



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - EE 184801

**MANAJEMEN ENERGI SKALA INDUSTRI PADA
SMART GRID DENGAN *MULTI ELECTRICITY
PROVIDERS* MENGGUNAKAN *MIXED INTEGER
LINEAR PROGRAMMING (MILP)***

Shafira Zahra
NRP 0711154000029

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT
Dr. Ir. Ni Ketut Aryani, MT

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - EE 184801

**MANAJEMEN ENERGI SKALA INDUSTRI PADA SMART
GRID DENGAN *MULTI ELECTRICITY PROVIDERS*
MENGUNAKAN *MIXED INTEGER LINEAR
PROGRAMMING (MILP)***

**Shafira Zahra
NRP 0711154000029**

**Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT
Dr. Ir. Ni Ketut Aryani, MT
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019**

[Halaman Ini Sengaja Dikosongkan]



FINAL PROJECT - EE 184801

**INDUSTRY ENERGY MANAGEMENT IN A SMART
GRID WITH MULTI ELECTRICITY PROVIDERS
USING MIXED INTEGER LINEAR PROGRAMMING
(MILP)**

**Shafira Zahra
NRP 0711154000029**

**Supervisors
Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT
Dr. Ir. Ni Ketut Aryani, MT**

**DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Electrical Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2019**

[Halaman Ini Sengaja Dikosongkan]

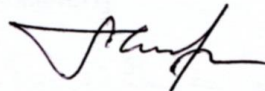
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul "**Manajemen Energi Skala Industri pada Smart Grid dengan *Multi Electricity Providers* menggunakan *Mixed Integer Linear Programming (MILP)***" 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, Mei 2019



Shafira Zahra
NRP 0711154000029

[Halaman Ini Sengaja Dikosongkan]

**MANAJEMEN ENERGI SKALA INDUSTRI PADA
SMART GRID DENGAN MULTI ELECTRICITY
PROVIDERS MENGGUNAKAN MIXED INTEGER
LINEAR PROGRAMMING (MILP)**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada**

**Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Departemen Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT.
NIP. 197411292000121001

Dr. Ir. Ni Ketut Aryani, M.T.
NIP. 196509011991032002



[Halaman Ini Sengaja Dikosongkan]

MANAJEMEN ENERGI SKALA INDUSTRI PADA SMART GRID DENGAN *MULTI ELECTRICITY PROVIDERS* MENGGUNAKAN *MIXED INTEGER LINEAR PROGRAMMING (MILP)*

Nama Mahasiswa : Shafira Zahra
NRP : 07111540000029
Pembimbing I : Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT.
NIP : 197411292000121001
Pembimbing II : Dr. Ir. Ni Ketut Aryani, MT.
NIP : 196509011991032002

ABSTRAK

Pada tugas akhir kali ini akan disediakan lebih dari satu penyedia layanan listrik (*electricity provider*) dalam smart grid *Industry power energy management* untuk mensimulasikan sistem unbundling. *Industry power energy management* ini berfungsi untuk mengoptimalkan konsumsi energi listrik sehingga meminimalkan biaya tagihan listrik pada industri. Sistem grid *Industry power energy management* ini terdiri sumber energi listrik (Grid and photovoltaic system dengan energy storage). Permasalahan terbesar dari renewable energi adalah sifatnya yang intermittent sehingga diperlukan teknologi *energy storage* dan manajemen energi. Pada grid *Industry power energy management* ini akan digunakan metode *Mixed integer linear programming* untuk melakukan penjadwalan *supply grid* dan *energy storage* sehingga mengkonsumsi energi listrik paling efisien dan biaya minimum.

Solusi dari tugas akhir ini menyediakan rekomendasi provider dengan biaya tagihan paling murah. Hasil simulasi telah menunjukkan bahwa EMS yang diusulkan dapat mengurangi biaya listrik hingga 63.19%.

Kata kunci: *Industry Management System, Smart Grid, Mixed Integer Linear Programming (MILP)*

[Halaman Ini Sengaja Dikosongkan]

INDUSTRIAL ENERGY MANAGEMENT IN A SMART GRID WITH MULTI ELECTRICITY PROVIDERS USING MIXED INTEGER LINEAR PROGRAMMING (MILP)

Name : Shafira Zahra
NRP : 07111540000029
Supervisor I : Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT.
NIP : 197411292000121001
Supervisor II : Dr. Ir. Ni Ketut Aryani, MT.
NIP : 196509011991032002

ABSTRACT

In this final project there will be more than one electricity provider in a smart grid. Industry power energy management to simulate unbundling system. Industry power energy management serves to optimize electricity consumption to minimize the cost of electricity cost in a industry. The Industry power energy management grid system consists of electrical energy sources (Grid and photovoltaic systems with energy storage). The biggest problem in renewable energy is its intermittent, so energy storage and energy management technologies are needed to solve intermittent problem. In the Industry power energy management grid, Mixed integer linear programming method will be used to schedule the supply either grid or energy storage so that it consumes the most efficient electricity and minimum costs.

The solution of this final project is to provide, provider recommendations with the cheapest bill costs. Simulation results have shown that the proposed EMS can reduce electricity costs by 10%.

Keywords: Home Power Management System, Smart Grids, Mixed Integer Linear Programming (MILP)

[Halaman Ini Sengaja Dikosongkan]

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas segala berkat dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir untuk menyelesaikan jenjang studi S1 pada bidang studi Teknik Sistem Tenaga, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Besar harapan penulis agar tugas akhir ini dapat berguna dan bermfaat untuk pembaca khususnya mahasiswa Teknik Elektro.

Dalam menyelesaikan tugas akhir ini saya mengucapkan terimakasih atas segala bantuan, bimbingan, dan dukungan yang telah diberikan, oleh:

1. Ibu dan Bapak yang selalu mendoakan dan mendukung Fira dalam pengambilan keputusan.
2. Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT., selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir dan Dr. Ir. Ni Ketut Aryani MT., selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir yang telah memberikan arahan, saran serta bimbingan selama pengerjaan tugas akhir dan selama perkuliahan di Teknik Elektro.
3. Prof. Ontoseno Penangsang, Bapak Rony Seto Wibowo, Bapak Dimas Fajar Uman Putra, serta dosen-dosen Teknik Elektro ITS yang telah memberikan banyak masukan dan pengetahuan kepada penulis.
4. Teman-teman Laboratorium Simulasi Sistem Tenaga, Keke, Cece, Elva, Miftah, Baihaqi, Nanang, Hotang, Saad, Arba, mas Taufiq dan mba Farida. Yang selalu menghibur dikala sedih dan membantu dikala susah.
5. Tasha, April yang selalu mendukung dan memberi semangat.
6. Mas Fikri, Mas Konci yang menjadi tempat bertanya.
7. Rekan-rekan E55, atas segala suka dan duka.
8. Adik-adik trainee dan calon trainee di Laboratorium Sistem Tenaga Listrik Teknik Elektro ITS.
9. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, dengan tanpa mengurangi rasa terimakasih penulis.

Dalam menyusun tugas akhir ini, penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran dari pembaca sangat diharapkan untuk pengembangan penelitian dan ilmu pengetahuan.

Surabaya, Mei 2019

Penulis

DAFTAR ISI

JUDUL.....	1
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN.....	vii
LEMBAR PENGESAHAN	ix
ABSTRAK.....	xi
ABSTRACT	7
KATA PENGANTAR	9
DAFTAR ISI	11
DAFTAR GAMBAR.....	13
DAFTAR TABEL	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Permasalahan	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan	4
1.5 Metode Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan	5
1.7 Relevansi.....	6
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Manajemen Energi	7
2.2 Industri	7
2.3 Dynamic Pricing	8
2.4 Multy Electricity Provider	9
2.5 Smart Grid	9
2.6 Unbundling System.....	11
2.7 Photovoltaic System	11
2.8 Energy Storage.....	12
2.9 Mixed integer Linear Programming.....	13
BAB 3	15
3.1 Diagram Alir Metode Manajemen Energi pada Industri menggunakan MILP.....	15
3.2 Desain Sistem	17
3.3 Penjadwalan Power Resources dengan Mixed Integer Linear Programming (MILP)	17
3.3.1 Mixed Integer Linear Prograaming (MILP).17	
3.3.2 Fungsi Biaya	18
BAB 4	21

4.1 Data Plan	21
4.2 Simulasi Industry Energy Management System	24
4.2.1 Skenarion Pertama Beban Hari Kerja	25
4.2.2 Skenarion Kedua Beban Hari Libur	48
4.3 Analisa Ekonomi	72
BAB 5 PENUTUP	75
5.1 Kesimpulan.....	75
5.2 Saran.....	75
DAFTAR PUSTAKA.....	77
LAMPIRAN	79
BIODATA PENULIS.....	89

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1	Diagram alir skema penelitian	15
Gambar 4. 1	Pembeban sistem	21
Gambar 4. 2	Kapasitas battery dalam interval satu jam pada skenario satu A.....	26
Gambar 4. 3	Gambar hasil simulasi Manajemen energi provider Peco dan Battery.....	26
Gambar 4. 4	Kapasitas batterai dalam interval satu jam pada skenario satu b.....	27
Gambar 4. 5	Gambar hasil simulasi Manajemen energi provider Peco dan Battery.....	27
Gambar 4. 6	Kapasitas batterai dalam interval satu jam pada skenario satu c.....	28
Gambar 4. 7	Gambar hasil simulasi Manajemen energi provider Peco dan Battery.....	29
Gambar 4. 8	Kapasitas batterai dalam interval satu jam pada skenario satu a.....	30
Gambar 4. 9	Gambar hasil simulasi Manajemen energi provider Dominion Hub dan Battery.....	31
Gambar 4. 10	Kapasitas batterai dalam interval satu jam pada skenario satu b.....	32
Gambar 4. 11	Gambar hasil simulasi Manajemen energi provider Dominion Hub dan Battery.....	32
Gambar 4. 12	Kapasitas batterai dalam interval satu jam pada skenario satu c.....	33
Gambar 4. 13	Gambar hasil simulasi Manajemen energi provider Dominion Hub dan Battery.....	33
Gambar 4. 14	Kapasitas batterai dalam interval satu jam pada skenario satu a.....	35
Gambar 4. 15	Gambar hasil simulasi Manajemen energi provider N illinois Hub dan Battery.....	35
Gambar 4. 16	Kapasitas batterai dalam interval satu jam pada skenario satu b.....	36
Gambar 4. 17	Gambar hasil simulasi Manajemen energi provider N illinois Hub dan Battery.....	37
Gambar 4. 18	Kapasitas batterai dalam interval satu jam pada skenario satu c.....	37
Gambar 4. 19	Gambar hasil simulasi Manajemen energi provider N	

	illinois Hub dan Battery	38
Gambar 4. 20	Kapasitas batterai dalam interval satu jam pada skenario satu a	39
Gambar 4. 21	Gambar hasil simulasi Manajemen energi provider AEP Dayton dan Battery.....	40
Gambar 4. 22	Kapasitas batterai dalam interval satu jam pada skenario satu b	41
Gambar 4. 23	Gambar hasil simulasi Manajemen energi provider AEP Dayton dan Battery.....	41
Gambar 4. 24	Kapasitas batterai dalam interval satu jam pada skenario satu c	42
Gambar 4. 25	Gambar hasil simulasi Manajemen energi provider AEP Dayton dan Battery.....	42
Gambar 4. 26	Kapasitas baterai dalam interval satu jam pada skenario satu a	44
Gambar 4. 27	Gambar hasil simulasi Manajemen energi provider Western Hub dan Battery	44
Gambar 4. 28	Kapasitas batterai dalam interval satu jam pada skenario dua b	45
Gambar 4. 29	Gambar hasil simulasi Manajemen energi provider Western Hub dan Battery	46
Gambar 4. 30	Kapasitas batterai dalam interval satu jam pada skenario dua c	46
Gambar 4. 31	Hasil simulasi Manajemen energi provider Western Hub dan Battery	47
Gambar 4. 32	Kapasitas battery dalam interval satu jam pada skenario satu a	49
Gambar 4. 33	Gambar hasil simulasi Manajemen energi provider PECO dan Battery	50
Gambar 4. 34	Kapasitas batterai dalam interval satu jam pada skenario satu b	51
Gambar 4. 35	Gambar hasil simulasi Manajemen energi provider PECO dan Battery	51
Gambar 4. 36	Kapasitas batterai dalam interval satu jam pada skenario satu c	52
Gambar 4. 37	Gambar hasil simulasi Manajemen energi provider PECO dan Battery	53
Gambar 4. 38	Kapasitas battery dalam interval satu jam pada skenario satu a	54

Gambar 4. 39	Hasil simulasi Manajemen energi provider Dominion Hub dan Battery.....	55
Gambar 4. 40	Kapasitas batterai dalam interval satu jam pada skenario satu b.....	55
Gambar 4. 41	Gambar hasil simulasi Manajemen energi provider Dominion Hub dan Battery.....	56
Gambar 4. 42	Kapasitas batterai dalam interval satu jam pada skenario satu c.....	57
Gambar 4. 43	Gambar hasil simulasi Manajemen energi provider Dominion Hub dan Battery.....	57
Gambar 4. 44	Kapasitas battery dalam interval satu jam pada skenario satu a.....	59
Gambar 4. 45	Gambar hasil simulasi Manajemen energi provider N illinois Hub dan Battery.....	59
Gambar 4. 46	Kapasitas batterai dalam interval satu jam pada skenario dua b.....	60
Gambar 4. 47	Hasil simulasi Manajemen energi provider N illinois Hub dan Battery.....	60
Gambar 4. 48	Kapasitas batterai dalam interval satu jam pada skenario satu c.....	61
Gambar 4. 49	Gambar hasil simulasi Manajemen energi provider N Illinois Hub dan Battery.....	62
Gambar 4. 50	Kapasitas battery dalam interval satu jam pada skenario satu a.....	63
Gambar 4. 51	Gambar hasil simulasi Manajemen energi provider AEP Dayton dan Battery.....	64
Gambar 4. 52	Kapasitas batterai dalam interval satu jam pada skenario dua b.....	64
Gambar 4. 53	Gambar hasil simulasi Manajemen energi provider AEP Dayton dan Battery.....	65
Gambar 4. 54	Kapasitas batterai dalam interval satu jam pada skenario satu c.....	65
Gambar 4. 55	Gambar hasil simulasi Manajemen energi provider AEP Dayton dan Battery.....	65
Gambar 4. 56	Kapasitas battery dalam interval satu jam pada skenario satu a.....	67
Gambar 4. 57	Gambar hasil simulasi Manajemen energi provider Western Hub dan Battery.....	68
Gambar 4. 58	Kapasitas batterai dalam interval satu jam pada skenario	

dua b	69
Gambar 4. 59 Gambar hasil simulasi Manajemen energi provider Western Hub dan Battery	69
Gambar 4. 60 Kapasitas baterai dalam interval satu jam pada skenario satu c	70
Gambar 4. 61 Gambar hasil simulasi Manajemen energi provider Western Hub dan Battery	70

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1	Tabel perbedaan smart grid dan conventional grid	9
Tabel 4.1.	Harga listrik dari 5 provider dan energy storage saat hari kerja	22
Tabel 4.2.	Harga listrik dari 5 provider dan energy storage saat ..hari libur.....	23
Tabel 4.3.	Kombinasi power resources (grid dan microgrid)	24
Tabel 4.4.	Pembebanan pada hari kerja	25
Tabel 4.5.	Batas atas dan batas bawah skenario satu a	27
Tabel 4.6.	Batas atas dan batas bawah skenario satu b	28
Tabel 4.7.	Batas atas dan batas bawah skenario satu c	29
Tabel 4.8.	Tagihan listrik dari provider peco.....	29
Tabel 4.9.	Tagihan Listrik grid dengan panel surya	30
Tabel 4.10.	Batas atas dan batas bawah skenario satu	30
Tabel 4.11.	Batas atas dan batas bawah skenario satu a	31
Tabel 4.12.	Batas atas dan batas bawah skenario satu b	33
Tabel 4.13.	Batas atas dan batas bawah skenario satu c	34
Tabel 4.14.	Tagihan listrik dari provider Dominion Hub	34
Tabel 4.15.	Tagihan Listrik grid dengan panel surya	34
Tabel 4.16.	Batas atas dan batas bawah skenario satu	34
Tabel 4.17.	Batas atas dan batas bawah skenario satu a	36
Tabel 4.18.	Batas atas dan batas bawah skenario satu b	36
Tabel 4.19.	Batas atas dan batas bawah skenario satu c	38
Tabel 4.20.	Tagihan listrik dari provider N Illinois Hub	38
Tabel 4.21.	Tagihan Listrik grid dengan panel surya	38
Tabel 4.22.	Batas atas dan batas bawah skenario satu	39
Tabel 4.23.	Batas atas dan batas bawah skenario satu a	40
Tabel 4.24.	Batas atas dan batas bawah skenario satu d	41
Tabel 4.26.	Batas atas dan batas bawah skenario satu C	43
Tabel 4.27.	Tagihan listrik dari provider Dominion Hub	43
Tabel 4.28.	Tagihan Listrik grid dengan panel surya	43
Tabel 4.29.	Batas atas dan batas bawah skenario satu	43
Tabel 4.30.	Batas atas dan batas bawah skenario dua a	45
Tabel 4.31.	Batas atas dan batas bawah skenario satu b	46
Tabel 4.32.	Batas atas dan batas bawah skenario satu c	47
Tabel 4.33.	Tagihan listrik dari provider N Illinois Hub	47
Tabel 4.34.	Tagihan Listrik grid dengan panel surya	48

Tabel 4.35. Batas atas dan batas bawah skenario satu	48
Tabel 4.36. Pembebanan pada hari Libur.....	48
Tabel 4.37. Batas atas dan batas bawah skenario satu a.....	50
Tabel 4.38. Batas atas dan batas bawah skenario satu b	52
Tabel 4.39. Batas atas dan batas bawah skenario satu c.....	52
Tabel 4.40. Tagihan listrik dari provider peco	53
Tabel 4.41. Tagihan Listrik grid dengan panel surya.....	53
Tabel 4.42. Batas atas dan batas bawah skenario satu	53
Tabel 4.43. Batas atas dan batas bawah skenario satu a.....	55
Tabel 4.44. Batas atas dan batas bawah skenario satu b	56
Tabel 4.45. Batas atas dan batas bawah skenario satu c.....	57
Tabel 4.46. Tagihan listrik dari provider Dominion Hub.....	58
Tabel 4.47. Tagihan Listrik grid dengan panel surya.....	58
Tabel 4.48. Batas atas dan batas bawah skenario satu	58
Tabel 4.49. Batas atas dan batas bawah skenario dua a	59
Tabel 4.50. Batas atas dan batas bawah skenario dua b	61
Tabel 4.51. Batas atas dan batas bawah skenario dua c	62
Tabel 4.52. Tagihan listrik dari provider N Illinois Hub.....	62
Tabel 4.53. Tagihan Listrik grid dengan panel surya.....	62
Tabel 4.54. Batas atas dan batas bawah skenario dua	62
Tabel 4.55. Batas atas dan batas bawah skenario satu a.....	64
Tabel 4.56. Batas atas dan batas bawah skenario satu b	65
Tabel 4.57. Batas atas dan batas bawah skenario satu c.....	66
Tabel 4.58. Tagihan listrik dari provider AEP Dayton	66
Tabel 4.59. Tagihan Listrik grid dengan panel surya.....	67
Tabel 4.60. Batas atas dan batas bawah skenario satu	67
Tabel 4.61. Batas atas dan batas bawah skenario dua a	68
Tabel 4.62. Batas atas dan batas bawah skenario satu b	69
Tabel 4.63. Batas atas dan batas bawah skenario satu c.....	71
Tabel 4.64. Tagihan listrik dari provider Western Hub.....	71
Tabel 4.65. Tagihan Listrik grid dengan panel surya.....	71
Tabel 4.66. Batas atas dan batas bawah skenario satu	71
Tabel 4.67. Ringkasan dari kelima provider ketika kapasitas battery < 20%	72
Tabel 4.68. Ringkasan dari kelima provider ketika kapasitas battery 21% - 50%.....	72
Tabel 4.69. Ringkasan dari kelima provider ketika kapasitas battery lebih dari 50%	72
Tabel 4.70. Capital expenditure	72

Tabel 4.71. Estimasi Potensi Penghematan ketika kapasitas battery < 20%	73
Tabel 4.72. Estimasi Potensi Penghematan ketika kapasitas battery 21%-50%	74
Tabel 4.73. Estimasi Potensi Penghematan ketika kapasitas battery >50%	74
Lampiran 1. Hasil perhitungan biaya listrik provider PECO pada saat hari kerja	79
Lampiran 2. Hasil perhitungan biaya listrik provider Dominion Hub pada saat hari kerja	80
Lampiran 3. Hasil perhitungan biaya listrik provider N iliinois Hub pada saat hari kerja	81
Lampiran 4. Hasil perhitungan biaya listrik provider AEP Dayton pada saat hari kerja	82
Lampiran 5. Hasil perhitungan biaya listrik provider WESTERN HUB pada saat hari kerja	83
Lampiran 6. Hasil perhitungan biaya listrik provider PECO pada ... hari libur	84
Lampiran 7. Hasil perhitungan biaya listrik provider Dominion Hub	85
Lampiran 8. Hasil perhitungan biaya listrik provider N Illinois Hub	86
Lampiran 9. Hasil perhitungan biaya listrik provider AEP Dayton	87
Lampiran 10. Hasil perhitungan biaya listrik provider Western Hub	88

[Halaman Ini Sengaja Dikosongkan]

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi merupakan kebutuhan primer suatu negara. Sebagian besar ekonom berpendapat bahwa driver pertumbuhan ekonomi adalah investasi dan konsumsi tetapi seorang ekonom Amerika, Prof. Dr Robert Ayres, ekonom INSEAD, dalam bukunya "*The Economic Growth Engine: How Energy and Works Drive Material Prosperity*", mengatakan bahwa sesungguhnya *driver* dari ekonomi adalah energi, khususnya Listrik. Data empiris dari berbagai negara di dunia menunjukkan bahwa setiap 1 kwh konsumsi listrik akan memberikan kontribusi sekitar \$4 - \$5 PDB.

Indonesia merupakan negara berkembang yang diprediksi oleh McKinsey akan menjadi salah satu dari sepuluh besar kekuatan ekonomi dunia dengan GDP sebesar 10.000usd/kapita pada tahun 2030. Energi listrik merupakan komponen utama pendorong ekonomi, pasalnya setiap konsumsi setiap kWh akan meningkatkan pendapatan perkapita sebesar 5 usd. Dengan kondisi pembangkit energi listrik terpasang pada tahun 2018 sebesar 64.000 MW dan GDP sebesar 3.500 usd/kapita maka dibutuhkan setidaknya 10.000 MW pembangkit baru setiap tahun. Dari seluruh pembangkit yang terpasang 88% merupakan energi fosil yang tidak terbarukan. Namun karena jumlahnya yang menipis, saat ini penggunaan energi fosil mulai dikurangi. Dengan berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi energi listrik, solusi untuk mengatasi peningkatan kebutuhan energi listrik yaitu dengan energi terbarukan dengan begitu dapat mengurangi ketergantungan terhadap energi berbahan bakar fosil. Di dukung dengan kebijakan reduksi emisi carbon sehingga membuat banyak industry tertarik mengkonsumsi energi bersih atau *renewable energy* untuk meningkatkan carbon footprint product.

Renewable Energy sangat berpotensi di Indonesia karena ketersediaan melimpah salah satunya energi matahari dengan sifatnya yang bersih dan ramah lingkungan. Namun sering kali pembangunan pembangkit energi terbarukan sekala kecil sampai menengah bukanlah investasi yang solut. Karena pada kenyataannya, terdapat masalah dalam pengaplikasian sumber energi terbarukan pada sistem karena sifatnya yang *intermittent*. Sifat ini menyebabkan pembangkit dari sumber energi terbarukan menghasilkan daya yang berubah-ubah besarnya tergantung dari ketersediaan sumber energi. Sehingga sifat *renewable energy* yang

intermittent kurang sesuai apabila diaplikasikan pada plant industry karena dinilai kurang handal dan stabil.

Untuk mengatasi sifat *intermittent* energi terbarukan, maka digunakan teknologi *energy storage*. *Energy storage* yang berupa baterai dapat menjadi solusi untuk permasalahan pembangkit energi terbarukan. Pada tugas akhir ini, *energy storage* dan *microgrid* diintegrasikan ke dalam sistem bertujuan untuk manajemen energi. Penambahan *energy storage* dan *microgrid* ke dalam sistem menyebabkan diperlukan teknik optimasi manajemen energi.

Manajemen energi skala industri dapat membantu untuk menurunkan konsumsi daya dari grid sehingga dapat menghemat biaya tagihan listrik. Manajemen energi skala rumah tangga yang efektif dapat dilakukan dengan partisipasi aktif konsumen pada sektor rumah tangga. Perluasan listrik akan menetapkan tarif yang berbeda-beda pada tiap jam serta harga yang berbeda untuk biaya *charging* dan *discharging* dari sistem *microgrid* dengan *energy storage*. Pada beberapa literatur telah dilakukan banyak penelitian pada manajemen energi listrik skala rumah tangga, sebagian besar hanya meneliti manajemen energi dengan menatur penjadwalan peralatan elektronik. Contohnya pada [1] metode *particle swarm optimization* digunakan untuk memprediksi energi yang dibutuhkan dan menjadwalkan peralatan elektronik. Sedangkan [2] peralatan elektronik dijadwalkan sesuai urutan prioritas dengan batasan konsumsi daya maksimal yang ditetapkan, pada [3] konsumsi energi dijadwalkan menggunakan pendekatan *game theoretic* untuk mengurangi biaya energi listrik dan beban puncak, dan pada [4] *mix integer linear programming* digunakan untuk menjadwalkan peralatan elektronik untuk mendapatkan biaya energi listrik paling hemat.

Mixed Integer Linear programming adalah perhitungan yang sering digunakan untuk mencari biaya pembangkitan sistem yang optimal dengan mempertimbangkan batasan aliran daya sistem dan pertimbangan harga. Dengan adanya kemampuan *energy storage* untuk menyimpan dan menyalurkan daya, dimungkinkan perhitungan secara dinamis mengikuti perubahan level beban pada sistem dengan *energy storage* dan sumber energi terbarukan berbasis tenaga surya. Pada penelitian [5], penggunaan *energy storage* dalam sistem *microgrid hybrid* terbukti dapat mengurangi biaya pembangkitan. Pada penelitian ini, *energy storage* diteliti lebih jauh dengan mempertimbangkan kapasitas baterai serta *discharging* pada sebuah sistem *microgrid*. Dengan menentukan biaya dari *grid* dan

discharging baterai yang berbeda. Dari penelitian ini, diharapkan didapatkan biaya pembangkitan yang lebih murah dari sisi penyedia tenaga listrik serta didapatkan keuntungan dari sisi pemilik *energy storage* skala industry. Metode yang digunakan untuk optimasi sistem tersebut adalah *Mixed Integer Linear Programming*.

1.2 Permasalahan

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana menentukan kapasitas energi surya untuk memenuhi kebutuhan beban saat kondisi pembebanan.
2. Bagaimana mengimplementasikan *Mixed Integer Linear Programming* dalam pemilihan provider listrik agar mendapat biaya yang paling murah.
3. Bagaimana melakukan penjadwalan baterai dan Grid saat terjadi pembebanan.
4. Bagaimana menentukan pembebanan optimal pada setiap unit pembangkit untuk memenuhi kebutuhan beban.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Tarif yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah *real time pricing* (RTP) yang ditetapkan oleh ENGIE
2. Industry telah menggunakan smart meter.
3. Jumlah dan jenis peralatan tidak diperkirakan, hanya ada total konsumsi daya.
4. *Power unit* yang digunakan adalah *photovoltaic system* dengan *energy storage*, Peco, Dominion Hub, N Illinois Hub, AEP Dayton dan Western Hub kelima jenis provider tersebut terletak pada distrik yang sama yaitu PJM (Penn-Jersey-Maryland)
5. Sistem kelistrikan dalam keadaan stabil.
6. *Energy storage* yang digunakan adalah jenis *lead acid battery*.
7. Pada penelitian ini sistem tidak dipergunakan untuk menjual *excess power*.
8. Rugi umur baterai diasumsikan dan rugi inverter diabaikan.
9. Tidak memperhatikan peralatan elektronika daya.
10. Tidak ada *maintenance cost*
11. Simulasi menggunakan *software MATLAB*.

