{gen min},i} \\ \vdots \\ P_{\text{gen min},ng} \\ P_{\text{ES min},i} \\ \vdots \\ P_{\text{ES min},ne} \end{bmatrix} \quad x_{\max} = \begin{bmatrix} \text{inf} \\ \vdots \\ \text{inf} \\ P_{\text{gen max},i} \\ \vdots \\ P_{\text{gen max},ng} \\ P_{\text{ES max},i} \\ \vdots \\ P_{\text{ES max},ne} \end{bmatrix}$$

3.3.4 Pembentukan matriks H dan C

Matriks H berisi koefisien orde dua dari fungsi objektif. Sedangkan vektor c merupakan koefisien orde nol dari fungsi objektif tersebut. Pada optimasi DC OPF koefisien orde dua yaitu koefisien a dari fungsi biaya pembangkitan dan koefisien orde satu adalah koefisien b dari fungsi pembangkitan. Sehingga dalam matriks H berisi nilai koefisien a biaya pembangkitan dan vektor b pada matriks C. Sebagai contoh digunakan sistem 3 bus seperti pada gambar berikut.



Gambar 3.3 Sistem Kelistrikan 3 bus

Matriks H dan C dalam satu periode pada sistem 3 bus diatas dapat dituliskan sebagai persamaan:

$$H = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & a_1^1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & a_2^1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$c^T = [0 \quad 0 \quad 0 \quad b_1^1 \quad b_2^1 \quad 0]$$

3.3.5 Pembentukan matriks A

Penyusunan matriks **A** disusun berdasarkan koefisien orde satu dari persamaan batasan – batasan permasalahan. Dalam matriks **A** terdiri dari equality constraint dan inequality constraint

$$A = \begin{bmatrix} A_{eq} \\ A_{ineq} \end{bmatrix}$$

Equality constraint

$$A_{\text{eq}} = \begin{bmatrix} y_{11} & 0 & -y_{13} & -1 & -1 & 0 \\ 0 & y_{22} & -y_{23} & 0 & 0 & -1 \\ -y_{13} & -y_{23} & y_{33} & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Inequality constraint

$$A_{\text{ineq branch}} = \begin{bmatrix} y_{13} & 0 & -y_{13} & 0 & 0 \\ 0 & y_{23} & -y_{23} & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Batasan ramp rate digunakan untuk membatasi selisih perubahan daya pada pembangkit yang naik (*ramp up*) atau turun (*ramp down*) pada setiap perubahan kondisi waktu t .

$$A_{\text{ineq Ramp Rate}} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

⏟
⏟
 Level t
Level $t+1$

Kemudian batasan *inequality battery limit* adalah batasan kapasitas energi dari baterai untuk mengatur daya dari operasi baterai sebagai penyimpan energi. Batasan baterai ditentukan oleh SOC dari sistem baterai tersebut.

$$A_{\text{ineq batt limit}} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

⏟
⏟
 Level t
Level $t+1$

3.3.6 Pembentukan vektor lb dan ub

Vektor lb dan ub adalah permodelan batas atas dan batas bawah dari constraint pada sistem DC *optimal power flow*. Ukuran vektor lb dan ub sesuai dengan panjang matriks A .

$$lb = \begin{bmatrix} 0^1 \\ 0^1 \\ -P_{L3}^1 \\ -P_{13}^1 \\ -P_{23}^1 \\ 0^2 \\ 0^2 \\ P_{L3}^2 \\ -P_{13}^2 \\ -P_{23}^2 \\ -RR^{12} \\ E_{min} - E_0 \\ E_{min} - E_0 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 0^1 \\ 0^1 \\ P_{L3}^1 \\ P_{13}^1 \\ P_{23}^1 \\ 0^2 \\ 0^2 \\ P_{L3}^2 \\ P_{13}^2 \\ P_{23}^2 \\ RR^{12} \\ E_{max} - E_0 \\ E_{max} - E_0 \end{bmatrix} = ub$$

Dalam permodelan untuk periode waktu lebih dari satu jam, matriks \mathbf{H} disusun secara diagonal sebanyak t kali dan vektor \mathbf{C}^T disusun sebagai matriks baris sebanyak t kali.

$$\mathbf{H} = \begin{array}{c} \begin{array}{|c|c|c|c|c|c|c|} \hline & & & 0 & \dots & 0 & \dots & \dots & 0 \\ \hline & \mathbf{H}^1 & & & & & & \ddots & \vdots \\ \hline & & & 0 & & 0 & \ddots & & 0 \\ \hline 0 & \dots & 0 & & & & & & \vdots \\ \hline \vdots & & & & & & & & \vdots \\ \hline 0 & & 0 & & & & 0 & \dots & 0 \\ \hline \vdots & & \ddots & & & & & & \\ \hline \vdots & \ddots & & & & & & & \\ \hline 0 & \dots & 0 & \dots & \dots & 0 & & & \\ \hline \end{array} \\ \mathbf{H}^2 \\ \mathbf{H}^t \end{array}$$

$$\mathbf{C}^T = \begin{array}{|c|c|c|} \hline \mathbf{c}^1 & \mathbf{c}^2 & \mathbf{c}^t \\ \hline \end{array}$$

Vektor batasan variabel kontrol untuk periode waktu t disusun secara bertingkat juga sesuai dengan total periode tersebut.

$$x_{max} = \begin{bmatrix} x_{max}^1 \\ \vdots \\ x_{max}^t \end{bmatrix} \quad x_{min} = \begin{bmatrix} x_{min}^1 \\ \vdots \\ x_{min}^t \end{bmatrix}$$

Dan untuk matriks **A** juga disusun secara diagonal untuk waktu t kali. Sedangkan penyusunan matriks batas atas dan batas bawah **lb** dan **ub** disusun sebagai matriks baris selama t kali.

$$\mathbf{A} = \begin{array}{c} \begin{array}{cccccccccccc} & & & 0 & \dots & 0 & 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 \\ & & & \vdots & & \vdots & \vdots & & & & & \vdots \\ & & & 0 & \dots & 0 & \vdots & & & & \diagup & \vdots \\ 0 & \dots & 0 & & & & \vdots & & & \diagup & & \vdots \\ \vdots & & \vdots & & & & \vdots & \diagup & & & & \vdots \\ 0 & \dots & 0 & & & & 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 \\ 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 & & & & & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & & & & & \diagup & \vdots & & & & A^3 & \vdots & \vdots \\ \vdots & & & & & \diagup & \vdots & & & & & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & & \diagup & & & \vdots & 0 & \dots & 0 & & & & & \\ \vdots & \diagup & & & & \vdots & \vdots & & \vdots & & & & & \\ 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 & 0 & \dots & 0 & & & & & \end{array} \\ \\ \hline & & & & & & & & & & & & & \\ \\ \hline & & & & & & & & & & & & & \\ \\ \hline & & & & & & & & & & & & & \end{array}$$

Ramp Rate

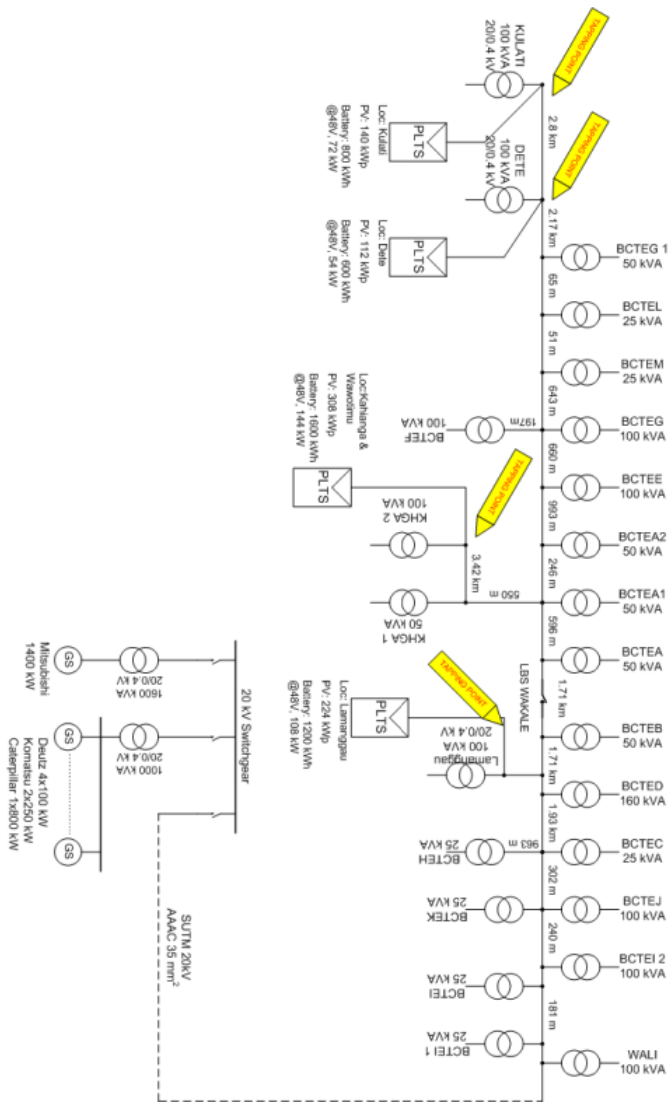
Battery limit

$$lb = \begin{bmatrix} lb^1 \\ \vdots \\ lb^t \end{bmatrix} \quad ub = \begin{bmatrix} ub^1 \\ \vdots \\ ub^t \end{bmatrix}$$

3.4 Sistem Kelistrikan Jaringan PLN Tomia 20 kV

Pada sistem kelistrikan di jaringan PLN Pulau Tomia, Kepulauan Wakatobi, Sulawesi Tenggara terdapat tiga macam sumber pembangkitan: diesel generator, sistem PLTS (*Photovoltaic*) dan sistem penyimpanan energi berupa baterai. Dalam sistem kelistrikan PLN pulau Tomia, pulau ini memiliki empat buah generator tetapi dalam pengoperasiannya hanya digunakan satu buah generator saja dengan kapasitas 1400 kW. Sistem kelistrikan di pulau Tomia ini memiliki total 22 bus dengan jaringan distribusi level 20 kV[9]. Gambar 3.4 menunjukkan desain sistem kelistrikan pulau Tomia.

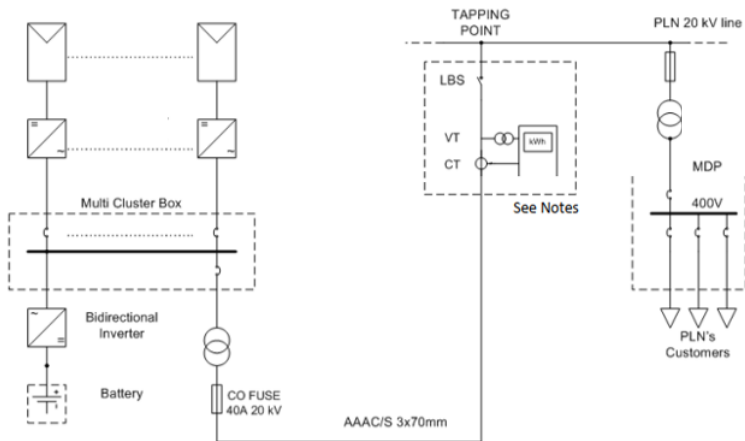
Sistem ini juga ditopang oleh pembangkit listrik dengan sumber energi terbarukan dengan kombinasi antara sistem PLTS (*Photovoltaic*) dengan sistem baterai. Sistem PV dan baterai yang terpasang berada di empat lokasi yang berbeda yaitu Kahianga, Kulati, Dete dan Lamanggau dengan kapasitas berbeda – beda pada setiap lokasinya. Hal ini bertujuan untuk mengurangi daya yang berfluktuatif apabila sistem PLTS (*Photovoltaic*) apabila mengalami perubahan iradiasi yang signifikan di suatu daerah tertentu. Kabel jaringan distribusi yang digunakan dalam sistem kelistrikan ini dengan kabel Saluran Udara Tegangan Menengah AAAC (All Aluminum Alloy Cable) dengan luas penampang 35 mm².



Gambar 3.4 Single Line Diagram System Kelistrikan PLN Tomia 20 kV

3.5 Sistem Kelistrikan PLTS-Baterai PLN Tomia 20 kV

Pada setiap sistem interkoneksi PV-Baterai di pulau Tomia menggunakan topologi *ac-coupled* dan menggunakan tegangan kerja 400 V yang kemudian daya yang dihasilkan akan di injeksikan ke saluran 20 kV menggunakan transformator penaik tegangan untuk dapat mengirimkan daya ke level tegangan distribusi 20 kV. Berikut adalah skema sistem interkoneksi yang terdapat di sistem kelistrikan pulau Tomia.

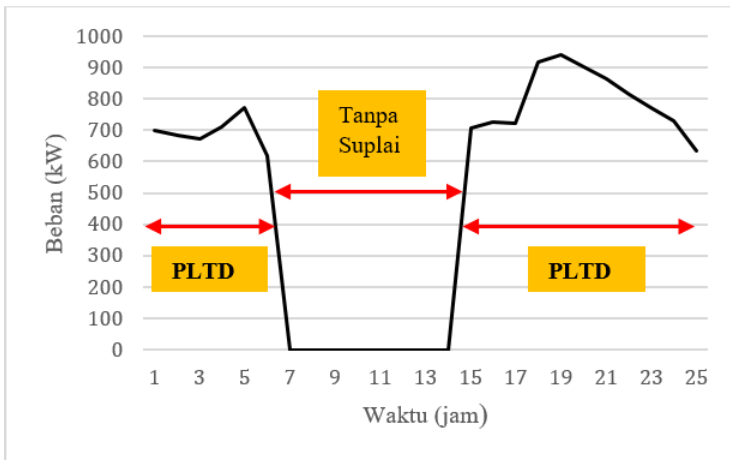


Gambar 3.5 Skema Interkoneksi PLTS(PV)-Baterai Tipikal

Skema ini membagi dua sistem PV array dan baterai menjadi dua bagian berbeda yang dihubungkan dengan sistem AC. Sistem PV array memiliki *grid-inverter* sendiri dengan masing – masing kapasitas di empat lokasi tersebut. Kemudian pada sistem baterai menggunakan *bidirectional inverter* atau inverter sebagai penghubung antara sistem AC dengan sistem DC, inverter ini berfungsi secara dua arah untuk kondisi operasi baterai berupa pengisian daya / *charging* dan pelepasan daya atau disebut *discharging*

3.3 Load Profile Eksisting

Pola pengoperasian eksisting sebelum terpasangnya sistem PV dan baterai hanya beroperasi selama 16 jam saja, mulai dari jam 3 sore sampai ke jam 6 pagi sementara pada saat siang hari diesel generator di non-aktifkan berdasarkan pola operasi PLN sehingga para konsumen tidak dapat menggunakan listrik mulai dari pukul 7 pagi sampai 2 siang, tentunya hal ini merugikan pihak konsumen. Gambar 3.6 menunjukkan *load profile* eksisting yang beroperasi selama 16 jam saja.



