

Dosen Pembimbing
Dr. Rony Seto Wibowo, S.T., M.T.
Dr. Ir. Ni Ketut Aryani, M.T.

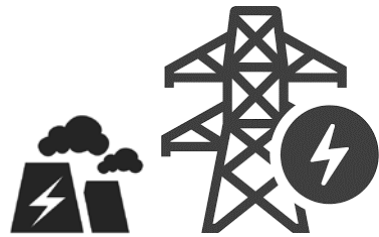
Sidang Tugas Akhir

Muhammad Vito Hamza
07111640000154



Penentuan Lokasi dan Kapasitas *Energy Storage* (ES) Optimal dengan Mempertimbangkan Pelepasan Beban

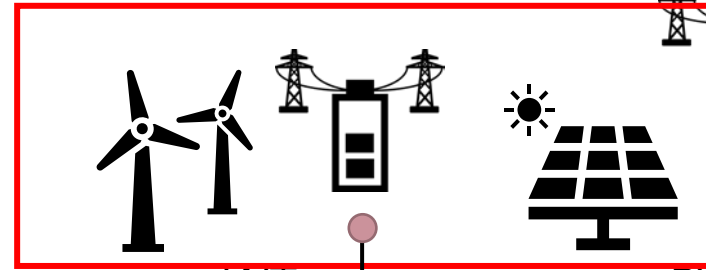




Grid

Microgrid

Intermittent



WT

PV



Diesel



Mikroturbin



Konsumen

Load Curtailment

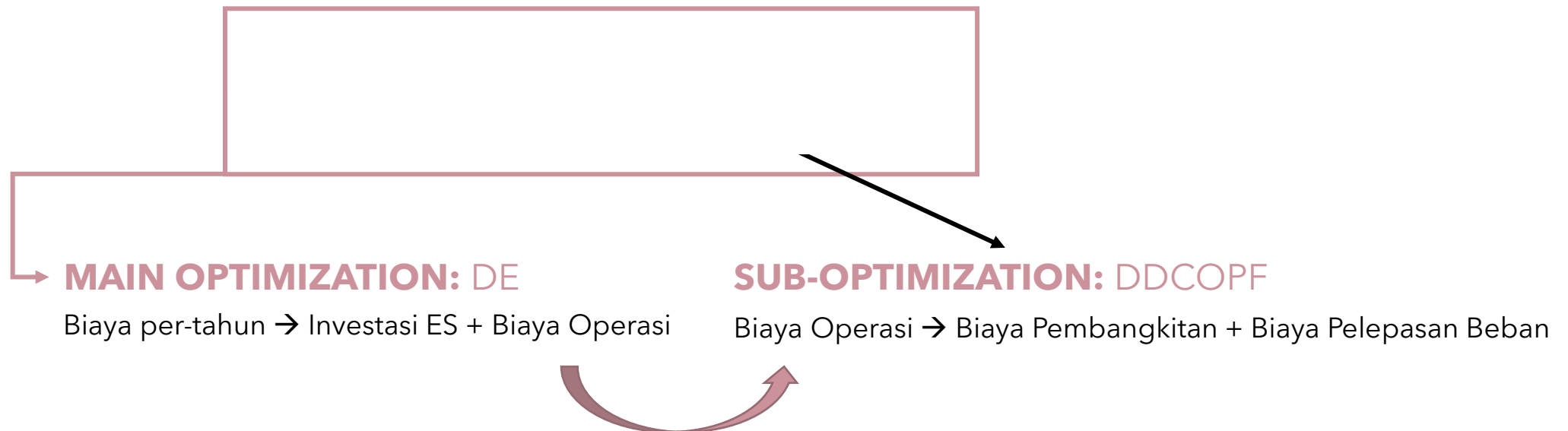
Investasi



Batasan

Rumusan Masalah

Bagaimana cara menentukan kapasitas dan lokasi *energy storage* optimal dengan mempertimbangkan batasan sistem, batasan *energy storage*, dan pelepasan beban?