1.4 Tujuan

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

1. Mengimplementasikan perhitungan untuk menentukan kapasitas energi surya yang dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan beban saat pembebanan.
2. Mengimplementasikan metode *Mixed Integer Linear Programming* untuk perhitungan pembebanan paling optimal pada sistem PLTS terintegrasi *energy storage*.
3. Mendapatkan pembebanan optimal setiap unit pembangkit untuk memenuhi kebutuhan beban.
4. Mendapatkan penjadwalan keadaan *energy storage* dan *grid* dengan mempertimbangkan biaya *grid* dan *discharging energy storage*.
5. mendapatkan rekomendasi provider dengan harga terendah.

1.5 Metode Penelitian

Berikut adalah tahapan dalam pengerjaan tugas akhir ini;

- a. Studi literatur
Studi literatur dilakukan berdasarkan pada buku atau jurnal referensi yang berkaitan dengan manajemen energi, permodelan prediksi harga, algoritma extreme learning machine, *photovoltaic engineering system*, *energy storage*, *smart grid*, dan *mixed integer linear programming*.
2. Pengumpulan Data
Pengumpulan data dilakukan untuk mendapatkan parameter-parameter yang dibutuhkan, yaitu data komponen *photovoltaic system*, *energy storage*, harga energi listrik dari ENGIE, harga *discharging* baterai, dan profil pembebanan selama 24 jam dengan interval satu jam. Data unit pembangkit terdiri dari data 5 provider dan data *photovoltaic system* dengan *energy storage*.
3. Perancangan Program
Pada tugas akhir ini terdapat dua program yang digunakan yaitu untuk memodelkan dynamic pricing agar dapat menemukan prediksi harga yang akan datang. Program kedua yaitu *Mixed Integer Linear Programming* untuk perhitungan pembebanan paling optimal untuk setiap provider yang terintegrasi dengan *energy storage*.

4. Simulasi dan Analisis

Simulasi dilakukan dengan membuat studi kasus. Studi kasus kombinasi antara kondisi energy storage dan harga pembangkitan 5 provider dan photovoltaic system. Klasifikasi harga yaitu provider > energy storage, provider < energy storage lalu untuk kondisi saat energy storage diklasifikasikan berdasarkan kapasitas baterai (kurang dari 20%, diantara 20-50%, dan diatas 50%).

5. Kesimpulan

Setelah melakukan simulasi dan analisis dapat ditarik kesimpulan dari penelitian yang dilakukan.

6. Penyusunan Laporan

Penulisan laporan dilakukan setelah kelimat tahap telah dilakukan. Penulisan laporan dilakukan berdasarkan hasil penelittian dan analisis yang telah dilakukan.

1.6 Sistematika Penulisan

Laporan tugas akhir ini disusun berdasarkan sistematika sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan tentang latar belakang, permasalahan, batasan masalah, tujuan, metode penelitian, dan relevansi.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tentang pendjadwalan sumber energi menggunakan *Mixed Integer Liniear Programming (MILP)*.

BAB III MANAJEMEN ENERGI SKALA INDUSTRI PADA SMART GRID DENGAN MULTI ELECTRICITY PROVIDERS MENGGUNAKAN MIXED INTEGER LINEAR PROGRAMMING

	Bab ini berisi tentang penerapan metode <i>Mixed-Integer Linear Programming</i> pada skala industry dengan <i>energy storage</i>
BAB IV	SIMULASI DAN ANALISIS Bab ini berisi hasil dari simulasi manajemen energi skala industri yang memiliki <i>photovoltaic system</i> dengan <i>energy storage</i> menggunakan Mixed Integer Linear Programming pada studi kasus yang berbeda.
BAB V	PENUTUP Bab ini berisi kesimpulan dan saran. Kesimpulan diperoleh dari hasil pembahasan yang telah dilakukan dan menjawab permasalahan yang ada. Saran adalah rekomendasi untuk penelitian selanjutnya.

1.7 Relevansi

Penulisan laporan tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan beberapa manfaat, yaitu:

1. Sebagai acuan dalam pengaplikasian pembebanan pembangkit yang ekonomis pada *photovoltaic system* dengan *energy storage*.
2. Sebagai referensi dalam perencanaan system *unbundling* yang terintegrasi dengan *smart grid*.
3. Sebagai referensi untuk pengembangan penelitian terkait manajemen energi

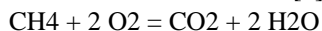
BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Manajemen Energi

Manajemen energi meliputi perencanaan dan operasi produksi energi dan konsumsi energi. Tujuannya adalah konservasi sumber daya, perlindungan iklim dan penghematan biaya, sementara pengguna memiliki akses permanen pada energi yang mereka butuhkan. VDI-Guideline 4602 menyatakan sebuah definisi dan mencakup dimensi ekonomi: “ manajemen energi adalah koordinasi pengadaan, konversi, distribusi, penggunaan energi yang proaktif, terorganisir, dan sistematis untuk memenuhi kebutuhan, dengan mempertimbangkan tujuan lingkungan dan ekonomi” [6].

Manajemen energi telah menjadi alat penting dalam meningkatkan kualitas lingkungan. Misalnya, penyebab utama pemanasan global adalah karbon dioksida, CO₂. Persamaan 1.1, adalah persamaan kimia dalam pembakaran metana (kebanyakan gas alam adalah metana), dari persamaan tersebut menunjukkan bahwa 2.75 pound karbondioksida terproduksi dari satu pound pembakaran metana. Dengan demikian, manajemen energi berperan mengurangi pembakaran metana dan mengurangi jumlah karbon dioksida di dalam atmosfer sehingga membantu mengurangi pemanasan global. Karena, penggunaan energi dalam skala industri menyumbang 45 persen dari karbondioksida yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil [7].



$$(12 + 4*1) + 2(2*16) = (12 + 2*16) + 2(2*1 + 16) \quad (2.1)$$

Manajemen energi mengurangi beban dalam sistem kelistrikan karena Kwh yang digunakan lebih sedikit yang diperlukan, jika sebuah plant membakar batu bara atau bahan bakar minyak, maka jumlah hujan asam yang dihasilkan semakin signifikan. Namun masalah ini dapat dikurangi melalui manajemen energi. Konsumsi energi yang lebih sedikit berarti polusi yang lebih sedikit pada pembangkit listrik.

2.2 Industri

Secara umum beban yang dilayani oleh sistem distribusi elektrik ini dibagi dalam beberapa sektor yaitu sektor perumahan, sektor industri, sektor komersial dan sektor usaha. Masing-masing sektor beban tersebut

mempunyai karakteristik - karakteristik yang berbeda, sebab hal ini berkaitan dengan pola konsumsi energi pada masing-masing konsumen di sektor tersebut. Pada tugas akhir kali ini akan digunakan beban sektor industri.

Industri menurut BPS (Badan Pusat Statistik) adalah suatu usaha atau kegiatan pengolahan bahan mentah atau barang setengah jadi menjadi barang jadi barang jadi yang memiliki nilai tambah untuk mendapatkan keuntungan. Industri pengolahan adalah sebuah cabang industri yang mengolah bahan baku untuk ditingkatkan nilai tambahnya, dengan bantuan teknologi, untuk menghasilkan barang kebutuhan manusia.

Menurut Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 28 tahun 2016 pada pasal 3 ayat 1 [8] dijelaskan bahwa tarif tenaga listrik keperluan industri terdiri atas:

1. Golongan tarif untuk keperluan industri kecil/industry rumah tangga pada tegangan rendah, dengan daya 450VA sampai dengan 14 kVA(I-1/TR);
2. Golongan tarif untuk keperluan industry sedang pada tegangan rendah, dengan daya diatas 14kVA sampai dengan 200kVA(I-2/TR);
3. Golongan tarif untuk keperluan indsutri menengah pada tegangan menengah, dengan daya diatas 200 kVA(I-3/TM); dan
4. Golongan tarif untuk keperluan industry besar pada tegangan tinggi, dengan daya 30.000 kVA keatas(I-4/TT)

2.3 Dynamic Pricing

Dynamic pricing adalah strategi penetapan harga yang berubah-ubah berdasarkan waktu demand response. Menurut [9], ada berbagai skema penetapan harga berdasarkan waktu *demand response*, seperti penetapan harga secara *real time of use (TOU)*, *peak load pricing (PLP)*, *critical peak pricing (CPP)*, *flat pricing*, dan *real time pricing (RTP)*. Setiap skema memiliki variasi didalamnya. Pada usulan tugas akhir kali ini model dynamic pricing yang akan digunakan yaitu *Real Time Pricing (RTP)*.

2.4 Multy Electricity Provider

Multi electricity provider adalah berbagai macam perusahaan yang menyediakan suplai listrik. Listrik tidak akan dijual melalui PLN dengan sistem monopoli namun menjadi *unbundling system*, sehingga menjadi terbukannya pasar energi. Pada tugas akhir kali ini akan disediakan lima provider yang memiliki *dynamic pricing* yang berbeda, lima provider tersebut berada di wilayah PJM – Amerika, data dynamic pricing dari lima provider tersebut didapatkan dari website ENGIE energy.

2.5 Smart Grid

Jaringan listrik modern telah berkembang sejak 1950-an dan telah meningkat seiring kemajuan teknologi. Modernisasi grid berikutnya sedang berlangsung yang bertujuan untuk mengelola teknologi digital dan meningkatkan kompleksitas dari sistem energi saat ini yang akan terus berkembang lebih baik [10].

Smart Grid adalah modernisasi dari sistem pengiriman listrik. Smart Grid berbeda dengan *Conventional Grid* karena memungkinkan komunikasi dua arah data listrik. Smart Grid memungkinkan memungkinkan pengumpulan Real Time Data mengenai ketersediaan dan permintaan listrik selama proses transmisi dan distribusi, sehingga membuat pembangkit, monitoring, konsumsi, pemeliharaan menjadi lebih efisien. [11]

Tabel 2. 1 Tabel perbedaan smart grid dan conventional grid

Smart Grid	Conventional Grid
Self-Healing	Manual Restoration
Digital	Electromechanical
Pervasive Control	Limited Control
Distributed Generation	Centralized Generation
Adaptive and Islanding	Failures and Blackouts
Network	Hierarchical
Sensor Throughout	Few Sensors
Remote Check/Test	Manual Check/Test
Self-Monitoring	Blind
Many Customer Choices	Few Customer Choices

Pada kenyataannya, sebagian besar jaringan listrik didasarkan pada interaksi satu arah dari tahap pembangkitan hingga konsumsi. Smart Grid, disisi lain, mengintegrasikan semua kegiatan pengguna dalam jaringan listrik menggunakan remote control dan otomatisasi berbasis komputer. Interaksi dua arah inilah yang membuat grid “Smart” [12]. Seperti internet Smart Grid terdiri dari kontrol, computer, otomasi, telekomunikasi, dan peralatan yang bekerja Bersama, tetapi dalam hal ini, teknologi ini bekerja dengan grid listrik untuk merespon secara digital untuk mengubah permintaan listrik secara cepat [13].

Contoh pengaplikasian smart grid meliputi :

1. Pembangkitan : berbagai macam sumber pembangkit yang dapat merespon dengan cepat terhadap perubahan perintah akan diperlukan karena energi terbarukan yang intermitten menjadi komponen penting dalam sistem energi. Smart grid memiliki kapasitas yang lebih baik untuk mengolah intermitten dari pembangkit. Smart grid memungkinkan produsen untuk meningkatkan atau mengurangi produksi secara akurat dan dapat diprediksi terkait dengan pembangkit listrik.
2. Distribusi : Distribution intelligence memungkinkan utilitas listrik untuk memantau dan mengoordinasikan aset distribusi dari jarak jauh (saluran transmisi, gardu).
3. Konsumsi : kontrol yang terkomputerisasi pada peralatan dapat diatur untuk berkomunikasi dengan smart grid dan merespon sinyal dari Energi provider. Sehingga dapat mengurangi konsumsi daya pada jam harga tinggi ataupun meminimalkan penggunaan energi pada saat ketika jaringan listrik berada dibawah tekanan dari permintaan tinggi. Smart controls pada peralatan juga dapat memprediksikan pola konsumsi dan merespon serangkaian pra-program untuk mengatur penggunaan dan biaya listrik.

Smart grid dapat meningkatkan efisiensi energi dengan mengurangi *transmission losses*, ketika listrik disuplai dari pembangkit ke konsumen [14].

2.6 Unbundling System

Menurut Joskow, *the four primary components of electricity supply: generation, transmission, distribution, and retail supply*. Terdapat empat komponen utama dalam penyediaan listrik yaitu pembangkitan, transmisi, distribusi, dan penjualan. Mahkamah Konstitusi dalam Putusan Nomor 149/PUU-VII/2009 pun berpendapat demikian bahwa usaha penyediaan tenaga listrik untuk kepentingan umum meliputi jenis usaha pembangkitan tenaga listrik; transmisi tenaga listrik; distribusi tenaga listrik dan/atau penjualan tenaga listrik.

Sistem kegiatan usaha ketenagalistrikan dikenal dalam dua jenis yaitu tidak terpisah (*bundling*) dan bentuk terpisah (*unbundling*). Menurut Kroes, *unbundling refers to the effective separation between the operation of electricity and gas networks from supply and generation activities*, sedangkan menurut Jones, *unbundling is separating generation from transmission from distribution for the electricians*. Dari kedua pendapat tersebut jika dikaitkan dengan komponen utama dari penyediaan listrik, dapat diketahui bahwa yang dimaksud *unbundling* dalam sistem kegiatan usaha ketenagalistrikan adalah terpisahnya usaha pembangkitan, saluran transmisi, saluran distribusi, serta penjualan listrik, yang masing-masing diusahakan oleh pelaku usaha yang berbeda.

2.7 Photovoltaic System

Photovoltaic (PV) mengubah panas matahari menjadi listrik sehingga daya output sangat dipengaruhi oleh kondisi cuaca. Selain itu, daya output PV juga dipengaruhi oleh beberapa parameter lain seperti temperatur, iradiasi, serta karakteristik modul PV. Daya output PV dapat dirumuskan sebagai :

$$P_{pv} = M(P_{stc} \frac{G}{G_{stc}} (1 + k(T_c - T_r))) \quad (2.2)$$

Dimana:

P_{pv} daya output (Watt)

M jumlah modul PV

P_{stc} rating daya pada saat *Standard Test Condition* (STC)

G radiasi aktual (W/m^2)

G_{stc} radiasi pada saat STC (bernilai $1000 W/m^2$)

k koefisien temperatur untuk daya modul ($\%/^{\circ}C$)

T_c temperatur sel ($^{\circ}C$)

T_r temperatur saat STC (bernilai $25^{\circ}C$).

Pada tugas akhir ini, digunakan PV 250 WP yang terdiri dari 12408 modul .

2.8 Energy Storage

Energy storage yang digunakan pada tugas akhir kali ini adalah baterai. *Battery* memiliki kemampuan *charging* dan *discharging*. *Charging* adalah proses dimana baterai melakukan proses pengisian sedangkan *discharging* adalah proses battery mensupply daya. Dengan adanya kemampuan *charging* dan *discharging* tersebut, *energy storage* dapat digunakan untuk menyimpan kelebihan daya saat periode beban rendah (*off peak*) dan menyalurkan kembali daya tersebut saat periode beban tinggi (*on peak*). *Energy storage* dimodelkan sebagai beban saat proses *charging* dan dimodelkan sebagai generator saat proses *discharging* berlangsung. Oleh karena itu, *energy storage* mempunyai biaya *charging* dan *discharging* sebagai layaknya beban dan generator [15].

Integrasi *energy storage* dengan sistem menyebabkan pemodelan permasalahan MILP menjadi berbeda daripada sebelumnya. Secara matematis, integrasi *energy storage* mempengaruhi batasan perhitungan, antara lain :

a. Batasan *State of Charge (SOC)*

State of Charge atau kondisi muatan baterai pada tiap akhir periode ditentukan oleh kondisi periode sebelumnya dan daya pengisian atau pengosongan pada periode sekarang. Dengan mempertimbangkan efisiensi baterai, batasan ini dapat dituliskan sebagai berikut :

$$E^t = E^{t-1} + (P_{BC}^t \times \eta_c - \frac{P_{BD}^t}{\eta_D}) \times \Delta t \quad (2.3)$$

Pada penelitian kali ini, efisiensi charging η_c dan discharging η_D dianggap 80% dan baterai memiliki energi sebesar E^0 pada kondisi awal. Sehingga persamaan di atas dapat ditulis sebagai :

$$E^t = E^0 - \sum_{t=1}^T P_{BD}^t - P_{BC}^t \quad (2.4)$$

$$E^T = E^{fin} \quad (2.5)$$

$$E^0 = E^{ini} \quad (2.6)$$

E^T adalah energi pada periode akhir (T).

b. Batasan kapasitas

Energi yang tersimpan di baterai tidak boleh kurang dari kapasitas minimum ($E_{SOC\ min}$) dan melebihi kapasitas maksimum baterai ($E_{SOC\ max}$).

$$E_{SOC\ min} < E^t < E_{SOC\ max} \quad (2.7)$$

c. Batasan daya *charging* dan *discharging*

Pada model ini, *energy storage* diasumsikan bekerja pada salah satu keadaan pada tiap periode yaitu, *charging*, *discharging*, atau tidak keduanya. Keadaan kerja *energy storage* dituliskan dengan dua variabel biner, yaitu uc_i^t dan ud_i^t . Apabila *energy storage* pada keadaan *charging* pada periode t, maka $uc_i^t = 1$ dan sebaliknya, $ud_i^t = 0$. Apabila *energy storage* pada keadaan *discharging* pada periode t, maka $ud_i^t = 1$ dan sebaliknya, $uc_i^t = 0$. Sehingga batasan ini dapat dituliskan sebagai :

$$uc_i^t + ud_i^t \leq 1 \quad (2.8)$$

Pada model ini, apabila *energy storage* pada keadaan *charging* atau *discharging* pada periode t, daya *charging* dan *discharging* harus berada dalam batasan, atau dapat dituliskan sebagai:

$$0 \leq P_{bat(t)} \leq ud_i^t \cdot P_{discharge\ max} \quad (2.9)$$

$$uc_i^t \cdot P_{charge\ max} \leq P_{bat(t)} \leq 0 \quad (2.10)$$

$$t = 1, 2, 3, \dots T \quad (2.11)$$

Pada tugas akhir ini, digunakan baterai dengan kapasitas 34000 kWh yang terdiri dari 400 unit Deep cycle battery berkapasitas 1768 Ah 48 V.

2.9 Mixed integer Linear Programming

Mixed Integer Linear Programming adalah salah satu solusi untuk menangani masalah manajemen energi listrik. Linear Programming adalah metode matematika untuk menentukan cara agar mendapatkan

hasil yang terbaik (seperti keuntungan maksimum atau biaya terendah) dalam model matematika yang diberikan untuk beberapa daftar persyaratan direpresentasikan sebagai hubungan linear [16]. Karena permodelan matematis dari energy storage berhubungan dengan keadaan *charging* atau *discharging* terhadap sistem dimana permodelannya menggunakan bilangan biner. Alexander Schrijver. Theory of Linear and Integer Programming. John Wiley & sons, 1998. Pemrograman linear adalah teknik untuk optimasi dan memodelkannya kedalam fungsi objektif.. Metode ini akan mengoptimasi fungsi objektif dan mencari nilai variable optimasi (x) yang memenuhi constraints persamaan linear dan pertidaksamaan linear. Pada metode ini, beberapa nilai x berbentuk bilangan bulat dan integer. Metode ini menghasilkan nilai x dan menghasilkan fungsi objektif dengan nilai minimum. Fungsi yang merupakan persamaan standar pada *Mixed Integer Linear Programming* adalah sebagai berikut:

1. Fungsi Objektif

$$F(x) = \min_x f^T x \quad (2.12)$$

2. Batasan Persamaan Linier

$$A_{eq}x = b_{eq} \quad (2.13)$$

3. Batasan Pertidaksamaan Linier

$$Ax \leq b \quad (2.14)$$

4. Batasan *Decision Variable Bounds*

$$l_b \leq x \leq u_b \quad (2.15)$$

5. Batasan Integer

$$x_i \in Z \quad (2.16)$$

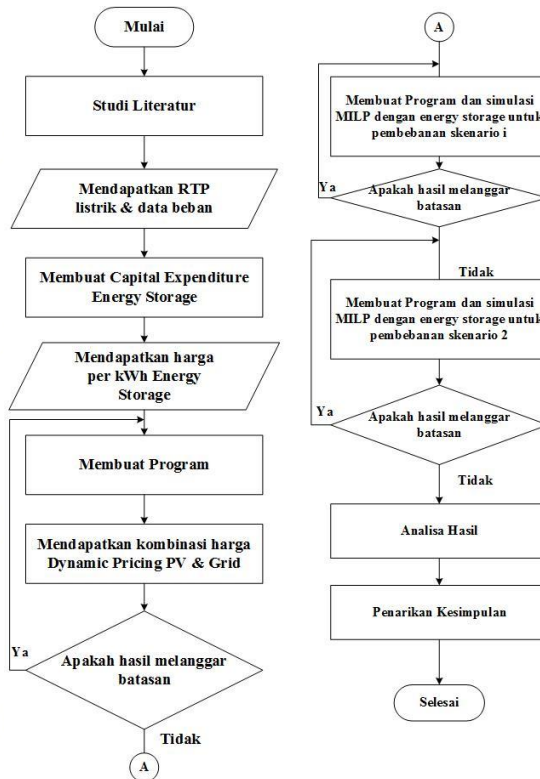
6. Batasan Biner

$$x_i \in Z \{0,1\} \quad (2.17)$$

BAB 3 METODE

3.1 Diagram Alir Metode Manajemen Energi pada Industri menggunakan MILP

Pada tugas akhir ini, Manajemen Energi diselesaikan menggunakan metode Mixed Integer Linear Programming dengan mempertimbangkan harga listrik, kapasitas energy storage dan charging energy storage. Permodelan sistem dan simulasi dilakukan menggunakan software MATLAB. Diagram alir dari algoritma yang digunakan dalam penyelesaian tugas akhir ini ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram alir skema penelitian

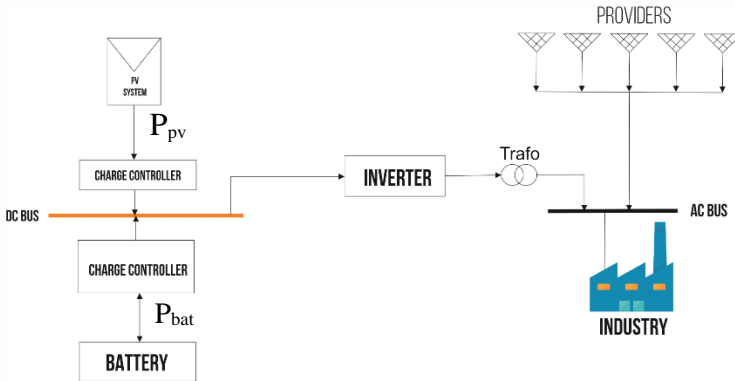
Pengerjaan tugas akhir ini dimulai dengan studi literatur. Studi literatur dilakukan untuk mengetahui konsep Manajemen Energi, *energy storage*, serta *mixed-integer linear programming*. Dari studi literatur yang telah dilakukan, didapatkan data parameter yang diperlukan, yaitu data harga listrik, data beban, data *solar charge*. Selanjutnya, sistem tersebut dimodelkan menggunakan *software MATLAB*. Langkah selanjutnya adalah membuat program simulasi *Manajemen Energi* pada sistem tanpa *energy storage*. Pada skenario 1, mengkombinasikan harga dynamic dari setiap provider dan harga pv lalu didapatkan harga dynamic masing-masing provider yang telah dikombinasikan dengan harga listrik dari Battery Kemudian dilakukan modifikasi program dan simulasi dengan penambahan *energy storage* di sistem.

Energy storage dimodelkan sebagai beban oleh PV saat *charging* dan dimodelkan sebagai generator saat *discharging*. Kondisi *energy storage* pada waktu tertentu tidak boleh melampaui batas minimum dan maksimum dari *SOC energy storage*. *SOC energy storage* membatasi *energy storage* agar tidak *charging* secara terus menerus ataupun *discharging* secara terus menerus sehingga membuat kapasitas *energy storage* menjadi kosong. Selain itu, terdapat batasan daya *charging* maksimum serta daya *discharging* maksimum untuk membatasi daya yang dikeluarkan maupun masuk ke *energy storage*.

Pada skenario 1, langkah selanjutnya adalah pembebanan dan harga provider dari hari kerja. Pada skenario 2, pembebanan dan harga provider pada hari libur. Cek performansi dilakukan untuk memeriksa apakah pemodelan telah sesuai dan hasil telah memenuhi *constraints MILP* dan *energy storage*.

Setelah mendapatkan hasil yang sesuai untuk tiap-tiap simulasi, dilakukan analisa hasil perbandingan. Hal ini bertujuan untuk mengetahui mendapatkan biaya listrik paling murah, mengetahui pengaruh penambahan *energy storage* di sistem dan penjadwalan sumber energi listrik serta total biaya tagihan. Setelah itu dilakukan penarikan kesimpulan dari hasil analisa dan keseluruhan proses optimasi.

3.2 Desain Sistem



Gambar 3. 2 (a) Desain Sistem

Sistem pada penelitian ini terdiri dari 5 provider listrik yaitu sumber listrik Peco, Dominion Hub, N Illinois, Western Hub, EAP Dayton dan sumber listrik dari sel surya. Sistem tenaga surya dilengkapi charge controller, baterai sebagai energi storage dan inverter sebagai converter dari arus dc ke arus ac.

3.3 *Penjadwalan Power Resources dengan Mixed Integer Linear Programming (MILP)*

3.3.1 *Mixed Integer Linear Programming (MILP)*

Untuk menyelesaikan permasalahan *Mixed Integer Linear Programming (MILP)* pada *MATLAB* terdapat beberapa fungsi *MILP* dengan integer variabel sebagai salah satu batasannya. Berikut adalah variabel *input*, *structure*, dan *output* pada *MILP*.

Input Arguments:

1. **Aeq** adalah matriks yang berisi koefisien linear dari *equality*

- constraints.*
2. **beq** adalah vector kolom yang berisi konstanta dari *equality constraints.*
 3. **A** adalah matriks yang berisi koefisien linear dari *inequality constraints.*
 4. **b** adalah vektor kolom yang berisi konstanta dari *inequality constraints.*
 5. **lb** dan **ub** adalah vektor kolom dari batas bawah dan batas atas untuk menentukan variabel **x**.
 6. **x0** adalah initial point, ditetapkan sebagai sebuah real array. Bilangan dari elemen pada x0 adalah sama dengan bilangan dari elemen f ketika f muncul. Sebaliknya, bilangannya adalah sama dengan bilangan dari kolom dari A atau Aeq dan mengubah sebuah array x0 menjadi sebuah vector x0 (:).