Gambar 3.6 Load Profile Operasi Sistem PLN Tomia

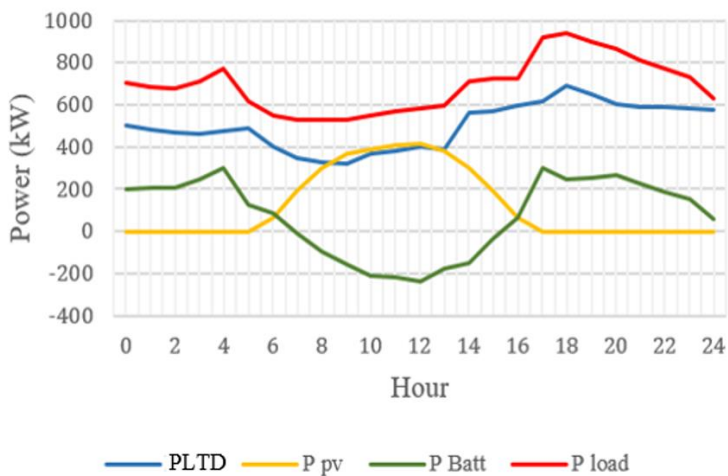
Pada penelitian ini diharapkan bahwa dengan adanya daya tambahan melalui sumber PV dan sistem baterai maka kebutuhan beban yang ada di pulau Tomia dapat terpenuhi secara 24 jam berdasarkan dengan batasan – batasan tertentu.

3.4 Pola Pengoperasian Sementara

Pada pola pengoperasian sementara, dilakukan penjadwalan secara manual dengan menggunakan prinsip kesetimbangan daya untuk memenuhi kebutuhan beban. Pola ini mengacu bahwa seluruh daya dari PLTS atau *photovoltaic* akan digunakan untuk mengisi ke baterai atau menyuplai ke beban secara langsung apabila baterai

dalam kondisi penuh, daya terbangkit dari PV telah dihitung berdasarkan iradiasi matahari berada di lingkungan Pulau Tomia. Model pengoperasian daya ini tidak memperhitungkan batasan daya maksimal untuk diesel generator dan batasan daya maksimal untuk *charging* atau *discharging* pada sistem penyimpanan energi baterai. Dalam penjadwalan secara manual, *load profile* digunakan adalah sama dengan data load generator tetapi dalam perhitungan beban daya yang hilang selama jam 7 sampai ke jam 2 siang didapatkan data berdasarkan hasil analisis perencanaan yang telah dilakukan sebelumnya[10]. Pada operasi ini daya dari PV mulai bertambah saat iradiasi bertambah, kemudian surplus daya dari sumber PV akan disimpan ke sistem baterai. Sehingga sistem baterai memiliki karakteristik akan mengisi energi-nya pada saat siang hari, dan kemudian akan melepaskan energi nya secara perlahan pada saat di pagi atau malam hari, dimana kebutuhan beban tersebut lebih tinggi daripada beban di siang hari.

Pola penjadwalan dideskripsikan sebagai gambar grafik berikut serta rincian beban untuk setiap jam.



Gambar 3.7 Grafik Penjadwalan Daya Terbangkit Manual

Tabel 3.1 Data Beban Waktu 24 jam

Jam	Load(kW)	Jam	Load(kW)
1	728,461406	13	572
2	700,87717	14	580
3	684,31673	15	594
4	673,915189	16	708,5775633
5	711,929249	17	725,6966185
6	772,606082	18	723,6247956
7	618,181032	19	918,8781911
8	550	20	938,9246683
9	528	21	900,2317853
10	528	22	863,6814357
11	528	23	814,0071844
12	550	24	772,6343666

BAB 4 ANALISA DAN SIMULASI

4.1 Data Model Dynamic Optimal Power Flow Sistem Kelistrikan Hybrid PLTS Tomia 20 kV

Dalam membuat model dynamic DCOPT untuk sistem kelistrikan hybrid PLTS Tomia 20 kV, digunakan data real dari sistem tersebut. Dari unit pembangkitan, sistem kelistrikan PLN Tomia menggunakan tiga jenis pembangkit tenaga listrik yaitu diesel generator, PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya) berupa sel *photovoltaic* dan sistem penyimpanan energi berupa baterai.

Sistem di Pulau Tomia hanya menggunakan satu diesel generator dengan merk *Mitsubishi* dengan kapasitas sebesar 1,4 MW, dengan koefisien fungsi pembangkitan didapatkan dari data generator sejenis[11] sebagai berikut:

Tabel 4.1 Data diesel generator

a	b	c	Pmax	Pmin
5,02 10 ⁻⁴	0,19037	37,3659	1,4	0,420

Data PLTS yang telah terpasang di pulau Tomia tersebut dibagi menjadi 4 lokasi yang berbeda dengan rincian setiap lokasi berikut.

Tabel 4.2 Spesifikasi Sistem Photovoltaic Eksisting

Site	Lokasi	Letak Bus	Jumlah Paralel	Jumlah Seri	Cluster	Kapasitas Total (kWp)
Site 1	Kahianga	12	5	22	11	308,6
Site 2	Kulati	20	5	22	5	140,3
Site 3	Dete	19	5	22	4	112,2
Site 4	Lamanggau	7	5	22	8	224,4
Total kapasitas PV						785,5

Untuk spesifikasi modul *photovoltaic* yang digunakan adalah modul SHARP dengan seri NU-255FB rating power output sebesar 255 Watt,

spesifikasi detail terdapat pada tabel spesifikasi modul *photovoltaic*[12].

Tabel 4.3 Spesifikasi modul *photovoltaic*

<i>Parameter Standard Test Condition</i>	
T _{c stc}	25 °C
G _{stc}	1000 W/m ²
NOCT	45 °C
<i>Parameter Photovoltaic</i>	
V _{mpp}	31,2 V
I _{mpp}	8,18 A
P _{max}	255 W

Data iradiasi dan temperature yang digunakan bernilai sama untuk keempat lokasi yang ada, dengan detail sesuai dengan tabel iradiasi dan temperature[12].

Tabel 4.4 Data iradiasi matahari dan temperatur

Jam	Iradiasi (W/m ²)	Temperatur (°C)	Jam	Iradiasi (W/m ²)	Temperatur (°C)
1	0	29	13	603,4	36
2	0	29	14	579,6	36
3	0	29	15	510,3	35
4	0	29	16	399	35
5	0	29	17	254,1	34
6	0	29	18	87,5	33
7	0	29	19	0	29
8	87,5	30	20	0	29
9	254,1	32	21	0	29
10	399	33	22	0	29
11	510,3	34	23	0	29
12	579,6	35	24	0	29

Sistem baterai *energi storage* ditempatkan sesuai dengan lokasi modul PLTS di 4 lokasi, dengan rincian setiap lokasi sebagai berikut.

Tabel 4.5 Kapasitas baterai di tiap lokasi

Site	Lokasi	Letak bus	Energi per cluster (kWh)	Energi Total (kWh)
Site 1	Kahianga	12	201,5	1,612
Site 2	Kulati	20	201,5	806
Site 3	Dete	19	181,35	544,05
Site 4	Lamanggau	7	201,5	1209
Total kapasitas baterai				4.171,05

Sistem baterai yang digunakan adalah jenis *Fluidic Energi FE7 Mini Grid* dengan seri FE7MC245SM-A dengan energi rating 20,1 kWh, nilai daya *discharge* maksimal 3 kW dan daya *charge* maksimal sebesar 4,97 kW, dengan spesifikasi total sesuai dengan tabel dibawah[14].

Tabel 4.6 Spesifikasi baterai di tiap lokasi

Site	Tegangan (V)	Kapasitas baterai (Ah)	Jumlah Cluster	Total Kapasitas (Ah)
Site 1	48	4187,5	6	25.125
Site 2	48	4187,5	4	16.750
Site 3	48	3768,75	3	11.306,25
Site 4	48	4187,5	6	25.125

Pada pemilihan biaya pembangkitan untuk modul *photovoltaic* dan baterai biaya listrik per kWh dihitung berdasarkan jumlah investasi komponen yang digunakan, *lifetime* selama 20 tahun, rating inflasi sebesar 2,83% dan discount rate sebesar 3%. Penggunaan baterai selama 20 tahun diasumsikan dilakukan penggantian komponen pada tahun ke 10 yang dimasukkan ke dalam *replacement cost* sistem baterai.

Tabel 4.7 Perhitungan LCC untuk sistem PV-Baterai

	<i>Cost (\$)</i>	<i>Present Worth (\$)</i>
<u>Capital Cost</u>		
Development	\$ 243.769	\$ 243.769
Array Module	\$ 468.160	\$ 468.160
PV Grid Inverter	\$ 173.880	\$ 173.880
Battery Module	\$ 2.169.180	\$ 2.169.180
Bidirectional Inverter	\$ 153.255	\$ 153.255
Electrical (ELCB, MCCB, Fuse, Combiner)	\$ 139.296	\$ 139.296
Mounting & Civil work	\$ 1.114.371	\$ 1.114.371
Replacement Batt 10y	\$ 2.169.180	\$ 2.098.688
<u>Recurring cost</u>		
Annual Inspection Combined (O&M)	\$ 80.000	\$ 1.572.560
LCC (\$)		\$ 8.133.159
Annualized LCC (ALCC) (\$)		\$ 413.071
Annual Electrical Production (kWh)	1.159.000	
Unit Electrical Cost (\$/kWh)		\$ 0,356403

Perhitungan biaya dari sistem PLTS(PV) berdasarkan data biaya komponen di pasaran dan biaya lainnya didapatkan berdasarkan harga indikatif proyek yang sesuai dengan besaran sistem yang terpasang berdasarkan hasil riset IEA[15]. Sedangkan pada harga baterai dilakukan pendekatan berdasarkan hasil riset oleh IRENA pada harga baterai *Lithium ion* sesuai dengan besaran sistem eksisting

yang terpasang[16]. Kemudian pada perhitungan produksi energi listrik pertahun didapatkan berdasarkan data energi iradiasi pertahun disesuaikan dengan sistem PV yang terpasang pada keseluruhan sistem PLN Tomia.

Tabel 4.8 Data jaringan distribusi 20 kV PLN Pulau Tomia

No. kabel	Dari (Bus)	Ke (Bus)	Jenis bus	R (ohm)	X(ohm)	Kapasitas Saluran (MVA)
1	1	2	PLTD	0,0525	0,01475	6,4778
2	2	3	Load	0,19005	0,053395	6,4778
3	3	4	Load	0,252	0,0708	6,4778
4	4	5	Load	0,3171	0,08909	6,4778
5	5	6	Load	2,0265	0,56935	6,4778
6	6	7	Load	0,84	0,236	6,4778
7	7	8	PLTS	0,9555	0,26845	6,4778
8	8	9	Load	1,7955	0,50445	6,4778
9	9	10	Load	0,6258	0,17582	6,4778
10	10	11	Load	0,5775	0,16225	6,4778
11	11	12	PLTS	3,591	1,0089	6,4778
12	10	13	Load	0,2583	0,07257	6,4778
13	13	14	Load	1,04265	0,292935	6,4778
14	14	15	Load	0,693	0,1947	6,4778
15	15	16	Load	0,67515	0,189685	6,4778
16	16	17	Load	0,05355	0,015045	6,4778
17	17	18	Load	0,06825	0,019175	6,4778
18	18	19	PLTS	2,2785	0,64015	6,4778
19	19	20	PLTS	2,94	0,826	6,4778
20	5	21	Load	1,01115	0,284085	6,4778
21	15	22	Load	0,20685	0,058115	6,4778

Data jaringan yang digunakan berdasarkan desain sistem kelistrikan pulau Tomia 20 kV sebesar 22 bus dengan level tegangan 20 kV menggunakan kabel SUTM, AAAC (All Aluminum Alloy Cable), luas penampang 35 mm² dengan besaran nilai R dan X berdasarkan saluran sejenis[13].

Kemudian sistem tersebut disimulasikan menggunakan data pembebanan tertinggi yang tercatat pada hari Jumat, 20 Oktober 2017 [17] dan untuk data pembebanan antara jam 8 pagi sampai 3 sore, digunakan data hasil perhitungan studi analisis sebelumnya[9].

4.2 Simulasi Sistem Hybrid PLTS PLN Tomia 20 kV

Program *Dynamic DC optimal power flow* yang telah dibuat kemudian disimulasikan sesuai dengan parameter sistem kelistrikan hybrid PLN Tomia 20 kV dengan baterai sebagai media penyimpan energi. Dalam analisis ini dilakukan tiga skenario pola manajemen energi yang dilakukan selama 24 jam untuk memenuhi kebutuhan selama sehari yaitu: optimal scheduling saat kondisi baterai mendekati batas maksimum, optimal scheduling saat kondisi baterai mendekati batas minimum, dan terakhir optimal scheduling dengan batasan SOC minimum sebesar 5%.

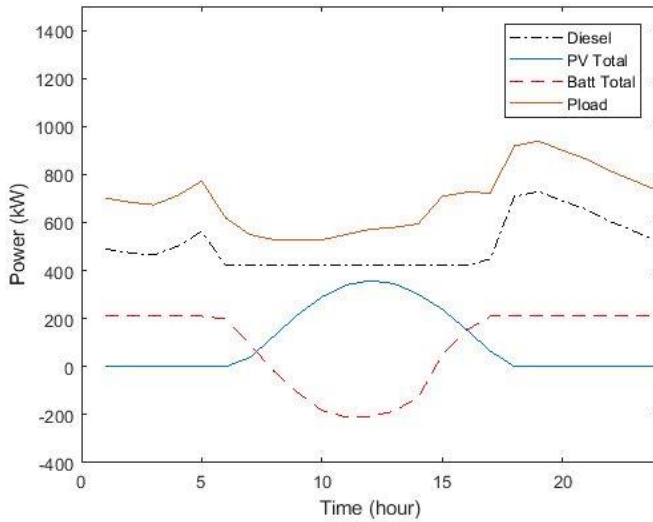
4.2.1 Optimal Scheduling Kondisi Baterai Penuh

Pada skenario pertama program OPF dijalankan untuk melakukan penjadwalan selama 24 jam dengan kondisi awal energi baterai mendekati batas maksimum. Kasus ini mengasumsikan energi baterai yang dipakai sebelumnya minimal sehingga masih tersisa energi yang cukup besar.