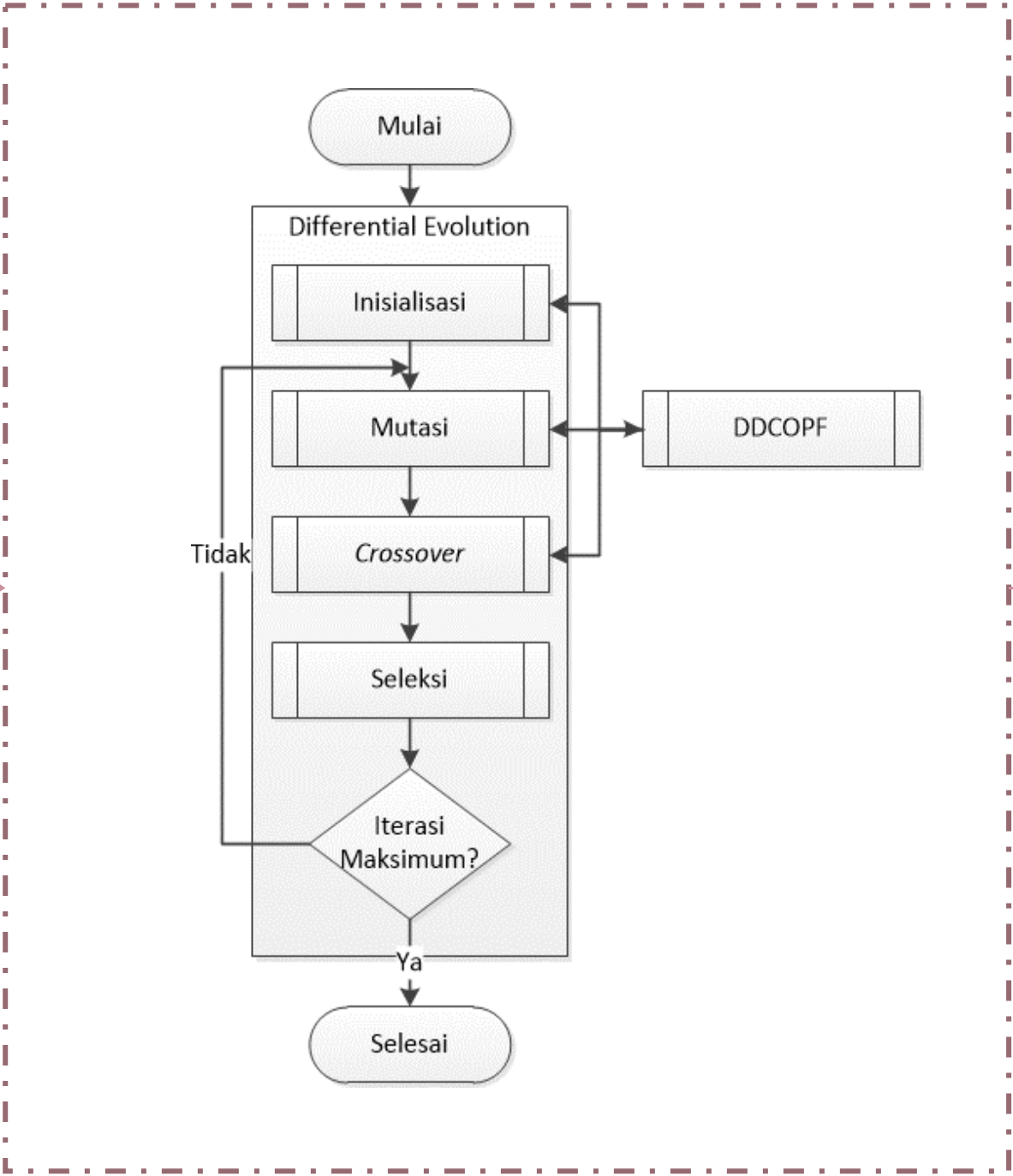


■ **Algoritma**

Parameter
DE

Batasan
DDCOPF

Plant &
Profil
Beban



Kapasitas & Letak
ES

Dispatch 24 Jam

MAIN OPTIMIZATION

Differential Evolution

$Cost_{ES}$ Biaya ES
 Cap_{ES} Kapasitas ES (Ah)
 V_{ES} Tegangan ES (V)

* Baterai Li-Ion

Fitness Function

Minimize

$$F(x) = Inv_{ES} + f(P)_1 * 365 \quad (\$/tahun)$$

Biaya Investasi Baterai

$$Cost_{ES} = 209 * (\$/kWh)$$

- **Equivalent Uniform Annual Cost**

$$EUAC = Cost * \left[\frac{i}{1 - (1 + i)^{-n}} \right]$$

$$Inv_{ES} = \frac{209}{1000} Cap_{ES} V_{ES} \left[\frac{5\%}{1 - (1 + 5\%)^{-10}} \right]$$

$$Inv_{ES} = 0.027 Cap_{ES} V_{ES} \quad (\$/tahun)$$

Parameter DE	Jumlah
Jumlah Variabel	6
Populasi	50
Iterasi	1000
β_{max}	0,80
β_{min}	0,20
Crossover Probability	0,20

Multi-objective: Weighted Sum

$$\min\{F(P)\} = \min \left\{ \sum_{n=1}^2 w_n S_n f(P)_n \right\}$$

Objective 1: Fungsi Biaya Operasi

Minimize

$$f(P)_1 =$$

Biaya Pembangkitan

Biaya Pelepasan
Beban

- Equality Constraint (**Active power balance**)

$$P_{Li}^t - P_{Gi}^t + P_{IN\ i}^t = 0$$

$$P_{IN}^t = \sum_{x_{ij}} \frac{1}{x_{ij}} [\theta_i - \theta_j]$$

- Inequality Constraint

$$|P_{ij}^t| \leq P_{ij}$$

(Kapasitas saluran)

$$P_{Gi\ min} \leq P_{Gi} \leq P_{Gi\ max}$$

(Pembangkitan min/max)

$$-\delta_i \leq P_{Gi}^{t+1} - P_{Gi}^t \leq \delta_i$$

(Ramp rate)

SUB-OPTIMIZATION

Dynamic DC Optimal Power Flow

$$k = 0,094 (\$/kWh)$$

P_{ij} Kapasitas Saluran

$|P_{ij}^t|$ Daya Saluran saat t

δ_i Ramp Rate Pembangkit-i

ΔP_{Li}^t Load Curtailment

Objective 2: Fungsi Transaksi Energi ES

$$f(P)_2 = \sum_{j=1}^{N_{ES}} \sqrt{\sum_{t=1}^T (P_{ES-j}^t)^2} \text{ kWh}$$

Minimize

Inequality Constraint

$$-P_{ch \text{ min}} \leq P_{ES}(t) \leq P_{dch \text{ max}} \quad (\text{Daya Charging/Discharging})$$

$$SOC_{\text{min}} \leq SOC(t) \leq SOC_{\text{max}} \quad (\text{State of Charge})$$