3.3.2 Fungsi Biaya

Informasi jadwal peralatan, kondisi sumber energi listrik, dan harga listrik akan dikalkulasi dengan *Mixed Integer Linear Programming* (MILP) dengan persamaan fungsi biaya pada persamaan 3.1 dimana C_G , C_B , dan C_{CS} adalah harga beli listrik dari *grid*, harga jual listrik ke *grid*, dan biaya investasi sistem PV.

$$\min \sum (P_G(t)C_G(t) - P_B(t)C_B(t) + C_{CS}(t))\Delta t \quad (3.1)$$

$P_G(t)$ = Daya yang disuplai oleh setiap *grid* pada setiap waktu

$P_B(t)$ = Daya yang disuplai oleh *energy storage* pada setiap waktu

$C_G(t)$ = harga listrik dari *grid* pada setiap waktu

$C_B(t)$ = harga listrik dari *energy storage* pada setiap waktu

$C_{CS}(t)$ = biaya investasi *Energy Storage system* setiap waktu

Pada penelitian ini akan muncul empat kemungkinan yaitu:

1. Baterai mampu mensuplai kebutuhan beban saat harga energi listrik $P_G < P_S$
2. Baterai mampu mensuplai kebutuhan beban saat harga energi listrik $P_G > P_S$
3. Baterai tidak mampu mensuplai kebutuhan beban saat harga

- energi listrik $P_G < P_S$
4. Baterai tidak mampu mensuplai kebutuhan beban saat harga energi listrik $P_G > P_S$

Baris horizontal adalah jam dari jam 1 ke 24, Baris Vertikal adalah beban dalam sektor industry. dalam penelitian ini akan ada dua studi case yaitu saat beban weekdays dan non-week days.

Pada simulasi ini terdapat beberapa kondisi yang akan disimulasikan, kasus tersebut sebagai berikut:

1. Energy Storage memiliki kapasitas kurang dari 20%
2. Energy Storage memiliki kapasitas antara 21%-50%
3. Energy Storage memiliki kapasitas lebih dari 50%

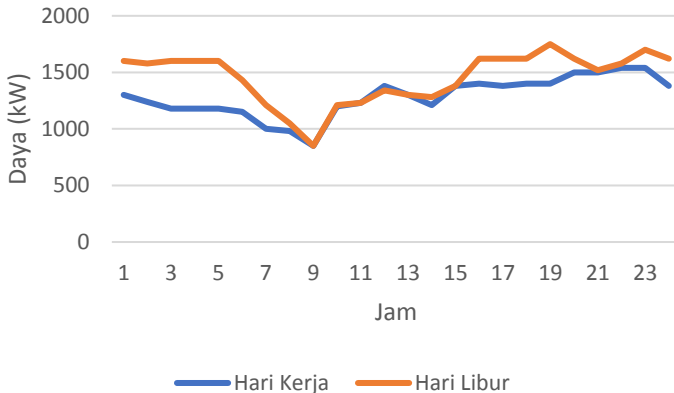
Sehingga, pada tugas akhir ini, akan disimulasikan dua studi dan tiga kasus yang akan dicoba pada lima provider diatas.

[Halaman Ini Sengaja Dikosongkan]

BAB 4 SIMULASI DAN DATA

Pada bab ini akan dibahas hasil simulasi dari sistem *Industry Energy Management Sytem* yang telah didesain pada bab 3 yaitu menjadwalkan energi listrik. Simulasi dibagi menjadi dua kasus dengan tiga kondisi kapasitas energy storage. Simulasi tugas akhir ini menggunakan perangkat lunak Matlab.

4.1 Data Plan



Gambar 4. 1 Pembeban sistem

Pada simulasi ini dari data yang dihasilkan industry kaca di Taiwan yang beroperasi selama 24 jam, dan berikut adalah data pembebanan tiap jam dari sebuah industri:

Sumbu y adalah komsumsi daya dalam kilowatt, sedangkan sumbu x adalah jam dengan interval satu jam. Dari grafik diatas dapat diketahui bahwa pembebanan pada hari kerja dengan pembebanan pada hari libur berbeda. Beban pada hari kerja lebih rendah dibandingkan beban pada hari libur. Beban puncak pada hari kerja mencapai 1540 kWh pada jam 22.00 – 23.00 sedangkan beban puncak pada hari libur mencapai 1750 kWh pada jam 19.00.

Sehingga pada tugas akhir ini akan disimulasikan dua skenario, yaitu ketika beban hari kerja dan beban hari libur. Beban akan berganti berdasarkan interval jam, dan dalam satu hari ada data beban dalam 24 jam . Data beban terdapat pada gambar 4.1.

Tabel 4.1. Harga listrik dari 5 provider dan energy storage saat hari kerja

Jam	PECO (Rp)	DOM HUB (Rp)	N ILLINOIS (Rp)	AEP DAYTON (Rp)	WESTERN HUB (Rp)	Battery (Rp)
1	1034	1008	931	965	1012	1392
2	947	923	860	888	926	1392
3	862	849	799	825	850	1392
4	834	823	781	808	824	1392
5	839	829	789	817	831	1392
6	996	985	931	966	988	1392
7	1087	1074	1008	1048	1080	1392
8	1056	1052	995	1030	1058	1392
9	1159	1144	1082	1120	1157	1392
10	1285	1267	1207	1247	1284	1392
11	1604	1586	1505	1561	1605	1392
12	1569	1543	1465	1517	1566	1392
13	1503	1465	1394	1441	1497	1392
14	1566	1549	1435	1491	1559	1392
15	1824	1904	1824	2197	1923	1392
16	1962	1863	1800	2195	1925	1392
17	2046	1905	1679	2425	2000	1392
18	2120	1999	1789	2329	2088	1392
19	2225	2128	1536	2463	2226	1392
20	1523	1484	1371	1461	1510	1392
21	1529	1483	1399	1457	1505	1392
22	1301	1269	1213	1254	1286	1392
23	1282	1270	1216	1255	1276	1392
24	1219	1209	1155	1190	1213	1392

Tabel 4.2. Harga listrik dari 5 provider dan energy storage saat hari libur

Jam	PECO (Rp)	DOM HUB (Rp)	N ILLINOIS (Rp)	AEP DAYTON (Rp)	WESTERN HUB (Rp)	Battery (Rp)
1	815	821	792	809	820	1392
2	816	829	797	815	823	1392
3	786	797	771	786	792	1392
4	774	781	758	772	779	1392
5	765	774	751	766	771	1392
6	748	760	734	752	755	1392
7	741	752	725	743	746	1392
8	735	746	717	735	739	1392
9	771	780	755	774	777	1392
10	851	866	838	860	860	1392
11	939	989	950	977	977	1392
12	1070	1236	1166	1198	1200	1392
13	1146	1171	1125	1162	1163	1392
14	1182	1225	1179	1217	1215	1392
15	1136	1939	1697	1750	1814	1392
16	1259	1334	1268	1313	1320	1392
17	1695	1874	1767	1828	1841	1392
18	1498	1511	1450	1500	1507	1392
19	1578	1721	1632	1681	1698	1392
20	1564	1902	1759	1808	1846	1392
21	1898	1914	1843	1892	1901	1392
22	1197	1211	1172	1199	1202	1392
23	1075	1087	1054	1074	1078	1392
24	1096	1106	1062	1084	1095	1392

Tabel 4.1 adalah harga listrik dari masing-masing provider yang akan digunakan dalam simulasi. Pada tugas akhir ini akan disimulasikan terjadinya open market sehingga terdapat lima provider. Kelima provider tersebut memiliki harga listrik yang berbeda. Pada data harga provider diatas, terdapat dua tabel yang berbeda, tabel 4.1 merupakan tabel harga listrik pada saat hari kerja (Working day) dan tabel 4.2 merupakan harga listrik pada saat hari libur (non-work day).

4.2 Simulasi Industry Energy Management System

Pada simulasi ini akan ada dua skenario. Skenario satu yaitu menggunakan beban dan tarif listrik pada saat hari libur dan Skenario dua menggunakan beban dan tarif listrik pada hari kerja. Sistem akan dilengkapi dengan energy storage sehingga pada *Energy Storage* terdapat tiga kondisi baterai. Tujuan dari simulasi ini adalah untuk mendapatkan **Batas atas dan batas bawah** untuk perhitungan matematis pada *Mixed Integer Linear Programming (MILP)*. Pada tugas akhir ini sistem melakukan perhitungan setiap jam dengan interval satu jam selama 24 jam, sehingga akan dihasilkan 24 biaya pada setiap jam. Kondisi tersebut sebagai berikut:

- Jika kapasitas baterai $\leq 20\%$ atau keadaan low maka sistem otomatis menggunakan grid sebagai sumber energi listrik. Maka fungsi biayanya menjadi:

$$Ft_{low} = P_1(t)C_G(t) \quad (4.1)$$

- Jika kapasitas baterai antara 20%-50% maka sistem akan mencari biaya paling minimum dengan formula dan kombinasi sebagai berikut:

$$Ft(n)_{med} = A_i * P_1(t)C_G(t) + B_j * P_1(t)C_B(t) \quad (4.2)$$

Tabel 4.3. Kombinasi power resources (grid dan microgrid)

$Ft(n)_{med}$	A_i (%)	B_j (%)
$Ft(1)_{med}$	0	100
$Ft(2)_{med}$	10	90
$Ft(3)_{med}$	20	80
$Ft(4)_{med}$	30	70
$Ft(5)_{med}$	40	60
$Ft(6)_{med}$	50	50
$Ft(7)_{med}$	60	40
$Ft(8)_{med}$	70	30
$Ft(9)_{med}$	80	20
$Ft(10)_{med}$	90	10
$Ft(11)_{med}$	100	0

- Jika kapasitas baterai >50% maka sistem otomatis menggunakan sumber energi listrik dari sumber energi surya

$$Ft_{up} = P_1(t)C_B(t) \quad (4.3)$$

4.2.1 Skenarion Pertama Beban Hari Kerja

Tabel 4.4. Pembebanan pada hari kerja

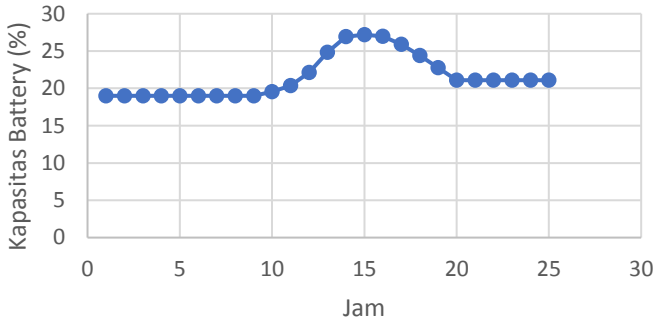
Beban Hari Kerja	
Jam	Beban (kW)
1	1300
2	1240
3	1180
4	1180
5	1180
6	1150
7	1000
8	980
9	850
10	1200
11	1230
12	1380
13	1300
14	1210
15	1380
16	1400
17	1380
18	1400
19	1400
20	1500
21	1500
22	1540
23	1540
24	1380

Pada skenario pertama diasumsikan menggunakan beban pada hari kerja dan harga listrik dari lima provider pada hari kerja. diskenario ini dicoba pada tiga keadaan baterai yaitu ketika

kapasitas baterai kurang dari 20%, diantara 20-50%, dan diatas 50%.

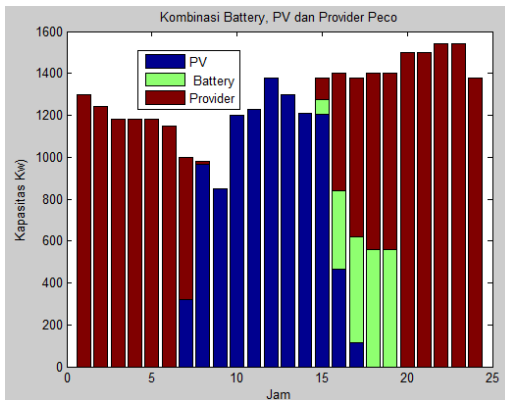
1. Provider Peco Pada Hari Kerja

a. Kapasaitas battery kurang dari 20% .



Gambar 4. 2 Kapasitas battery dalam interval satu jam pada skenario satu a

Pada gambar 4.2 pada saat inisiasi battery 19%, mendapatkan *charge* dari PV pada jam 09.00 -14.00, sehingga kapasitas battery bertambah dan pada jam 24.00 kapasitas battery menjadi 21,09% setelah dikurangi oleh beban.



Gambar 4. 3 Gambar hasil simulasi Manajemen energi provider Peco dan Battery

Pada gambar 4.3 didapatkan penjadwalan penggunaan sumber listrik. Pada keadaan ini disimpulkan bahwa saat kondisi awal battery kurang dari 20%, beban akan disupply oleh grid pada jam 01.00-08.00

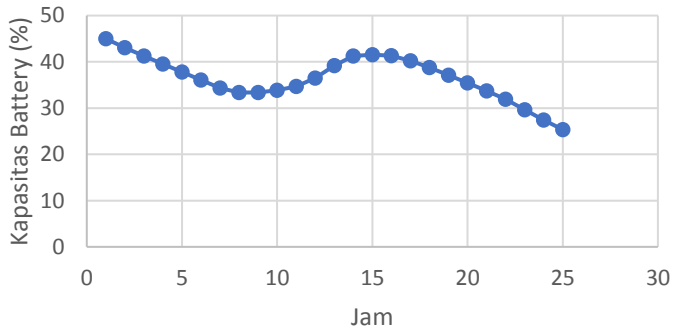
dikarenakan pada jam tersebut kapasitas battery kurang dari 20%, lalu pada jam 07.00 – 17.00 PV akan mensupply beban dan battery memberikan supply pada beban saat 15.00 – 19.00 karena kapasitas battery lebih dari 20%.

Pada keadaan ini didapatkan bahwa biaya optimal saat battery kurang dari 20% adalah ketika seluruh beban disuplai oleh grid, dari hasil simulasi didapat *Batas atas dan batas bawah* pada tabel 4.5

Tabel 4.5. Batas atas dan batas bawah skenario satu a

Kapasitas baterai < 20%		
Batas	Grid	PV
lb	0	0
ub	1	0

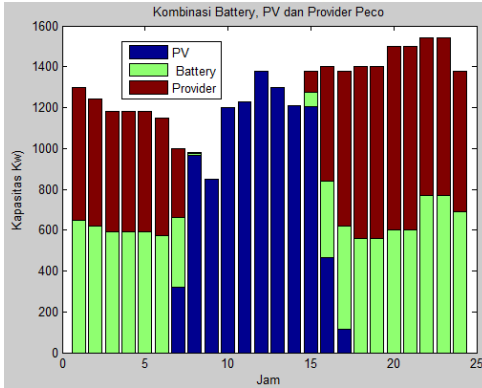
b. Kapasitas baterai diantara 20% sampai 50%



Gambar 4. 4 Kapasitas baterai dalam interval satu jam pada skenario satu b

Pada gambar 4.4 pada saat inisiasi battery 45%, mendapatkan *charge* dari PV pada jam 09.00 -14.00, sehingga kapasitas battery bertambah dan pada jam 24.00 kapasitas battery menjadi 25.36% setelah dikurangi oleh beban.

Pada gambar 4.5 didapatkan penjadwalan penggunaan sumber listrik. Pada keadaan ini disimpulkan bahwa saat kondisi awal battery $20% < x \leq 50%$, simulasi menunjukkan bahwa battery akan mensupply kebutuhan listrik beban pada jam 01.00 – 07.00 dan 15.00-24. PV memberikan supply ke beban pada saat 07.00- 17.00



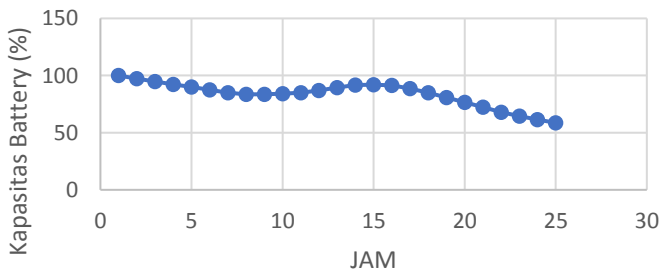
Gambar 4.5 Gambar hasil simulasi Manajemen energi provider Peco dan Battery

Pada keadaan ini didapatkan bahwa biaya optimal saat battery berapada pada kondisi $20\% < x \leq 50\%$, sehingga hasil simulasi kombinasi paling optimal adalah ketika grid mensuplai 40% dan pv 60%. Sehingga didapatkan *Batas atas dan batas bawah* pada tabel 4.6

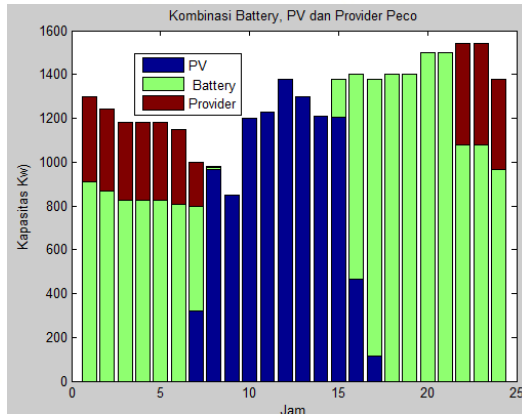
Tabel 4.6. Batas atas dan batas bawah skenario satu b

20% < kapasitas baterai < 50%				
Batas	Grid > PV		Grid < PV	
	Grid	PV	Grid	PV
lb	0	0	0	0
ub	0.4	0.6	0.5	0.5

c. Kapasitas baterai >50%



Gambar 4.6 Kapasitas batterai dalam interval satu jam pada skenario satu c



Gambar 4. 7 Gambar hasil simulasi Manajemen energi provider Peco dan Battery

Pada gambar 4.6 pada saat inisiasi battery 100%, mendapatkan *charge* dari PV pada jam 09.00 -14.00, sehingga kapasitas battery bertambah dan pada jam 24.00 kapasitas battery menjadi 61.3% setelah dikurangi oleh beban.

Pada gambar 4.7 didapatkan penjadwalan penggunaan sumber listrik. Pada keadaan ini disimpulkan bahwa saat kondisi awal battery >50%, simulasi menunjukkan bahwa battery akan mensupply beban hingga 24 jam, pada jam 01.00 – 07.00 battery mensupply sebagian dari beban dan pada jam 16.00 – 21.00 battery mensupply beban 100% lalu pada 22.00- 24.00 beban di supply sebagian oleh battery. Dan pada jam 07.00-17.00 beban mendapatkan supply pv.

Pada keadaan ini didapatkan bahwa biaya optimal saat battery berapada pada kondisi >50%, sehingga hasil simulasi kombinasi paling optimal adalah ketika battery mensupply penuh beban. Dari hasil simulasi maka dapat didapat *Batas atas dan batas bawah* seperti pada tabel 4.10

Tabel 4.7. Batas atas dan batas bawah skenario satu c

Kapasitas baterai > 50%				
Batas	Grid	PV	Grid	PV
lb	0	0	0	0
ub	0	1	0.3	0.7

Tabel 4.8. Tagihan listrik dari provider peco

Tagihan Listrik Provider Peco		
<20%	20%-50%	>50%
Rp 28,911,835.00	Rp 20,228,037.00	Rp 5,089,275.00

Tabel 4.9. Tagihan Listrik grid dengan panel surya

Tagihan Listrik tanpa battery	Tagihan Listrik PECO dengan Investasi		
	<20%	20%-50%	>50%
Rp 43.699.550	Rp 39,283,221	Rp 30,599,423	Rp 15,460,661

Berdasarkan Tabel 4.9 dapat diketahui bahwa biaya tagihan listrik minimum saat kapasitas battery >50%, lalu disusul saat kapasitas battery diantara 20%-50% dan yang terakhir saat kapasitas battery kurang dar 20%. Dari tabel 4.10 penghematan terbesar terjadi apabila kapasitas battery lebih dari 50%.

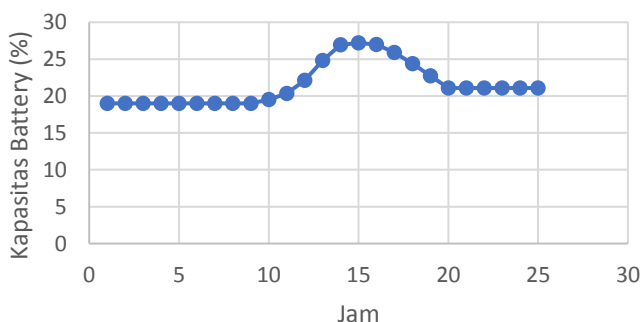
Tabel 4.10. Batas atas dan batas bawah skenario satu

Batas	<20%		20%-50%		>50%	
	Grid	PV	Grid	PV	Grid	PV
lb	0	0	0	0	0	0
up	1	0	0.4	0.6	0	1

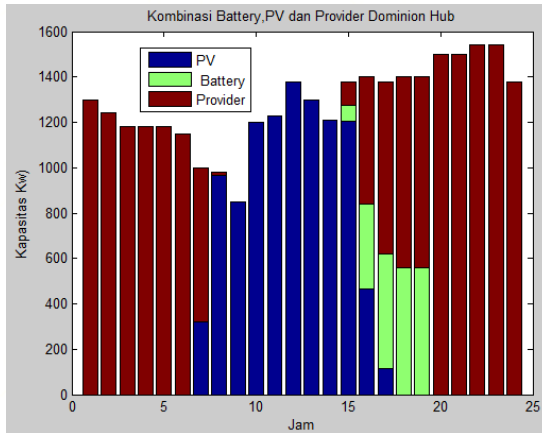
Dari tiga simulasi keadaan baterai pada skenario satu satu beban hari kerja didapatkan batas atas dan batas bawah yang dapat dirangkum pada tabel 4.10. Batas atas dan batas bawah yang didapat pada hasil simulasi ini akan digunakan sebagai batas minimal dan batas maximal yang dapat disupply oleh *providers atau energy storage*. dengan adanya batas minimal dan batas maximal yang maka pengguna akan mendapatkan biaya listrik paling murah berdarakan harga dan kondisi *energy storage*.

2. Provider Dominion Hub Pada Hari Kerja

a. Kapasaitas battery kurang dari 20% .



Gambar 4. 8 Kapasitas batterai dalam interval satu jam pada skenario satu a



Gambar 4. 9 Gambar hasil simulasi Manajemen energi provider Dominion Hub dan Battery

Pada gambar 4.8 pada saat inisiasi battery 19%, mendapatkan *charge* dari PV pada jam 09.00 - 14.00, sehingga kapasitas battery bertambah dan pada jam 24.00 kapasitas battery menjadi 28,5% setelah dikurangi oleh beban.

Pada gambar 4.9 didapatkan penjadwalan penggunaan sumber listrik. Pada keadaan ini disimpulkan bahwa saat kondisi awal battery kurang dari 20%, beban akan disupply oleh grid pada jam 01.00-07.00 lalu pada jam 07.00 – 17.00 PV memberikan supply pada beban dan pada jam 15.00-19.00 battery memberi suplai karena kapasitas lebih dari 20%.

Pada keadaan ini didapatkan bahwa biaya optimal saat battery kurang dari 20% adalah ketika seluruh beban disuplai oleh grid, dari hasil simulasi didapat *Batas atas dan batas bawah* pada tabel 4.11

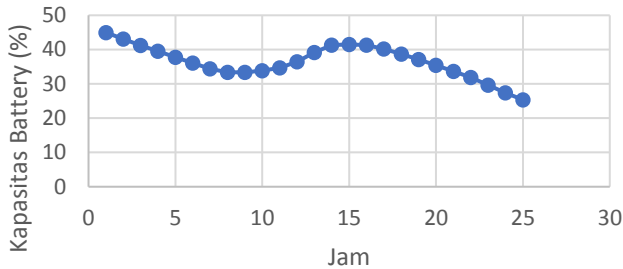
Tabel 4.11. Batas atas dan batas bawah skenario satu a

Kapasitas baterai < 20%		
Batas	Grid	PV
lb	0	0
ub	1	0

b. Kapasitas beteraai diantara 20% sampai 50%

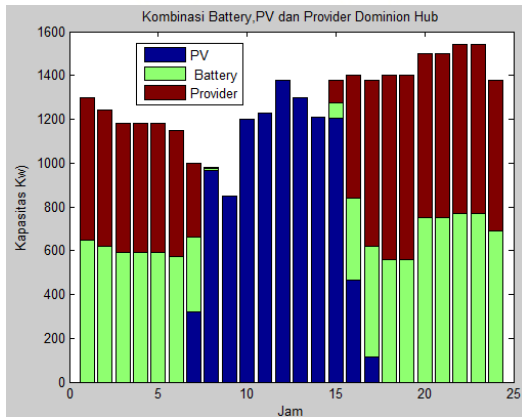
Pada gambar 4.10 pada saat inisiasi battery 45%, mendapatkan *charge* dari PV pada jam 09.00 -14.00, sehingga kapasitas battery bertambah dan pada jam 24.00 kapasitas battery menjadi 24.47% setelah

dikurangi oleh beban.



Gambar 4. 10 Kapasitas baterai dalam interval satu jam pada skenario satu b

Pada gambar 4.11 didapatkan penjadwalan penggunaan sumber listrik. Pada keadaan ini disimpulkan bahwa saat kondisi awal battery $20\% < x \leq 50\%$, simulasi menunjukkan bahwa battery akan mensupply beban pada jam 01.00 – 07.00 dan pada jam 16.00-24.00 battery mensupply beban.



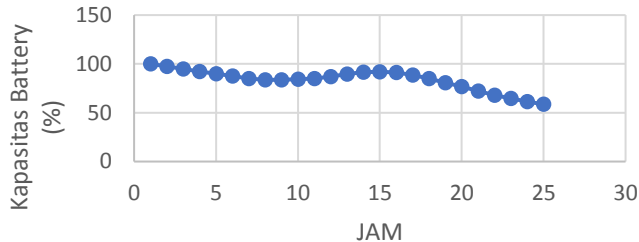
Gambar 4. 11 Gambar hasil simulasi Manajemen energi provider Dominion Hub dan Battery

Pada keadaan ini didapatkan bahwa biaya optimal saat battery berapda pada kondisi $20\% < x \leq 50\%$, sehingga hasil simulasi kombinasi paling optimal adalah ketika grid mensuplai 40% dan pv 60% pada saat harga grid > pv, dan 50% grid dan 50% pv pada saat harga grid < pv. Sehingga didapatkan *Batas atas dan batas bawah* pada tabel 4.12.

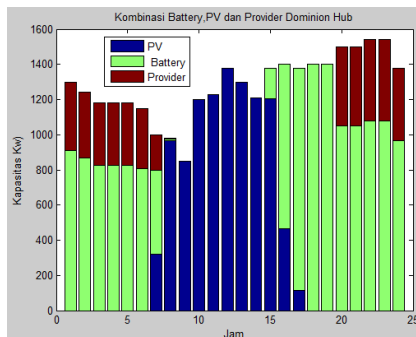
Tabel 4.12. Batas atas dan batas bawah skenario satu b

20% < kapasitas baterai < 50%				
Batas	Grid > PV		Grid < PV	
	Grid	PV	Grid	PV
lb	0	0	0	0
ub	0.4	0.6	0.5	0.5

c. Kapasitas baterai >50%



Gambar 4. 12 Kapasitas batterai dalam interval satu jam pada skenario satu c



Gambar 4. 13 Gambar hasil simulasi Manajemen energi provider Dominion Hub dan Battery

Pada gambar 4.12 pada saat inisiasi battery 100%, mendapatkan *charge* dari PV pada jam 09.00 - 14.00, sehingga kapasitas battery bertambah dan pada jam 24.00 kapasitas battery menjadi 59.97% setelah dikurangi oleh beban.

Pada gambar 4.13 didapatkan penjadwalan penggunaan sumber listrik. Pada keadaan ini disimpulkan bahwa saat kondisi awal battery >50%, simulasi menunjukkan bahwa battery akan mensupply beban hingga 24 jam, pada jam 01.00 – 07.00 battery mensupply sebagian dari

beban dan pada jam 07.00 – 17.00 PV mensupply beban lalu pada 15.00-19.00 battery memberikan supply full ke beban. 20.00 – 24.00 battery memberikan 70% ke beban.