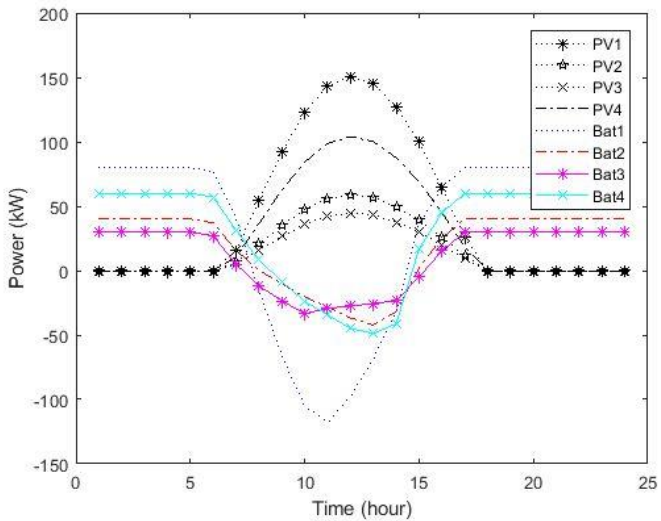
Tabel 4.9 Kondisi awal saat simulasi kasus pertama

Battery	Initial SOC (%)	Minimum (%)	Maximum (%)
Site 1	70	20	100
Site 2	80	20	100
Site 3	75	20	100
Site 4	85	20	100

Didapatkan hasil simulasi dari daya terbangkit dari PLTD, beban, sistem baterai total dan detail PV dengan baterai seperti pada gambar grafik dibawah.



Gambar 4.1 Grafik daya terbangkit kondisi baterai penuh

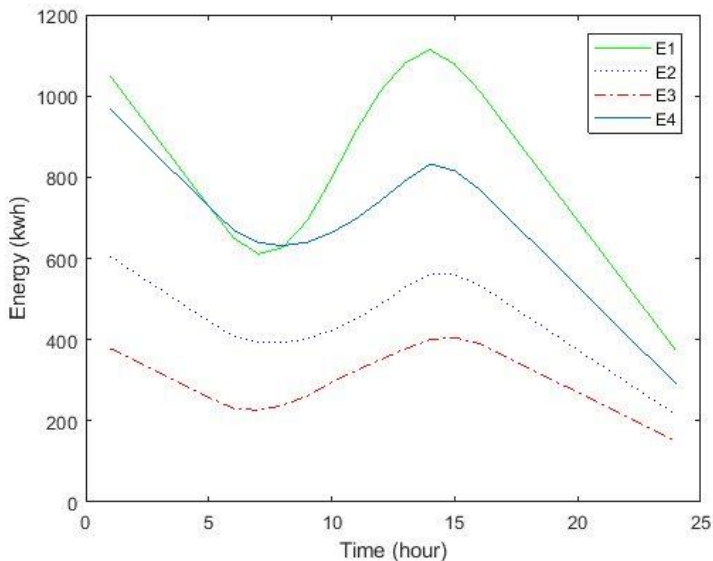


Gambar 4.2 Grafik daya PV-Baterai pada kondisi baterai penuh

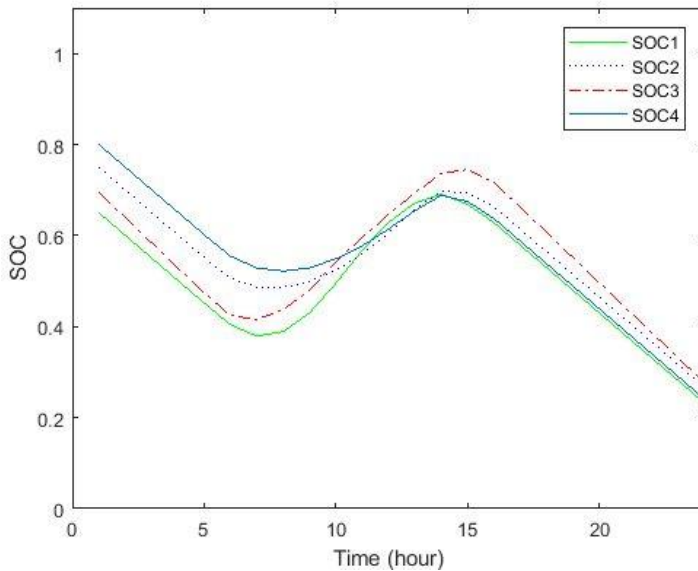
Pada analisa kasus ini, daya terbangkit dari PV akan digunakan secara maksimum untuk mengisi energi dari baterai dan sebagian akan disuplai ke beban secara langsung, batasan dari pengisian baterai adalah daya *charging* maksimum pada baterai di setiap bus dan pada diesel generator memiliki *constraint* 30% dari total kapasitas.

Pada saat keadaan awal SOC lebih besar maka energi baterai dapat mengkompensasi daya generator sehingga dapat mengurangi daya diesel secara signifikan. Karena pembangkitan tersebut mempertimbangkan biaya, maka peran diesel generator diminimalkan dan memaksimalkan energi yang didapat dari PV, dalam hal ini pembagian energi dari sumber PV dibagi menjadi dua, untuk pengisian baterai dan memenuhi kebutuhan beban pada saat iradiasi matahari meningkat dari pukul 8:00 sampai pukul 15:00.

Hal ini dapat dilihat lebih detail pada nilai SOC dan perbedaan energi yang terjadi pada sistem baterai berikut:



Gambar 4.3 Grafik energi baterai kondisi penuh



Gambar 4.4 Grafik SOC baterai kondisi baterai penuh

Saat enam jam pertama, daya terbangkit secara konstan dari sistem baterai hal ini bertujuan untuk meminimalkan daya dari diesel generator dan juga mengikuti kebutuhan beban yang meningkat sesaat. Setelah iradiasi mulai meningkat, daya generator berada pada nilai konstan yaitu pada batas minimumnya pada saat ini kebutuhan beban dipenuhi berdasarkan daya terbangkit dari PV serta kelebihan daya yang didapatkan akan dikirimkan ke sistem baterai, dari grafik energi baterai terjadi kenaikan signifikan sampai ke puncaknya di pukul 15:00, setelah itu daya yang tersimpan dibangkitkan kembali di malam hari dimana kebutuhan beban meningkat. Detail daya terbangkit serta beban dapat dilihat pada lampiran.

4.2.2 Optimal Scheduling dengan Kondisi Baterai Mendekati Batas Minimum

Pada skenario kedua, dilakukan simulasi untuk optimasi daya pembangkitan dengan kondisi awal SOC baterai mendekati batas minimum. Karena energi awal yang dimiliki baterai

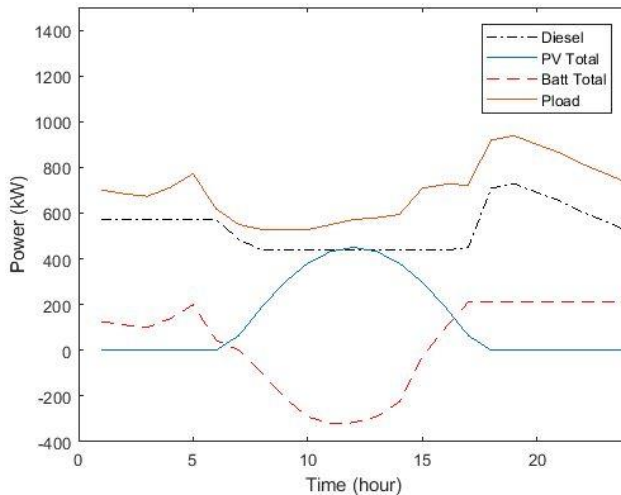
pada level 35-45% saja maka pengurangan daya atau kompensasi daya dari generator diesel tidak sebesar kasus pertama.

Data kondisi awal yang digunakan berbeda dengan kasus pertama dan tetap menggunakan pola beban yang sama, data iradiasi tetap, dan kondisi kapasitas baterai mendekati batas minimum dengan rincian sebagai berikut:

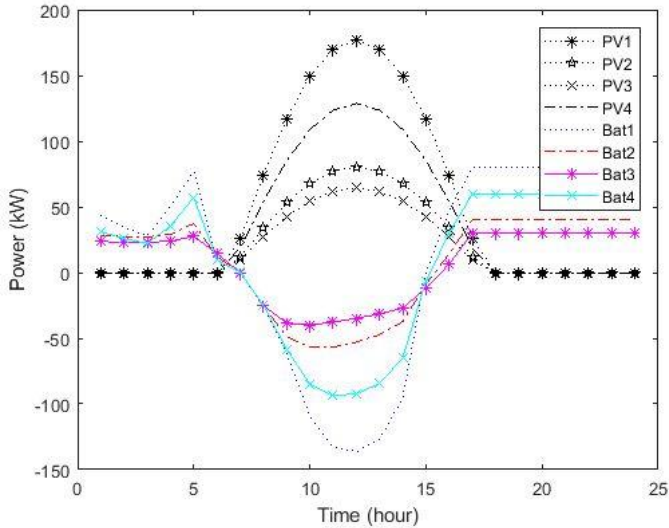
Tabel 4.10 Kondisi awal baterai kondisi baterai minimum

Battery	Initial SOC (%)	Minimum (%)	Maximum (%)
Site 1	35	20	100
Site 2	40	20	100
Site 3	45	20	100
Site 4	35	20	100

Hasil simulasi digambarkan oleh grafik daya terbangkit dan rincian daya PV serta baterai sebagai berikut:



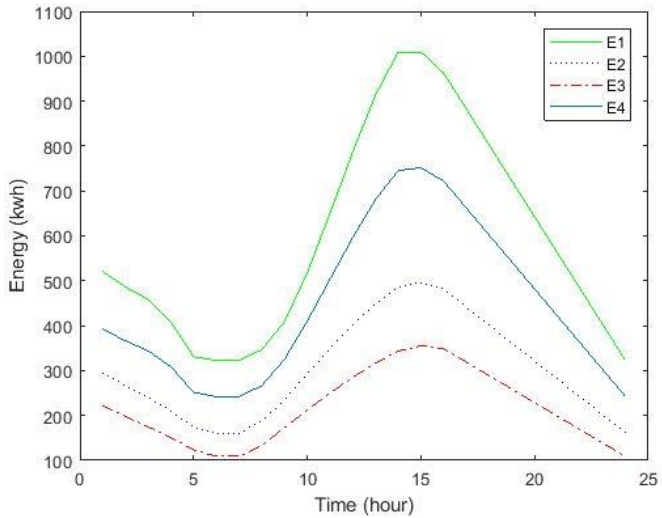
Gambar 4.5 Grafik daya terbangkit kondisi baterai mendekati batas minimum



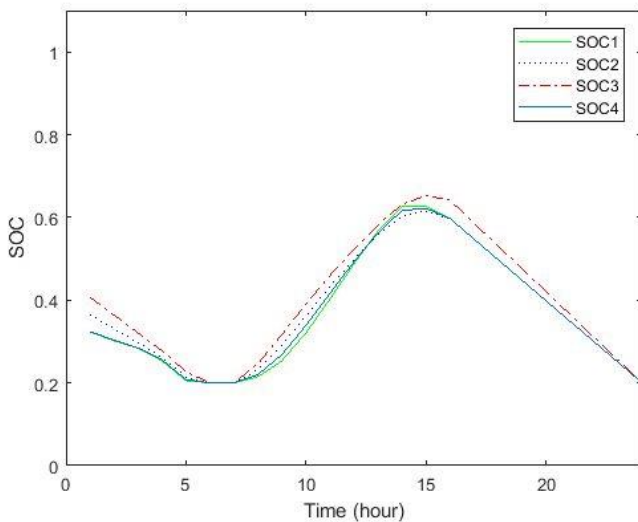
Gambar 4.6 Grafik PV-Baterai kondisi baterai mendekati batas minimum

Berdasarkan penjadwalan pembangkit hasil optimasi, terdapat perbedaan daya keluaran dari sistem baterai pada enam jam pertama disbanding dengan kasus pertama dikarenakan energi baterai yang sudah mendekati batas minimal, energi baterai tidak menyuplai beban secara maksimal, oleh karena itu daya terbangkit generator juga lebih besar.

Dari data keluaran PV dan sistem baterai, pada tiga jam pertama daya terbangkit dari baterai cenderung stabil, tetapi pada pukul 5:00 mengalami kenaikan untuk mengikuti kebutuhan beban hal ini dikarenakan untuk memastikan daya pembangkitan generator tetap pada nilai konstan untuk mendapatkan biaya pembangkitan minimum. Pola optimasi ini juga memperhitungkan agar kondisi baterai sebelum charging pada posisi batas minimum untuk menyerap kelebihan energi dari PV pada siang hari. Batasan penyerapan daya PV ini masih dalam batas *charging* maksimum dari spesifikasi baterai di setiap lokasi.



Gambar 4.7 Grafik energi baterai kondisi baterai mendekati batas minimum



Gambar 4.8 Grafik SOC kondisi baterai mendekati batas minimum

Strategi optimasi di kasus kedua, dilihat dari titik pukul 6 dan 7 kondisi baterai mencapai batas minimum kemudian terjadi peningkatan energi baterai sesuai dengan iradiasi sampai ke level SOC 60%. Peningkatan energi selama delapan jam ini sama dengan kasus pertama, dimana peningkatan energi baterai sebesar 40% karena sesuai dengan daya keluaran PV yang sama didapatkan dari data iradiasi yang sejenis dengan skenario kasus pertama.

Selanjutnya pada jam 15:00 ke sampai ke malam hari, pola pembangkitan cenderung sama seperti kasus pertama dimana pembangkitan menggunakan energi baterai di maksimalkan untuk mengurangi penggunaan energi diesel. Tabel data pembangkitan kasus kedua terdapat pada lampiran.

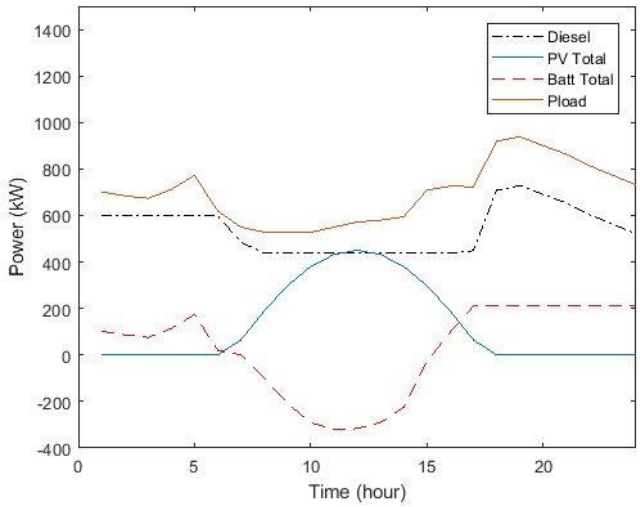
4.2.3 Optimal Scheduling Constraint SOC minimum 5%

Pada simulasi kasus ketiga batasan minimum SOC dari baterai diatur sampai 5%, batasan bawah ini diambil karena karakteristik dari baterai berjenis *fluidic Lithium Zinc-Air* ini dapat dioperasikan mencapai batasan minimum 5%. Posisi awal atau *initial condition* kondisi baterai lebih rendah dari kasus kedua.