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

SUB-OPTIMIZATION

Dynamic DC Optimal Power Flow

LiFePO4

$$I_{ch \text{ max}} = 125 \text{ A} \quad I_{dch \text{ max}} = 180 \text{ A}$$

$$SOC_{\text{min}} = 0.2 \quad SOC_{\text{max}} = 0.8$$

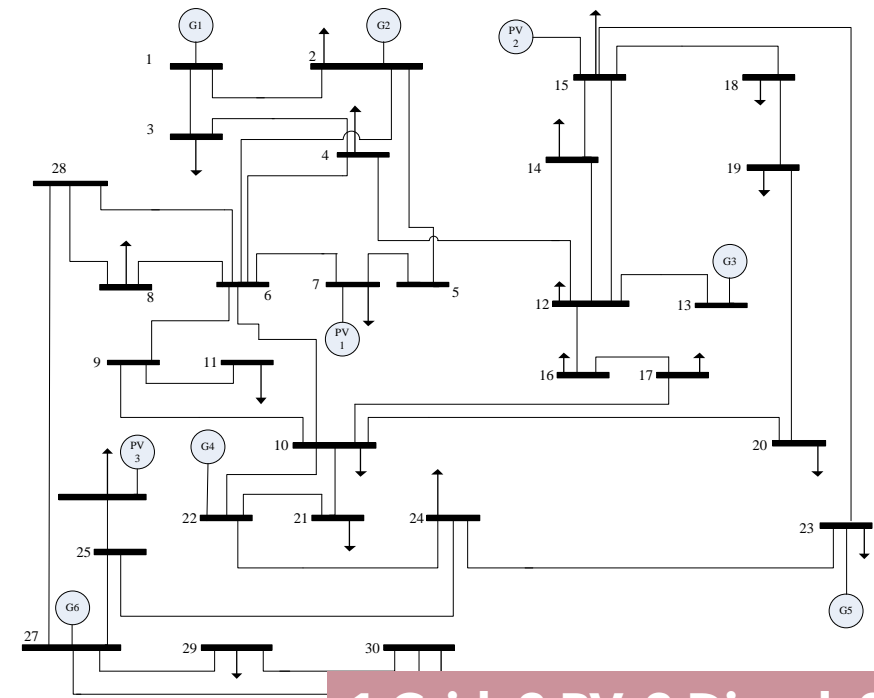
$$P_{ES}(t) = I(t) V_{ES}$$

$$E_{ES}(t) = Cap_{ES} V_{ES} SOC(t)$$

Kasus

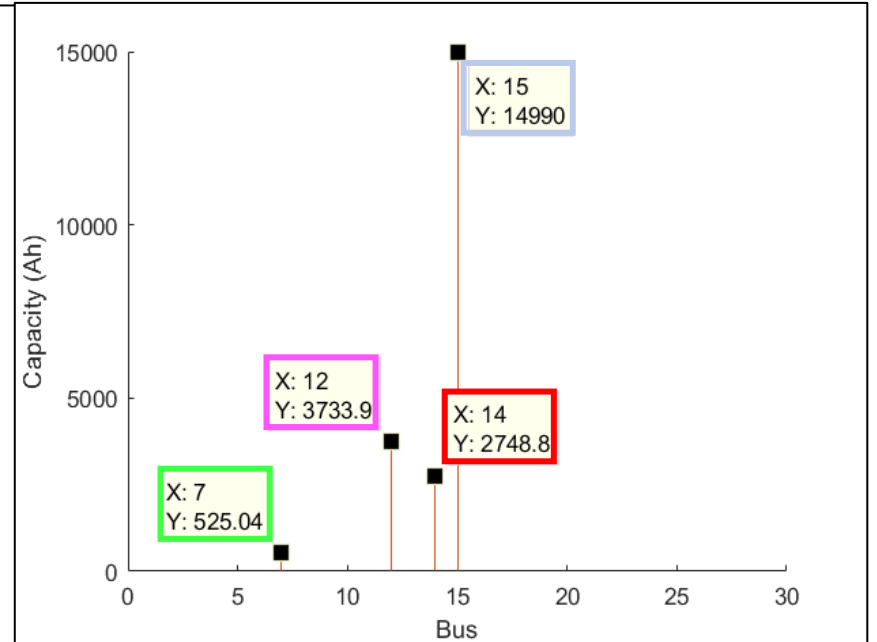
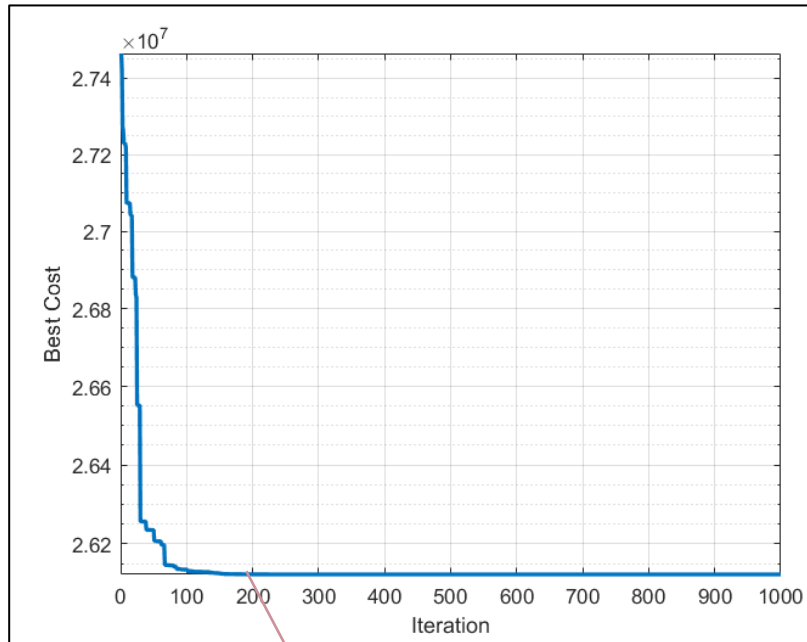
1. Mikrogrid *hybrid* tanpa baterai
2. Mikrogrid *hybrid* **dengan baterai**
3. Mikrogrid ***islanded*** **dengan baterai**

Bus	Energy Storage	Cap. Min (Ah)	Cap. Max (Ah)	State of Charge	Volt
7	Energy Storage 1	0	99999	0,8	72
15	Energy Storage 2	0	99999	0,8	72
??	Energy Storage 3	0	99999	0,8	72
??	Energy Storage 4	0	99999	0,8	72

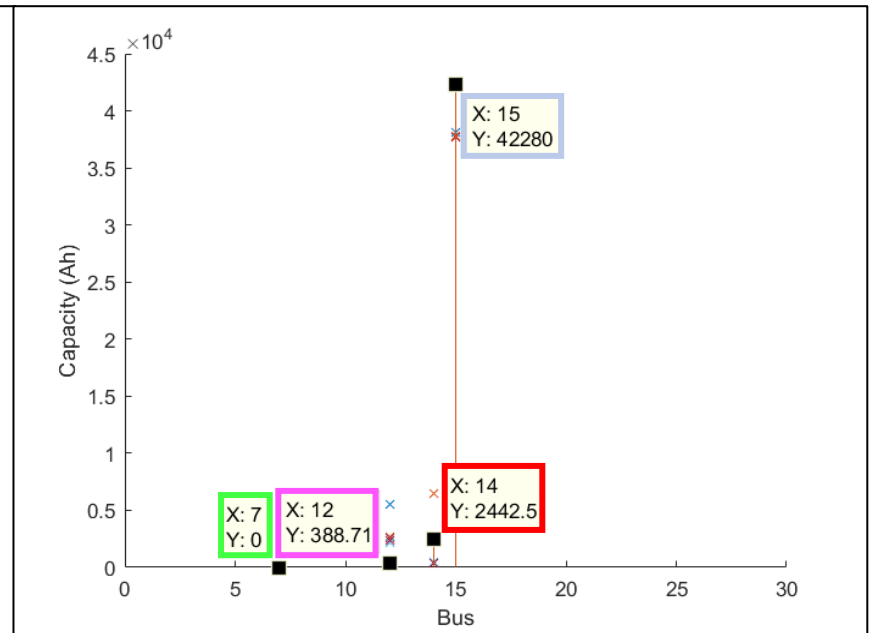
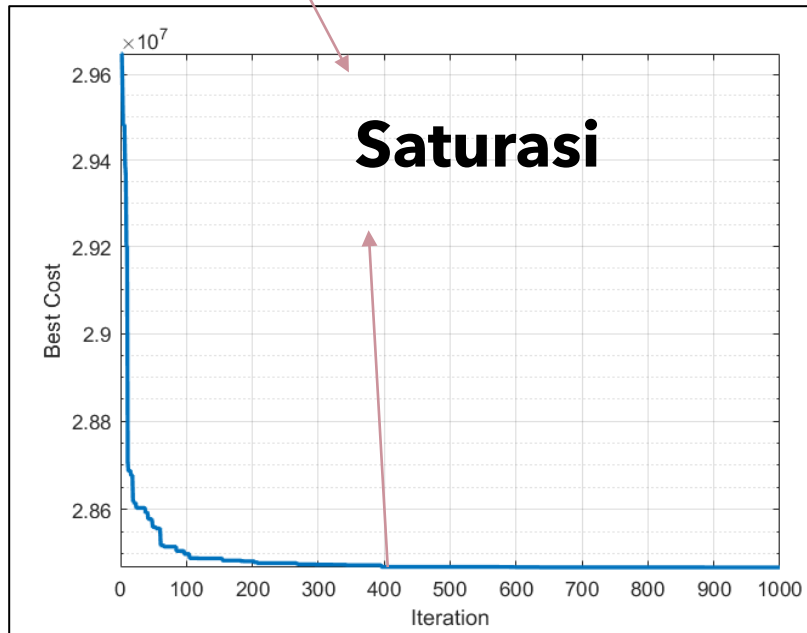