Pada keadaan ini didapatkan bahwa biaya optimal saat battery berapda pada kondisi >50%, sehingga hasil simulasi kombinasi paling optimal adalah ketika battery mensupply penuh beban. Dari hasil simulasi maka dapat didapat *Batas atas dan batas bawah* seperti pada tabel 4.13

Tabel 4.13. Batas atas dan batas bawah skenario satu c

Kapasitas baterai > 50%		
Batas	Grid	PV
lb	0	0
ub	0	1

Tabel 4.14. Tagihan listrik dari provider Dominion Hub

Tagihan Listrik Provider Dominion Hub		
<20%	20%-50%	>50%
Rp 28,250,548.00	Rp 19,662,637.00	Rp 5,014,527.00

Tabel 4.15. Tagihan Listrik grid dengan panel surya

Tagihan Listrik tanpa battery	Tagihan Listrik Dominion Hub dengan Investasi		
	<20%	20%-50%	>50%
Rp 42.666.920	Rp 38,621,934	Rp 30,034,023	Rp 15,385,913

Berdasarkan Tabel 4.14 dapat diketahui bahwa biaya tagihan listrik minimum saat kapasitas battery >50%, lalu disusul saat kapasitas battery diantara 20%-50% dan yang terakhir saat kapasitas battery kurang dar 20%. Dari tabel 4.15 penghematan terbesar terjadi apabila kapasitas battery lebih dari 50%.

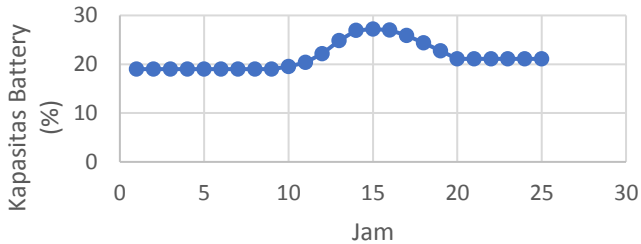
Tabel 4.16. Batas atas dan batas bawah skenario satu

Batas	<20%		20%-50%		>50%	
	Grid	PV	Grid	PV	Grid	PV
lb	0	0	0	0	0	0
up	1	0	0.4	0.6	0	1

Dari tiga simulasi keadaan baterai pada skenario satu satu (harga *grid* sama dengan harga *pv*) didapatkan harga tagihan listrik dari ketiga kondisi dan juga *Batas atas dan batas bawah* yang dapat dirangkum pada tabel 4.16. Batas atas dan batas bawah yang didapat pada hasil simulasi ini akan digunakan sebagai *batas minimal dan batas maximal* yang dapat disupply oleh *power resources (grid dan battery)*. dengan adanya *batas minimal dan batas maximal* yang makan pengguna akan mendapatkan

biaya listrik paling murah berdasarkan harga dan kondisi *energy storage* yang tersisa.

3. Provider N Illinois Hub Pada Hari Kerja
 - a. Kapasitas battery kurang dari 20% .

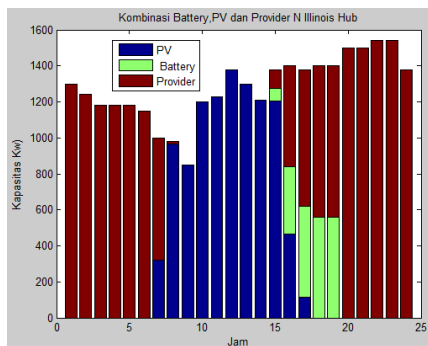


Gambar 4.14 Kapasitas baterai dalam interval satu jam pada skenario satu a

Pada gambar 4.14 pada saat inisiasi battery 19%, mendapatkan *charge* dari PV pada jam 09.00 - 14.00, sehingga kapasitas battery bertambah dan pada jam 24.00 kapasitas battery menjadi 21.09% setelah dikurangi oleh beban.

Pada gambar 4.15 didapatkan penjadwalan penggunaan sumber listrik. Pada keadaan ini disimpulkan bahwa saat kondisi awal battery kurang dari 20%, beban akan disupply oleh grid pada jam 01.00-07.00 lalu pada jam 07.00 – 14.00 PV memberikan supply pada beban .

Pada keadaan ini didapatkan bahwa biaya optimal saat battery kurang dari 20% adalah ketika seluruh beban disuplai oleh grid, dari hasil simulasi didapat *Batas atas dan batas bawah* pada tabel 4.17

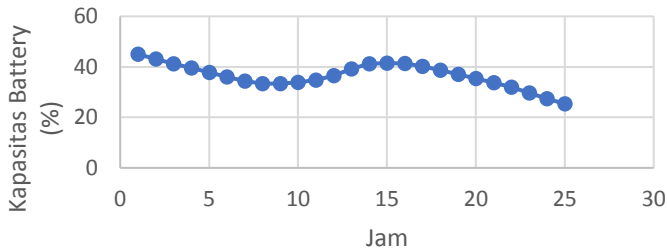


Gambar 4.15 Gambar hasil simulasi Manajemen energi provider N illinois Hub dan Battery

Tabel 4.17. Batas atas dan batas bawah skenario satu a

Kapasitas baterai < 20%		
Batas	Grid	PV
lb	0	0
ub	1	0

b. Kapasitas baterai diantara 20% sampai 50%



Gambar 4. 16 Kapasitas baterai dalam interval satu jam pada skenario satu b

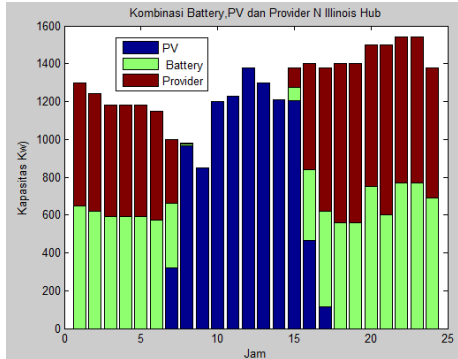
Pada gambar 4.16 pada saat inisiasi battery 45%, mendapatkan *charge* dari PV pada jam 09.00 - 14.00, sehingga kapasitas battery bertambah dan pada jam 24.00 kapasitas battery menjadi 24.92% setelah dikurangi oleh beban.

Pada gambar 4.17 didapatkan penjadwalan penggunaan sumber listrik. Pada keadaan ini disimpulkan bahwa saat kondisi awal battery $20% < x \leq 50%$, simulasi menunjukkan bahwa battery akan mensupply beban pada jam 01.00 – 07.00 dan pada jam 07.00-17.00 PV memberikan supply pada beban, dan pada 16.00 – 24.00 battery memberikan supply sebagian ke beban.

Pada keadaan ini didapatkan bahwa biaya optimal saat battery berapda pada kondisi $20% < x \leq 50%$, sehingga hasil simulasi kombinasi paling optimal adalah ketika grid mensuplai 40% dan pv 60%. Sehingga didaptkan *Batas atas dan batas bawah* pada tabel 4.18.

Tabel 4.18. Batas atas dan batas bawah skenario satu b

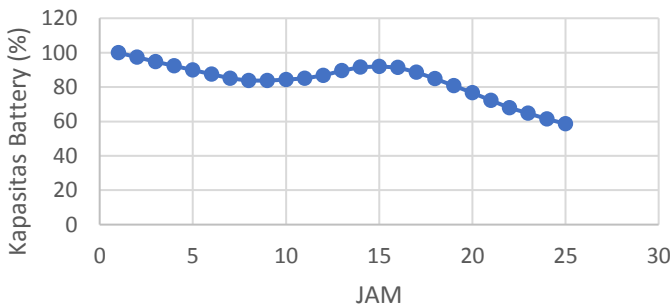
20% < kapasitas baterai < 50%				
Batas	Grid > PV		Grid < PV	
	Grid	PV	Grid	PV
lb	0	0	0	0
ub	0.4	0.6	0.5	0.5



Gambar 4.17 Gambar hasil simulasi Manajemen energi provider N illinois Hub dan Battery

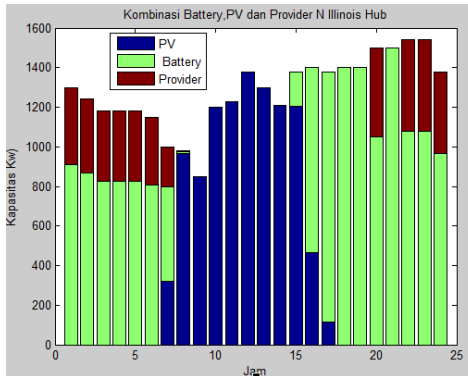
c. Kapasitas baterai >50%

Pada gambar 4.18 pada saat inisiasi battery 100%, mendapatkan *charge* dari PV pada jam 09.00 - 14.00, sehingga kapasitas battery bertambah dan pada jam 24.00 kapasitas battery menjadi 59.9% setelah dikurangi oleh beban.



Gambar 4.18 Kapasitas baterai dalam interval satu jam pada skenario satu c

Pada gambar 4.19 didapatkan penjadwalan penggunaan sumber listrik. Pada keadaan ini disimpulkan bahwa saat kondisi awal battery >50%, simulasi menunjukkan bahwa battery akan mensupply beban hingga 24 jam, pada jam 01.00 – 07.00 battery mensupply sebagian dari beban dan pada jam 07.00 –17.00 PV mensupply beban. lalu pada 16.00-24.00 battery mensupply sebagian beban,



Gambar 4. 19 Gambar hasil simulasi Manajemen energi provider N illinois Hub dan Battery

Pada keadaan ini didapatkan bahwa biaya optimal saat battery berapda pada kondisi $>50\%$, sehingga hasil simulasi kombinasi paling optimal adalah ketika battery mensuply penuh beban. Dari hasil simulasi maka dapat didapat *Batas atas dan batas bawah* seperti pada tabel 4.19

Tabel 4.19. Batas atas dan batas bawah skenario satu c

Kapasitas baterai $> 50\%$				
Batas	Grid	PV	Grid	PV
lb	0	0	0	0
ub	0	1	0.3	0.7

Tabel 4.20. Tagihan listrik dari provider N Illinois Hub

Tagihan Listrik Provider N Illinois Hub		
$<20\%$	20%-50%	$>50\%$
Rp 25,741,654	Rp 17,614,637	Rp 5,909,169

Tabel 4.21. Tagihan Listrik grid dengan panel surya

Tagihan Listrik tanpa battery	Tagihan Listrik N Illinois Hub dengan Investasi		
	$<20\%$	20%-50%	$>50\%$
Rp 39,414,070	Rp 36,113,041	Rp 27,986,024	Rp 16,280,556

Berdasarkan Tabel 4.21 dapat diketahui bahwa biaya tagihan listrik minimum saat kapasitas battery $>50\%$, lalu disusul saat kapasitas battery diantara 20%-50% dan yang terakhir saat kapasitas battery kurang

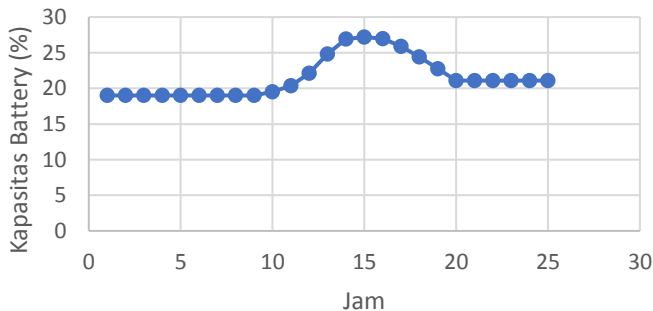
dar 20%. Dari tabel 4.21 penghematan terbesar terjadi apabila kapasitas battery lebih dari 50%.

Tabel 4.22. Batas atas dan batas bawah skenario satu

Batas	<20%		20%-50%		>50%	
	Grid	PV	Grid	PV	Grid	PV
lb	0	0	0	0	0	0
up	1	0	0.4	0.6	0	1

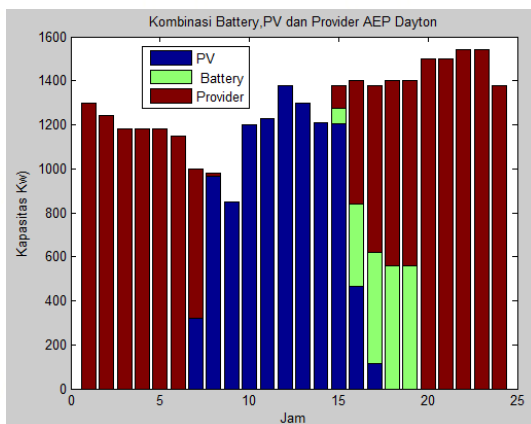
Dari tiga simulasi keadaan baterai pada skenario satu satu (harga *grid* sama dengan harga *pv*) didapatkan harga tagihan listrik dari ketiga kondisi dan juga Batas atas dan batas bawah yang dapat dirangkum pada tabel 4.18 dan 4.19. *Batas atas dan batas bawah* yang didapat pada hasil simulasi ini akan digunakan sebagai *batas minimal dan batas maximal* yang dapat disupply oleh *power resources (grid dan battery)*. dengan adanya *batas minimal dan batas maximal* yang makan pengguna akan mendapatkan biaya listrik paling murah berdarakan harga dan kondisi *energy storage* yang tersisa.

4. Provider AEP Dayton Hub Pada Hari Kerja
 - a. Kapasaitas battery kurang dari 20% .



Gambar 4. 20 Kapasitas batterai dalam interval satu jam pada skenario satu a

Pada gambar 4.20 pada saat inisiasi battery 19%, mendapatkan *charge* dari PV pada jam 09.00 - 14.00, sehingga kapasitas battery bertambah dan pada jam 24.00 kapasitas battery menjadi 28,5% setelah dikurangi oleh beban.



Gambar 4. 21 Gambar hasil simulasi Manajemen energi provider AEP Dayton dan Battery

Pada gambar 4.21 didapatkan penjadwalan penggunaan sumber listrik. Pada keadaan ini disimpulkan bahwa saat kondisi awal battery kurang dari 20%, beban akan disupply oleh grid pada jam 01.00-08.00 lalu pada jam 09.00 – 24.00 battery memberikan supply pada beban . Pada keadaan ini didapatkan bahwa biaya optimal saat battery kurang dari 20% adalah ketika seluruh beban disuplai oleh grid, dari hasil simulasi didapat *Batas atas dan batas bawah* pada tabel 4.23

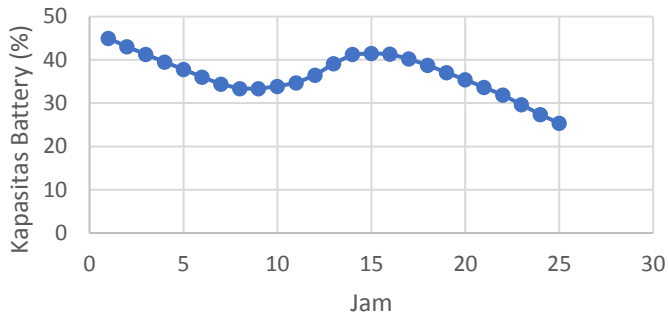
Tabel 4.23. Batas atas dan batas bawah skenario satu a

Kapasitas baterai < 20%		
Batas	Grid	PV
lb	0	0
ub	1	0

b. Kapasitas beteraai diantara 20% sampai 50%

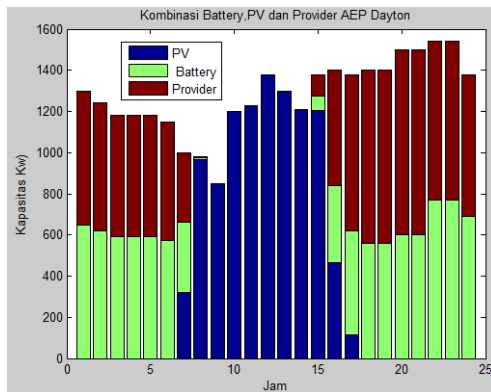
Pada gambar 4.22 pada saat inisiasi battery 45%, mendapatkan *charge* dari PV pada jam 09.00 - 14.00, sehingga kapasitas battery bertambah dan pada jam 24.00 kapasitas battery menjadi 24.47% setelah dikurangi oleh beban.

Pada gambar 4.23 didapatkan penjadwalan penggunaan sumber listrik. Pada keadaan ini disimpulkan bahwa saat kondisi awal battery $20% < x \leq 50%$, simulasi menunjukkan bahwa battery akan mensupply beban pada jam 01.00 – 07.00 dan pada jam 16.00-24.00 battery mensupply beban.



Gambar 4. 22 Kapasitas baterai dalam interval satu jam pada skenario satu b

Pada keadaan ini didapatkan bahwa biaya optimal saat battery berapada pada kondisi $20\% < x \leq 50\%$, sehingga hasil simulasi kombinasi paling optimal adalah ketika grid mensuplai 40% dan pv 60%. Sehingga didapatkan *Batas atas dan batas bawah* pada tabel 4.24.

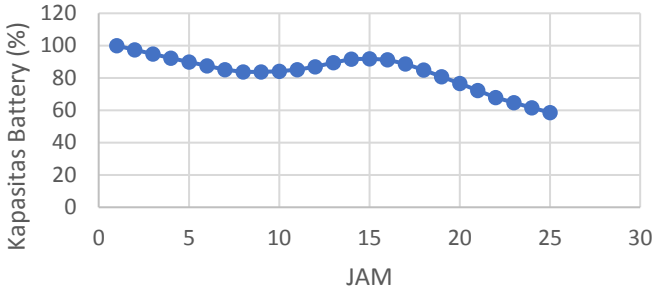


Gambar 4. 23 Gambar hasil simulasi Manajemen energi provider AEP Dayton dan Battery

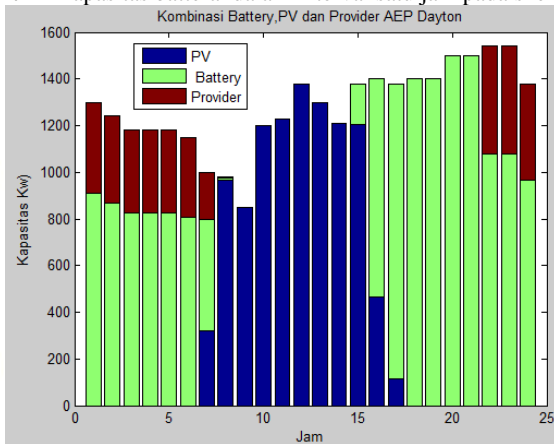
Tabel 4.24. Batas atas dan batas bawah skenario satu d

20% < kapasitas baterai < 50%				
Batas	Grid > PV		Grid < PV	
	Grid	PV	Grid	PV
lb	0	0	0	0
ub	0.4	0.6	0.5	0.5

c. Kapasitas baterai >50%



Gambar 4. 24 Kapasitas baterai dalam interval satu jam pada skenario satu c



Gambar 4. 25 Gambar hasil simulasi Manajemen energi provider AEP Dayton dan Battery

Pada gambar 4.24 pada saat inisiasi battery 100%, mendapatkan *charge* dari PV pada jam 09.00 - 14.00, sehingga kapasitas battery bertambah dan pada jam 24.00 kapasitas battery menjadi 58.65% setelah dikurangi oleh beban.

Pada gambar 4.25 didapatkan penjadwalan penggunaan sumber listrik. Pada keadaan ini disimpulkan bahwa saat kondisi awal battery >50%, simulasi menunjukkan bahwa battery akan mensupply beban hingga pada saat tidak ada pv supply, pada jam 07.00 – 17.00 PV mensupply beban dan pada jam 16.00 – 21.00 battery mensupply beban 100% lalu pada 22.00- 24.00 beban di supply sebagian oleh battery.

Pada keadaan ini didapatkan bahwa biaya optimal saat battery berapda pada kondisi >50%, sehingga hasil simulasi kombinasi paling optimal adalah ketika battery mensupply penuh beban. Dari hasil simulasi maka dapat didapat *Batas atas dan batas bawah* seperti pada tabel 4.25.

Tabel 4.25. Batas atas dan batas bawah skenario satu C

Kapasitas baterai > 50%				
Batas	Grid	PV	Grid	PV
lb	0	0	0	0
ub	0	1	0.3	0.7

Tabel 4.26. Tagihan listrik dari provider Dominion Hub

Tagihan Listrik Provider AEP DAYTON		
<20%	20%-50%	>50%
Rp 29,328,986.00	Rp 20,376,144.00	Rp 4,910,814.00

Tabel 4.27. Tagihan Listrik grid dengan panel surya

Tagihan Tanpa battery	Tagihan Listrik AEP DAYTON dengan Investasi		
	<20%	20%-50%	>50%
Rp 44,597,440.00	Rp 39,700,374	Rp 30,747,532	Rp 15,282,202

Berdasarkan Tabel 4.27 dapat diketahui bahwa biaya tagihan listrik minimum saat kapasitas battery >50%, lalu disusul saat kapasitas battery diantara 20%-50% dan yang terakhir saat kapasitas battery kurang dar 20%. Dari tabel 4.27 penghematan terbesar terjadi apabila kapasitas battery lebih dari 50%.

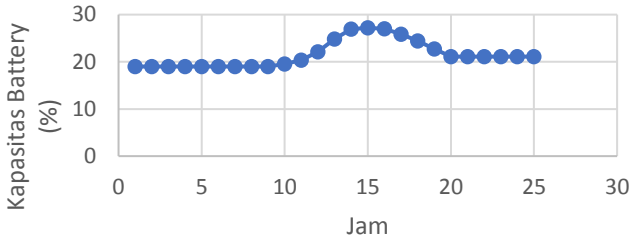
Tabel 4.28. Batas atas dan batas bawah skenario satu

Batas	<20%		20%-50%		>50%	
	Grid	PV	Grid	PV	Grid	PV
lb	0	0	0	0	0	0
up	1	0	0.4	0.6	0	1

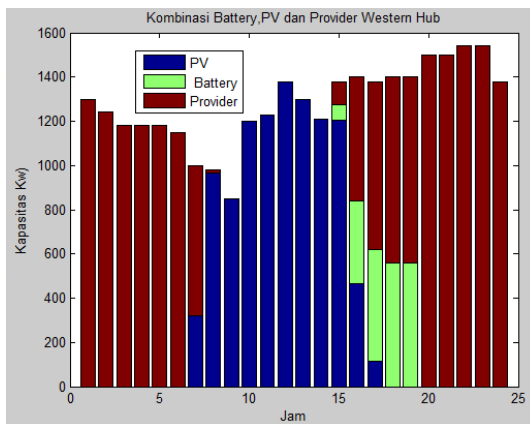
Dari tiga simulasi keadaan baterai pada skenario satu satu (harga *grid* sama dengan harga *pv*) didapatkan harga tagihan listrik dari ketiga kondisi dan juga Batas atas dan batas bawah yang dapat dirangkum pada tabel 4.24 dan 4.25. *Batas atas dan batas bawah* yang didapat pada hasil simulasi ini akan digunakan sebagai *batas minimal dan batas maximal* yang dapat disupply oleh *power resources (grid dan battery)*. dengan adanya *batas minimal dan batas maximal* yang makan pengguna akan mendapatkan biaya listrik paling murah berdarakan harga dan kondisi *energy storage* yang tersisa.

Provider Western Hub Pada Hari Kerja

a. Kapasaitas battery kurang dari 20% .



Gambar 4. 26 Kapasitas baterai dalam interval satu jam pada skenario satu a



Gambar 4. 27 Gambar hasil simulasi Manajemen energi provider Western Hub dan Battery

Pada gambar 4.26 pada saat inisiasi battery 19%, mendapatkan *charge* dari PV pada jam 09.00 - 14.00, sehingga kapasitas battery bertambah dan pada jam 24.00 kapasitas battery menjadi 21,09% setelah dikurangi oleh beban.

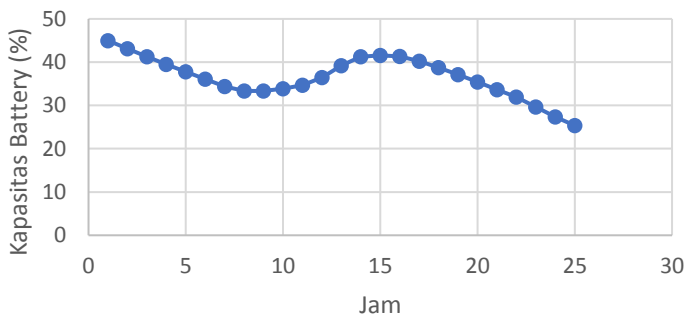
Pada gambar 4.27 didapatkan penjadwalan penggunaan sumber listrik. Pada keadaan ini disimpulkan bahwa saat kondisi awal battery kurang dari 20%, beban akan disupply oleh grid pada jam 01.00-07.00 lalu pada jam 07.00 – 17.00 PV memberikan supply pada beban . pada jam 16.00-19.00 Battery memberi supply sebagian ke beban.

Pada keadaan ini didapatkan bahwa biaya optimal saat battery kurang dari 20% adalah ketika seluruh beban disuplai oleh grid, dari hasil simulasi didapat *Batas atas dan batas bawah* pada tabel 4.29

Tabel 4.29. Batas atas dan batas bawah skenario dua a

Kapasitas baterai < 20%		
Batas	Grid	PV
lb	0	0
ub	1	0

b. Kapasitas baterai diantara 20% sampai 50%

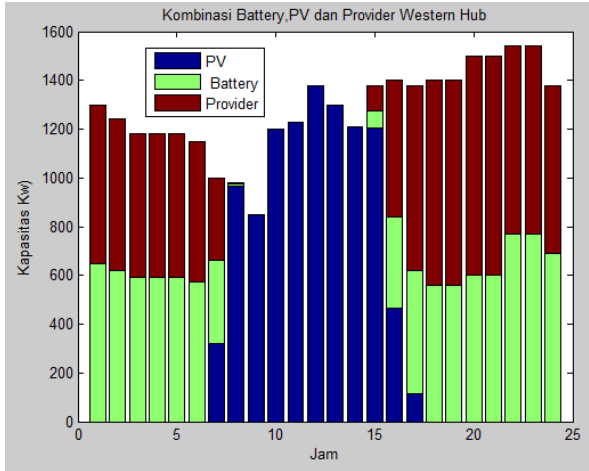


Gambar 4. 28 Kapasitas baterai dalam interval satu jam pada skenario dua b

Pada gambar 4.28 pada saat inisiasi battery 45%, mendapatkan *charge* dari PV pada jam 09.00 - 14.00, sehingga kapasitas battery bertambah dan pada jam 24.00 kapasitas battery menjadi 25.36% setelah dikurangi oleh beban.

Pada gambar 4.29 didapatkan penjadwalan penggunaan sumber listrik. Pada keadaan ini disimpulkan bahwa saat kondisi awal battery $20\% < x \leq 50\%$, simulasi menunjukkan bahwa battery akan mensupply beban pada jam 01.00 – 07.00 dan pada jam 15.00-24.00 battery mensupply beban sebagian.

Pada keadaan ini didapatkan bahwa biaya optimal saat battery berapada pada kondisi $20\% < x \leq 50\%$, sehingga hasil simulasi kombinasi paling optimal adalah ketika grid mensuplai 40% dan pv 60%. Sehingga didapatn *Batas atas dan batas bawah* pada tabel 4.30.