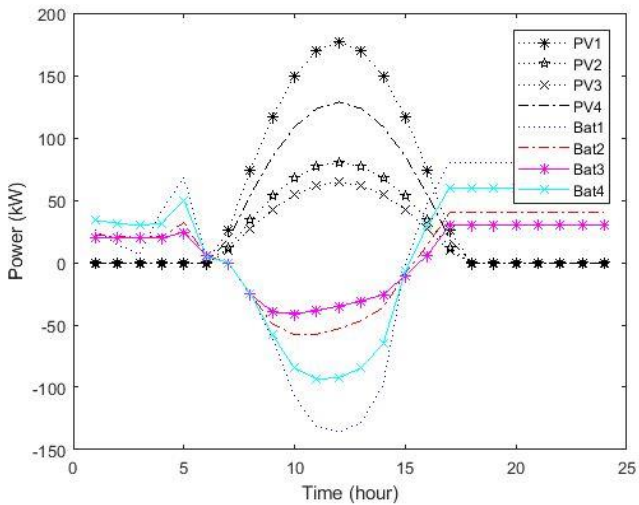
Tabel 4.11 Kondisi baterai *constraint minimum 5%*

Battery	Initial SOC (%)	Minimum (%)	Maximum (%)
Site 1	15	5	100
Site 2	20	5	100
Site 3	25	5	100
Site 4	20	5	100

Simulasi dilakukan pada kondisi ekstrim pada saat baterai mendekati titik kritis minimum yang diijinkan. Hasil simulasi ditunjukkan pada gambar grafik dibawah ini:



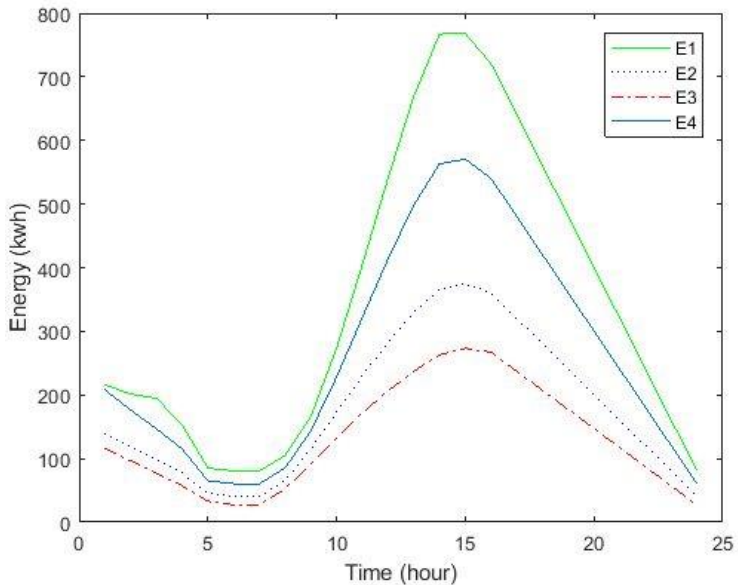
Gambar 4.9 Grafik daya terbangkit constraint SOC minimum 5%



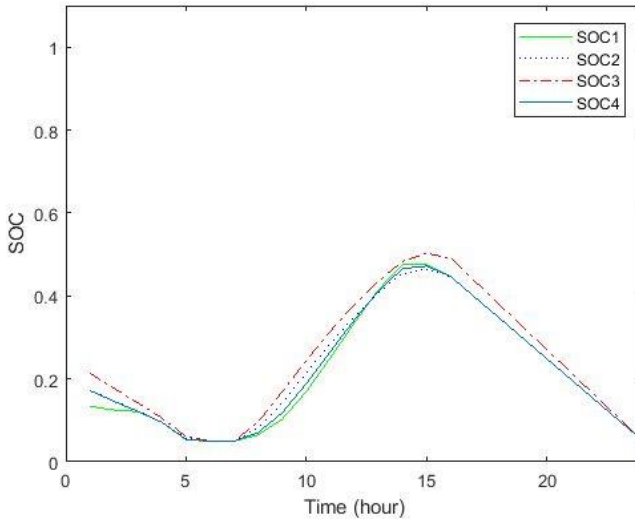
Gambar 4.10 Grafik PV-Baterai constraint SOC minimum 5%

Pada skenario ketiga, kondisi baterai yang sangat minimal masih dapat mengkompensasi daya diesel generator pada level 600 kWh, dengan pola daya keluaran dari baterai mengikuti perubahan beban tetapi pada saat jam sebelum transisi ke mode *charging*, daya diesel generator hampir menyuplai seluruh beban pada pukul 06:00 dan daya baterai mengkompensasi 20 kW. Setelah iradiasi meningkat dan daya keluaran PV juga bertambah, daya keluaran energi dari diesel generator dapat diminimalkan.

Perubahan pada energi dan level SOC dapat dilihat pada grafik berikut:



Gambar 4.11 Grafik energi baterai SOC minimum 5%



Gambar 4.12 Grafik SOC baterai constraint SOC minimum 5%

Dilihat dari grafik SOC, karena posisi awal/*initial condition* baterai lebih rendah dibandingkan kasus sebelumnya. Energi yang dapat dihasilkan oleh sistem baterai lebih rendah, tetapi masih dapat beroperasi hingga batasan kapasitas 5% yang terjadi pada pukul 06:00 dan 07:00. Setelah itu kapasitas empat sistem baterai meningkat hingga rata – rata 47% di puncaknya. Setelah baterai telah terisi, optimasi dilakukan untuk mencari pembangkitan diesel minimal.

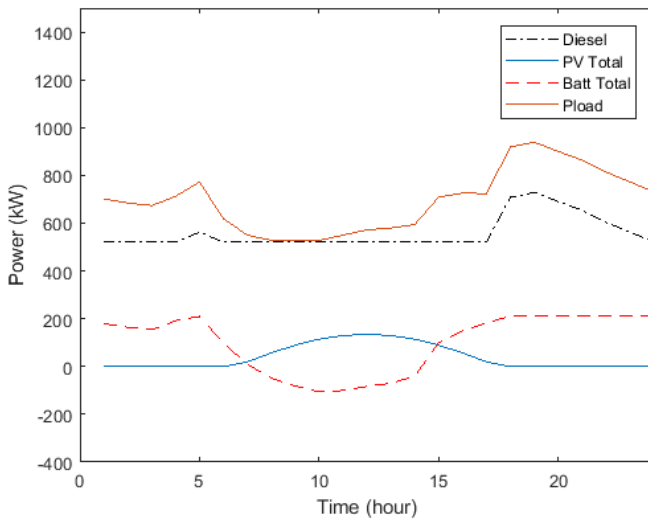
4.2.4 Optimal Scheduling dengan Kondisi Iradiasi Minimum

Pada simulasi kasus keempat, dilakukan simulasi kondisi matahari iradiasi minimum, dengan demikian pembagian untuk daya pembangkitan pada siang hari dilakukan dengan daya kompensasi dari diesel generator lebih tinggi daripada kasus sebelumnya, tetapi sistem baterai masih disuplai atau mode *charging* pada siang hari untuk membantu mensuplai daya dari diesel generator pada sore ke malam hari. Pada simulasi kali ini berdasarkan tabel iradiasi matahari sebagai berikut:

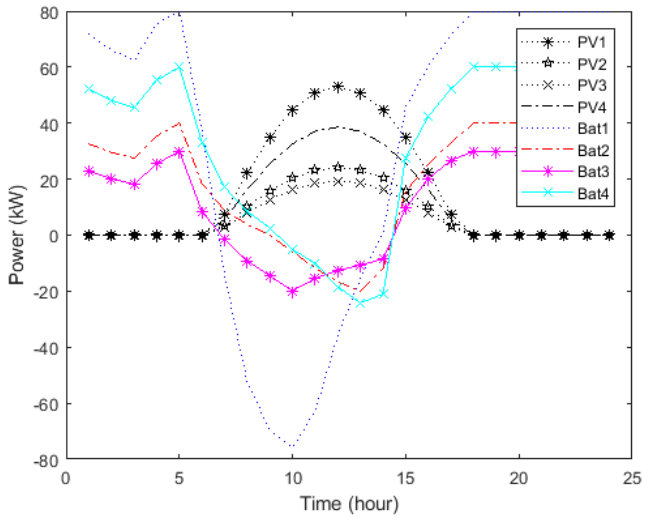
Tabel 4.12 Data iradiasi matahari dan temperature kasus 4

Jam	Iradiasi (W/m ²)	Temperatur (°C)	Jam	Iradiasi (W/m ²)	Temperatur (°C)
1	0	29	13	181,02	36
2	0	29	14	173,88	36
3	0	29	15	153,09	35
4	0	29	16	119,7	35
5	0	29	17	76,23	34
6	0	29	18	26,25	33
7	0	29	19	0	29
8	26,5	30	20	0	29
9	76,23	32	21	0	29
10	119,7	33	22	0	29
11	153,09	34	23	0	29
12	173,88	35	24	0	29

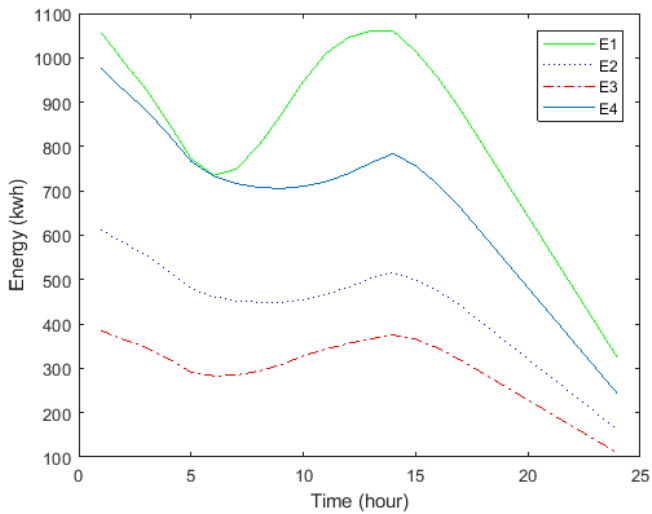
Kemudian dilakukan simulasi sebagai berikut untuk melihat pembagian daya antara diesel, dan sistem hybrid PV dan baterai.



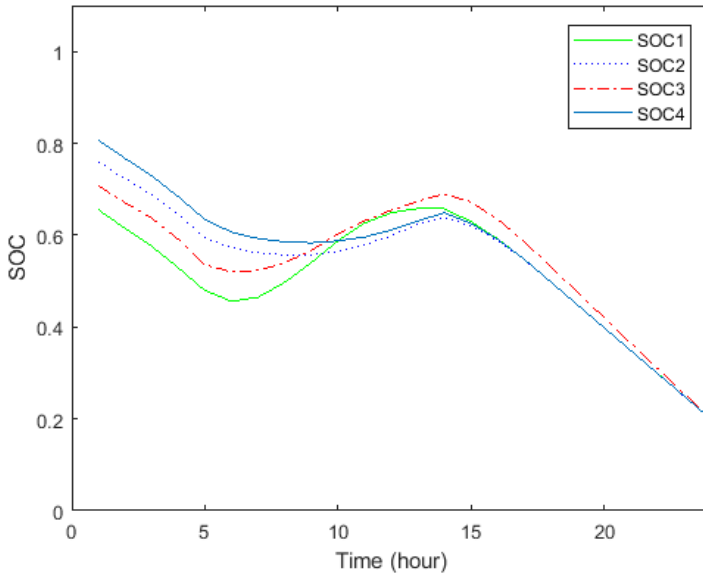
Gambar 4.13 Grafik daya terbangkit kondisi iradiasi minimum



Gambar 4.14 Grafik daya PV- Baterai kondisi iradiasi minimum



Gambar 4.15 Grafik energi baterai kondisi iradiasi minimum



Gambar 4.16 Grafik SOC baterai kondisi iradiasi minimum

Pada simulasi kondisi iradiasi minimum, kondisi baterai pada posisi awal memiliki nilai SOC mendekati maksimum sesuai dengan Tabel 4.9. Dikarenakan posisi SOC baterai masih memiliki energi yang besar, pada pagi hari daya terbangkit dari energi baterai mampu mengurangi daya terbangkit diesel. Kemudian pada siang hari dimana posisi daya terbangkit dari PV bernilai maksimum sebagian daya dari PV disuplai untuk beban dan sebagian daya untuk mengisi kapasitas energi baterai. Hal ini dilakukan untuk memastikan total biaya pembangkitan tersebut minimum dan dapat tetap memenuhi kebutuhan beban secara penuh. Dari grafik daya pembangkitan PV dan baterai dapat disimpulkan bahwa daya terbangkit PV digunakan sepenuhnya tetapi proses *discharging* baterai dilakukan lebih awal dibandingkan dengan kasus sebelumnya. Pada kondisi iradiasi minimum ini, proses *discharging* baterai setelah pengisian dilakukan sekitar pukul 15:00. Pembagian daya yang dilakukan pada saat daya terbangkit PV mulai meningkat adalah daya diesel generator dibuat konstan, tetapi pada kasus ini tidak pada batas

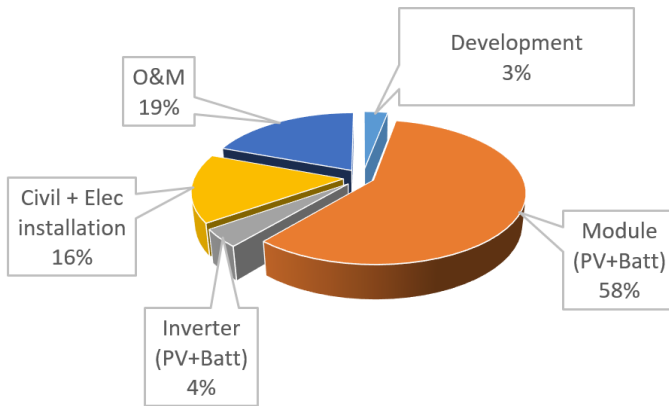
constraint minimum 30%, kemudian daya PV dan baterai digunakan untuk memenuhi sisa kebutuhan beban yang telah disuplai oleh diesel generator tersebut. Jika dilihat dari kondisi energi baterai, baterai pada lokasi pertama yang memiliki kapasitas terbesar digunakan lebih besar dibandingkan baterai pada lokasi lainnya dan juga mendapatkan daya tambahan yang lebih besar pada saat proses *charging* dibanding dengan baterai lainnya.