1 Grid, 3 PV, 3 Diesel, 2 MT

kasus 2
Hybdrid dengan ES



kasus 3
Isolated dengan ES



ES-1

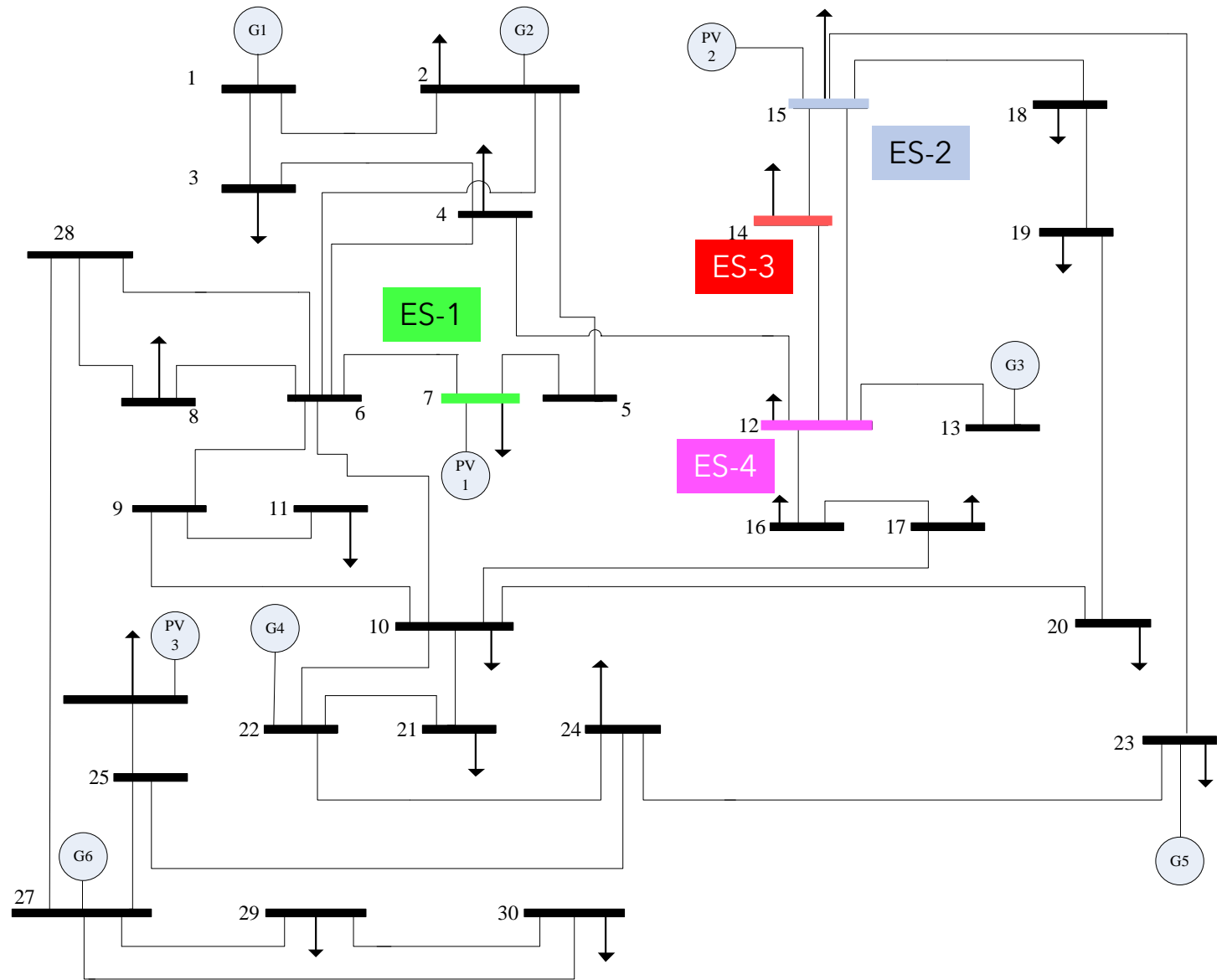
ES-2

ES-3

ES-4

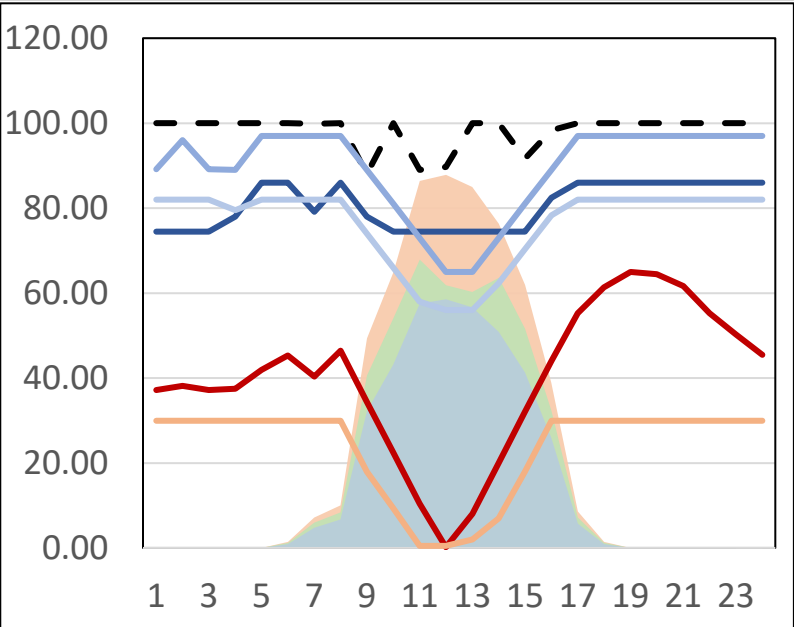
ES	Nama
ES-1	Energy Storage 1
ES-2	Energy Storage 2
ES-3	Energy Storage 3
ES-4	Energy Storage 4