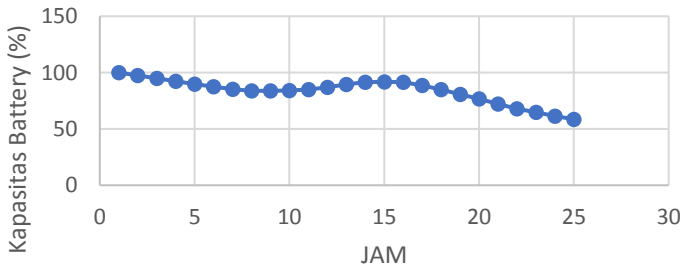


Gambar 4. 29 Gambar hasil simulasi Manajemen energi provider Western Hub dan Battery

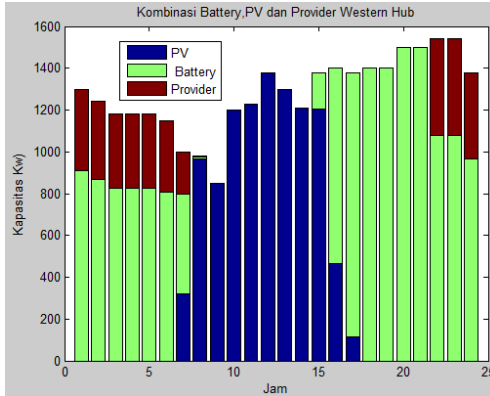
Tabel 4.30. Batas atas dan batas bawah skenario satu b

20% < kapasitas baterai < 50%				
Batas	Grid > PV		Grid < PV	
	Grid	PV	Grid	PV
lb	0	0	0	0
ub	0.4	0.6	0.5	0.5

c. Kapasitas baterai >50%



Gambar 4. 30 Kapasitas baterai dalam interval satu jam pada skenario dua c



Gambar 4. 31 hasil simulasi Manajemen energi provider Western Hub dan Battery

Pada gambar 4.30 pada saat inisiasi battery 100%, mendapatkan *charge* dari PV pada jam 09.00 - 14.00, sehingga kapasitas battery bertambah dan pada jam 24.00 kapasitas battery menjadi 58.65% setelah dikurangi oleh beban

Pada gambar 4.31 didapatkan penjadwalan penggunaan sumber listrik. Pada keadaan ini disimpulkan bahwa saat kondisi awal battery >50%, simulasi menunjukkan bahwa battery akan mensupply beban pada jam 01.00 – 07.00 . lalu pada jam 07.00 – 17.00 PV akan mensupply beban dan selanjutnya pada 16.00 battery mensupply sebagian dari beban dan pada jam 17.00 – 21.00 battery mensupply beban 100% lalu pada 22.00- 24.00 beban di supply sebagian oleh battery.

Pada keadaan ini didapatkan bahwa biaya optimal saat battery berapada pada kondisi >50%, sehingga hasil simulasi kombinasi paling optimal adalah ketika battery mensuply penuh beban. Dari hasil simulasi maka dapat didapat *Batas atas dan batas bawah* seperti pada tabel 4.31

Tabel 4.31. Batas atas dan batas bawah skenario satu c

Kapasitas baterai > 50%				
Batas	Grid	PV	Grid	PV
lb	0	0	0	0
ub	0	1	0.3	0.7

Tabel 4.32. Tagihan listrik dari provider N Illinois Hub

Tagihan Listrik Provider Western Hub		
<20%	20%-50%	>50%
Rp 28,727,751.00	Rp 20,050,283.00	Rp 5,044,935.00

Tabel 4.33. Tagihan Listrik grid dengan panel surya

Tagihan Listrik tanpa battery	Tagihan Listrik Western Hub dengan Investasi		
	<20%	20%-50%	>50%
Rp 43,455,010.00	Rp 39,099,140	Rp 30,421,672	Rp 15,416,324

Berdasarkan Tabel 4.33 dapat diketahui bahwa biaya tagihan listrik minimum saat kapasitas battery >50%, lalu disusul saat kapasitas battery diantara 20%-50% dan yang terakhir saat kapasitas battery kurang dari 20%. Dari tabel 4.33 penghematan terbesar terjadi apabila kapasitas battery lebih dari 50%.

Tabel 4.34. Batas atas dan batas bawah skenario satu

Batas	<20%		20%-50%		>50%	
	Grid	PV	Grid	PV	Grid	PV
lb	0	0	0	0	0	0
up	1	0	0.4	0.6	0	1

Dari tiga simulasi keadaan baterai pada skenario satu (harga *grid* sama dengan harga *pv*) didapatkan harga tagihan listrik dari ketiga kondisi dan juga *Batas atas dan batas bawah* yang dapat dirangkum pada tabel 4.33 dan 4.34. *Batas atas dan batas bawah* yang didapat pada hasil simulasi ini akan digunakan sebagai *batas minimal dan batas maximal* yang dapat disupply oleh *power resources (grid dan battery)*.

4.2.2 Skenario Kedua Beban Hari Libur

Tabel 4.35. Pembebanan pada hari Libur

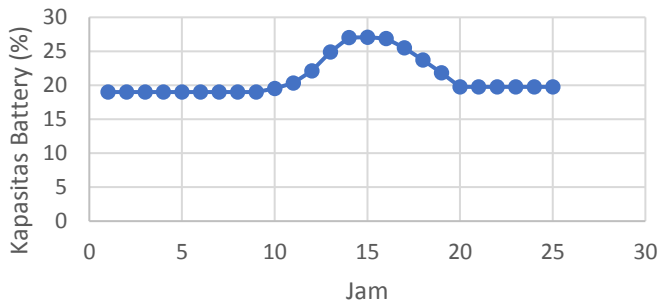
Beban Hari Libur	
Jam	Beban (kW)
1	1600
2	1580
3	1600
4	1600
5	1600
6	1430
7	1210
8	1050
9	850
10	1210
11	1230
12	1340

Tabel 4.35. Pembebanan pada hari libur (Lanjutan)

13	1300
14	1280
15	1380
16	1620
17	1620
18	1620
19	1750
20	1620
21	1520
22	1580
23	1700
24	1620

Pada skenario pertama diasumsikan menggunakan beban pada hari Libur dan harga listrik dari lima provider pada hari kerja. diskenario ini dicoba pada tiga keadaan baterai yaitu ketika kapasitas baterai kurang dari 20%, diantara 20-50%, dan diatas 50%.

1. Provider Peco Pada Hari Libur
 - a. Kapasaitas battery kurang dari 20% .



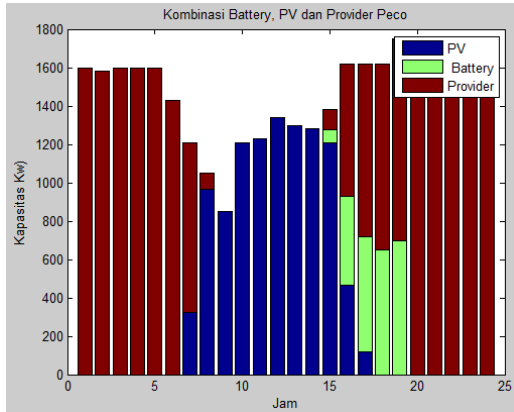
Gambar 4. 32 Kapasitas battery dalam interval satu jam pada skenario dua a

Pada gambar 4.32 pada saat inisiasi battery 19%, mendapatkan *charge* dari PV pada jam 09.00 - 14.00, sehingga kapasitas battery bertambah dan pada jam 24.00 kapasitas battery menjadi 21.8% setelah dikurangi oleh beban

Pada gambar 4.33 didapatkan penjadwalan penggunaan sumber

listrik. Pada keadaan ini disimpulkan bahwa saat kondisi awal battery kurang dari 20%, beban akan disupply oleh grid pada jam 01.00-07.00 lalu pada jam 07.00 – 17.00 PV memberikan supply pada beban dan pada 16.00-19.00 battery memberi supply beban karena kapasitasnya lebih dari 20%.

Pada keadaan ini didapatkan bahwa biaya optimal saat battery kurang dari 20% adalah ketika seluruh beban disuplai oleh grid, dari hasil simulasi didapat *Batas atas dan batas bawah* pada tabel 4.36



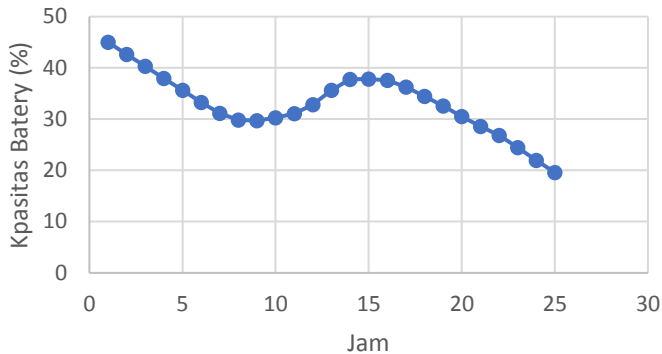
Gambar 4. 33 Gambar hasil simulasi Manajemen energi provider PECO dan Battery

Tabel 4.36. Batas atas dan batas bawah skenario satu a

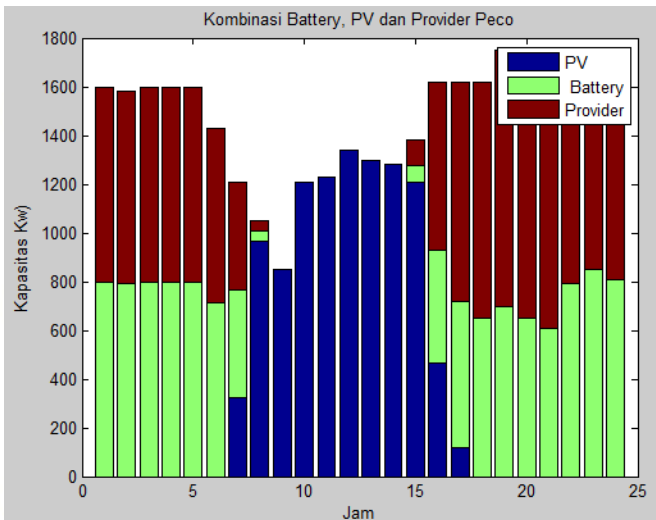
Kapasitas baterai < 20%		
Batas	Grid	PV
lb	0	0
ub	1	0

b. Kapasitas baterai diantara 20% sampai 50%

Pada gambar 4.34 pada saat inisiasi battery 45%, mendapatkan *charge* dari PV pada jam 09.00 - 14.00, sehingga kapasitas battery bertambah dan pada jam 24.00 kapasitas battery menjadi 21.06% setelah dikurangi oleh beban.



Gambar 4.34 Kapasitas baterai dalam interval satu jam pada skenario dua b



Gambar 4.35 Gambar hasil simulasi Manajemen energi provider PECO dan Battery

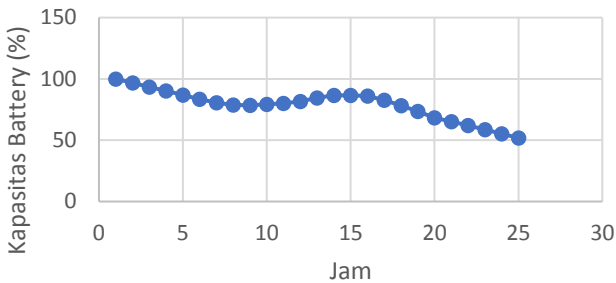
Pada gambar 4.35 didapatkan penjadwalan penggunaan sumber listrik. Pada keadaan ini disimpulkan bahwa saat kondisi awal battery $20\% < x \leq 50\%$, simulasi menunjukkan bahwa battery akan mensupply beban pada jam 01.00 – 24.00.

Pada keadaan ini didapatkan bahwa biaya optimal saat battery berapda pada kondisi $20\% < x \leq 50\%$, sehingga hasil simulasi kombinasi paling optimal adalah ketika grid mensuplai 40% dan pv 60%. Sehingga didaptnkan *Batas atas dan batas bawah* pada tabel 4.37.

Tabel 4.37. Batas atas dan batas bawah skenario satu b

20% < kapasitas baterai < 50%				
Batas	Grid > PV		Grid < PV	
	Grid	PV	Grid	PV
lb	0	0	0	0
ub	0.4	0.6	0.5	0.5

c. Kapasitas baterai >50%



Gambar 4.36 Kapasitas baterai dalam interval satu jam pada skenario dua c

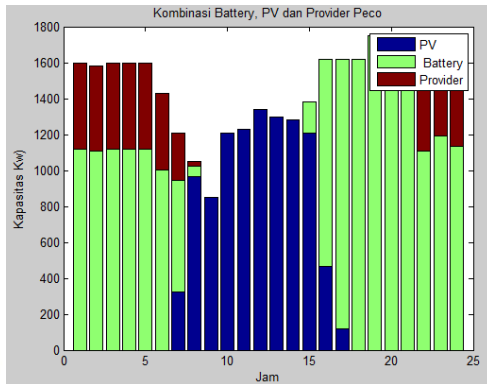
Pada gambar 4.36 pada saat inisiasi battery 100%, mendapatkan *charge* dari PV pada jam 09.00 - 14.00, sehingga kapasitas battery bertambah dan pada jam 24.00 kapasitas battery menjadi 49.12% setelah dikurangi oleh beban.

Pada Gambar 4.37 keadaan ini disimpulkan bahwa saat kondisi awal battery >50%, simulasi menunjukkan bahwa battery akan mensupply krbutuhan listrik beban pada jam 01.00-08.00 dan 16.00-24.00. pada jam 18.00-21.00 battery mensuplai full beban.

Berdasarkan Gambar 4.37 didapatkan bahwa biaya optimal saat battery berapda pada kondisi >50%, sehingga hasil simulasi kombinasi paling optimal adalah ketika battery mensuply penuh beban. Dari hasil simulasi maka dapat didapat *Batas atas dan batas bawah* seperti pada tabel 4.38

Tabel 4.38. Batas atas dan batas bawah skenario satu c

Kapasitas baterai > 50%		
Batas	Grid	PV
lb	0	0
ub	0	1



Gambar 4. 37 Gambar hasil simulasi Manajemen energi provider PECO dan Battery

Tabel 4.39. Tagihan listrik dari provider peco

Tagihan Listrik Provider Peco		
<20%	20%-50%	>50%
Rp 25,252,025.00	Rp 20,318,469.00	Rp 7,628,823.00

Tabel 4.40. Tagihan Listrik grid dengan panel surya

Tagihan Listrik tanpa battery	Tagihan Listrik PECO dengan Investasi		
	<20%	20%-50%	>50%
Rp 43.699.550	Rp 35,623,411	Rp 30,689,855	Rp 18,000,209

Berdasarkan Tabel 4.39 dapat diketahui bahwa biaya tagihan listrik minimum saat kapasitas battery >50%, lalu disusul saat kapasitas battery diantara 20% -50% dan yang terakhir saat kapasitas battery kurang dar 20%. Dari tabel 4.40 penghematan terbesar terjadi apabila kapasitas battery lebih dari 50%.

Tabel 4.41. Batas atas dan batas bawah skenario satu

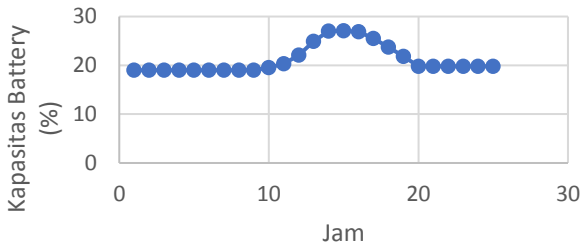
Batas	<20%		20%-50%		>50%	
	Grid	PV	Grid	PV	Grid	PV
lb	0	0	0	0	0	0
up	1	0	0.4	0.6	0	1

Dari tiga simulasi keadaan baterai pada skenario satu satu (harga *grid* sama dengan harga *pv*) didapatkan harga tagihan listrik dari ketiga kondisi dan juga *Batas atas dan batas bawah* yang dapat dirangkum pada tabel 4.40 dan 4.41. *Batas atas dan batas bawah* yang didapat pada hasil

simulasi ini akan digunakan sebagai *batas minimal dan batas maximal* yang dapat disupply oleh *power resources (grid dan battery)*. dengan adanya *batas minimal dan batas maximal* yang makan pengguna akan mendapatkan biaya listrik paling murah berdarakan harga dan kondisi *energy storage* yang tersisa.

2. Provider Dominion hub Pada Saat Hari Libur
 - a. Kapasaitas battery kurang dari 20% .

Pada gambar 4.38 pada saat inisiasi battery 19%, mendapatkan *charge* dari PV pada jam 09.00 - 14.00, sehingga kapasitas battery bertambah dan pada jam 24.00 kapasitas battery menjadi 21.84% setelah dikurangi oleh beban

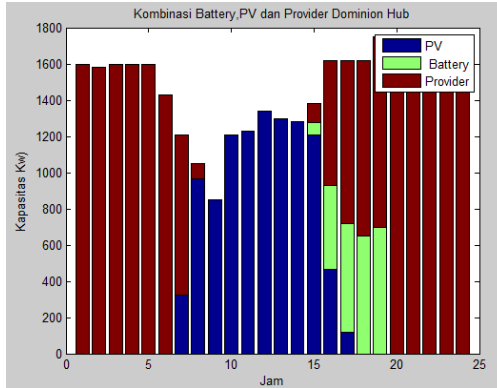


Gambar 4. 38 Kapasitas battery dalam interval satu jam pada skenario satu a

Pada gambar 4.38 pada saat inisiasi battery 19%, mendapatkan *charge* dari PV pada jam 09.00 - 14.00, sehingga kapasitas battery bertambah dan pada jam 24.00 kapasitas battery menjadi 21.8% setelah dikurangi oleh beban

Pada gambar 4.39 didapatkan penjadwalan penggunaan sumber listrik. Pada keadaan ini disimpulkan bahwa saat kondisi awal battery kurang dari 20%, beban akan disupply oleh grid pada jam 01.00-08.00 lalu pada jam 07.00 – 17.00 PV memberikan supply pada beban . battery memebri supply sebagian ke beban pada 16.00-19.00.

Pada keadaan ini didapatkan bahwa biaya optimal saat battery kurang dari 20% adalah ketika seluruh beban disuplai oleh grid, dari hasil simulasi didapat *Batas atas dan batas bawah* pada tabel 4.42

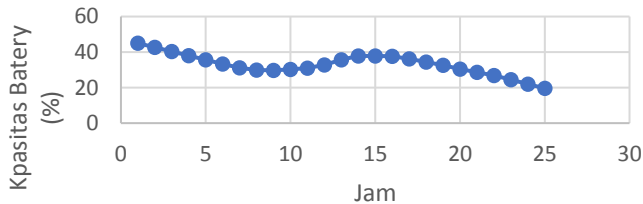


Gambar 4. 39 Hasil simulasi Manajemen energi provider Dominion Hub dan Battery

Tabel 4.42. Batas atas dan batas bawah skenario satu a

Kapasitas baterai < 20%		
Batas	Grid	PV
lb	0	0
ub	1	0

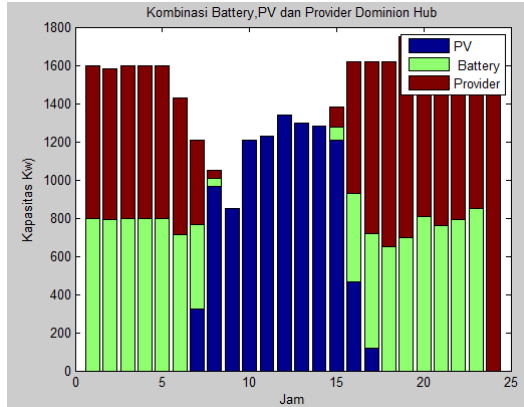
b. Kapasitas baterai diantara 20% sampai 50%



Gambar 4. 40 Kapasitas baterai dalam interval satu jam pada skenario dua b

Pada gambar 4.40 pada saat inisiasi battery 45%, mendapatkan *charge* dari PV pada jam 09.00 - 14.00, sehingga kapasitas battery bertambah dan pada jam 24.00 kapasitas battery menjadi 21.06% setelah dikurangi oleh beban.

Pada gambar 4.41 didapatkan penjadwalan penggunaan sumber listrik. Pada keadaan ini disimpulkan bahwa saat kondisi awal battery $20\% < x \leq 50\%$, simulasi menunjukkan bahwa battery akan mensupply beban pada jam 01.00 – 24.00.



Gambar 4.41 Gambar hasil simulasi Manajemen energi provider Dominion Hub dan Battery

Pada keadaan ini didapatkan bahwa biaya optimal saat battery berapada pada kondisi $20\% < x \leq 50\%$, sehingga hasil simulasi kombinasi paling optimal adalah ketika grid mensuplai 40% dan pv 60%. Sehingga didapatkan *Batas atas dan batas bawah* pada tabel 4.43.

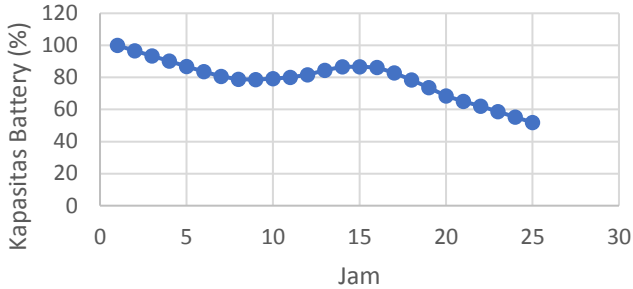
Tabel 4.43. Batas atas dan batas bawah skenario satu b

20% < kapasitas baterai < 50%				
Batas	Grid > PV		Grid < PV	
	Grid	PV	Grid	PV
lb	0	0	0	0
ub	0.4	0.6	0.5	0.5

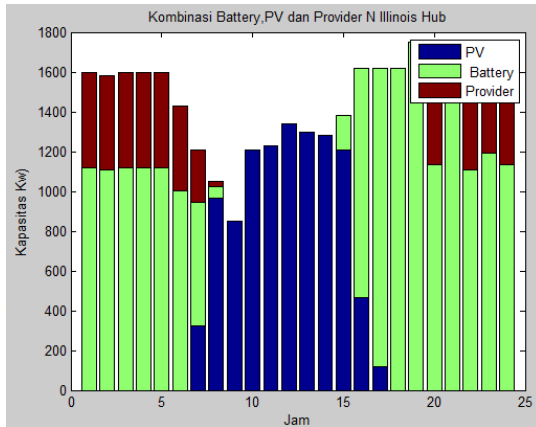
c. Kapasitas baterai >50%

Pada gambar 4.42 pada saat inisiasi battery 100%, mendapatkan *charge* dari PV pada jam 09.00 - 14.00, sehingga kapasitas battery bertambah dan pada jam 24.00 kapasitas battery menjadi 49.9% setelah dikurangi oleh beban.

Pada Gambar 4.43 keadaan ini disimpulkan bahwa saat kondisi awal battery >50%, simulasi menunjukkan bahwa battery akan mensupply kebutuhan listrik beban pada jam 01.00-08.00 dan pada jam 07.00 – 17.00 di supply full PV dan sebagian oleh battery dan grid pada jam 08.00, lalu dilanjutkan pada jam 16.00 – 19.00 battery mensupply 100% dari kebutuhan beban. Pada jam 20.00 – 24.00 battery akan mensupply full beban.



Gambar 4.42 Kapasitas baterai dalam interval satu jam pada skenario dua c



Gambar 4.43 Gambar hasil simulasi Manajemen energi provider Dominion Hub dan Battery

Pada keadaan ini didapatkan bahwa biaya optimal saat battery berapda pada kondisi $>50\%$, sehingga hasil simulasi kombinasi paling optimal adalah ketika battery mensupply penuh beban. Dari hasil simulasi maka dapat didapat *Batas atas dan batas bawah* seperti pada tabel 4.44

Tabel 4.44. Batas atas dan batas bawah skenario satu c

Kapasitas baterai $> 50\%$				
Batas	Grid	PV	Grid	PV
lb	0	0	0	0
ub	0	1	0.3	0.7

Tabel 4.45. Tagihan listrik dari provider Dominion Hub

Tagihan Listrik Provider Dominion Hub		
<20%	20%-50%	>50%
Rp 27,157,689.00	Rp 22,142,153.00	Rp 7,366,377.00

Tabel 4.46. Tagihan Listrik grid dengan panel surya

Tagihan Listrik tanpa battery	Tagihan Listrik Dominion Hub dengan Investasi		
	<20%	20%-50%	>50%
Rp 41,716,380.00	Rp 37,529,075	Rp 32,513,539	Rp 17,737,763

Berdasarkan Tabel 4.45 dapat diketahui bahwa biaya tagihan listrik minimum saat kapasitas battery >50%, lalu disusul saat kapasitas battery diantara 20%-50% dan yang terakhir saat kapasitas battery kurang dari 20%. Dari tabel 4.46 penghematan terbesar terjadi apabila kapasitas battery lebih dari 50%.

Dari tiga simulasi keadaan baterai pada skenario satu satu (harga grid sama dengan harga pv) didapatkan harga tagihan listrik dari ketiga kondisi dan juga *Batas atas dan batas bawah* yang dapat dirangkum pada tabel 4.47

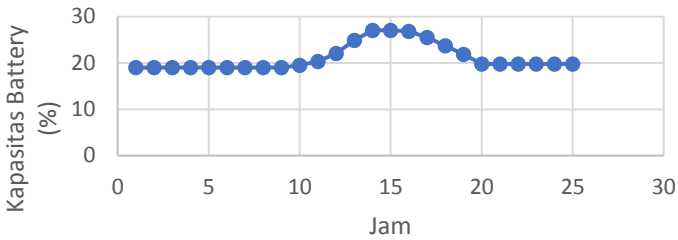
Tabel 4.47. Batas atas dan batas bawah skenario satu

Batas	<20%		20%-50%		>50%	
	Grid	PV	Grid	PV	Grid	PV
lb	0	0	0	0	0	0
up	1	0	0.4	0.6	0	1

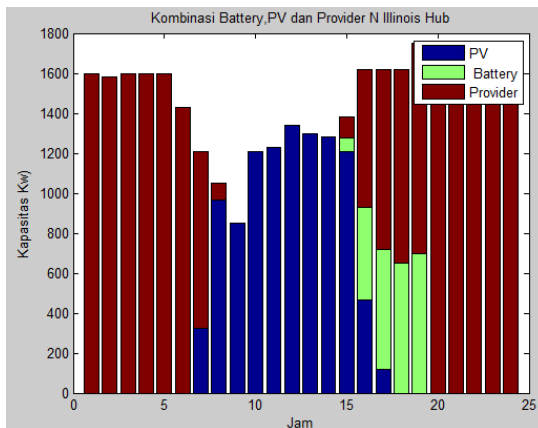
Pada tabel diatas, Batas atas dan batas bawah yang didapat pada hasil simulasi ini akan digunakan sebagai *batas minimal dan batas maximal* yang dapat disupply oleh *power resources (grid dan battery)*. dengan adanya *batas minimal dan batas maximal* yang makan pengguna akan mendapatkan biaya listrik paling murah berdasarkan harga dan kondisi *energy storage* yang tersisa.

3. Provider N Illinois Hub Pada Hari Libur
 - a. Kapasaitas battery kurang dari 20% .

Pada gambar 4.44 pada saat inisiasi battery 19%, mendapatkan *charge* dari PV pada jam 09.00 - 14.00, sehingga kapasitas battery bertambah dan pada jam 24.00 kapasitas battery menjadi 20.48% setelah dikurangi oleh beban.



Gambar 4.44 Kapasitas battery dalam interval satu jam pada skenario dua a



Gambar 4.45 Gambar hasil simulasi Manajemen energi provider N illinois Hub dan Battery

Pada gambar 4.45 didapatkan penjadwalan penggunaan sumber listrik. Pada keadaan ini disimpulkan bahwa saat kondisi awal battery kurang dari 20%, beban akan disupply oleh grid pada jam 01.00-08.00 lalu pada jam 07.00 – 17.00 PV memberikan supply pada beban. Pada 16.00 – 19.00 battery memberikan supply sebagian ke beban.