Pada grafik SOC, pengisian baterai relatif lebih kecil dibanding dengan kasus sebelumnya. Pada baterai di lokasi kedua dan keempat, peningkatan SOC lebih rendah dan peningkatan SOC baterai pada lokasi lainnya relatif lebih besar.

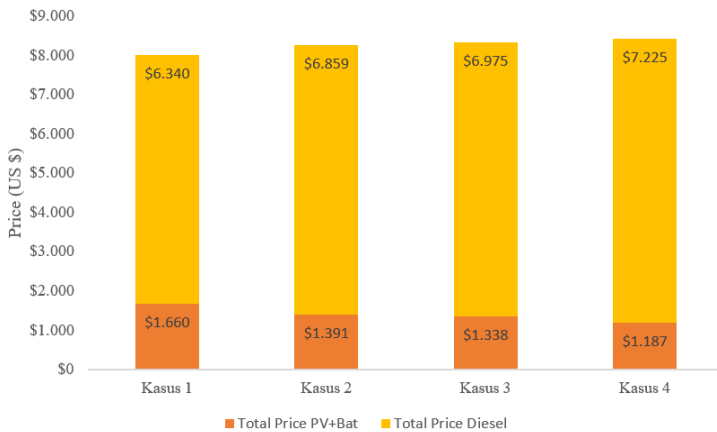
4.3 Analisis Pola Pengoperasian Manual dan Optimal

Dengan pola pengoperasian sementara manual sebelumnya, total biaya pembangkitan tidak dipertimbangkan, serta melanggar batasan constraint generator sebesar 30% dan besaran *charging* dan *discharging* maksimum sistem baterai di setiap lokasi. Model penjadwalan ini juga tidak mempertimbangkan daya yang terdapat pada saluran.

Untuk keempat kasus yang dianalisa, perbandingan biaya dalam pengoperasian optimal akan dilakukan, dengan biaya pembangkitan termurah untuk memenuhi kebutuhan beban yang disuplai dengan dua sumber utama yaitu diesel generator dan sistem PV-Baterai. Berdasarkan perhitungan *life cycle cost* yang telah dilakukan, maka cost structure untuk total keseluruhan nilai investasi dari sistem hybrid PV-Baterai dengan kapasitas yang terpasang di PLN Tomia dapat dijelaskan sebagai berikut:



Gambar 4.17 Grafik *cost structure* sistem *hybrid PLTS-Baterai*



Gambar 4.18 Grafik perbandingan biaya pembangunan

Dari grafik *cost structure* disimpulkan bahwa dari total harga proyek, biaya terbesar terdapat di komponen modul baterai dan PV *array* yang mencapai 58% dari total pembiayaan. Sedangkan pembagian antara biaya operasi pemeliharaan dan biaya konstruksi pembangunan lokasi dan elektrikal mendapatkan pembagian

persentasi yang kurang lebih sama pada 19% dan 16%, selanjutnya porsi terendah terdapat pada biaya development dan modul inverter.

Kemudian analisis dari pembagian biaya pembangkitan dibandingkan antara kasus 1, 2, 3 dan 4. Pada kasus pertama, dikarenakan jumlah energi baterai pada kondisi awal pada kapasitas tinggi maka daya terbangkit untuk sistem baterai lebih besar sehingga mengurangi penggunaan daya terbangkit dari diesel, dengan begitu biaya diesel di minimalkan hingga sejumlah \$6.340 dan pembangkitan sistem PV-Baterai seharga \$1.660. Pada kasus kedua pembangkitan diesel lebih tinggi sejumlah \$6.859 dengan total biaya energi hybrid lebih kecil daripada kasus pertama seharga \$1.391, diakibatkan karena kondisi awal sistem baterai tidak sebesar kasus pertama sehingga penggunaan pembangkitan diesel ditingkatkan.

Terakhir pada kasus ketiga kondisi baterai pada level mendekati posisi minimum antara 15-25% dengan batasan SOC yang lebih rendah, hal ini sistem baterai dapat memberikan sisa energi tersimpan yang lebih besar. Dengan batasan SOC minimum baterai 5%, sistem penyimpanan baterai masih dapat mensuplai beban pada pagi hari walaupun tidak sebesar di kasus kedua. Dari hasil perhitungan digambarkan biaya pembangkitan sistem hybrid sebesar \$1.338 dan pembangkitan diesel sebesar \$6.975 dan pada kasus ke 4 lebih besar dibanding kasus lainnya, karena kondisi iradiasi yang minimal sehingga daya yang didapatkan dari PV lebih kecil dibanding kasus lainnya sehingga peran sistem hybrid untuk mensuplai beban lebih kecil.

Jika dilakukan perbandingan total biaya antara kasus 1, 2, 3 dan 4 dapat disimpulkan biaya pembangkitan dapat diminimalkan dengan beroperasinya sistem hybrid PV-Baterai, dengan mengurangi penggunaan diesel generator. Kasus pertama mendapatkan total biaya pembangkitan terendah sebesar \$8.000 dan kasus kedua seharga \$8.250 dan kasus ketiga memiliki total biaya pembangkitan termahal seharga \$8.412.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan analisis terhadap studi manajemen aliran daya untuk sistem kelistrikan PLTS berupa PV-Baterai yang terinterkoneksi sistem kelistrikan PLN Tomia 20 kV menggunakan metode *quadratic programming* didapatkan kesimpulan bahwa:

1. Metode *quadratic programming* dapat diimplementasikan untuk menyelesaikan masalah *dynamic optimal power flow* dengan sistem *photovoltaic* dan sistem baterai.
2. Dengan bantuan integrasi sistem penyimpanan energi baterai, total biaya pembangkitan dapat diminimalkan dengan kontribusi sistem PV-Baterai dengan selisih sebesar 3.124% dengan total perbandingan antara kasus 1 seharga \$8,000 dan kasus 2 seharga \$8,250 dan selisih 3.904% antara kasus 1 dan 3 serta kasus ke 4 seharga \$8.412 dengan selisih 5,149% antara kasus 1 dan 4.
3. Hasil simulasi dari tiga skenario telah memenuhi permintaan beban serta tidak melanggar kapasitas saluran, ramp rate dari diesel generator dan batasan kapasitas generator.
4. Sistem penyimpanan energi baterai melakukan *charging* berdasarkan daya terbangkit PV dan melakukan *discharging* pada saat daya terbangkit PV bernilai nol untuk mengkompensasi daya terbangkit dari diesel generator.
5. Pola daya terbangkit dari PV tidak digunakan seluruhnya untuk *charging* pada baterai tetapi sebagian digunakan untuk menjaga daya terbangkit diesel generator minimum dan masih dalam batasan constraint 30%.

5.2 Saran

Saran yang diberikan untuk pengembangan penelitian selanjutnya adalah:

1. Dalam optimasi *dynamic OPF* dapat memperhitungkan rugi – rugi serta aliran daya reaktif sehingga dapat mendekati keadaan di lapangan.

2. Pengembangan penelitian dengan metode *artificial intelligence* untuk mendapatkan metode paling sesuai dan dapat mempertimbangkan efisiensi dan pengaruh baterai.
3. Penentuan beban dengan *load forecasting* dan pemodelan iradiasi yang akurat sehingga dapat melakukan penjadwalan untuk hari yang akan datang.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] ESDM, “Roadmap Pengembangan Energi Baru Terbarukan,” Yogyakarta, 2018.
- [2] A. Luque and S. Hegedus, *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*. John Wiley & Sons, 2011.
- [3] Y. Rifonneau, S. Bacha, F. Barruel, and S. Ploix, “Optimal Power Flow Management for Grid Connected PV Systems With Batteries,” *IEEE Trans. Sustain. Energy*, vol. 2, no. 3, pp. 309–320, Jul. 2011.
- [4] J. C. Das, *Load Flow Optimization and Optimal Power Flow*. CRC Press, 2017.
- [5] H. Saadat, *Power System Analysis*. McGraw-Hill, 2009.
- [6] R. A. Messenger and J. Ventre, *Photovoltaic Systems Engineering, Second Edition*. Taylor & Francis, 2004.
- [7] A. K. Khamees, N. M. Badra, and A. Y. Abdelaziz, “Optimal Power Flow Methods: A Comprehensive Survey,” vol. 7, no. 4, p. 13, 2016.
- [8] A. K. Abu-Rumman, I. Muslih, and M. A. Barghash, “Life Cycle Costing of PV Generation System,” *J. Appl. Res. Ind. Eng.*, vol. 4, no. 4, pp. 252–258, Dec. 2017.
- [9] D. C. Riawan, “Design of Hybrid System in Tomia Distribution System,” 2018.
- [10] D. C. Riawan, “Operation Plan Hybrid System in Tomia.” .
- [11] CAT, “Standby CAT-1825kVa-50Hz-PP Generator Datasheet.” .
- [12] SHARP, “SHARP NU255FB PV Datasheet.” 2016.
- [13] Nexans, “OLC12641 AerialCat AAAC Cable Nexans Datasheet.” 2016.
- [14] FluidicEnergy, “Fluidic Energy: FE7 Mini Grid Energy Storage System Datasheet.” 2017.
- [15] IEA, “Trends 2018 in Photovoltaics Applications,” *Int. Energy Agency*, 2018.
- [16] IRENA, “Electricity Storage and Renewables: Costs and Markets to 2030,” 2017.
- [17] PLN, “Logbook Load Genset PLTD Tomia.” 2017.

[Halaman Ini Sengaja Dikosongkan]

LAMPIRAN

Tabel 1. Daya Terbangkit Kasus 1

Jam	1	2	3	4	5	6
Diesel	489,80	474,32	463,92	501,93	562,61	420,00
Batt 1	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	76,97
PV 1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Batt 2	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	37,09
PV 2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Batt 3	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	27,09
PV 3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Batt 4	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	57,03
PV 4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Jam	7	8	9	10	11	12
Diesel	420,00	420,00	420,00	420,00	420,00	420,00
Batt 1	40,21	-15,57	-66,35	-105,01	-118,08	-97,66
PV 1	15,78	54,15	92,22	123,03	143,17	150,62
Batt 2	15,65	0,23	-10,33	-20,33	-28,33	-36,69
PV 2	6,37	20,53	35,06	47,39	55,81	59,07
Batt 3	4,90	-11,90	-23,48	-33,37	-29,35	-27,37
PV 3	5,00	15,74	26,63	35,94	42,35	44,86
Batt 4	31,26	8,29	-8,43	-23,94	-34,22	-44,87
PV 4	10,83	36,53	62,69	84,29	98,64	104,04

Jam	13	14	15	16	17	18
Diesel	420,00	420,00	420,00	420,00	448,34	708,88
Batt 1	-68,70	-31,35	35,90	64,90	80,00	80,00
PV 1	145,01	126,87	100,15	64,74	25,65	0,00
Batt 2	-42,32	-31,92	1,84	25,33	40,00	40,00
PV 2	56,95	49,64	39,42	25,80	11,66	0,00
Batt 3	-25,65	-23,30	-4,86	15,34	30,00	30,00
PV 3	43,26	37,69	29,98	19,69	9,33	0,00
Batt 4	-48,78	-41,17	16,87	44,91	60,00	60,00
PV 4	100,23	87,54	69,27	44,98	18,65	0,00

Jam	19	20	21	22	23	24
Diesel	728,92	690,23	653,68	604,01	562,63	521,23
Batt 1	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00
PV 1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Batt 2	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00
PV 2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Batt 3	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
PV 3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Batt 4	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00
PV 4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabel 2. Daya Terbangkit Kasus 2

Jam	1	2	3	4	5	6
Diesel	573,40	573,40	573,40	573,40	573,40	573,40
Batt 1	43,49	34,37	27,98	50,24	77,08	8,64
PV 1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Batt 2	28,26	27,49	27,08	29,08	37,32	11,97
PV 2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Jam	1	2	3	4	5	6
Batt 3	23,54	23,33	23,22	23,68	27,70	14,54
PV 3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Batt 4	31,12	25,73	22,24	35,53	57,11	9,63
PV 4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Jam	7	8	9	10	11	12
Diesel	484,71	438,12	438,12	438,12	438,12	438,12
Batt 1	0,00	-24,35	-62,06	-109,07	-132,43	-136,35
PV 1	25,65	74,48	116,96	149,58	169,89	176,87
Batt 2	0,00	-25,46	-48,65	-56,95	-56,76	-53,00
PV 2	11,66	33,86	53,16	67,99	77,22	80,40
Batt 3	0,00	-25,11	-38,59	-39,90	-37,72	-34,71
PV 3	9,33	27,08	42,53	54,39	61,78	64,32
Batt 4	0,00	-24,79	-58,52	-84,95	-93,67	-92,28
PV 4	18,65	54,17	85,06	108,79	123,56	128,63

Jam	13	14	15	16	17	18
Diesel	438,12	438,12	438,12	438,12	448,34	708,88
Batt 1	-127,22	-95,37	-0,26	47,10	80,00	80,00
PV 1	169,89	149,58	116,96	74,48	25,65	0,00
Batt 2	-47,30	-37,39	-8,92	14,42	40,00	40,00
PV 2	77,22	67,99	53,16	33,86	11,66	0,00
Batt 3	-31,59	-27,11	-11,73	6,47	30,00	30,00
PV 3	61,78	54,39	42,53	27,08	9,33	0,00
Batt 4	-84,46	-64,99	-6,33	30,00	60,00	60,00
PV 4	123,56	108,79	85,06	54,17	18,65	0,00

Jam	19	20	21	22	23	24
Diesel	728,92	690,23	653,68	604,01	562,63	521,23
Batt 1	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00
PV 1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Batt 2	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00
PV 2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Batt 3	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
PV 3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Batt 4	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00
PV 4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabel 3. Grafik Daya Terbangkit Kasus 3

Jam	1	2	3	4	5	6
Diesel	598,08	598,08	598,08	598,08	598,08	598,08
Batt 1	25,92	14,48	6,46	41,68	68,14	4,52
PV 1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Batt 2	21,97	20,80	20,13	20,96	32,04	4,99
PV 2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Batt 3	19,93	19,59	19,40	19,75	24,37	5,78
PV 3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Batt 4	33,90	31,37	29,84	31,46	49,97	4,81
PV 4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Jam	7	8	9	10	11	12
Diesel	484,71	438,12	438,12	438,12	438,12	438,12
Batt 1	0,00	-24,26	-61,01	-107,39	-131,25	-136,15
PV 1	25,65	74,48	116,96	149,58	169,89	176,87
Batt 2	0,00	-25,33	-49,23	-57,84	-57,31	-53,01
PV 2	11,66	33,86	53,16	67,99	77,22	80,40