G	Nama	Pmin (kW)	Pmax (kW)
G1	PLN	0,00	100,0
G2	MT-1	0,00	65,00
G3	Diesel 1	74,50	86,00
G4	Diesel 2	52,00	97,00
G5	Diesel 3	56,00	82,00
G6	MT-2	0,00	30,00

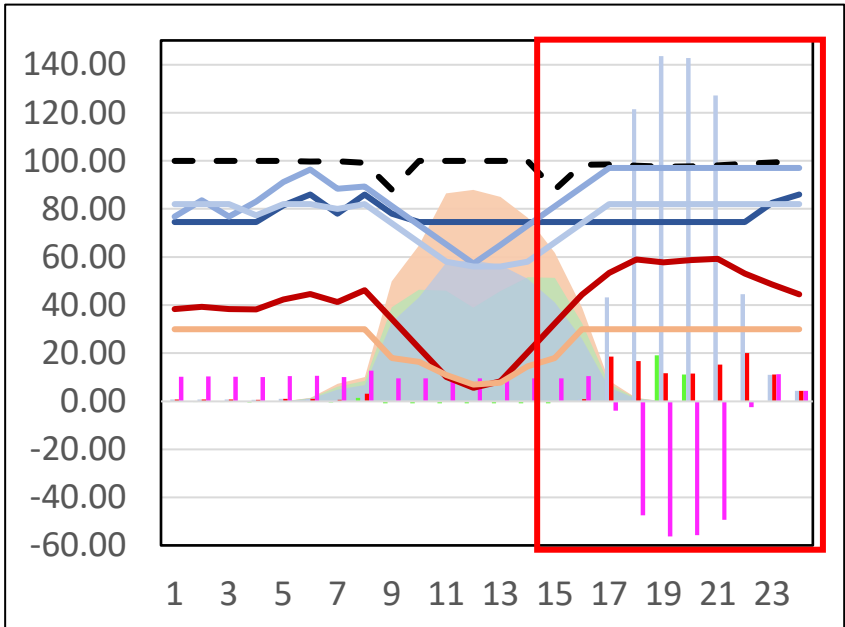


■ Daya Terbangkit 24 Jam

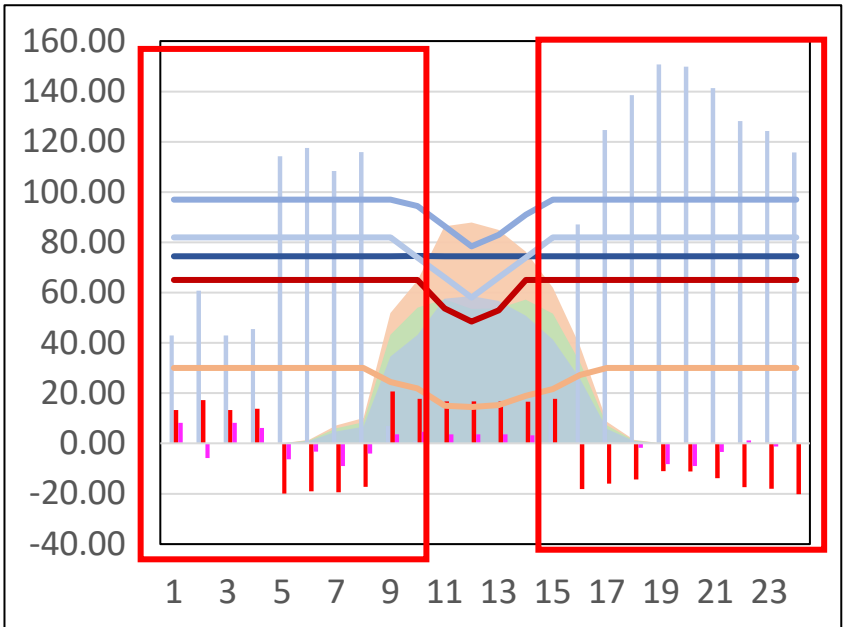
Kasus 1: Hybrid Tanpa ES



Kasus 2: Hybrid dengan ES



Kasus 3: Isolated dengan ES



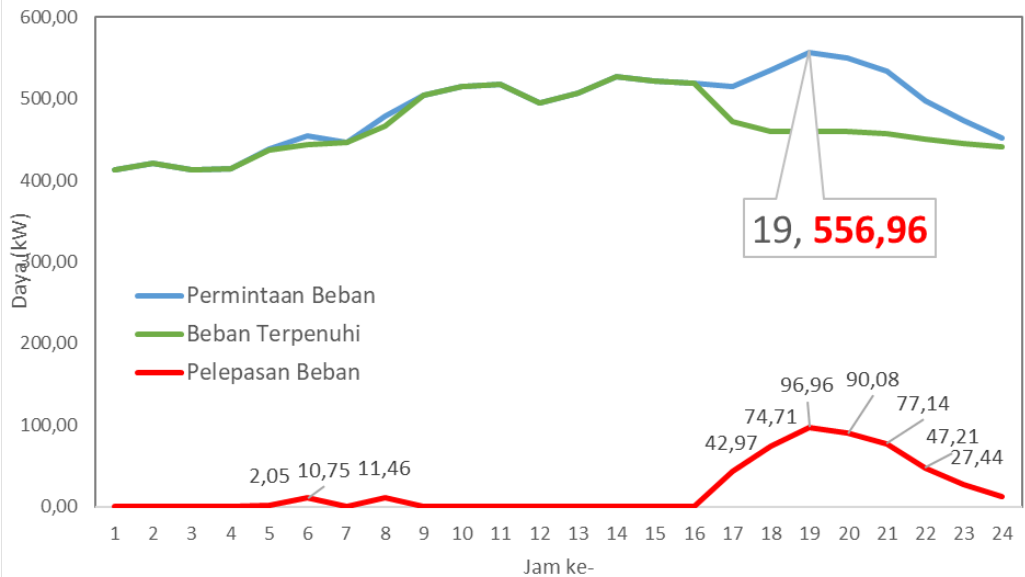
Daya (kW)