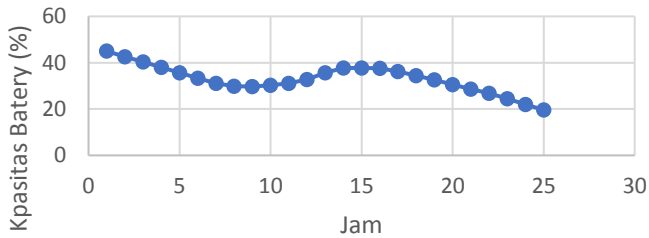
Pada keadaan ini didapatkan bahwa biaya optimal saat battery kurang dari 20% adalah ketika seluruh beban disuplai oleh grid, dari hasil simulasi didapat *Batas atas dan batas bawah* pada tabel 4.48

Tabel 4.48. Batas atas dan batas bawah skenario dua a

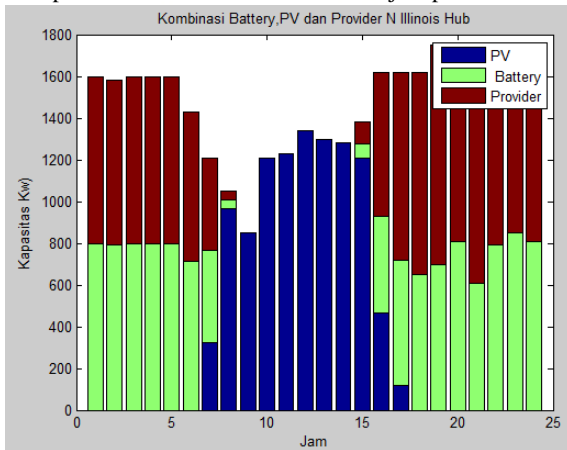
Kapasitas baterai < 20%		
Batas	Grid	PV
lb	0	0
ub	1	0

b. Kapasitas beteraai diantara 20% sampai 50%

Pada gambar 4.46 pada saat inisiasi battery 45%, mendapatkan *charge* dari PV pada jam 09.00 - 14.00, sehingga kapasitas battery bertambah dan pada jam 24.00 kapasitas battery menjadi 21.83% setelah dikurangi oleh beban.



Gambar 4. 46 Kapasitas baterai dalam interval satu jam pada skenario dua b



Gambar 4. 47 Hasil simulasi Manajemen energi provider N illinois Hub dan Battery

Pada gambar 4.47 pada saat inisiasi battery 45%, mendapatkan *charge* dari PV pada jam 09.00 - 14.00, sehingga kapasitas battery bertambah dan pada jam 24.00 kapasitas battery menjadi 32.37% setelah dikurangi oleh beban.

Pada gambar 4.47 didapatkan penjadwalan penggunaan sumber listrik. Pada keadaan ini disimpulkan bahwa saat kondisi awal battery

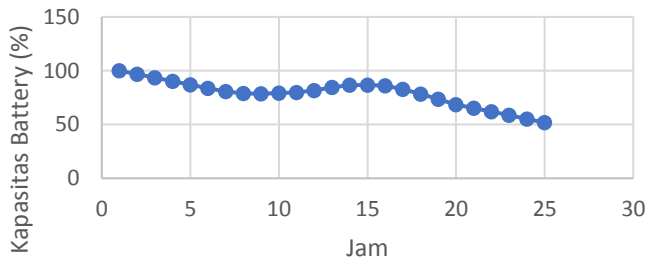
$20\% < x \leq 50\%$, simulasi menunjukkan bahwa battery akan mensupply beban pada jam 01.00 – 24.00.

Pada keadaan ini didapatkan bahwa biaya optimal saat battery berapada pada kondisi $20\% < x \leq 50\%$, sehingga hasil simulasi kombinasi paling optimal adalah ketika grid mensuplai 40% dan pv 60%. Sehingga didapatkan *Batas atas dan batas bawah* pada tabel 4.49.

Tabel 4.49. Batas atas dan batas bawah skenario dua b

20% < kapasitas baterai < 50%				
Batas	Grid > PV		Grid < PV	
	Grid	PV	Grid	PV
lb	0	0	0	0
ub	0.4	0.6	0.5	0.5

c. Kapasitas baterai >50%

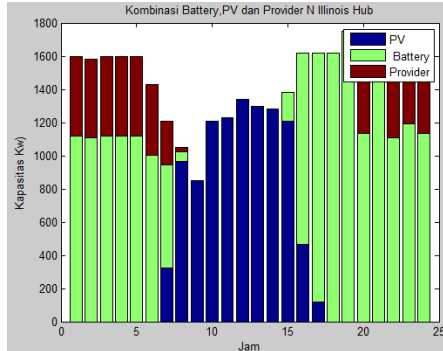


Gambar 4. 48 Kapasitas batterai dalam interval satu jam pada skenario dua c

Pada gambar 4.48 pada saat inisiasi battery 100%, mendapatkan *charge* dari PV pada jam 09.00 - 14.00, sehingga kapasitas battery bertambah dan pada jam 24.00 kapasitas battery menjadi 50.55% setelah dikurangi oleh beban.

Pada Gambar 4.49 keadaan ini disimpulkan bahwa saat kondisi awal battery >50%, simulasi menunjukkan bahwa battery akan mensupply krbutuhan listrik beban hingga 24 jam, pada jam 15.00 beban di supply full oleh battery, lalu dilanjutkan pada jam 17.00 – 21.00 battery mensupply 100% dari kebutuhan beban.

Pada keadaan ini didapatkan bahwa biaya optimal saat battery berapada pada kondisi >50%, sehingga hasil simulasi kombinasi paling optimal adalah ketika battery mensupply penuh beban. Dari hasil simulasi maka dapat didapat *Batas atas dan batas bawah* seperti pada tabel 4.50



Gambar 4. 49 Gambar hasil simulasi Manajemen energi provider N Illinois Hub dan Battery

Tabel 4.50. Batas atas dan batas bawah skenario dua c

Kapasitas baterai > 50%				
Batas	Grid	PV	Grid	PV
lb	0	0	0	0
ub	0	1	0.3	0.7

Tabel 4.51. Tagihan listrik dari provider N Illinois Hub

Tagihan Listrik Provider N Illinois Hub		
<20%	20%-50%	>50%
Rp 25,878,609.00	Rp 21,040,687.00	Rp 7,089,189.00

Tabel 4.52. Tagihan Listrik grid dengan panel surya

Tagihan Tanpa battery	Tagihan Listrik N Illinois Hub dengan Investasi		
	<20%	20%-50%	>50%
Rp 39,690,970.00	Rp 36,249,996	Rp 31,412,074	Rp 17,460,576

Berdasarkan Tabel 4.51 dapat diketahui bahwa biaya tagihan listrik minimum saat kapasitas battery >50%, lalu disusul saat kapasitas battery diantara 20%-50% dan yang terakhir saat kapasitas battery kurang dar 20%. Dari tabel 4.52 penghematan terbesar terjadi apabila kapasitas battery lebih dari 50%.

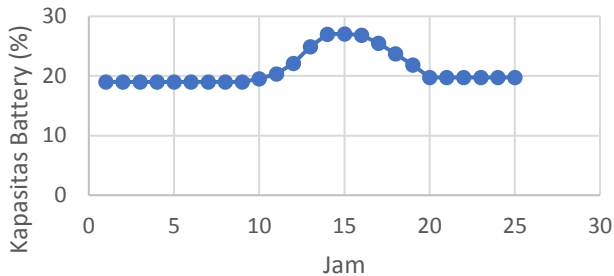
Tabel 4.53. Batas atas dan batas bawah skenario dua

Batas	<20%		20%-50%		>50%	
	Grid	PV	Grid	PV	Grid	PV
lb	0	0	0	0	0	0
up	1	0	0.4	0.6	0	1

Dari tiga simulasi keadaan baterai pada skenario dua (beban hari libur) didapatkan *Batas atas dan batas bawah* yang dapat dirangkum pada tabel 4.48 dan tabel 49. *Batas atas dan batas bawah* yang didapat pada hasil simulasi ini akan digunakan sebagai *batas minimal dan batas maksimal* yang dapat disupply oleh *power resources (grid dan microgrid)*. dengan adanya *batas minimal dan batas maksimal* yang makan pengguna akan mendapatkan biaya listrik paling murah berdasarkan harga dan kondisi *energy storage* yang tersisa.

4. Provider AEP Dayton Hub Pada Hari Libur
 a. Kapasaitas battery kurang dari 20%

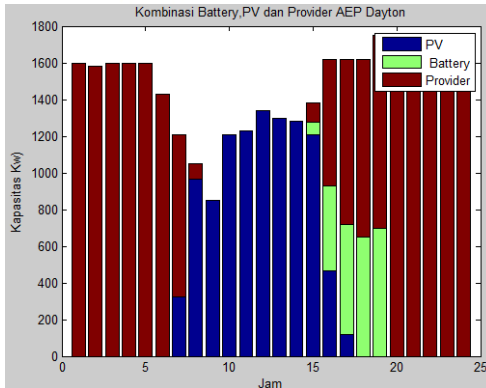
Pada gambar 4.44 pada saat inisiasi battery 19%, mendapatkan *charge* dari PV pada jam 09.00 - 14.00, sehingga kapasitas battery bertambah dan pada jam 24.00 kapasitas battery menjadi 24.48% setelah dikurangi oleh beba



Gambar 4. 50 Kapasitas battery dalam interval satu jam pada skenario dua a

Pada gambar 4.51 didapatkan penjadwalan penggunaan sumber listrik. Pada keadaan ini disimpulkan bahwa saat kondisi awal battery kurang dari 20%, beban akan disupply oleh grid pada jam 01.00-08.00 lalu pada jam 09.00 – 24.00 battery memberikan supply pada beban .

Pada keadaan ini didapatkan bahwa biaya optimal saat battery kurang dari 20% adalah ketika seluruh beban disuplai oleh grid, dari hasil simulasi didapat *Batas atas dan batas bawah* pada tabel 4.54



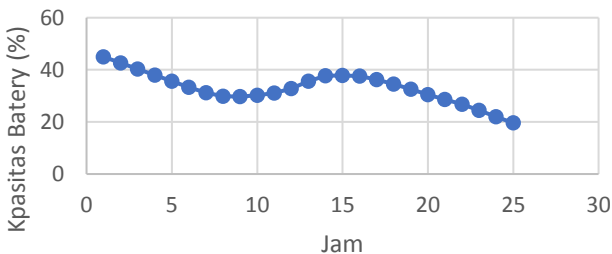
Gambar 4. 51 Gambar hasil simulasi Manajemen energi provider AEP Dayton dan Battery

Tabel 4.54. Batas atas dan batas bawah skenario satu a

Kapasitas baterai < 20%		
Batas	Grid	PV
lb	0	0
ub	1	0

b. Kapasitas beterei diantara 20% sampai 50%

Pada gambar 4.52 pada saat inisiasi battery 45%, mendapatkan *charge* dari PV pada jam 09.00 - 14.00, sehingga kapasitas battery bertambah dan pada jam 24.00 kapasitas battery menjadi 21% setelah dikurangi oleh beban.

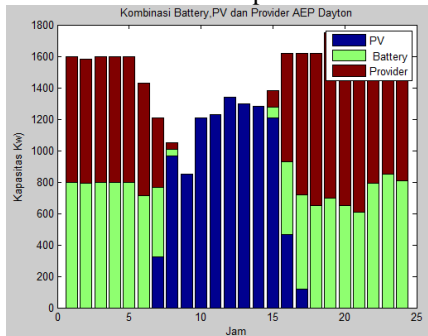


Gambar 4. 52 Kapasitas batterai dalam interval satu jam pada skenario dua b

Pada gambar 4.53 didapatkan penjadwalan penggunaan sumber listrik. Pada keadaan ini disimpulkan bahwa saat kondisi awal battery

$20\% < x \leq 50\%$, simulasi menunjukkan bahwa battery akan mensupply beban pada jam 01.00 – 24.00.

Pada keadaan ini didapatkan bahwa biaya optimal saat battery berapada pada kondisi $20\% < x \leq 50\%$, sehingga hasil simulasi kombinasi paling optimal adalah ketika grid mensuplai 40% dan pv 60%. Sehingga didapatkan *Batas atas dan batas bawah* pada tabel 4.55.

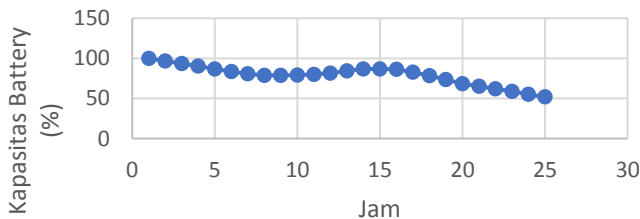


Gambar 4. 53 Gambar hasil simulasi Manajemen energi provider AEP Dayton dan Battery

Tabel 4.55. Batas atas dan batas bawah skenario satu b

20% < kapasitas baterai < 50%				
Batas	Grid > PV		Grid < PV	
	Grid	PV	Grid	PV
lb	0	0	0	0
ub	0.4	0.6	0.5	0.5

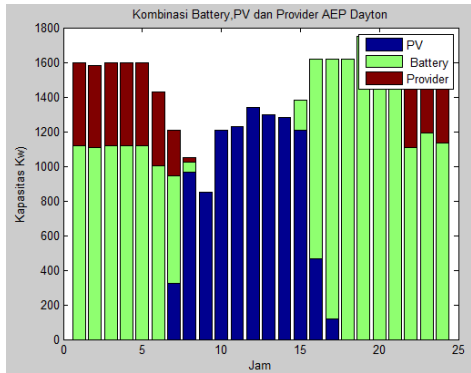
c. Kapasitas baterai >50%



Gambar 4. 54 Kapasitas baterai dalam interval satu jam pada skenario dua c

Pada gambar 4.54 pada saat inisiasi battery 100%, mendapatkan *charge* dari PV pada jam 09.00 - 14.00, sehingga kapasitas battery bertambah dan pada jam 24.00 kapasitas battery menjadi 56.6% setelah dikurangi oleh beban.

Pada Gambar 4.55 keadaan ini disimpulkan bahwa saat kondisi awal battery >50%, simulasi menunjukkan bahwa battery akan mensupply krbutuhan listrik beban, pada jam 15.00 beban di supply mjlai disupply oleh battery, lalu pada jam 07.00-17.00 PV mensupply beban.



Gambar 4. 55 Gambar hasil simulasi Manajemen energi provider AEP Dayton dan Battery

Pada keadaan ini didapatkan bahwa biaya optimal saat battery berapada pada kondisi >50%, sehingga hasil simulasi kombinasi paling optimal adalah ketika battery mensuply penuh beban. Dari hasil simulasi maka dapat didapat *Batas atas dan batas bawah* seperti pada tabel 4.56

Tabel 4.56. Batas atas dan batas bawah skenario satu c

Kapasitas baterai > 50%				
Batas	Grid	PV	Grid	PV
lb	0	0	0	0
ub	0	1	0.3	0.7

Tabel 4.57. Tagihan listrik dari provider AEP Dayton

Tagihan Listrik Provider AEP Dayton		
<20%	20%-50%	>50%
Rp 26,567,011.00	Rp 21,618,279.00	Rp 7,267,167.00

Tabel 4.58. Tagihan Listrik grid dengan panel surya

Tagihan Listrik tanpa battery	Tagihan Listrik AEP Dayton dengan Investasi		
	<20%	20%-50%	>50%
Rp 40,776,800.00	Rp 36,938,399	Rp 31,989,667	Rp 17,638,555

Berdasarkan Tabel 4.57 dapat diketahui bahwa biaya tagihan listrik minimum saat kapasitas battery >50%, lalu disusul saat kapasitas battery diantara 20% -50% dan yang terakhir saat kapasitas battery kurang dar 20%. Dari tabel 4.58 penghematan terbesar terjadi apabila kapasitas battery lebih dari 50%.

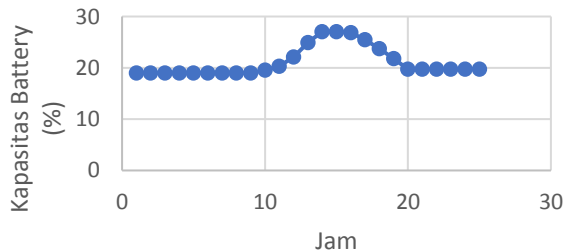
Tabel 4.59. Batas atas dan batas bawah skenario satu

Batas	<20%		20%-50%		>50%	
	Grid	PV	Grid	PV	Grid	PV
lb	0	0	0	0	0	0
up	1	0	0.4	0.6	0	1

Dari tiga simulasi keadaan baterai pada skenario satu satu (harga *grid* sama dengan harga *pv*) didapatkan harga tagihan listrik dari ketiga kondisi dan juga *Batas atas dan batas bawah* yang dapat dirangkum pada tabel 4.55 dan 4.56. *Batas atas dan batas bawah* yang didapat pada hasil simulasi ini akan digunakan sebagai *batas minimal dan batas maximal* yang dapat disupply oleh *power resources (grid dan battery)*. dengan adanya *batas minimal dan batas maximal* yang makan pengguna akan mendapatkan biaya listrik paling murah berdarakan harga dan kondisi *energy storage* yang tersisa.

Provider Western Hub Pada Hari Libur

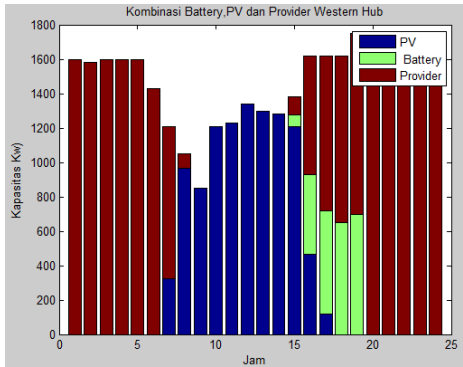
- a. Kapasaitas battery kurang dari 20% .



Gambar 4. 56 Kapasitas battery dalam interval satu jam pada skenario dua a

Pada gambar 4.56 pada saat inisiasi battery 19%, mendapatkan *charge* dari PV pada jam 09.00 - 14.00, sehingga kapasitas battery

bertambah dan pada jam 24.00 kapasitas battery menjadi 24.49% setelah dikurangi oleh beban.



Gambar 4. 57 Gambar hasil simulasi Manajemen energi provider Western Hub dan Battery

Pada gambar 4.57 didapatkan penjadwalan penggunaan sumber listrik. Pada keadaan ini disimpulkan bahwa saat kondisi awal battery kurang dari 20%, beban akan disupply oleh grid pada jam 01.00-08.00 lalu pada jam 07.00 – 17.00 pv memberikan supply pada beban .

Pada keadaan ini didapatkan bahwa biaya optimal saat battery kurang dari 20% adalah ketika seluruh beban disuplai oleh grid, dari hasil simulasi didapat *Batas atas dan batas bawah* pada tabel 4.51

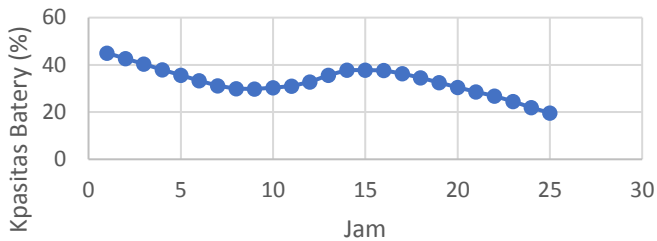
Tabel 4.60. Batas atas dan batas bawah skenario dua a

Kapasitas baterai > 50%				
Batas	Grid	PV	Grid	PV
lb	0	0	0	0
ub	0	1	0.3	0.7

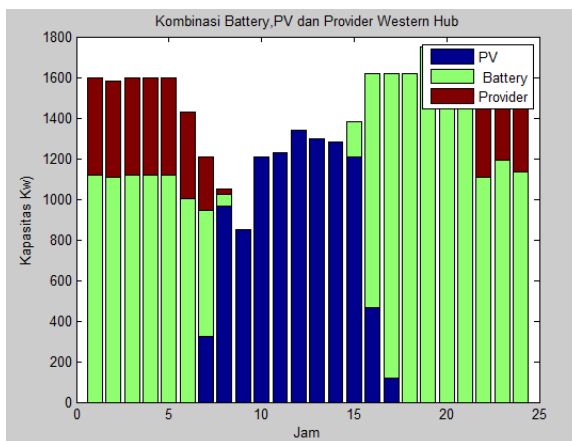
b. Kapasitas battery diantara 20% sampai 50%

Pada gambar 4.58 pada saat inisiasi battery 45%, mendapatkan *charge* dari PV pada jam 09.00 - 14.00, sehingga kapasitas battery bertambah dan pada jam 24.00 kapasitas battery menjadi 21% setelah dikurangi oleh beban.

Pada gambar 4.59 didapatkan penjadwalan penggunaan sumber listrik. Pada keadaan ini disimpulkan bahwa saat kondisi awal battery $20% < x \leq 50%$, simulasi menunjukkan bahwa battery akan mensupply beban saat tidak ada supply dari pv, supply pv terdapat pada jam 07.00-17.00.



Gambar 4.58 Kapasitas baterai dalam interval satu jam pada skenario dua b



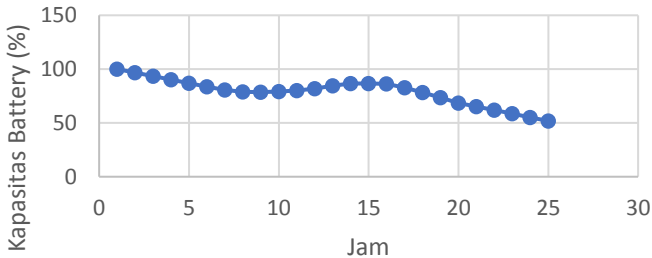
Gambar 4.59 Gambar hasil simulasi Manajemen energi provider Western Hub dan Battery

Pada keadaan ini didapatkan bahwa biaya optimal saat battery berapada pada kondisi $20\% < x \leq 50\%$, sehingga hasil simulasi kombinasi paling optimal adalah ketika grid mensuplai 40% dan pv 60%. Sehingga didapatkan *Batas atas dan batas bawah* pada tabel 4.61.

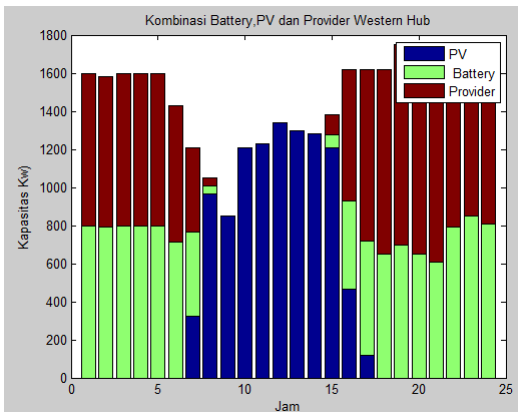
Tabel 4.61. Batas atas dan batas bawah skenario satu b

20% < kapasitas baterai < 50%				
Batas	Grid > PV		Grid < PV	
	Grid	PV	Grid	PV
lb	0	0	0	0
ub	0.4	0.6	0.5	0.5

b. Kapasitas baterai >50%



Gambar 4.60 Kapasitas baterai dalam interval satu jam pada skenario dua c



Gambar 4.61 Gambar hasil simulasi Manajemen energi provider Western Hub dan Battery

Pada gambar 4.60 pada saat inisiasi battery 100%, mendapatkan *charge* dari PV pada jam 09.00 - 14.00, sehingga kapasitas battery bertambah dan pada jam 24.00 kapasitas battery menjadi 49% setelah dikurangi oleh beban

Pada Gambar 4.61 keadaan ini disimpulkan bahwa saat kondisi awal battery >50%, simulasi menunjukkan bahwa battery akan mensupply beban, pada jam 07.00-17.00 beban di supply full oleh pv dan pada jam 08.00 sebageian disupply oleh grid dan battery, lalu dilanjutkan pada jam 15.00-24.00 beban disupply sebagian oleh battery.

Pada keadaan ini didapatkan bahwa biaya optimal saat battery berapda pada kondisi >50%, sehingga hasil simulasi kombinasi paling

optimal adalah ketika battery mensupply penuh beban. Dari hasil simulasi maka dapat didapat *Batas atas dan batas bawah* seperti pada tabel 4.72.

Berdasarkan Tabel 4.63 dapat diketahui bahwa biaya tagihan listrik minimum saat kapasitas battery >50%, lalu disusul saat kapasitas battery diantara 20%-50% dan yang terakhir saat kapasitas battery kurang dari 20%. Dari tabel 4.64 penghematan terbesar terjadi apabila kapasitas battery lebih dari 50%.

Tabel 4.62. Batas atas dan batas bawah skenario satu c

Kapasitas baterai > 50%				
Batas	Grid	PV	Grid	PV
lb	0	0	0	0
ub	0	1	0.3	0.7

Tabel 4.63. Tagihan listrik dari provider Western Hub

Tagihan Listrik Provider Western Hub		
<20%	20%-50%	>50%
Rp 26,795,932.00	Rp 21,809,352.00	Rp 7,301,916.00

Tabel 4.64. Tagihan Listrik grid dengan panel surya

Tagihan Listrik tanpa battery	Tagihan Listrik Western Hub dengan Investasi		
	<20%	20%-50%	>50%
Rp 41,118,340.00	Rp 37,167,321	Rp 32,180,741	Rp 17,673,305

Tabel 4.65. Batas atas dan batas bawah skenario satu

Batas	<20%		20%-50%		>50%	
	Grid	PV	Grid	PV	Grid	PV
lb	0	0	0	0	0	0
up	1	0	0.4	0.6	0	1

Dari tiga simulasi keadaan baterai pada skenario satu satu (harga *grid* sama dengan harga *pv*) didapatkan harga tagihan listrik dari ketiga kondisi dan juga *Batas atas dan batas bawah* yang dapat dirangkum pada tabel 4.60 dan 4.61. *Batas atas dan batas bawah* yang didapat pada hasil simulasi ini akan digunakan sebagai *batas minimal dan batas maximal* yang dapat disupply oleh *providers dan energy storage* dengan adanya *batas minimal dan batas maximal* yang makan pengguna akan mendapatkan biaya listrik paling murah berdarakan harga dan kondisi *energy storage* yang tersisa.

Tabel 4.66. Ringkasan dari kelima provider ketika kapasitas battery < 20%

Analisa < 20%				
No.	Hari Kerja		Hari Libur	
	Tanpa EMS	Grid dengan EMS	Tanpa EMS	Grid dengan EMS
PECO	43,699,550	28,911,835	38,782,210	25,252,025
DOMINION HUB	42,666,920	28,250,548	41,716,380	27,157,689
N ILLINOIS HUB	39,414,070	25,741,654	39,690,970	25,878,609
AEP DAYTON	44,597,440	29,328,986	40,776,800	26,567,011
WESTERN HUB	43,455,010	28,727,751	41,118,340	26,795,932

Tabel 4.67. Ringkasan dari kelima provider ketika kapasitas battery 21% - 50%

Analisa 21% - 50%				
No.	Hari Kerja		Hari Libur	
	Tanpa EMS	Grid dengan EMS	Tanpa EMS	Grid dengan EMS
PECO	43,699,550	20,228,037	38,782,210	20,318,469
DOMINION HUB	42,666,920	19,662,637	41,716,380	22,142,153
N ILLINOIS HUB	39,414,070	17,614,637	39,690,970	21,040,687
AEP DAYTON	44,597,440	20,376,144	40,776,800	21,618,279
WESTERN HUB	43,455,010	20,050,283	41,118,340	21,809,352

Tabel 4.68. Ringkasan dari kelima provider ketika kapasitas battery lebih dari 50%

Analisa 21% - 50%				
No.	Hari Kerja		Hari Libur	
	Tanpa EMS	Grid dengan EMS	Tanpa EMS	Grid dengan EMS
PECO	43,699,550	5,089,275	38,782,210	7,628,823
DOMINION HUB	42,666,920	5,014,527	41,716,380	7,366,377
N ILLINOIS HUB	39,414,070	5,909,169	39,690,970	7,089,189
AEP DAYTON	44,597,440	4,910,814	40,776,800	7,267,167
WESTERN HUB	43,455,010	5,044,935	41,118,340	7,301,916

4.3 Analisa Ekonomi

Tabel 4.69. Capital expenditure

Kapasitas Battery 34 MWh				
PV pricing				
No	Description	Quantity	Price/pcs (Rp)	Total (Rp)
1	Solar cell 250WP	12408	1743750	Rp 21,636,450,000.00
2	LSC-200F2M Solar MPPT 48V 200A	376	1,483,386	Rp 557,753,136.00

Tabel 4.69. Capital Expenditure (Lanjutan)

3	CB 100A,600Vdc	376	1,332,940	Rp 501,185,440.00
Total Price PV Investment				Rp 22,695,388,576.00
Battery Pricing				
No	Description	Quantity	Price/pcs (Rp)	Total (Rp)
1	Deep Cycle Battery, 48 V, 1768 Ah	400	124.628.000	Rp 49,851,200,000.00
2	Power Inverter 2000 kw	4	420.000.000	Rp 1,680,000,000.00
Total Price Battery Investment				Rp 51,531,200,000.00
Total Cost				Rp 74,226,588,576.00
Total Cost(Rp) + Bunga Bank (2%)				Rp 75,711,120,347.52

Tabel 4.69 adalah investasi yang digunakan, dengan asumsi lifetime sistem adalah 20 tahun pada saat kapasitas battery <20% pada saat kapasitas battery <20% provider yang digunakan adalah N Illinois Hub pada saat hari kerja dan Peco untuk hari libur. Sehingga didapatkan analisa ekonomi seperti pada tabel 4.70.