Jam	7	8	9	10	11	12
Batt 3	19,93	19,59	19,40	19,75	24,37	5,78
PV 3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Batt 4	33,90	31,37	29,84	31,46	49,97	4,81
PV 4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Jam	13	14	15	16	17	18
Diesel	438,12	438,12	438,12	438,12	448,34	708,88
Batt 1	-126,48	-97,20	-3,72	43,62	80,00	80,00
PV 1	169,89	149,58	116,96	74,48	25,65	0,00
Batt 2	-47,67	-36,31	-6,28	15,57	40,00	40,00
PV 2	77,22	67,99	53,16	33,86	11,66	0,00
Batt 3	-32,09	-26,23	-8,47	11,61	30,00	30,00
PV 3	61,78	54,39	42,53	27,08	9,33	0,00
Batt 4	-84,34	-65,12	-8,78	27,19	60,00	60,00
PV 4	123,56	108,79	85,06	54,17	18,65	0,00

Jam	19	20	21	22	23	24
Diesel	728,92	690,23	653,68	604,01	562,63	521,23
Batt 1	80	80	80	80	80	80
PV 1	0	0	0	0	0	0
Batt 2	40	40	40	40	40	40
PV 2	0	0	0	0	0	0
Batt 3	30	30	30	30	30	30
PV 3	0	0	0	0	0	0
Batt 4	60	60	60	60	60	60
PV 4	0	0	0	0	0	0

Tabel 4. Daya Saluran Kasus 1

Dari bus	Ke bus	Batas	Jam 1	Jam 2	Jam 3	Jam 4	Jam 5	Jam 6
1	2	6447	489,80	474,32	463,92	501,93	562,61	420,00
2	3	6447	436,30	422,00	412,39	447,50	503,54	372,74
3	4	6447	382,80	369,68	360,87	393,07	444,47	325,48
4	5	6447	329,30	317,36	309,35	338,64	385,40	278,22
5	6	6447	307,90	296,44	288,74	316,87	361,78	259,31
6	7	6447	239,40	229,47	222,79	247,20	286,17	198,82
7	8	6447	276,60	267,62	261,57	283,66	318,91	237,97
8	9	6447	255,20	246,69	240,96	261,89	295,29	219,07
9	10	6447	233,80	225,76	220,35	240,12	271,66	200,17
10	11	6447	24,20	22,78	21,83	25,31	30,88	19,63
11	12	6447	2,80	1,85	1,22	3,54	7,25	0,72
12	13	6447	188,20	182,05	177,92	193,03	217,15	161,63
13	14	6447	166,80	161,13	157,31	171,26	193,53	142,73
14	15	6447	124,00	119,27	116,09	127,72	146,27	104,92
15	16	6447	38,40	35,56	33,65	40,63	51,76	29,30
16	17	6447	27,70	25,10	23,35	29,74	39,95	19,85
17	18	6447	17,00	14,64	13,05	18,86	28,14	10,40
18	19	6447	-4,40	-6,29	-7,56	-2,91	4,51	-8,51
19	20	6447	-17,20	-18,15	-18,78	-16,46	-12,75	-19,22
20	21	6447	10,70	10,46	10,30	10,89	11,81	9,45
21	22	6447	42,80	41,85	41,22	43,54	47,25	37,81

Dari bus	Ke bus	Batas	Jam 7	Jam 8	Jam 9	Jam 10	Jam 11	Jam 12
1	2	6447	420,00	420,00	420,00	420,00	420,00	420,00
2	3	6447	377,95	379,63	379,63	379,63	377,95	376,27

Dari bus	Ke bus	Batas	Jam 7	Jam 8	Jam 9	Jam 10	Jam 11	Jam 12
3	4	6447	335,90	339,27	339,27	339,27	335,90	332,54
4	5	6447	293,85	298,90	298,90	298,90	293,85	288,81
5	6	6447	277,03	282,75	282,75	282,75	277,03	271,31
6	7	6447	223,21	231,08	231,08	231,08	223,21	215,34
7	8	6447	245,56	237,36	224,65	216,80	214,66	233,31
8	9	6447	228,74	221,22	208,51	200,65	197,84	215,81
9	10	6447	211,92	205,07	192,36	184,51	181,02	198,32
10	11	6447	28,44	27,68	23,72	21,37	22,98	30,10
11	12	6447	11,62	11,54	7,57	5,23	6,16	12,61
12	13	6447	166,67	161,24	152,49	146,99	141,22	150,73
13	14	6447	149,85	145,09	136,35	130,84	124,40	133,24
14	15	6447	116,21	112,80	104,05	98,55	90,76	98,26
15	16	6447	48,93	48,21	39,47	33,96	23,49	28,29
16	17	6447	40,52	40,14	31,39	25,89	15,08	19,54
17	18	6447	32,11	32,06	23,32	17,81	6,67	10,79
18	19	6447	15,29	15,92	7,17	1,67	-10,15	-6,70
19	20	6447	-8,46	-12,53	-21,97	-28,06	-30,79	-24,19
20	21	6447	8,41	8,07	8,07	8,07	8,41	8,75
21	22	6447	33,64	32,29	32,29	32,29	33,64	34,98

Dari bus	Ke bus	Batas	Jam 13	Jam 14	Jam 15	Jam 16	Jam 17	Jam 18
1	2	6447	420,00	420,00	420,00	420,00	448,34	708,88
2	3	6447	375,66	374,59	365,83	364,52	393,02	638,63
3	4	6447	331,31	329,17	311,65	309,04	337,69	568,38
4	5	6447	286,97	283,76	257,48	253,56	282,37	498,13
5	6	6447	269,24	265,60	235,81	231,36	260,24	470,03
6	7	6447	212,48	207,47	166,47	160,35	189,43	380,11
7	8	6447	253,32	266,65	259,19	245,60	250,82	403,90

Dari bus	Ke bus	Batas	Jam 13	Jam 14	Jam 15	Jam 16	Jam 17	Jam 18
8	9	6447	235,58	248,49	237,52	223,41	228,69	375,80
9	10	6447	217,84	230,32	215,85	201,22	206,56	347,70
10	11	6447	38,59	36,78	23,74	15,44	14,73	44,30
11	12	6447	20,85	18,62	2,07	-6,75	-7,40	16,20
12	13	6447	161,52	175,38	170,44	163,58	169,70	275,30
13	14	6447	143,78	157,21	148,77	141,39	147,57	247,20
14	15	6447	108,31	120,88	105,43	97,00	103,31	191,00
15	16	6447	37,36	48,22	18,75	8,23	14,80	78,60
16	17	6447	28,49	39,14	7,92	-2,86	3,73	64,55
17	18	6447	19,62	30,05	-2,92	-13,96	-7,33	50,50
18	19	6447	1,88	11,89	-24,58	-36,15	-29,46	22,40
19	20	6447	-15,98	-10,05	-42,79	-45,50	-34,39	-3,80
20	21	6447	8,87	9,08	10,83	11,10	11,06	14,05
21	22	6447	35,47	36,33	43,34	44,39	44,26	56,20

Dari bus	Ke bus	Batas	Jam 19	Jam 20	Jam 21	Jam 22	Jam 23	Jam 24
1	2	6447	728,92	690,23	653,68	604,01	562,63	521,23
2	3	6447	657,14	621,41	587,65	541,77	503,56	465,33
3	4	6447	585,36	552,58	521,62	479,54	444,49	409,42
4	5	6447	513,57	483,76	455,59	417,31	385,42	353,52
5	6	6447	484,86	456,23	429,18	392,42	361,80	331,16
6	7	6447	392,98	368,13	344,66	312,76	286,19	259,60
7	8	6447	415,55	393,07	371,83	342,97	318,93	294,88
8	9	6447	386,84	365,54	345,42	318,08	295,30	272,51
9	10	6447	358,13	338,01	319,01	293,18	271,68	250,15
10	11	6447	46,14	42,59	39,24	34,68	30,88	27,09
11	12	6447	17,43	15,06	12,82	9,79	7,26	4,72
12	13	6447	283,27	267,89	253,36	233,61	217,16	200,70

Dari bus	Ke bus	Batas	Jam 19	Jam 20	Jam 21	Jam 22	Jam 23	Jam 24
13	14	6447	254,56	240,36	226,95	208,72	193,54	178,34
14	15	6447	197,13	185,30	174,12	158,93	146,28	133,62
15	16	6447	82,28	75,18	68,47	59,36	51,77	44,17
16	17	6447	67,92	61,42	55,27	46,91	39,95	32,99
17	18	6447	53,57	47,65	42,06	34,47	28,14	21,81
18	19	6447	24,85	20,12	15,65	9,57	4,51	-0,55
19	20	6447	-2,57	-4,94	-7,18	-10,21	-12,74	-15,28
20	21	6447	14,36	13,77	13,21	12,45	11,81	11,18
21	22	6447	57,43	55,06	52,82	49,79	47,26	44,72

Tabel 5. Daya Saluran Kasus 2

Dari bus	Ke bus	Batas	Jam 1	Jam 2	Jam 3	Jam 4	Jam 5	Jam 6
1	2	6447	573,40	573,40	573,40	573,40	573,40	573,40
2	3	6447	519,90	521,08	521,87	518,97	514,33	526,14
3	4	6447	466,40	468,76	470,35	464,54	455,26	478,87
4	5	6447	412,90	416,44	418,83	410,11	396,20	431,61
5	6	6447	391,50	395,52	398,22	388,34	372,57	412,71
6	7	6447	323,00	328,55	332,27	318,67	296,96	352,21
7	8	6447	323,68	321,07	319,03	325,37	326,79	323,04
8	9	6447	302,28	300,14	298,42	303,60	303,16	304,14
9	10	6447	280,88	279,22	277,82	281,82	279,53	285,23
10	11	6447	35,94	35,29	34,75	36,23	33,56	44,74
11	12	6447	14,54	14,36	14,14	14,46	9,94	25,84
12	13	6447	223,54	223,00	222,46	223,82	222,34	221,59
13	14	6447	202,14	202,07	201,85	202,05	198,71	202,68
14	15	6447	159,34	160,22	160,63	158,51	151,46	164,87
15	16	6447	73,74	76,51	78,20	71,42	56,95	89,25
16	17	6447	63,04	66,05	67,89	60,54	45,14	79,80

Dari bus	Ke bus	Batas	Jam 1	Jam 2	Jam 3	Jam 4	Jam 5	Jam 6
17	18	6447	52,34	55,58	57,59	49,65	33,32	70,35
18	19	6447	30,94	34,66	36,98	27,88	9,70	51,45
19	20	6447	11,68	16,13	18,98	8,02	-9,85	28,18
20	21	6447	10,70	10,46	10,30	10,89	11,81	9,45
21	22	6447	42,80	41,85	41,22	43,54	47,25	37,81

Dari bus	Ke bus	Batas	Jam 7	Jam 8	Jam 9	Jam 10	Jam 11	Jam 12
1	2	6447	484,71	438,12	438,12	438,12	438,12	438,12
2	3	6447	442,66	397,75	397,75	397,75	396,07	394,39
3	4	6447	400,62	357,38	357,38	357,38	354,02	350,65
4	5	6447	358,57	317,02	317,02	317,02	311,97	306,92
5	6	6447	341,75	300,87	300,87	300,87	295,15	289,43
6	7	6447	287,92	249,20	249,20	249,20	241,33	233,46
7	8	6447	279,93	267,04	271,81	257,42	245,15	238,99
8	9	6447	263,11	250,89	255,66	241,27	228,33	221,50
9	10	6447	246,29	234,75	239,51	225,13	211,51	204,01
10	11	6447	38,80	40,04	43,93	37,40	29,99	25,08
11	12	6447	21,98	23,90	27,79	21,25	13,17	7,59
12	13	6447	190,67	178,56	179,43	171,58	164,70	161,44
13	14	6447	173,85	162,41	163,29	155,44	147,88	143,94
14	15	6447	140,22	130,12	130,99	123,14	114,24	108,96
15	16	6447	72,94	65,53	66,41	58,56	46,96	38,99
16	17	6447	64,53	57,46	58,33	50,48	38,55	30,24
17	18	6447	56,12	49,38	50,26	42,41	30,14	21,50
18	19	6447	39,30	33,24	34,11	26,26	13,32	4,01
19	20	6447	14,99	2,92	5,76	8,46	3,75	-1,37
20	21	6447	8,41	8,07	8,07	8,07	8,41	8,75

Dari bus	Ke bus	Batas	Jam 7	Jam 8	Jam 9	Jam 10	Jam 11	Jam 12
21	22	6447	33,64	32,29	32,29	32,29	33,64	34,98

Dari bus	Ke bus	Batas	Jam 13	Jam 14	Jam 15	Jam 16	Jam 17	Jam 18
1	2	6447	438,12	438,12	438,12	438,12	448,34	708,88
2	3	6447	393,77	392,70	383,94	382,64	393,02	638,63
3	4	6447	349,43	347,29	329,77	327,15	337,69	568,38
4	5	6447	305,09	301,88	275,60	271,67	282,37	498,13
5	6	6447	287,35	283,71	253,93	249,48	260,24	470,03
6	7	6447	230,59	225,58	184,59	178,46	189,43	380,11
7	8	6447	237,79	243,46	257,95	255,66	250,82	403,90
8	9	6447	220,06	225,30	236,28	233,47	228,69	375,80
9	10	6447	202,32	207,13	214,61	211,28	206,56	347,70
10	11	6447	23,28	23,89	20,76	18,31	14,73	44,30
11	12	6447	5,55	5,73	-0,91	-3,89	-7,40	16,20
12	13	6447	161,30	165,07	172,18	170,78	169,70	275,30
13	14	6447	143,56	146,91	150,51	148,59	147,57	247,20
14	15	6447	108,09	110,58	107,17	104,20	103,31	191,00
15	16	6447	37,14	37,92	20,50	15,43	14,80	78,60
16	17	6447	28,27	28,83	9,66	4,33	3,73	64,55
17	18	6447	19,40	19,75	-1,17	-6,76	-7,33	50,50
18	19	6447	1,67	1,59	-22,84	-28,95	-29,46	22,40
19	20	6447	-3,62	-7,47	-35,39	-39,78	-34,39	-3,80
20	21	6447	8,87	9,08	10,83	11,10	11,06	14,05
21	22	6447	35,47	36,33	43,34	44,39	44,26	56,20

Dari bus	Ke bus	Batas	Jam 19	Jam 20	Jam 21	Jam 22	Jam 23	Jam 24
1	2	6447	728,92	690,23	653,68	604,01	562,63	521,23
2	3	6447	657,14	621,41	587,65	541,77	503,56	465,33