Jam

- PV-1
- PV-2
- PV-3
- ES-1
- ES-2
- ES-3
- ES-4
- PLN
- MT1
- Die1
- Die2
- Die3
- MT-2

- PV
- Pembangkit / PLN
- Energy Storage

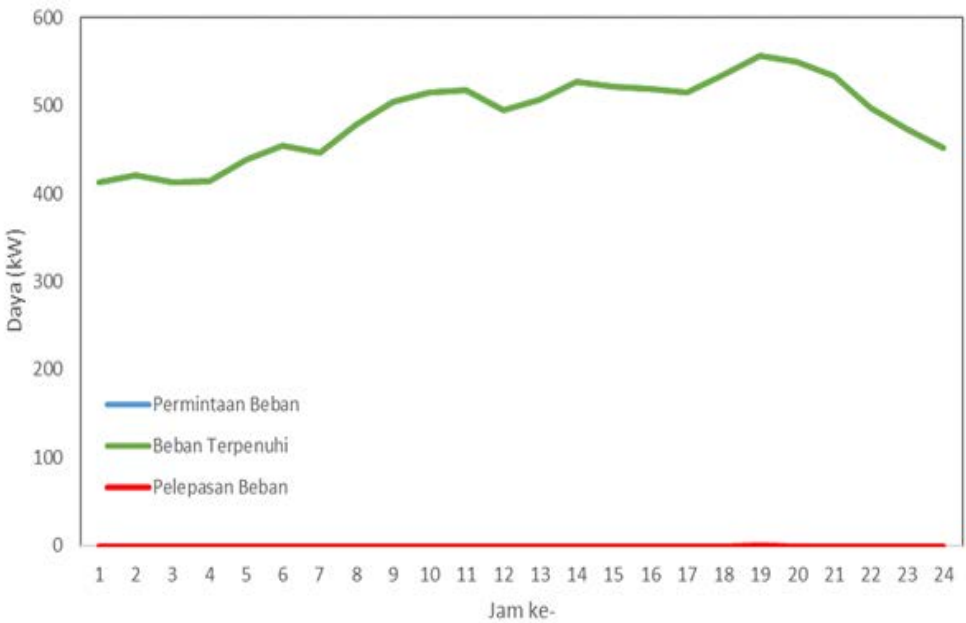
Jam	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
PLN	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,88	100,00	88,00	100,00	89,00	89,69	99,99	100,00	91,62	98,33	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
MT-1	37,17	38,16	37,17	37,54	41,95	45,34	40,37	46,45	34,45	22,45	10,45	0,19	8,04	20,04	32,04	44,04	55,28	61,35	65,00	64,45	61,70	55,30	50,29	45,51
ES-1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PV 1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,44	7,20	10,08	49,39	64,80	86,40	87,84	84,96	76,32	61,92	38,88	8,64	1,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ES-2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Diesel 1	74,50	74,50	74,50	78,00	86,00	86,00	79,15	86,00	78,00	74,50	74,50	74,50	74,50	74,50	74,50	82,50	86,00	86,00	86,00	86,00	86,00	86,00	86,00	86,00
PV 2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,20	6,00	8,40	40,63	54,00	67,86	61,89	60,29	63,60	51,60	32,40	7,20	1,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ES-3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Diesel 2	89,20	96,05	89,20	89,00	97,00	97,00	97,00	97,00	89,00	81,00	73,00	65,00	65,00	73,00	81,00	89,00	97,00	97,00	97,00	97,00	97,00	97,00	97,00	97,00
Diesel 3	82,00	82,00	82,00	79,49	82,00	82,00	82,00	82,00	74,00	66,00	58,00	56,00	56,00	62,32	70,32	78,32	82,00	82,00	82,00	82,00	82,00	82,00	82,00	82,00
ES-4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PV 3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,96	4,80	6,72	32,24	43,20	57,60	58,56	56,64	50,88	41,28	25,92	5,76	0,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MT-2	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	18,00	9,31	0,52	0,54	2,00	6,99	18,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
Total	412,87	420,71	412,87	414,03	436,95	443,94	446,40	466,65	503,70	515,26	517,33	494,21	507,42	527,65	522,28	519,39	471,88	459,95	460,00	459,45	456,70	450,30	445,29	440,51