Tabel 4.70. Estimasi Potensi Penghematan ketika kapasitas battery < 20%

Analisa Ekonomi kapasitas battery < 20%	
Tanpa EMS	Rp 286.408.442.200,00
Grid Cost	Rp 186.895.645.880
Total Investment	Rp 75.711.120.347,52
BEP	15.2163 tahun
Investment/Hari	Rp 10.371.386
Penghematan	8,31%

Tabel 4.69 adalah investasi yang digunakan, dengan asumsi lifetime sistem adalah 20 tahun pada saat kapasitas battery diantara 21%-50%. Pada saat kapasitas battery 21%-50% provider yang digunakan adalah N Illinois Hub pada saat hari kerja dan Peco untuk hari libur. Sehingga didapatkan analisa ekonomi seperti pada tabel 4.70

Tabel 4.71. Estimasi Potensi Penghematan ketika kapasitas battery 21%-50%

Analisa Ekonomi kapasitas battery 21%-50%	
Tanpa EMS	Rp 286.408.442.200
Grid Cost	Rp 134.210.820.660
Total Investment	Rp 75.711.120.347,52
BEP	9.94909 tahun
Investment/Hari	Rp 10.371.386,35
Penghematan	26,71%

Tabel 4.69 adalah investasi yang digunakan, dengan asumsi lifetime sistem adalah 20 tahun pada saat kapasitas battery >50%. Pada saat kapasitas battery >50% provider yang digunakan adalah AEP Dayton pada saat hari kerja dan N illinois Hub untuk hari libur. Sehingga didapatkan analisa ekonomi seperti pada tabel 4.71

Tabel 4.72. Estimasi Potensi Penghematan ketika kapasitas battery >50%

Analisa Ekonomi kapasitas battery >50%	
Tanpa EMS	Rp 315.355.854.400
Grid Cost	Rp 40.379.962.200
Total Investment	Rp 75.711.120.347,52
BEP	5.57943 tahun
Investment/Hari	Rp 10.371.386,35
Penghematan	63,19%

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil simulasi, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. *Mixed-Integer Linear Programming* dapat digunakan untuk Energy Management System.
2. Hasil simulasi dari kedua skenario telah memenuhi permintaan beban serta tidak melanggar batasan *SOC* minimum dan maksimum.
3. Perubahan *SOC energy storage* dipengaruhi oleh perubahan beban, ketersediaan daya di sistem serta *SOC* pada periode sebelumnya.
4. Pada hari kerja tagihan listrik paling murah adalah Rp 25.741.654,00 sat kapasitas battery <20% dan Rp 17.614.637,00 20%-50% dengan provider N Illinois Hub dan pada saat kapasitas >50% tagihan termurah yaitu Rp 4.910.814,00 dengan provider AEP Dayton
5. Pada hari libur tagihan listrik paling murah adalah Rp 25.252.025 saat kapasitas battery <20% dan Rp 20.318.469,00 20%-50% dengan provider PECO dan pada saat kapasitas >50% tagihan termurah yaitu Rp 4.7.089.189 dengan provider N Illinois Hub
6. Penghematan yang dapat dilakukan selama 20 tahun untuk kapasitas <20% yaitu sebesar 8.31% dari total cost full grid, lalu untuk kapasitas 20%-50% yaitu sebesar 26.71% dan untuk kapasitas >50% yaitu sebesar 63.19%.
7. Estimasi BEP investasi panel surya sebesar 15.2163 tahun untuk kapasitas kurang dari 20 %, 9.94909 tahun untuk 21%-50%, dan 5.57943 % saat lebih dari 50%.

5.2 Saran

Untuk pengembangan penelitian, berikut adalah saran dari penulis terkait penelitian ini:

1. Penelitian dapat dikembangkan dengan menggunakan *MILP* yang mempertimbangkan umur battery dan rugi peralatan.
2. Penelitian dapat dikembangkan dengan menggunakan metode yang berbeda seperti *Artificial Intelligent* untuk mendapatkan metode yang paling sesuai.

[Halaman Ini Sengaja Dikosongkan]

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Krisnan, "Meter of Tomorrow," *IEEE Power Energy Mag.*, vol. 6, no. 2, pp. pp.92-94, 2008.
- [2] M. P. a. S. R. M. Kuzlu, "Hardware demonstration of a home energy management system for demand response applications," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 3, no. 4, pp. 1704-1711, 2012.
- [3] M. K. a. S. R. M. Pipattanasomporn, "An algorithm for intelligent home energy management and demand response analysis," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 3, no. 4, pp. 2166-2173, 2012.
- [4] W. C. L. Y. S. a. K. B. S. Z. Zhao, "An optimal power scheduling method for demand response in home energy management system," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 4, no. 3, pp. 1391-1400, 2013.
- [5] T. T. K. a. H. V. Poor, "Scheduling power consumption with price uncertainty," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 2, no. 3, pp. 519-527, 2011.
- [6] VDI-Guideline, "VDI-Guideline VDI 4602," Beuth Verlag, Berlin, 2017.
- [7] W. C. Turner, Energy management handbook 4th ed., United States of America: THE FAIRMONT PRESS, INC., 2001.
- [8] *Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia*, 28 ed., 2016.
- [9] S. Pal and R. Kumar, "Effective load scheduling of residential consumers based on dynamic pricing with price prediction capabilities," *2016 IEEE 1st International Conference on Power Electronics, Intelligent Control and Energy Systems*

(ICPEICES), Delhi, pp. 1-6, 2016.

- [10] U. D. o. Energy, *Analysis of Energy-Efficiency Investment Decisions by Small and Medium-Sized Manufacturers*, U.S. DOE, Office of Policy and Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, 1996, pp. 37-38.
- [11] U. D. o. Energy, "The Smart Grid (An Introduction)," Litos Strategic Communication, 2008.
- [12] S. G. W. G. (2003-06), "Challenge and opportunity: Charting a new energy future coalition," 2008.
- [13] U. O. E. D. & E. Reliability, ""The Smart Grid"," [Online]. Available: https://www.smartgrid.gov/the_smart_grid/smart_grid. [Accessed 13 April 2019].
- [14] D. Y. F. Huang, *An Introduction to Smart Grid*, University of Notherdam.
- [15] Nursidi, *Dynamic Optimal Power Flow Arus Searah Menggunakan Quadratic Programming*, Surabaya: Teknik Elektro- ITS Surabaya, 2014.
- [16] Z. P. H. J. W. Group, *Smart energy profile marketing requirements document*, ZigBee Plus HomePlug Joint Working Group, 2009.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil perhitungan biaya listrik provider PECO pada saat hari kerja

Jam	Beban (kW)	Harga Listrik (Rupiah)		Kapasitas Baterai ≤ 20 %	Kapasitas Baterai > 50 %	20% < Kapasitas Baterai ≤50%										
		Grid	PV	Ftot	Ftot	Ft(1)med	Ft(2)med	Ft(3)med	Ft(4)med	Ft(5)med	Ft(6)med	Ft(7)med	Ft(8)med	Ft(9)med	Ft(10)med	Ft avg
1	1300	1034	1392	1344200	1809600	1809600	1763060	1716520	1669980	1623440	1576900	1530360	1437280	1390740	1344200	1576900
2	1240	947	1392	1174280	1726080	1726080	1670900	1615720	1560540	1505360	1450180	1395000	1284640	1229460	1174280	1450180
3	1180	862	1392	1017160	1642560	1642560	1580020	1517480	1454940	1392400	1329860	1267320	1142240	1079700	1017160	1329860
4	1180	834	1392	984120	1642560	1642560	1576716	1510872	1445028	1379184	1313340	1247496	1115808	1049964	984120	1313340
5	1180	839	1392	990020	1642560	1642560	1577306	1512052	1446798	1381544	1316290	1251036	1120528	1055274	990020	1316290
6	1150	996	1392	1145400	1600800	1600800	1555260	1509720	1464180	1418640	1373100	1327560	1236480	1190940	1145400	1373100
7	1000	1087	1392	1087000	1392000	1392000	1361500	1331000	1300500	1270000	1239500	1209000	1148000	1117500	1087000	1239500
8	980	1056	1392	1034880	1364160	1364160	1331232	1298304	1265376	1232448	1199520	1166592	1100736	1067808	1034880	1199520
9	850	1159	1392	985150	1183200	1183200	1163395	1143590	1123785	1103980	1084175	1064370	1024760	1004955	985150	1084175
10	1200	1285	1392	1542000	1670400	1670400	1657560	1644720	1631880	1619040	1606200	1593360	1567680	1554840	1542000	1606200
11	1230	1604	1392	1972920	1712160	1712160	1738236	1764312	1790388	1816464	1842540	1868616	1920768	1946844	1972920	1842540
12	1380	1569	1392	2165220	1920960	1920960	1945386	1969812	1994238	2018664	2043090	2067516	2116368	2140794	2165220	2043090
13	1300	1503	1392	1953900	1809600	1809600	1824030	1838460	1852890	1867320	1881750	1896180	1925040	1939470	1953900	1881750
14	1210	1566	1392	1894860	1684320	1684320	1705374	1726428	1747482	1768536	1789590	1810644	1852752	1873806	1894860	1789590
15	1380	1824	1392	2517120	1920960	1920960	1980576	2040192	2099808	2159424	2219040	2278656	2397888	2457504	2517120	2219040
16	1400	1962	1392	2746800	1948800	1948800	2028600	2108400	2188200	2268000	2347800	2427600	2587200	2667000	2746800	2347800
17	1380	2046	1392	2823480	1920960	1920960	2011212	2101464	2191716	2281968	2372220	2462472	2642976	2733228	2823480	2372220
18	1400	2120	1392	2968000	1948800	1948800	2050720	2152640	2254560	2356480	2458400	2560320	2764160	2866080	2968000	2458400
19	1400	2225	1392	3115000	1948800	1948800	2065420	2182040	2298660	2415280	2531900	2648520	2881760	2998380	3115000	2531900
20	1500	1523	1392	2284500	2088000	2088000	2107650	2127300	2146950	2166600	2186250	2205900	2245200	2264850	2284500	2186250
21	1500	1529	1392	2293500	2088000	2088000	2108550	2129100	2149650	2170200	2190750	2211300	2252400	2272950	2293500	2190750
22	1540	1301	1392	2003540	2143680	2143680	2129666	2115652	2101638	2087624	2073610	2059596	2031568	2017554	2003540	2073610
23	1540	1282	1392	1974280	2143680	2143680	2126740	2109800	2092860	2075920	2058980	2042040	2008160	1991220	1974280	2058980
24	1380	1219	1392	1682220	1920960	1920960	1897086	1873212	1849338	1825464	1801590	1777716	1729968	1706094	1682220	1801590

Lampiran 2. Hasil perhitungan biaya listrik provider Dominion Hub pada saat hari kerja

Jam	Beban (kW)	Harga Listrik (Rupiah)		Kapasitas Baterai <= 20 %	Kapasitas Baterai > 50 %	20% < Kapasitas Baterai <= 50%										
		Grid	PV	Ftot	Ftot	Ft(1)med	Ft(2)med	Ft(3)med	Ft(4)med	Ft(5)med	Ft(6)med	Ft(7)med	Ft(8)med	Ft(9)med	Ft(10)med	Ft avg
1	1300.00	1008.33	1392	1310826	1809600	1809600	1759722.61	1709845.22	1659967.82	1610090.43	1560213.04	1510335.65	1410580.86	1360703.47	1310826.08	1560213.04
2	1240.00	922.77	1392	1144238	1726080	1726080	1667895.81	1609711.62	1551527.43	1493343.24	1435159.05	1376974.87	1260606.49	1202422.30	1144238.11	1435159.05
3	1180.00	848.62	1392	1001377	1642560	1642560	1578441.74	1514323.48	1450205.23	1386086.97	1321968.71	1257850.45	1129613.94	1065495.68	1001377.42	1321968.71
4	1180.00	823.37	1392	971572	1642560	1642560	1575461.17	1508362.33	1441263.50	1374164.66	1307065.83	1239966.99	1105769.33	1038670.49	971571.66	1307065.83
5	1180.00	829.48	1392	978783	1642560	1642560	1576182.27	1509804.55	1443426.82	1377049.09	1310671.36	1244293.64	1111538.18	1045160.46	978782.73	1310671.36
6	1150.00	984.70	1392	1132403	1600800	1600800	1553960.30	1507120.60	1460280.90	1413441.20	1366601.50	1319761.79	1226082.39	1179242.69	1132402.99	1366601.50
7	1000.00	1073.51	1392	1073513	1392000	1392000	1360151.26	1328302.52	1296453.77	1264605.03	1232756.29	1200907.55	1137210.06	1105361.32	1073512.58	1232756.29
8	980.00	1052.33	1392	1031281	1364160	1364160	1330872.10	1297584.19	1264296.29	1231008.38	1197720.48	1164432.57	1097856.77	1064568.86	1031280.96	1197720.48
9	850.00	1144.40	1392	972741	1183200	1183200	1162154.09	1141108.18	1120062.27	1099016.36	1077970.46	1056924.55	1014832.73	993786.82	972740.91	1077970.46
10	1200.00	1266.62	1392	1519947	1670400	1670400	1655354.71	1640309.43	1625264.14	1610218.86	1595173.57	1580128.28	1550037.71	1534992.43	1519947.14	1595173.57
11	1230.00	1586.44	1392	1951316	1712160	1712160	1736075.59	1759991.17	1783906.76	1807822.35	1831737.93	1855653.52	1903484.69	1927400.28	1951315.86	1831737.93
12	1380.00	1543.25	1392	2129686	1920960	1920960	1941832.60	1962705.20	1983577.80	2004450.39	2025322.99	2046195.59	2087940.79	2108813.39	2129685.99	2025322.99
13	1300.00	1464.62	1392	1904008	1809600	1809600	1819040.80	1828481.60	1837922.39	1847363.19	1856803.99	1866244.79	1885126.38	1894567.18	1904007.98	1856803.99
14	1210.00	1548.55	1392	1873742	1684320	1684320	1703262.18	1722204.37	1741146.55	1760088.74	1779030.92	1797973.11	1835857.48	1854799.66	1873741.85	1779030.92
15	1380.00	1904.21	1392	2627812	1920960	1920960	1991645.21	2062330.42	2133015.64	2203700.85	2274386.06	2345071.27	2486441.69	2557126.91	2627812.12	2274386.06
16	1400.00	1862.66	1392	2607719	1948800	1948800	2014691.89	2080583.78	2146475.67	2212367.56	2278259.45	2344151.34	2475935.12	2541827.01	2607718.90	2278259.45
17	1380.00	1905.03	1392	2628937	1920960	1920960	1991757.66	2062555.31	2133352.97	2204150.62	2274948.28	2345745.93	2487341.25	2558138.90	2628936.56	2274948.28
18	1400.00	1999.14	1392	2798792	1948800	1948800	2033799.19	2118798.38	2203797.57	2288796.77	2373795.96	2458795.15	2628793.53	2713792.72	2798791.91	2373795.96
19	1400.00	2128.28	1392	2979598	1948800	1948800	2051879.83	2154959.66	2258039.50	2361119.33	2464199.16	2567278.99	2773438.66	2876518.49	2979598.32	2464199.16
20	1500.00	1483.77	1392	2225654	2088000	2088000	2101765.43	2115530.87	2129296.30	2143061.74	2156827.17	2170592.61	2198123.48	2211888.91	2225654.35	2156827.17
21	1500.00	1482.95	1392	2224432	2088000	2088000	2101643.21	2115286.43	2128929.64	2142572.85	2156216.06	2169859.28	2197145.70	2210788.92	2224432.13	2156216.06
22	1540.00	1269.47	1392	1954991	2143680	2143680	2124811.07	2105942.13	2087073.20	2068204.26	2049335.33	2030466.39	1992728.53	1973859.59	1954990.66	2049335.33
23	1540.00	1269.88	1392	1955618	2143680	2143680	2124873.81	2106067.61	2087261.42	2068455.22	2049649.03	2030842.84	1993230.45	1974424.26	1955618.06	2049649.03
24	1380.00	1209.18	1392	1668666	1920960	1920960	1895730.63	1870501.26	1845271.90	1820042.53	1794813.16	1769583.79	1719125.05	1693895.69	1668666.32	1794813.16

Lampiran 3. Hasil perhitungan biaya listrik provider N iliinois Hub pada saat hari kerja

Jam	Beban (kW)	Harga Listrik (Rupiah)		Kapasitas Baterai <= 20 %	Kapasitas Baterai > 50 %	20% < Kapasitas Baterai <= 50%										
		Grid	PV	Ftot	Ftot	Ft(1)med	Ft(2)med	Ft(3)med	Ft(4)med	Ft(5)med	Ft(6)med	Ft(7)med	Ft(8)med	Ft(9)med	Ft(10)med	Ft avg
1	1300	931	1392	1210727	1809600	1809600.00	1749712.66	1689825.33	1629937.99	1570050.65	1510163.32	1450275.98	1330501.30	1270613.97	1210726.63	1510163.32
2	1240	860	1392	1066440	1726080	1726080.00	1660116.00	1594152.00	1528188.01	1462224.01	1396260.01	1330296.01	1198368.02	1132404.02	1066440.02	1396260.01
3	1180	799	1392	943208	1642560	1642560.00	1572624.81	1502689.62	1432754.43	1362819.24	1292884.06	1222948.87	1083078.49	1013143.30	943208.11	1292884.06
4	1180	781	1392	922056	1642560	1642560.00	1570509.56	1498459.13	1426408.69	1354358.25	1282307.82	1210257.38	1066156.51	994106.07	922055.64	1282307.82
5	1180	789	1392	930709	1642560	1642560.00	1571374.89	1500189.78	1429004.68	1357819.57	1286634.46	1215449.35	1073079.14	1001894.03	930708.92	1286634.46
6	1150	931	1392	1071027	1600800	1600800.00	1547822.74	1494845.48	1441868.22	1388890.96	1335913.70	1282936.44	1176981.92	1124004.66	1071027.40	1335913.70
7	1000	1008	1392	1008328	1392000	1392000.00	1353632.78	1315265.55	1276898.33	1238531.10	1200163.88	1161796.65	1085062.20	1046694.98	1008327.75	1200163.88
8	980	995	1392	975385	1364160	1364160.00	1325282.50	1286404.99	1247527.49	1208649.99	1169772.49	1130894.98	1053139.98	1014262.47	975384.97	1169772.49
9	850	1082	1392	919758	1183200	1183200.00	1156855.79	1130511.57	1104167.36	1077823.15	1051478.94	1025134.72	972446.30	946102.08	919757.87	1051478.94
10	1200	1207	1392	1448570	1670400	1670400.00	1648216.98	1626033.95	1603850.93	1581667.90	1559484.88	1537301.85	1492935.81	1470752.78	1448569.76	1559484.88
11	1230	1505	1392	1851094	1712160	1712160.00	1726053.42	1739946.84	1753840.26	1767733.68	1781627.10	1795520.52	1823307.36	1837200.78	1851094.20	1781627.10
12	1380	1465	1392	2022302	1920960	1920960.00	1931094.21	1941228.43	1951362.64	1961496.86	1971631.07	1981765.28	2002033.71	2012167.92	2022302.14	1971631.07
13	1300	1394	1392	1812383	1809600	1809600.00	1809878.26	1810156.51	1810434.77	1810713.02	1810991.28	1811269.54	1811826.05	1812104.30	1812382.56	1810991.28
14	1210	1435	1392	1736699	1684320	1684320.00	1689557.89	1694795.78	1700033.67	1705271.56	1710509.45	1715747.34	1726223.12	1731461.01	1736698.90	1710509.45
15	1380	1824	1392	2517617	1920960	1920960.00	1980625.72	2040291.43	2099957.15	2159622.87	2219288.59	2278954.30	2398285.74	2457951.46	2517617.17	2219288.59
16	1400	1800	1392	2519312	1948800	1948800.00	2005851.20	2062902.40	2119953.59	2177004.79	2234055.99	2291107.19	2405209.58	2462260.78	2519311.98	2234055.99
17	1380	1679	1392	2316905	1920960	1920960.00	1960554.50	2000148.99	2039743.49	2079337.98	2118932.48	2158526.97	2237715.96	2277310.46	2316904.95	2118932.48
18	1400	1789	1392	2504482	1948800	1948800.00	2004368.24	2059936.49	2115504.73	2171072.97	2226641.22	2282209.46	2393345.94	2448914.19	2504482.43	2226641.22
19	1400	1536	1392	2150284	1948800	1948800.00	1968948.44	1989096.88	2009245.32	2029393.76	2049542.20	2069690.64	2109987.51	2130135.95	2150284.39	2049542.20
20	1500	1371	1392	2056989	2088000	2088000.00	2084898.86	2081797.72	2078696.58	2075595.44	2072494.31	2069393.17	2063190.89	2060089.75	2056988.61	2072494.31
21	1500	1399	1392	2099155	2088000	2088000.00	2089115.50	2090231.01	2091346.51	2092462.02	2093577.52	2094693.03	2096924.04	2098039.54	2099155.05	2093577.52
22	1540	1213	1392	1867782	2143680	2143680.00	2116090.15	2088500.30	2060910.45	2033320.60	2005730.76	1978140.91	1922961.21	1895371.36	1867781.51	2005730.76
23	1540	1216	1392	1872173	2143680	2143680.00	2116529.33	2089378.67	2062228.00	2035077.34	2007926.67	1980776.00	1926474.67	1899324.01	1872173.34	2007926.67
24	1380	1155	1392	1593329	1920960	1920960.00	1888196.90	1855433.79	1822670.69	1789907.58	1757144.48	1724381.37	1658855.17	1626092.06	1593328.96	1757144.48

Lampiran 4. Hasil perhitungan biaya listrik provider AEP Dayton pada saat hari kerja

Jam	Beban (kW)	Harga Listrik (Rupiah)		Kapasitas Baterai <= 20 %	Kapasitas Baterai > 50 %	20% < Kapasitas Baterai <= 50%										
		Grid	PV	Ftot	Ftot	Ft(1)med	Ft(2)med	Ft(3)med	Ft(4)med	Ft(5)med	Ft(6)med	Ft(7)med	Ft(8)med	Ft(9)med	Ft(10)med	Ft avg
1	1300	965	1392	1254156.02	1809600	1809600.00	1754055.60	1698511.20	1642966.81	1587422.41	1531878.01	1476333.61	1365244.82	1309700.42	1254156.02	1531878.01
2	1240	888	1392	1101297.607	1726080	1726080.00	1663601.76	1601123.52	1538645.28	1476167.04	1413688.80	1351210.56	1226254.09	1163775.85	1101297.61	1413688.80
3	1180	825	1392	973975.3486	1642560	1642560.00	1575701.53	1508843.07	1441984.60	1375126.14	1308267.67	1241409.21	1107692.28	1040833.81	973975.35	1308267.67
4	1180	808	1392	953784.3493	1642560	1642560.00	1573682.43	1504804.87	1435927.30	1367049.74	1298172.17	1229294.61	1091539.48	1022661.91	953784.35	1298172.17
5	1180	817	1392	963879.849	1642560	1642560.00	1574691.98	1506823.97	1438955.95	1371087.94	1303219.92	1235351.91	1099615.88	1031747.86	963879.85	1303219.92
6	1150	966	1392	1111319.773	1600800	1600800.00	1551851.98	1502903.95	1453955.93	1405007.91	1356059.89	1307111.86	1209215.82	1160267.80	1111319.77	1356059.89
7	1000	1048	1392	1047846.051	1392000	1392000.00	1357584.61	1323169.21	1288753.82	1254338.42	1219923.03	1185507.63	1116676.84	1082261.45	1047846.05	1219923.03
8	980	1030	1392	1009321.82	1364160	1364160.00	1328676.18	1293192.36	1257708.55	1222224.73	1186740.91	1151257.09	1080289.46	1044805.64	1009321.82	1186740.91
9	850	1120	1392	952309.5427	1183200	1183200.00	1160110.95	1137021.91	1113932.86	1090843.82	1067754.77	1044665.73	998487.63	975398.59	952309.54	1067754.77
10	1200	1247	1392	1496969.49	1670400	1670400.00	1653056.95	1635713.90	1618370.85	1601027.80	1583684.75	1566341.69	1531655.59	1514312.54	1496969.49	1583684.75
11	1230	1561	1392	1920247.147	1712160	1712160.00	1732968.71	1753777.43	1774586.14	1795394.86	1816203.57	1837012.29	1878629.72	1899438.43	1920247.15	1816203.57
12	1380	1517	1392	2093703.964	1920960	1920960.00	1938234.40	1955508.79	1972783.19	1990057.59	2007331.98	2024606.38	2059155.17	2076429.57	2093703.96	2007331.98
13	1300	1441	1392	1873289.629	1809600	1809600.00	1815968.96	1822337.93	1828706.89	1835075.85	1841444.81	1847813.78	1860551.70	1866920.67	1873289.63	1841444.81
14	1210	1491	1392	1803741.496	1684320	1684320.00	1696262.15	1708204.30	1720146.45	1732088.60	1744030.75	1755972.90	1779857.20	1791799.35	1803741.50	1744030.75
15	1380	2197	1392	3032047.658	1920960	1920960.00	2032068.77	2143177.53	2254286.30	2365395.06	2476503.83	2587612.60	2809830.13	2920938.89	3032047.66	2476503.83
16	1400	2195	1392	3072568.175	1948800	1948800.00	2061176.82	2173553.63	2285930.45	2398307.27	2510684.09	2623060.90	2847814.54	2960191.36	3072568.17	2510684.09
17	1380	2425	1392	3346328.141	1920960	1920960.00	2063496.81	2206033.63	2348570.44	2491107.26	2633644.07	2776180.88	3061254.51	3203791.33	3346328.14	2633644.07
18	1400	2329	1392	3260218.988	1948800	1948800.00	2079941.90	2211083.80	2342225.70	2473367.60	2604509.49	2735651.39	2997935.19	3129077.09	3260218.99	2604509.49
19	1400	2463	1392	3448440.168	1948800	1948800.00	2098764.02	2248728.03	2398692.05	2548656.07	2698620.08	2848584.10	3148512.13	3298476.15	3448440.17	2698620.08
20	1500	1461	1392	2191432.312	2088000	2088000.00	2098343.23	2108686.46	2119029.69	2129372.92	2139716.16	2150059.39	2170745.85	2181089.08	2191432.31	2139716.16
21	1500	1457	1392	2185321.235	2088000	2088000.00	2097732.12	2107464.25	2117196.37	2126928.49	2136660.62	2146392.74	2165856.99	2175589.11	2185321.24	2136660.62
22	1540	1254	1392	1930521.905	2143680	2143680.00	2122364.19	2101048.38	2079732.57	2058416.76	2037100.95	2015785.14	1973153.52	1951837.71	1930521.90	2037100.95
23	1540	1255	1392	1933031.521	2143680	2143680.00	2122615.15	2101550.30	2080485.46	2059420.61	2038355.76	2017290.91	1975161.22	1954096.37	1933031.52	2038355.76
24	1380	1190	1392	1642242.019	1920960	1920960.00	1893088.20	1865216.40	1837344.61	1809472.81	1781601.01	1753729.21	1697985.62	1670113.82	1642242.02	1781601.01