Dari bus	Ke bus	Batas	Jam 19	Jam 20	Jam 21	Jam 22	Jam 23	Jam 24
3	4	6447	585,36	552,58	521,62	479,54	444,49	409,42
4	5	6447	513,57	483,76	455,59	417,31	385,42	353,52
5	6	6447	484,86	456,23	429,18	392,42	361,80	331,16
6	7	6447	392,98	368,13	344,66	312,76	286,19	259,60
7	8	6447	415,55	393,07	371,83	342,97	318,93	294,88
8	9	6447	386,84	365,54	345,42	318,08	295,30	272,51
9	10	6447	358,13	338,01	319,01	293,18	271,68	250,15
10	11	6447	46,14	42,59	39,24	34,68	30,88	27,09
11	12	6447	17,43	15,06	12,82	9,79	7,26	4,72
12	13	6447	283,27	267,89	253,36	233,61	217,16	200,70
13	14	6447	254,56	240,36	226,95	208,72	193,54	178,34
14	15	6447	197,13	185,30	174,12	158,93	146,28	133,62
15	16	6447	82,28	75,18	68,47	59,36	51,77	44,17
16	17	6447	67,92	61,42	55,27	46,91	39,95	32,99
17	18	6447	53,57	47,65	42,06	34,47	28,14	21,81
18	19	6447	24,85	20,12	15,65	9,57	4,51	-0,55
19	20	6447	-2,57	-4,94	-7,18	-10,21	-12,74	-15,28
20	21	6447	14,36	13,77	13,21	12,45	11,81	11,18
21	22	6447	57,43	55,06	52,82	49,79	47,26	44,72

Tabel 6. Daya Saluran Kasus 3

Dari Bus	Ke bus	Batas	Jam 1	Jam 2	Jam 3	Jam 4	Jam 5	Jam 6
1	2	6447	598,08	598,08	598,08	598,08	598,08	598,08
2	3	6447	544,58	545,76	546,56	543,65	539,01	550,82
3	4	6447	491,08	493,45	495,04	489,22	479,95	503,56
4	5	6447	437,58	441,13	443,51	434,79	420,88	456,30
5	6	6447	416,18	420,20	422,90	413,02	397,25	437,39
6	7	6447	347,68	353,23	356,96	343,35	321,64	376,90

Dari Bus	Ke bus	Batas	Jam 1	Jam 2	Jam 3	Jam 4	Jam 5	Jam 6
7	8	6447	331,10	326,45	323,04	339,87	342,58	343,45
8	9	6447	309,70	305,52	302,43	318,10	318,96	324,55
9	10	6447	288,30	284,59	281,82	296,33	295,33	305,64
10	11	6447	42,30	42,15	41,96	43,86	38,93	51,61
11	12	6447	20,90	21,23	21,35	22,09	15,30	32,70
12	13	6447	224,59	221,51	219,25	230,69	232,78	235,13
13	14	6447	203,19	200,58	198,64	208,92	209,15	216,22
14	15	6447	160,39	158,73	157,42	165,38	161,90	178,41
15	16	6447	74,79	75,02	74,99	78,29	67,39	102,80
16	17	6447	64,09	64,56	64,68	67,41	55,57	93,34
17	18	6447	53,39	54,09	54,38	56,52	43,76	83,89
18	19	6447	31,99	33,17	33,77	34,75	20,13	64,99
19	20	6447	9,27	10,98	11,98	11,00	-3,17	33,07
20	21	6447	10,70	10,46	10,30	10,89	11,81	9,45
21	22	6447	42,80	41,85	41,22	43,54	47,25	37,81

Dari Bus	Ke bus	Batas	Jam 7	Jam 8	Jam 9	Jam 10	Jam 11	Jam 12
1	2	6447	484,71	438,12	438,12	438,12	438,12	438,12
2	3	6447	442,66	397,75	397,75	397,75	396,07	394,39
3	4	6447	400,62	357,38	357,38	357,38	354,02	350,65
4	5	6447	358,57	317,02	317,02	317,02	311,97	306,92
5	6	6447	341,75	300,87	300,87	300,87	295,15	289,43
6	7	6447	287,92	249,20	249,20	249,20	241,33	233,46
7	8	6447	279,93	267,48	269,46	256,64	246,31	240,69
8	9	6447	263,11	251,34	253,32	240,49	229,49	223,19
9	10	6447	246,29	235,19	237,17	224,35	212,67	205,70
10	11	6447	38,80	40,45	42,76	36,97	30,25	25,96
11	12	6447	21,98	24,30	26,61	20,83	13,43	8,47

Dari Bus	Ke bus	Batas	Jam 7	Jam 8	Jam 9	Jam 10	Jam 11	Jam 12
12	13	6447	190,67	178,59	178,26	171,22	165,61	162,25
13	14	6447	173,85	162,45	162,12	155,08	148,79	144,76
14	15	6447	140,22	130,15	129,82	122,78	115,15	109,77
15	16	6447	72,94	65,57	65,23	58,20	47,87	39,80
16	17	6447	64,53	57,49	57,16	50,12	39,46	31,06
17	18	6447	56,12	49,42	49,09	42,05	31,05	22,31
18	19	6447	39,30	33,27	32,94	25,90	14,23	4,82
19	20	6447	14,99	3,53	5,87	7,96	2,98	-1,91
20	21	6447	8,41	8,07	8,07	8,07	8,41	8,75
21	22	6447	33,64	32,29	32,29	32,29	33,64	34,98

Dari Bus	Ke bus	Batas	Jam 13	Jam 14	Jam 15	Jam 16	Jam 17	Jam 18
1	2	6447	438,12	438,12	438,12	438,12	448,34	708,88
2	3	6447	393,77	392,70	383,94	382,64	393,02	638,63
3	4	6447	349,43	347,29	329,77	327,15	337,69	568,38
4	5	6447	305,09	301,88	275,60	271,67	282,37	498,13
5	6	6447	287,35	283,71	253,93	249,48	260,24	470,03
6	7	6447	230,59	225,58	184,59	178,46	189,43	380,11
7	8	6447	238,40	242,65	256,87	256,77	250,82	403,90
8	9	6447	220,66	224,49	235,21	234,57	228,69	375,80
9	10	6447	202,92	206,32	213,54	212,38	206,56	347,70
10	11	6447	23,54	23,60	20,48	18,68	14,73	44,30
11	12	6447	5,80	5,44	-1,19	-3,51	-7,40	16,20
12	13	6447	161,65	164,55	171,39	171,51	169,70	275,30
13	14	6447	143,91	146,39	149,72	149,32	147,57	247,20
14	15	6447	108,44	110,06	106,38	104,93	103,31	191,00
15	16	6447	37,49	37,40	19,71	16,16	14,80	78,60

Dari Bus	Ke bus	Batas	Jam 13	Jam 14	Jam 15	Jam 16	Jam 17	Jam 18
16	17	6447	28,62	28,31	8,87	5,07	3,73	64,55
17	18	6447	19,75	19,23	-1,96	-6,03	-7,33	50,50
18	19	6447	2,01	1,07	-23,63	-28,22	-29,46	22,40
19	20	6447	-3,77	-7,53	-34,58	-39,29	-34,39	-3,80
20	21	6447	8,87	9,08	10,83	11,10	11,06	14,05
21	22	6447	35,47	36,33	43,34	44,39	44,26	56,20

Dari Bus	Ke bus	Batas	Jam 19	Jam 20	Jam 21	Jam 22	Jam 23	Jam 24
1	2	6447	728,92	690,23	653,68	604,01	562,63	521,23
2	3	6447	657,14	621,41	587,65	541,77	503,56	465,33
3	4	6447	585,36	552,58	521,62	479,54	444,49	409,42
4	5	6447	513,57	483,76	455,59	417,31	385,42	353,52
5	6	6447	484,86	456,23	429,18	392,42	361,80	331,16
6	7	6447	392,98	368,13	344,66	312,76	286,19	259,60
7	8	6447	415,55	393,07	371,83	342,97	318,93	294,88
8	9	6447	386,84	365,54	345,42	318,08	295,30	272,51
9	10	6447	358,13	338,01	319,01	293,18	271,68	250,15
10	11	6447	46,14	42,59	39,24	34,68	30,88	27,09
11	12	6447	17,43	15,06	12,82	9,79	7,26	4,72
12	13	6447	283,27	267,89	253,36	233,61	217,16	200,70
13	14	6447	254,56	240,36	226,95	208,72	193,54	178,34
14	15	6447	197,13	185,30	174,12	158,93	146,28	133,62
15	16	6447	82,28	75,18	68,47	59,36	51,77	44,17
16	17	6447	67,92	61,42	55,27	46,91	39,95	32,99
17	18	6447	53,57	47,65	42,06	34,47	28,14	21,81
18	19	6447	24,85	20,12	15,65	9,57	4,51	-0,55
19	20	6447	-2,57	-4,94	-7,18	-10,21	-12,74	-15,28
20	21	6447	14,36	13,77	13,21	12,45	11,81	11,18

Dari Bus	Ke bus	Batas	Jam 19	Jam 20	Jam 21	Jam 22	Jam 23	Jam 24
21	22	6447	57,43	55,06	52,82	49,79	47,26	44,72

Tabel 7. Perbandingan Perubahan Daya Terbangkit Kasus 1

Jam	1 - 2	2 - 3	3 - 4	4 - 5	5 - 6	6 - 7
Diesel	-15,48	-10,40	38,01	60,68	-142,6	0,00
Batt 1	0,00	0,00	0,00	0,00	-3,03	-36,76
PV 1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,78
Batt 2	0,00	0,00	0,00	0,00	-2,91	-21,44
PV 2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,37
Batt 3	0,00	0,00	0,00	0,00	-2,91	-22,20
PV 3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,00
Batt 4	0,00	0,00	0,00	0,00	-2,97	-25,77
PV 4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,83

Diesel	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Batt 1	-55,78	-50,78	-38,66	-13,07	20,41	28,97
PV 1	38,37	38,07	30,81	20,14	7,45	-5,61
Batt 2	-15,43	-10,56	-10,00	-8,00	-8,36	-5,64
PV 2	14,16	14,52	12,34	8,42	3,26	-2,12
Batt 3	-16,79	-11,58	-9,89	4,02	1,98	1,72
PV 3	10,74	10,88	9,31	6,42	2,51	-1,60
Batt 4	-22,97	-16,72	-15,51	-10,28	-10,66	-3,91
Jam	7 - 8	8 - 9	9 - 10	10 - 11	11 - 12	12 - 13
PV 4	25,70	26,16	21,60	14,35	5,40	-3,81

Jam	13 - 14	14 - 15	15 - 16	16 - 17	17 - 18	18 - 19
Diesel	0,00	0,00	0,00	28,34	260,54	20,05
Batt 1	37,35	67,25	29,00	15,10	0,00	0,00
PV 1	-18,14	-26,72	-35,41	-39,09	-25,65	0,00
Batt 2	10,40	33,77	23,49	14,67	0,00	0,00
PV 2	-7,31	-10,21	-13,62	-14,14	-11,66	0,00
Batt 3	2,35	18,44	20,20	14,66	0,00	0,00
PV 3	-5,57	-7,71	-10,29	-10,37	-9,33	0,00
Batt 4	7,61	58,03	28,04	15,09	0,00	0,00
PV 4	-12,69	-18,28	-24,29	-26,33	-18,65	0,00

Jam	19 - 20	20 - 21	21 - 22	22 - 23	23 - 24
Diesel	-38,69	-36,55	-49,67	-41,37	-41,40
Batt 1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PV 1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Batt 2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PV 2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Batt 3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PV 3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Batt 4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PV 4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabel 8. Perbandingan Perubahan Daya Terbangkit Kasus 2

Jam	1 - 2	2 - 3	3 - 4	4 - 5	5 - 6	6 - 7
Diesel	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-88,68
Batt 1	-8,76	-6,11	21,36	26,95	-66,98	-9,64

Jam	1 - 2	2 - 3	3 - 4	4 - 5	5 - 6	6 - 7
PV 1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	25,65
Batt 2	-0,98	-0,55	2,43	8,39	-25,87	-11,78
PV 2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,66
Batt 3	-0,31	-0,16	0,91	4,11	-13,95	-14,14
PV 3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,33
Batt 4	-5,44	-3,58	13,31	21,22	-47,63	-9,23
PV 4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	18,65

Jam	7 - 8	8 - 9	9 - 10	10 - 11	11 - 12	12 - 13
Diesel	-46,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Batt 1	-23,03	-38,74	-46,52	-22,84	-3,77	9,14
PV 1	48,83	42,47	32,62	20,31	6,98	-6,98
Batt 2	-25,83	-22,99	-8,78	-0,02	3,68	5,68
PV 2	22,20	19,31	14,83	9,23	3,17	-3,17
Batt 3	-27,01	-11,71	-1,66	1,97	2,89	3,09
PV 3	17,76	15,44	11,86	7,39	2,54	-2,54
Batt 4	-23,83	-34,66	-26,08	-8,81	1,44	7,84
PV 4	35,52	30,89	23,73	14,77	5,07	-5,07

Jam	13 - 14	14 - 15	15 - 16	16 - 17	17 - 18	18 - 19
Diesel	0,00	0,00	0,00	10,22	260,54	20,05
Batt 1	31,02	91,68	45,83	37,24	0,00	0,00
PV 1	-20,31	-32,62	-42,47	-48,83	-25,65	0,00
Batt 2	10,36	30,91	24,03	22,97	0,00	0,00
PV 2	-9,23	-14,83	-19,31	-22,20	-11,66	0,00

Jam	13 - 14	14 - 15	15 - 16	16 - 17	17 - 18	18 - 19
Batt 3	4,78	16,90	21,59	19,15	0,00	0,00
PV 3	-7,39	-11,86	-15,44	-17,76	-9,33	0,00
Batt 4	19,54	58,13	33,79	32,64	0,00	0,00
PV 4	-14,77	-23,73	-30,89	-35,52	-18,65	0,00

Jam	19 - 20	20 - 21	21 - 22	22 - 23	23 - 24
Diesel	-38,69	-36,55	-49,67	-41,37	-41,40
Batt 1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PV 1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Batt 2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PV 2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Batt 3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PV 3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Batt 4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PV 4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabel 9. Perbandingan Perubahan Daya Terbangkit Kasus 3

Jam	1 - 2	2 - 3	3 - 4	4 - 5	5 - 6	6 - 7
Diesel	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-113,3
Batt 1	-11,05	-7,74	33,56	26,03	-62,38	-4,60
PV 1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	25,65
Batt 2	-1,33	-0,78	1,39	11,64	-27,98	-4,81
PV 2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,66
Batt 3	-0,41	-0,23	0,50	4,52	-17,59	-6,59
PV 3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,33
Batt 4	-2,69	-1,65	2,56	18,48	-46,47	-4,10
PV 4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	18,65

Jam	7 - 8	8 - 9	9 - 10	10 - 11	11 - 12	12 - 13
Diesel	-46,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Batt 1	-25,34	-34,97	-45,92	-23,61	-4,69	8,05
PV 1	48,83	42,47	32,62	20,31	6,98	-6,98
Batt 2	-25,80	-23,43	-9,05	0,21	4,11	6,28
PV 2	22,20	19,31	14,83	9,23	3,17	-3,17
Batt 3	-29,23	-10,22	-1,83	2,14	3,36	3,67
PV 3	17,76	15,44	11,86	7,39	2,54	-2,54
Batt 4	-19,35	-39,50	-26,25	-8,45	1,46	7,76
PV 4	35,52	30,89	23,73	14,77	5,07	-5,07