Pelepasan Beban
492,35 kWh

Kasus 1: Hybdrid Tanpa ES

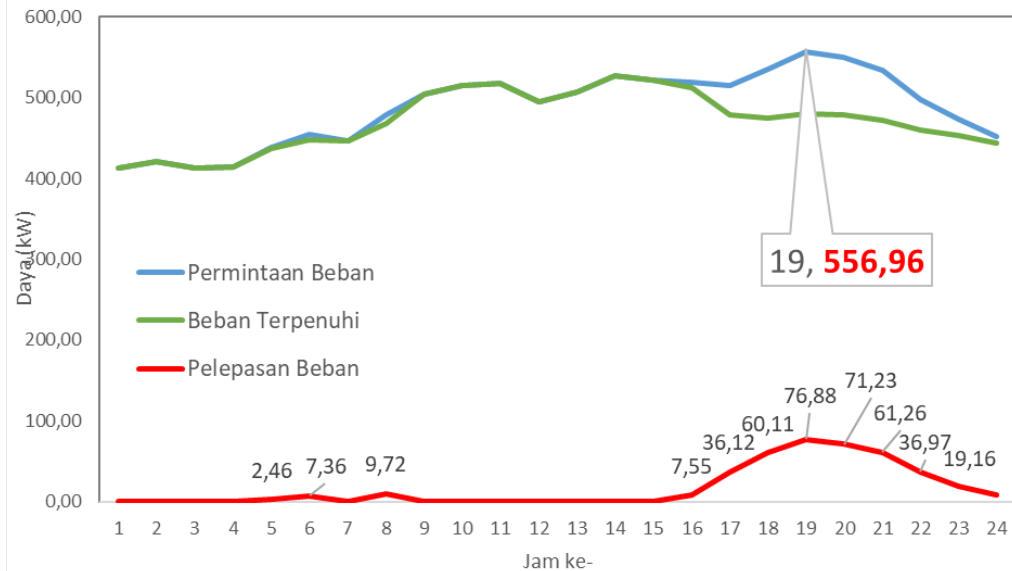
Jam	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
PLN	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,70	99,88	99,20	88,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	88,00	98,33	98,43	98,01	97,53	97,69	98,02	98,79	99,32	99,76
MT-1	38,31	39,31	38,31	38,26	42,27	44,59	41,31	46,16	34,16	22,16	10,16	5,61	8,27	20,27	32,27	44,27	53,39	58,91	57,72	58,73	59,21	53,12	48,62	44,39
ES-1	-0,40	-0,36	-0,40	-0,47	-0,21	-0,17	-0,46	1,34	-0,92	-0,86	-0,88	-0,89	-0,89	-0,87	-0,92	-0,20	0,00	0,00	19,15	11,10	0,00	0,00	0,00	0,00
PV 1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,44	7,20	10,08	49,87	64,80	86,40	87,84	84,96	76,32	61,64	38,88	8,64	1,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ES-2	0,70	0,75	0,70	0,59	0,96	1,02	0,61	3,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,90	43,25	121,48	143,58	142,69	127,17	44,55	10,98	4,27
Diesel 1	74,50	74,50	74,50	74,50	81,45	86,00	78,00	86,00	78,00	74,50	74,50	74,50	74,50	74,50	74,50	74,57	74,50	74,50	74,50	74,50	74,50	74,50	82,50	86,00
PV 2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,20	6,00	8,40	39,08	46,42	46,00	38,96	45,81	51,55	51,30	32,40	7,20	1,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ES-3	0,70	0,75	0,70	0,59	0,96	1,03	0,61	3,15	0,00	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	0,00	0,91	18,61	16,68	11,70	11,47	15,27	19,99	11,09	4,31
Diesel 2	76,85	83,52	76,85	83,10	91,10	96,40	88,40	89,24	81,24	73,24	65,24	57,24	65,00	73,00	81,00	89,00	97,00	97,00	97,00	97,00	97,00	97,00	97,00	97,00
Diesel 3	82,00	82,00	82,00	77,36	82,00	82,00	79,93	82,00	74,00	66,00	58,00	56,00	56,00	58,00	66,00	74,00	82,00	82,00	82,00	82,00	82,00	82,00	82,00	82,00
ES-4	10,20	10,25	10,20	10,09	10,47	10,53	10,11	12,68	9,49	9,46	9,47	9,48	9,48	9,46	9,49	10,41	-3,92	-47,51	-56,21	-55,65	-49,33	-2,44	11,23	4,36
PV 3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,96	4,80	6,72	32,78	43,20	57,60	58,56	56,64	50,88	41,00	25,92	5,76	0,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MT-2	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	18,00	16,36	10,85	6,92	7,65	14,54	18,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
Total	412,87	420,71	412,87	414,03	439,00	454,69	446,40	478,10	503,70	515,26	517,33	494,21	507,42	527,65	522,28	519,39	514,85	534,67	556,96	549,53	533,84	497,51	472,74	452,09



Pelepasan Beban
0,00 kWh

Kasus 2: Hybdrid dengan ES

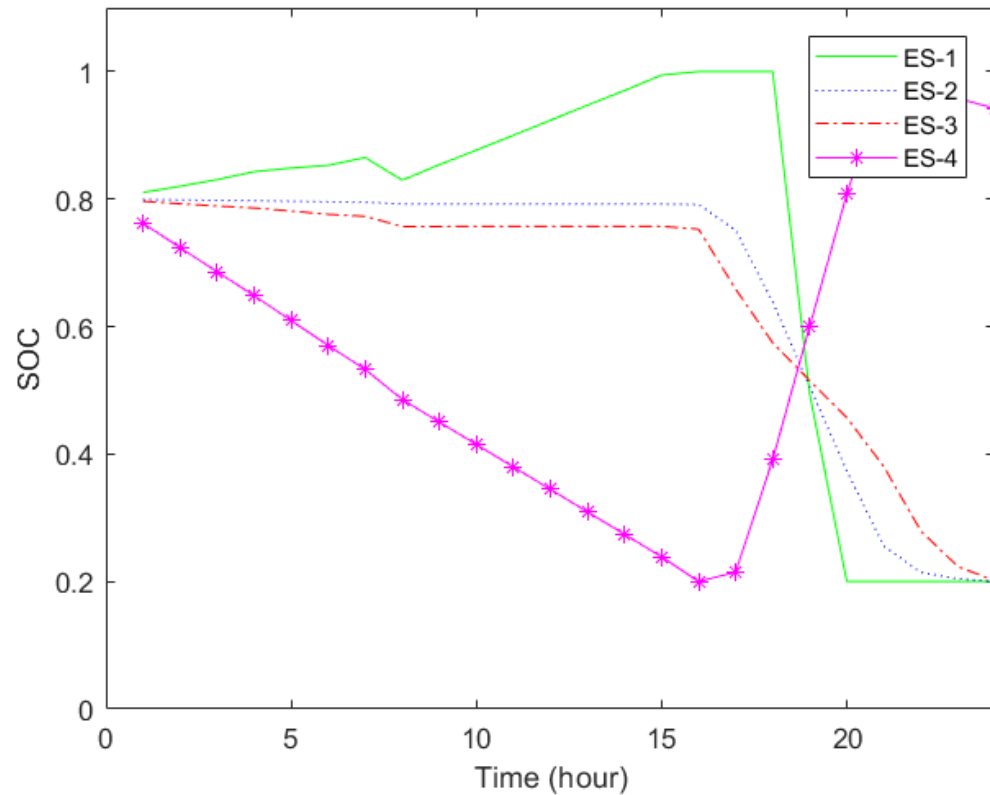
Jam	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
MT-1	65,00	65,00	65,00	65,00	65,00	65,00	65,00	65,00	65,00	65,00	53,68	48,45	53,00	65,00	65,00	65,00	65,00	65,00	65,00	65,00	65,00	65,00	65,00	65,00
PV 1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,44	7,20	10,08	51,84	64,80	86,40	87,84	84,96	76,32	61,92	38,88	8,64	1,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ES-2	42,90	60,74	42,90	45,53	114,27	117,49	108,33	115,91	6,99	1,05	0,00	0,00	0,00	0,00	9,53	87,07	124,66	138,56	150,74	149,92	141,34	128,25	124,22	115,82
Diesel 1	74,50	74,50	74,50	74,50	74,50	74,50	74,50	74,50	74,50	74,54	74,50	74,50	74,50	74,50	74,50	74,50	74,50	74,50	74,50	74,50	74,50	74,50	74,50	74,50
PV 2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,20	6,00	8,40	43,20	54,00	57,39	53,56	53,71	57,18	51,60	32,40	7,20	1,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ES-3	13,26	17,26	13,26	13,85	-19,97	-19,06	-19,46	-17,25	20,64	17,74	16,70	16,71	16,73	16,56	17,80	-18,12	-16,03	-14,35	-10,96	-11,10	-13,84	-17,38	-17,97	-20,17
Diesel 2	97,00	97,00	97,00	97,00	97,00	97,00	97,00	97,00	97,00	94,43	86,43	78,43	82,94	90,94	97,00	97,00	97,00	97,00	97,00	97,00	97,00	97,00	97,00	97,00
Diesel 3	82,00	82,00	82,00	82,00	82,00	82,00	82,00	82,00	82,00	74,00	66,00	58,00	66,00	74,00	82,00	82,00	82,00	82,00	82,00	82,00	82,00	82,00	82,00	82,00
ES-4	8,21	-5,78	8,21	6,15	-6,25	-3,20	-8,97	-3,97	3,58	4,62	3,61	3,62	3,68	3,29	0,00	0,00	0,00	-1,75	-8,20	-9,02	-3,42	1,17	-1,17	0,00
PV 3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,96	4,80	6,72	34,56	43,20	57,60	58,56	56,64	50,88	41,28	25,92	5,76	0,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MT-2	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	24,40	21,89	15,02	14,54	15,26	18,98	21,65	27,19	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
Total	412,87	420,71	412,87	414,03	436,55	447,33	446,40	468,39	503,70	515,26	517,33	494,21	507,42	527,65	522,28	511,84	478,73	474,56	480,08	478,30	472,58	460,54	453,58	444,15