Lampiran 5. Hasil perhitungan biaya listrik provider WESTERN HUB pada saat hari kerja

Jam	Beban (kW)	Harga Listik (Rupiah)		Kapasitas Baterai <= 20 %	Kapasitas Baterai > 50 %	20% < Kapasitas Baterai <= 50%										
		Grid	PV	Ftot	Ftot	Ft(1)med	Ft(2)med	Ft(3)med	Ft(4)med	Ft(5)med	Ft(6)med	Ft(7)med	Ft(8)med	Ft(9)med	Ft(10)med	Ft avg
1	1300	1012	1392	1315592.717	1809600	1809600.00	1760199.27	1710798.54	1661397.81	1611997.09	1562596.36	1513195.63	1414394.17	1364993.44	1315592.72	1562596.36
2	1240	926	1392	1148784.751	1726080	1726080.00	1668350.48	1610620.95	1552891.43	1495161.90	1437432.38	1379702.85	1264243.80	1206514.28	1148784.75	1437432.38
3	1180	850	1392	1002819.633	1642560	1642560.00	1578585.96	1514611.93	1450637.89	1386663.85	1322689.82	1258715.78	1130767.71	1066793.67	1002819.63	1322689.82
4	1180	824	1392	972052.3963	1642560	1642560.00	1575509.24	1508458.48	1441407.72	1374356.96	1307306.20	1240255.44	1106153.92	1039103.16	972052.40	1307306.20
5	1180	831	1392	980705.6817	1642560	1642560.00	1576374.57	1510189.14	1444003.70	1377818.27	1311632.84	1245447.41	1113076.55	1046891.11	980705.68	1311632.84
6	1150	988	1392	1136151.117	1600800	1600800.00	1554335.11	1507870.22	1461405.34	1414940.45	1368475.56	1322010.67	1229080.89	1182616.01	1136151.12	1368475.56
7	1000	1080	1392	1080438.463	1392000	1392000.00	1360843.85	1329687.69	1298531.54	1267375.39	1236219.23	1205063.08	1142750.77	1111594.62	1080438.46	1236219.23
8	980	1058	1392	1036471.299	1364160	1364160.00	1331391.13	1298622.26	1265853.39	1233084.52	1200315.65	1167546.78	1102009.04	1069240.17	1036471.30	1200315.65
9	850	1157	1392	983822.3312	1183200	1183200.00	1163262.23	1143324.47	1123386.70	1103448.93	1083511.17	1063573.40	1023697.86	1003760.10	983822.33	1083511.17
10	1200	1284	1392	1540480.361	1670400	1670400.00	1657408.04	1644416.07	1631424.11	1618432.14	1605440.18	1592448.22	1566464.29	1553472.32	1540480.36	1605440.18
11	1230	1605	1392	1974366.847	1712160	1712160.00	1738380.68	1764601.37	1790822.05	1817042.74	1843263.42	1869484.11	1921925.48	1948146.16	1974366.85	1843263.42
12	1380	1566	1392	2161732.477	1920960	1920960.00	1945037.25	1969114.50	1993191.74	2017268.99	2041346.24	2065423.49	2113577.98	2137655.23	2161732.48	2041346.24
13	1300	1497	1392	1945848.487	1809600	1809600.00	1823224.85	1836849.70	1850474.55	1864099.39	1877724.24	1891349.09	1918598.79	1932223.64	1945848.49	1877724.24
14	1210	1559	1392	1886558.815	1684320	1684320.00	1704543.88	1724767.76	1744991.64	1765215.53	1785439.41	1805663.29	1846111.05	1866334.93	1886558.81	1785439.41
15	1380	1923	1392	2653674.198	1920960	1920960.00	1994231.42	2067502.84	2140774.26	2214045.68	2287317.10	2360588.52	2507131.36	2580402.78	2653674.20	2287317.10
16	1400	1925	1392	2695555.447	1948800	1948800.00	2023475.54	2098151.09	2172826.63	2247502.18	2322177.72	2396853.27	2546204.36	2620879.90	2695555.45	2322177.72
17	1380	2000	1392	2760495.829	1920960	1920960.00	2004913.58	2088867.17	2172820.75	2256774.33	2340727.91	2424681.50	2592588.66	2676542.25	2760495.83	2340727.91
18	1400	2088	1392	2922561.598	1948800	1948800.00	2046176.16	2143552.32	2240928.48	2338304.64	2435680.80	2533056.96	2727809.28	2825185.44	2922561.60	2435680.80
19	1400	2226	1392	3115916.083	1948800	1948800.00	2065511.61	2182223.22	2298934.82	2415646.43	2532358.04	2649069.65	2882492.87	2999204.47	3115916.08	2532358.04
20	1500	1510	1392	2265376.347	2088000	2088000.00	2105737.63	2123475.27	2141212.90	2158950.54	2176688.17	2194425.81	2229901.08	2247638.71	2265376.35	2176688.17
21	1500	1505	1392	2256820.839	2088000	2088000.00	2104882.08	2121764.17	2138646.25	2155528.34	2172410.42	2189292.50	2223056.67	2239938.76	2256820.84	2172410.42
22	1540	1286	1392	1980714.22	2143680	2143680.00	2127383.42	2111086.84	2094790.27	2078493.69	2062197.11	2045900.53	2013307.38	1997010.80	1980714.22	2062197.11
23	1540	1276	1392	1965029.121	2143680	2143680.00	2125814.91	2107949.82	2090084.74	2072219.65	2054354.56	2036489.47	2000759.30	1982894.21	1965029.12	2054354.56
24	1380	1213	1392	1674288.509	1920960	1920960.00	1896292.85	1871625.70	1846958.55	1822291.40	1797624.25	1772957.11	1723622.81	1698955.66	1674288.51	1797624.25

Lampiran 6. Hasil perhitungan biaya listrik provider PECO pada hari libur

Jam	Beban (kW)	Harga Listrik (Rupiah)		Kapasitas Baterai ≤ 20 %	Kapasitas Baterai > 50 %	20% < Kapasitas Baterai ≤50%										
		Grid	PV	Ftot	Ftot	Ft(1)med	Ft(2)med	Ft(3)med	Ft(4)med	Ft(5)med	Ft(6)med	Ft(7)med	Ft(8)med	Ft(9)med	Ft(10)med	Ft avg
1	1600	815	1392	1304348	2227200	2227200	2134915	2042630	1950345	1858059	1765774	1673489	1488919	1396634	1304348	1765774
2	1580	816	1392	1289975	2199360	2199360	2108422	2017483	1926545	1835606	1744668	1653729	1471852	1380914	1289975	1744668
3	1600	786	1392	1258067	2227200	2227200	2130287	2033373	1936460	1839547	1742634	1645720	1451894	1354980	1258067	1742634
4	1600	774	1392	1237860	2227200	2227200	2128266	2029332	1930398	1831464	1732530	1633596	1435728	1336794	1237860	1732530
5	1600	765	1392	1223519	2227200	2227200	2126832	2026464	1926096	1825728	1725360	1624991	1424255	1323887	1223519	1725360
6	1430	748	1392	1069634	1990560	1990560	1898467	1806375	1714282	1622190	1530097	1438004	1253819	1161727	1069634	1530097
7	1210	741	1392	896695	1684320	1684320	1605557	1526795	1448032	1369270	1290507	1211745	1054220	975457	896695	1290507
8	1050	735	1392	772135	1461600	1461600	1392653	1323707	1254760	1185814	1116867	1047921	910028	841081	772135	1116867
9	850	771	1392	655189	1183200	1183200	1130399	1077598	1024797	971996	919194	866393	760791	707990	655189	919194
10	1210	851	1392	1029301	1684320	1684320	1618818	1553316	1487814	1422312	1356810	1291309	1160305	1094803	1029301	1356810
11	1230	939	1392	1154554	1712160	1712160	1656399	1600639	1544878	1489117	1433357	1377596	1266075	1210314	1154554	1433357
12	1340	1070	1392	1433594	1865280	1865280	1822111	1778943	1735774	1692605	1649437	1606268	1519931	1476762	1433594	1649437
13	1300	1146	1392	1489310	1809600	1809600	1777571	1745542	1713513	1681484	1649455	1617426	1553368	1521339	1489310	1649455
14	1280	1182	1392	1513331	1781760	1781760	1754917	1728074	1701231	1674388	1647545	1620703	1567017	1540174	1513331	1647545
15	1380	1136	1392	1568029	1920960	1920960	1885667	1850374	1815081	1779788	1744495	1709201	1638615	1603322	1568029	1744495
16	1620	1259	1392	2039389	2255040	2255040	2233475	2211910	2190345	2168779	2147214	2125649	2082519	2060954	2039389	2147214
17	1620	1695	1392	2746245	2255040	2255040	2304160	2353281	2402401	2451522	2500642	2549763	2648004	2697124	2746245	2500642
18	1620	1498	1392	2426807	2255040	2255040	2272217	2289393	2306570	2323747	2340923	2358100	2392453	2409630	2426807	2340923
19	1750	1578	1392	2761290	2436000	2436000	2468529	2501058	2533587	2566116	2598645	2631174	2696232	2728761	2761290	2598645
20	1620	1564	1392	2533726	2255040	2255040	2282909	2310777	2338646	2366514	2394383	2422252	2477989	2505857	2533726	2394383
21	1520	1898	1392	2884494	2115840	2115840	2192705	2269571	2346436	2423301	2500167	2577032	2730763	2807628	2884494	2500167
22	1580	1197	1392	1891191	2199360	2199360	2168543	2137726	2106909	2076092	2045276	2014459	1952825	1922008	1891191	2045276
23	1700	1075	1392	1827049	2366400	2366400	2312465	2258530	2204595	2150660	2096725	2042789	1934919	1880984	1827049	2096725
24	1620	1096	1392	1776050	2255040	2255040	2207141	2159242	2111343	2063444	2015545	1967646	1871848	1823949	1776050	2015545

Lampiran 7. Hasil perhitungan biaya listrik provider Dominion Hub

Jam	Beban (kW)	Harga Listrik (Rupiah)		Kapasitas Baterai ≤ 20 %	Kapasitas Baterai > 50 %	20% < Kapasitas Baterai ≤50%										
		Grid	PV	Ftot	Ftot	Ft(1)med	Ft(2)med	Ft(3)med	Ft(4)med	Ft(5)med	Ft(6)med	Ft(7)med	Ft(8)med	Ft(9)med	Ft(10)med	Ft avg
1	1600	792	1392	1266541	2227200	2227200	2131134	2035068	1939002	1842936	1746871	1650805	1458673	1362607	1266541	1746871
2	1580	797	1392	1259077	2199360	2199360	2105332	2011303	1917275	1823247	1729219	1635190	1447134	1353106	1259077	1729219
3	1600	771	1392	1233949	2227200	2227200	2127875	2028550	1929225	1829899	1730574	1631249	1432599	1333274	1233949	1730574
4	1600	758	1392	1212438	2227200	2227200	2125724	2024248	1922771	1821295	1719819	1618343	1415390	1313914	1212438	1719819
5	1600	751	1392	1201356	2227200	2227200	2124616	2022031	1919447	1816863	1714278	1611694	1406525	1303941	1201356	1714278
6	1430	734	1392	1049826	1990560	1990560	1896487	1802413	1708340	1614266	1520193	1426120	1237973	1143899	1049826	1520193
7	1210	725	1392	877469	1684320	1684320	1603635	1522950	1442265	1361580	1280895	1200210	1038839	958154	877469	1280895
8	1050	717	1392	752457	1461600	1461600	1390686	1319771	1248857	1177943	1107028	1036114	894286	823371	752457	1107028
9	850	755	1392	641337	1183200	1183200	1129014	1074827	1020641	966455	912269	858082	749710	695523	641337	912269
10	1210	838	1392	1014512	1684320	1684320	1617339	1550358	1483378	1416397	1349416	1282435	1148474	1081493	1014512	1349416
11	1230	950	1392	1168084	1712160	1712160	1657752	1603345	1548937	1494529	1440122	1385714	1276899	1222491	1168084	1440122
12	1340	1166	1392	1561885	1865280	1865280	1834941	1804601	1774262	1743922	1713583	1683243	1622564	1592225	1561885	1713583
13	1300	1125	1392	1462299	1809600	1809600	1774870	1740140	1705410	1670680	1635950	1601220	1531759	1497029	1462299	1635950
14	1280	1179	1392	1508638	1781760	1781760	1754448	1727136	1699823	1672511	1645199	1617887	1563262	1535950	1508638	1645199
15	1380	1697	1392	2341643	1920960	1920960	1963028	2005097	2047165	2089233	2131301	2173370	2257506	2299574	2341643	2131301
16	1620	1268	1392	2054569	2255040	2255040	2234993	2214946	2194899	2174851	2154804	2134757	2094663	2074616	2054569	2154804
17	1620	1767	1392	2863064	2255040	2255040	2315842	2376645	2437447	2498250	2559052	2619854	2741459	2802262	2863064	2559052
18	1620	1450	1392	2349587	2255040	2255040	2264495	2273949	2283404	2292859	2302313	2311768	2330678	2340132	2349587	2302313
19	1750	1632	1392	2856114	2436000	2436000	2478011	2520023	2562034	2604046	2646057	2688068	2772091	2814102	2856114	2646057
20	1620	1759	1392	2849864	2255040	2255040	2314522	2374005	2433487	2492970	2552452	2611935	2730899	2790382	2849864	2552452
21	1520	1843	1392	2801513	2115840	2115840	2184407	2252975	2321542	2390109	2458677	2527244	2664379	2732946	2801513	2458677
22	1580	1172	1392	1851282	2199360	2199360	2164552	2129744	2094936	2060129	2025321	1990513	1920897	1886089	1851282	2025321
23	1700	1054	1392	1791035	2366400	2366400	2308863	2251327	2193790	2136254	2078717	2021181	1906108	1848571	1791035	2078717
24	1620	1062	1392	1719950	2255040	2255040	2201531	2148022	2094513	2041004	1987495	1933986	1826968	1773459	1719950	1987495

Lampiran 8. Hasil perhitungan biaya listrik provider N Illinois Hub

Jam	Beban (kW)	Harga Listrik (Rupiah)		Kapasitas Baterai ≤ 20 %	Kapasitas Baterai > 50 %	20% < Kapasitas Baterai ≤50%										
		Grid	PV	Ftot	Ftot	Ft(1)med	Ft(2)med	Ft(3)med	Ft(4)med	Ft(5)med	Ft(6)med	Ft(7)med	Ft(8)med	Ft(9)med	Ft(10)med	Ft avg
1	1600	821	1392	1313474	2227200	2227200	2135827	2044455	1953082	1861710	1770337	1678965	1496219	1404847	1313474	1770337
2	1580	829	1392	1309930	2199360	2199360	2110417	2021474	1932531	1843588	1754645	1665702	1487816	1398873	1309930	1754645
3	1600	797	1392	1275015	2227200	2227200	2131982	2036763	1941545	1846326	1751108	1655889	1465452	1370234	1275015	1751108
4	1600	781	1392	1249593	2227200	2227200	2129439	2031679	1933918	1836157	1738397	1640636	1445114	1347354	1249593	1738397
5	1600	774	1392	1239164	2227200	2227200	2128396	2029593	1930789	1831985	1733182	1634378	1436771	1337967	1239164	1733182
6	1430	760	1392	1087112	1990560	1990560	1900215	1809870	1719526	1629181	1538836	1448491	1267801	1177457	1087112	1538836
7	1210	752	1392	910005	1684320	1684320	1606888	1529457	1452025	1374594	1297162	1219731	1064868	987436	910005	1297162
8	1050	746	1392	782829	1461600	1461600	1393723	1325846	1257969	1190092	1122214	1054337	918583	850706	782829	1122214
9	850	780	1392	663154	1183200	1183200	1131195	1079191	1027186	975181	923177	871172	767163	715158	663154	923177
10	1210	866	1392	1047540	1684320	1684320	1620642	1556964	1493286	1429608	1365930	1302252	1174896	1111218	1047540	1365930
11	1230	989	1392	1216190	1712160	1712160	1662563	1612966	1563369	1513772	1464175	1414578	1315384	1265787	1216190	1464175
12	1340	1236	1392	1656330	1865280	1865280	1844385	1823490	1802595	1781700	1760805	1739910	1698120	1677225	1656330	1760805
13	1300	1171	1392	1522677	1809600	1809600	1780908	1752215	1723523	1694831	1666138	1637446	1580061	1551369	1522677	1666138
14	1280	1225	1392	1567565	1781760	1781760	1760340	1738921	1717501	1696082	1674662	1653243	1610404	1588984	1567565	1674662
15	1380	1939	1392	2675601	1920960	1920960	1996424	2071888	2147352	2222816	2298280	2373744	2524673	2600137	2675601	2298280
16	1620	1334	1392	2160828	2255040	2255040	2245619	2236198	2226776	2217355	2207934	2198513	2179670	2170249	2160828	2207934
17	1620	1874	1392	3035323	2255040	2255040	2333068	2411097	2489125	2567153	2645182	2723210	2879267	2957295	3035323	2645182
18	1620	1511	1392	2447926	2255040	2255040	2274329	2293617	2312906	2332195	2351483	2370772	2409349	2428638	2447926	2351483
19	1750	1721	1392	3011539	2436000	2436000	2493554	2551108	2608662	2666216	2723769	2781323	2896431	2953985	3011539	2723769
20	1620	1902	1392	3080863	2255040	2255040	2337622	2420205	2502787	2585369	2667951	2750534	2915698	2998281	3080863	2667951
21	1520	1914	1392	2909264	2115840	2115840	2195182	2274525	2353867	2433210	2512552	2591894	2750579	2829922	2909264	2512552
22	1580	1211	1392	1913721	2199360	2199360	2170796	2142232	2113668	2085104	2056540	2027976	1970848	1942284	1913721	2056540
23	1700	1087	1392	1847827	2366400	2366400	2314543	2262685	2210828	2158971	2107113	2055256	1951541	1899684	1847827	2107113
24	1620	1106	1392	1791230	2255040	2255040	2208659	2162278	2115897	2069516	2023135	1976754	1883992	1837611	1791230	2023135

Lampiran 9. Hasil perhitungan biaya listrik provider AEP Dayton

Jam	Beban (kW)	Harga Listrik (Rupiah)		Kapasitas Baterai ≤ 20 %	Kapasitas Baterai > 50 %	20% < Kapasitas Baterai ≤50%										
		Grid	PV	Ftot	Ftot	Ft(1)med	Ft(2)med	Ft(3)med	Ft(4)med	Ft(5)med	Ft(6)med	Ft(7)med	Ft(8)med	Ft(9)med	Ft(10)med	Ft avg
1	1600	809	1392	1294571	2227200	2227200	2133937	2040674	1947411	1854148	1760885	1667622	1481096	1387834	1294571	1760885
2	1580	815	1392	1288044	2199360	2199360	2108228	2017097	1925965	1834834	1743702	1652570	1470307	1379176	1288044	1743702
3	1600	786	1392	1257415	2227200	2227200	2130222	2033243	1936265	1839286	1742308	1645329	1451372	1354394	1257415	1742308
4	1600	772	1392	1235252	2227200	2227200	2128005	2028810	1929616	1830421	1731226	1632031	1433642	1334447	1235252	1731226
5	1600	766	1392	1226127	2227200	2227200	2127093	2026985	1926878	1826771	1726663	1626556	1426341	1326234	1226127	1726663
6	1430	752	1392	1074877	1990560	1990560	1898992	1807423	1715855	1624287	1532719	1441150	1258014	1166446	1074877	1532719
7	1210	743	1392	899159	1684320	1684320	1605804	1527288	1448772	1370256	1291740	1213224	1056192	977676	899159	1291740
8	1050	735	1392	771707	1461600	1461600	1392611	1323621	1254632	1185643	1116653	1047664	909685	840696	771707	1116653
9	850	774	1392	658306	1183200	1183200	1130711	1078221	1025732	973242	920753	868263	763284	710795	658306	920753
10	1210	860	1392	1041132	1684320	1684320	1620001	1555682	1491364	1427045	1362726	1298407	1169770	1105451	1041132	1362726
11	1230	977	1392	1201658	1712160	1712160	1661110	1610060	1559009	1507959	1456909	1405859	1303758	1252708	1201658	1456909
12	1340	1198	1392	1605559	1865280	1865280	1839308	1813336	1787364	1761392	1735420	1709448	1657503	1631531	1605559	1735420
13	1300	1162	1392	1509966	1809600	1809600	1779637	1749673	1719710	1689746	1659783	1629819	1569893	1539929	1509966	1659783
14	1280	1217	1392	1557135	1781760	1781760	1759298	1736835	1714373	1691910	1669448	1646985	1602060	1579598	1557135	1669448
15	1380	1750	1392	2415293	1920960	1920960	1970393	2019827	2069260	2118693	2168127	2217560	2316427	2365860	2415293	2168127
16	1620	1313	1392	2127168	2255040	2255040	2242253	2229466	2216678	2203891	2191104	2178317	2152743	2139955	2127168	2191104
17	1620	1828	1392	2961404	2255040	2255040	2325676	2396313	2466949	2537585	2608222	2678858	2820131	2890767	2961404	2608222
18	1620	1500	1392	2430107	2255040	2255040	2272547	2290053	2307560	2325067	2342573	2360080	2395093	2412600	2430107	2342573
19	1750	1681	1392	2941669	2436000	2436000	2486567	2537134	2587701	2638268	2688834	2739401	2840535	2891102	2941669	2688834
20	1620	1808	1392	2929724	2255040	2255040	2322508	2389977	2457445	2524914	2592382	2659850	2794787	2862255	2929724	2592382
21	1520	1892	1392	2876443	2115840	2115840	2191900	2267961	2344021	2420081	2496142	2572202	2724323	2800383	2876443	2496142
22	1580	1199	1392	1895053	2199360	2199360	2168929	2138499	2108068	2077637	2047207	2016776	1955915	1925484	1895053	2047207
23	1700	1074	1392	1825664	2366400	2366400	2312326	2258253	2204179	2150106	2096032	2041958	1933811	1879738	1825664	2096032
24	1620	1084	1392	1756250	2255040	2255040	2205161	2155282	2105403	2055524	2005645	1955766	1856008	1806129	1756250	2005645

Lampiran 10. Hasil perhitungan biaya listrik provider Western Hub

Jam	Beban (kW)	Harga Listrik (Rupiah)		Kapasitas Baterai ≤ 20 %	Kapasitas Baterai > 50 %	20% < Kapasitas Baterai ≤50%										
		Grid	PV	Ftot	Ftot	Ft(1)med	Ft(2)med	Ft(3)med	Ft(4)med	Ft(5)med	Ft(6)med	Ft(7)med	Ft(8)med	Ft(9)med	Ft(10)med	Ft avg
1	1600	820	1392	1312171	2227200	2227200	2135697	2044194	1952691	1861188	1769685	1678182	1495176	1403673	1312171	1769685
2	1580	823	1392	1300274	2199360	2199360	2109451	2019543	1929634	1839726	1749817	1659909	1480091	1390183	1300274	1749817
3	1600	792	1392	1267845	2227200	2227200	2131264	2035329	1939393	1843458	1747522	1651587	1459716	1363780	1267845	1747522
4	1600	779	1392	1246334	2227200	2227200	2129113	2031027	1932940	1834854	1736767	1638680	1442507	1344420	1246334	1736767
5	1600	771	1392	1233297	2227200	2227200	2127810	2028419	1929029	1829639	1730248	1630858	1432078	1332687	1233297	1730248
6	1430	755	1392	1080121	1990560	1990560	1899516	1808472	1717428	1626384	1535340	1444296	1262209	1171165	1080121	1535340
7	1210	746	1392	903103	1684320	1684320	1606198	1528077	1449955	1371833	1293712	1215590	1059347	981225	903103	1293712
8	1050	739	1392	776412	1461600	1461600	1393081	1324562	1256044	1187525	1119006	1050487	913450	844931	776412	1119006
9	850	777	1392	660730	1183200	1183200	1130953	1078706	1026459	974212	921965	869718	765224	712977	660730	921965
10	1210	860	1392	1041132	1684320	1684320	1620001	1555682	1491364	1427045	1362726	1298407	1169770	1105451	1041132	1362726
11	1230	977	1392	1202159	1712160	1712160	1661160	1610160	1559160	1508160	1457159	1406159	1304159	1253159	1202159	1457159
12	1340	1200	1392	1608289	1865280	1865280	1839581	1813882	1788183	1762484	1736784	1711085	1659687	1633988	1608289	1736784
13	1300	1163	1392	1511555	1809600	1809600	1779795	1749991	1720186	1690382	1660577	1630773	1571164	1541359	1511555	1660577
14	1280	1215	1392	1555571	1781760	1781760	1759141	1736522	1713903	1691284	1668665	1646046	1600809	1578190	1555571	1668665
15	1380	1814	1392	2502999	1920960	1920960	1979164	2037368	2095572	2153776	2211980	2270184	2386592	2444796	2502999	2211980
16	1620	1320	1392	2139048	2255040	2255040	2243441	2231842	2220242	2208643	2197044	2185445	2162247	2150647	2139048	2197044
17	1620	1841	1392	2981863	2255040	2255040	2327722	2400405	2473087	2545769	2618452	2691134	2836499	2909181	2981863	2618452
18	1620	1507	1392	2440666	2255040	2255040	2273603	2292165	2310728	2329291	2347853	2366416	2403541	2422104	2440666	2347853
19	1750	1698	1392	2971613	2436000	2436000	2489561	2543123	2596684	2650245	2703807	2757368	2864491	2918052	2971613	2703807
20	1620	1846	1392	2989783	2255040	2255040	2328514	2401989	2475463	2548937	2622412	2695886	2842835	2916309	2989783	2622412
21	1520	1901	1392	2888828	2115840	2115840	2193139	2270438	2347737	2425035	2502334	2579633	2734231	2811530	2888828	2502334
22	1580	1202	1392	1898915	2199360	2199360	2169316	2139271	2109227	2079182	2049138	2019093	1959004	1928960	1898915	2049138
23	1700	1078	1392	1833282	2366400	2366400	2313088	2259776	2206465	2153153	2099841	2046529	1939906	1886594	1833282	2099841
24	1620	1095	1392	1774070	2255040	2255040	2206943	2158846	2110749	2062652	2014555	1966458	1870264	1822167	1774070	2014555

BIODATA PENULIS



Nama saya Shafira Zahra asal dari Kediri saya lahir pada 08 Agustus 1997. Penulis menyelesaikan Pendidikan formal di SDN Sambu 1 pada tahun 2009. SMPN 1 Kediri pada tahun 2012 dan SMAN 2 Kediri pada tahun 2015. Kemudian menempuh S1 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) pada tahun 2015 di jurusan Teknik Elektro. Penulis mengambil bidang studi Teknik Sistem Tenaga. Dalam bidang organisasi, penulis tergabung dalam Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro ITS pada tahun 2016-2017. Selain itu, penulis aktif sebagai asisten di Laboratorium Simulasi Sistem Tenaga Listrik Teknik Elektro ITS. Penulis dapat dihubungi melalui alamat email : shafirazahra1997@gmail.com.

[Halaman Ini Sengaja Dikosongkan]