Jam	13 - 14	14 - 15	15 - 16	16 - 17	17 - 18	18 - 19
Diesel	0,00	0,00	0,00	10,22	260,54	20,05
Batt 1	29,27	93,48	47,34	36,38	0,00	0,00
PV 1	-20,31	-32,62	-42,47	-48,83	-25,65	0,00
Batt 2	11,36	30,03	21,85	24,43	0,00	0,00
PV 2	-9,23	-14,83	-19,31	-22,20	-11,66	0,00
Batt 3	5,86	17,77	20,08	18,39	0,00	0,00
PV 3	-7,39	-11,86	-15,44	-17,76	-9,33	0,00
Batt 4	19,21	56,35	35,96	32,81	0,00	0,00
PV 4	-14,77	-23,73	-30,89	-35,52	-18,65	0,00

Jam	19 - 20	20 - 21	21 - 22	22 - 23	23 - 24
Diesel	-38,69	-36,55	-49,67	-41,37	-41,40
Batt 1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PV 1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Batt 2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PV 2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Jam	19 - 20	20 - 21	21 - 22	22 - 23	23 - 24
Batt 3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PV 3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Batt 4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PV 4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabel 10. Grafik Daya Terbangkit Kasus 4

Jam	1	2	3	4	5	6
Diesel	520,39	520,39	520,39	520,39	562,61	520,39
Batt 1	71,77	66,16	62,24	75,45	80,00	37,78
PV 1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Batt 2	32,61	29,53	27,55	35,34	40,00	18,46
PV 2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Batt 3	22,93	20,12	18,18	25,45	30,00	8,42
PV 3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Batt 4	52,11	48,12	45,56	55,30	60,00	33,13
PV 4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Jam	7	8	9	10	11	12
Diesel	520,39	520,39	520,39	520,39	520,39	520,39
Batt 1	-14,25	-52,55	-69,57	-75,84	-62,78	-35,82
PV 1	7,69	22,34	35,09	44,87	50,97	53,06
Batt 2	8,80	3,85	-0,02	-5,91	-11,76	-16,61
PV 2	3,50	10,16	15,95	20,40	23,17	24,12
Batt 3	-1,62	-9,14	-14,54	-19,85	-15,43	-12,59
PV 3	2,80	8,13	12,76	16,32	18,53	19,29
Batt 4	17,10	8,57	2,42	-5,00	-10,15	-18,44
PV 4	5,60	16,25	25,52	32,64	37,07	38,59

Jam	13	14	15	16	17	18
Diesel	520,39	520,39	520,39	520,39	520,39	708,88
Batt 1	-15,28	1,02	45,80	60,39	71,58	80,00
PV 1	50,97	44,87	35,09	22,34	7,69	0,00
Batt 2	-20,02	-12,09	15,63	25,40	33,04	40,00
PV 2	23,17	20,40	15,95	10,16	3,50	0,00
Batt 3	-10,66	-8,53	9,72	20,26	26,66	30,00
PV 3	18,53	16,32	12,76	8,13	2,80	0,00
Batt 4	-24,17	-21,02	27,73	42,37	52,36	60,00
PV 4	37,07	32,64	25,52	16,25	5,60	0,00

Jam	19	20	21	22	23	24
Diesel	728,92	690,23	653,68	604,01	562,63	521,83
Batt 1	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	79,88
PV 1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Batt 2	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	39,82
PV 2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Batt 3	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	29,84
PV 3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Batt 4	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	59,86
PV 4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabel 11. Daya Saluran Kasus 4

Dari bus	Ke bus	Batas	Jam 1	Jam 2	Jam 3	Jam 4	Jam 5	Jam 6
1	2	6447	520,39	520,39	520,39	520,39	562,61	520,39
2	3	6447	466,89	468,07	468,87	465,96	503,54	473,13
3	4	6447	413,39	415,75	417,34	411,53	444,47	425,87
4	5	6447	359,89	363,44	365,82	357,10	385,40	378,60

Dari bus	Ke bus	Batas	Jam 1	Jam 2	Jam 3	Jam 4	Jam 5	Jam 6
5	6	338,49	342,51	345,21	335,33	361,78	359,70	338,49
6	7	269,99	275,54	279,26	265,66	286,17	299,20	269,99
7	8	298,96	299,84	300,28	297,57	318,91	299,18	298,96
8	9	277,56	278,92	279,68	275,80	295,29	280,27	277,56
9	10	256,16	257,99	259,07	254,03	271,66	261,37	256,16
10	11	31,59	33,25	34,28	29,97	30,88	38,26	31,59
11	12	10,19	12,32	13,67	8,20	7,25	19,35	10,19
12	13	203,17	203,81	204,18	202,28	217,15	204,21	203,17
13	14	181,77	182,89	183,57	180,51	193,53	185,30	181,77
14	15	138,97	141,03	142,35	136,97	146,27	147,49	138,97
15	16	53,37	57,32	59,91	49,88	51,76	71,88	53,37
16	17	42,67	46,86	49,61	39,00	39,95	62,42	42,67
17	18	31,97	36,40	39,31	28,11	28,14	52,97	31,97
18	19	10,57	15,47	18,70	6,34	4,51	34,07	10,57
19	20	-9,31	-6,27	-4,34	-11,75	-12,75	4,68	-9,31
20	21	10,70	10,46	10,30	10,89	11,81	9,45	10,70
21	22	42,80	41,85	41,22	43,54	47,25	37,81	42,80

Dari bus	Ke bus	Batas	Jam 7	Jam 8	Jam 9	Jam 10	Jam 11	Jam 12
1	2	6447	520,39	520,39	520,39	520,39	520,39	520,39
2	3	6447	478,34	480,02	480,02	480,02	478,34	476,66
3	4	6447	436,29	439,65	439,65	439,65	436,29	432,93
4	5	6447	394,24	399,29	399,29	399,29	394,24	389,20
5	6	6447	377,42	383,14	383,14	383,14	377,42	371,70
6	7	6447	323,60	331,47	331,47	331,47	323,60	315,73
7	8	6447	283,40	268,98	264,70	268,21	278,15	297,99
8	9	6447	266,58	252,83	248,55	252,06	261,33	280,50

Dari bus	Ke bus	Batas	Jam 7	Jam 8	Jam 9	Jam 10	Jam 11	Jam 12
9	10	6447	249,77	236,68	232,41	235,92	244,51	263,00
10	11	6447	38,16	34,44	32,51	33,96	39,06	44,97
11	12	6447	21,34	18,29	16,37	17,81	22,24	27,47
12	13	6447	194,78	186,10	183,74	185,81	188,63	200,55
13	14	6447	177,96	169,95	167,60	169,66	171,81	183,05
14	15	6447	144,32	137,66	135,30	137,37	138,17	148,07
15	16	6447	77,04	73,07	70,72	72,78	70,89	78,10
16	17	6447	68,63	65,00	62,64	64,71	62,48	69,35
17	18	6447	60,23	56,92	54,57	56,64	54,08	60,61
18	19	6447	43,41	40,78	38,42	40,49	37,26	43,12
19	20	6447	10,95	7,47	4,35	4,66	6,72	14,83
20	21	6447	8,41	8,07	8,07	8,07	8,41	8,75
21	22	6447	33,64	32,29	32,29	32,29	33,64	34,98

Dari bus	Ke bus	Batas	Jam 13	Jam 14	Jam 15	Jam 16	Jam 17	Jam 18
1	2	6447	520,39	520,39	520,39	520,39	520,39	708,88
2	3	6447	476,05	474,98	466,22	464,91	465,07	638,63
3	4	6447	431,70	429,56	412,04	409,43	409,74	568,38
4	5	6447	387,36	384,15	357,87	353,94	354,42	498,13
5	6	6447	369,62	365,99	336,20	331,75	332,29	470,03
6	7	6447	312,87	307,86	266,86	260,74	261,48	380,11
7	8	6447	313,08	317,42	304,41	299,09	296,50	403,90
8	9	6447	295,34	299,25	282,74	276,90	274,37	375,80
9	10	6447	277,60	281,09	261,07	254,71	252,24	347,70
10	11	6447	50,06	46,18	33,43	31,02	29,85	44,30
11	12	6447	32,32	28,02	11,76	8,83	7,72	16,20
12	13	6447	209,81	216,74	205,98	201,49	200,26	275,30
13	14	6447	192,07	198,57	184,31	179,30	178,13	247,20

Dari bus	Ke bus	Batas	Jam 13	Jam 14	Jam 15	Jam 16	Jam 17	Jam 18
14	15	6447	156,60	162,24	140,97	134,92	133,87	191,00
15	16	6447	85,65	89,58	54,29	46,15	45,36	78,60
16	17	6447	76,78	80,50	43,46	35,05	34,29	64,55
17	18	6447	67,91	71,42	32,62	23,95	23,23	50,50
18	19	6447	50,17	53,25	10,96	1,76	1,10	22,40
19	20	6447	22,57	24,71	-9,91	-14,24	-13,70	-3,80
20	21	6447	8,87	9,08	10,83	11,10	11,06	14,05
21	22	6447	35,47	36,33	43,34	44,39	44,26	56,20

Dari bus	Ke bus	Batas	Jam 19	Jam 20	Jam 21	Jam 22	Jam 23	Jam 24
1	2	6447	728,92	690,23	653,68	604,01	562,63	521,83
2	3	6447	657,14	621,41	587,65	541,77	503,56	465,93
3	4	6447	585,36	552,58	521,62	479,54	444,49	410,02
4	5	6447	513,57	483,76	455,59	417,31	385,42	354,12
5	6	6447	484,86	456,23	429,18	392,42	361,80	331,76
6	7	6447	392,98	368,13	344,66	312,76	286,19	260,20
7	8	6447	415,55	393,07	371,83	342,97	318,93	295,36
8	9	6447	386,84	365,54	345,42	318,08	295,30	272,99
9	10	6447	358,13	338,01	319,01	293,18	271,68	250,63
10	11	6447	46,14	42,59	39,24	34,68	30,88	27,27
11	12	6447	17,43	15,06	12,82	9,79	7,26	4,90
12	13	6447	283,27	267,89	253,36	233,61	217,16	201,00
13	14	6447	254,56	240,36	226,95	208,72	193,54	178,64
14	15	6447	197,13	185,30	174,12	158,93	146,28	133,92
15	16	6447	82,28	75,18	68,47	59,36	51,77	44,47
16	17	6447	67,92	61,42	55,27	46,91	39,95	33,29
17	18	6447	53,57	47,65	42,06	34,47	28,14	22,11

Dari bus	Ke bus	Batas	Jam 19	Jam 20	Jam 21	Jam 22	Jam 23	Jam 24
18	19	6447	24,85	20,12	15,65	9,57	4,51	-0,25
19	20	6447	-2,57	-4,94	-7,18	-10,21	-12,74	-15,14
20	21	6447	14,36	13,77	13,21	12,45	11,81	11,18
21	22	6447	57,43	55,06	52,82	49,79	47,26	44,72

Tabel 12. Perbandingan Perubahan Daya Terbangkit Kasus 4

Jam	1 - 2	2 - 3	3 - 4	4 - 5	5 - 6	6 - 7
Diesel	0,00	0,00	0,00	42,22	-42,22	0,00
Batt 1	-5,61	-3,92	13,22	4,55	-42,22	-52,03
PV 1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,69
Batt 2	-3,07	-1,99	7,79	4,66	-21,54	-9,66
PV 2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,50
Batt 3	-2,81	-1,94	7,27	4,55	-21,58	-10,04
PV 3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,80
Batt 4	-3,99	-2,56	9,74	4,70	-26,87	-16,04
PV 4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,60

Jam	7 - 8	8 - 9	9 - 10	10 - 11	11 - 12	12 - 13
Diesel	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Batt 1	-38,30	-17,02	-6,28	13,06	26,97	20,53
PV 1	14,65	12,74	9,79	6,09	2,09	-2,09
Batt 2	-4,95	-3,87	-5,89	-5,85	-4,84	-3,41
PV 2	6,66	5,79	4,45	2,77	0,95	-0,95
Batt 3	-7,52	-5,40	-5,32	4,42	2,84	1,93
PV 3	5,33	4,63	3,56	2,22	0,76	-0,76
Batt 4	-8,52	-6,15	-7,43	-5,15	-8,29	-5,73
PV 4	10,65	9,27	7,12	4,43	1,52	-1,52

Jam	13 - 14	14 - 15	15 - 16	16 - 17	17 - 18	18 - 19
Diesel	0,00	0,00	0,00	0,00	188,49	20,05
Batt 1	16,30	44,79	14,59	11,19	8,42	0,00
PV 1	-6,09	-9,79	-12,74	-14,65	-7,69	0,00
Batt 2	7,93	27,72	9,77	7,64	6,96	0,00
PV 2	-2,77	-4,45	-5,79	-6,66	-3,50	0,00
Batt 3	2,13	18,24	10,54	6,41	3,34	0,00
PV 3	-2,22	-3,56	-4,63	-5,33	-2,80	0,00
Batt 4	3,15	48,75	14,65	9,98	7,64	0,00
PV 4	-4,43	-7,12	-9,27	-10,65	-5,60	0,00

Jam	19 - 20	20 - 21	21 - 22	22 - 23	23 - 24
Diesel	-38,69	-36,55	-49,67	-41,37	-40,80
Batt 1	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,12
PV 1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Batt 2	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,18
PV 2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Batt 3	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,16
PV 3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Batt 4	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,14
PV 4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

[Halaman Ini Sengaja Dikosongkan]

BIOGRAFI PENULIS



Sebastian Pratama Ateng lahir di Balikpapan pada 5 Mei 1997. Penulis menyelesaikan pendidikan formal di SDK Santa Theresia, SMPK Santo Mikail Balikpapan dan SMA Negeri 1 Balikpapan pada tahun 2015. Kemudian melanjutkan studi S1 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) pada tahun 2015 pada Departemen Teknik Elektro dengan bidang studi Teknik Sistem Tenaga. Penulis aktif berpartisipasi dalam bidang

energi baru terbarukan dengan menginisiasi beberapa startup di bidang energi dengan rekan sejawatnya. Selain itu, penulis aktif dalam bidang sosial kegiatan volunteering pada daerah terpencil dan juga aktif sebagai asisten pada Laboratorium Konversi Energi Listrik Teknik Elektro ITS. Penulis dapat dihubungi melalui LinkedIn: Sebastian Ateng atau alamat email: sebastian.ateng@gmail.com.