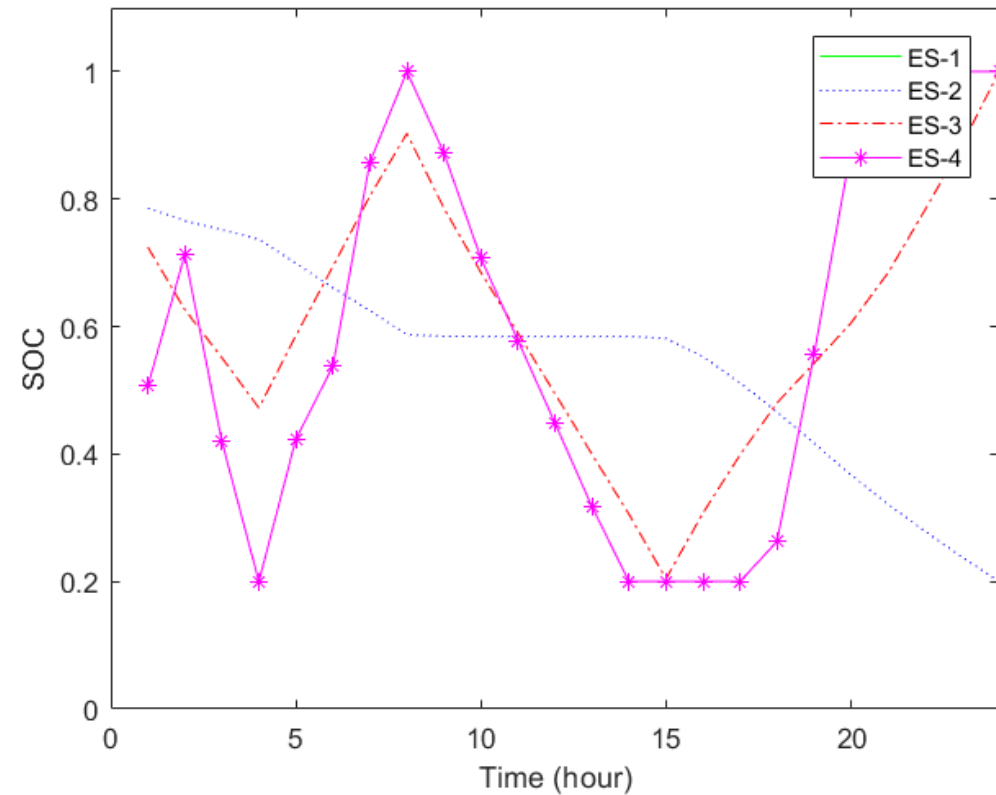
Pelepasan Beban
396,75 kWh

Kasus 3: Islanded dengan ES

State of Charge Energy Storage



Kasus 2: Hybrid dengan ES



Kasus 3: Isolated dengan ES

kasus 1

Biaya Operasi Mikrogrid		
Biaya Pembangkitan	\$75.894	/hari
Biaya Pelepasan Beban	\$46	/hari
Biaya Operasi	\$75.940	/hari
Total Biaya	\$27.718.172	/tahun

kasus 2

Biaya Operasi Mikrogrid		
Biaya Pembangkitan	\$71.453	/hari
Biaya Pelepasan Beban	\$0	/hari
Biaya Operasi	\$71.453	/hari
Biaya Investasi ES		
ES-1	\$1.023	/tahun
ES-2	\$29.211	/tahun
ES-3	\$5.357	/tahun
ES-4	\$7.276	/tahun
Biaya per-tahun		
Biaya Operasi Mikrogrid	\$26.080.408	/tahun
Biaya Investasi ES	\$42.867	/tahun
Total Biaya	\$26.123.275	/tahun

kasus 3

Biaya Operasi Mikrogrid		
Biaya Pembangkitan	\$77.719	/hari
Biaya Pelepasan Beban	\$37	/hari
Biaya Operasi	\$77.757	/hari
Biaya Investasi ES		
ES-1	\$0	/tahun
ES-2	\$82.392	/tahun
ES-3	\$4.760	/tahun
ES-4	\$757	/tahun
Biaya per-tahun		
Biaya Operasi	\$28.381.182	/tahun
Biaya Investasi ES	\$87.909	/tahun
Total Biaya	\$28.469.091	/tahun

Kesimpulan

1. *Differential Evolution* dan DDCOPF dapat digunakan untuk menentukan lokasi dan kapasitas ES optimal. Dimana semakin besar jumlah iterasi dan jumlah populasi akan menurunkan biaya per-tahun sampai di titik saturasi.
2. Penentuan kapasitas serta alokasi *energy storage* optimal berpotensi mengurangi biaya per-tahun.
3. Kapasitas dan letak *energy storage* optimal menyesuaikan dengan permintaan beban dan konfigurasi sistem.
4. Pelepasan beban tetap dilakukan pada beberapa kasus dikarenakan kapasitas pembangkit dan ES tidak mencukupi permintaan beban.

TERIMA
KASIH

