

# *ECONOMIC DISPATCH MIKROGRID HYBRID DENGAN DISTRIBUTED ENERGY STORAGE BERBASIS METODE QUADRATIC PROGRAMMING*



**Oleh:**

Kemas Robby Firmansyah

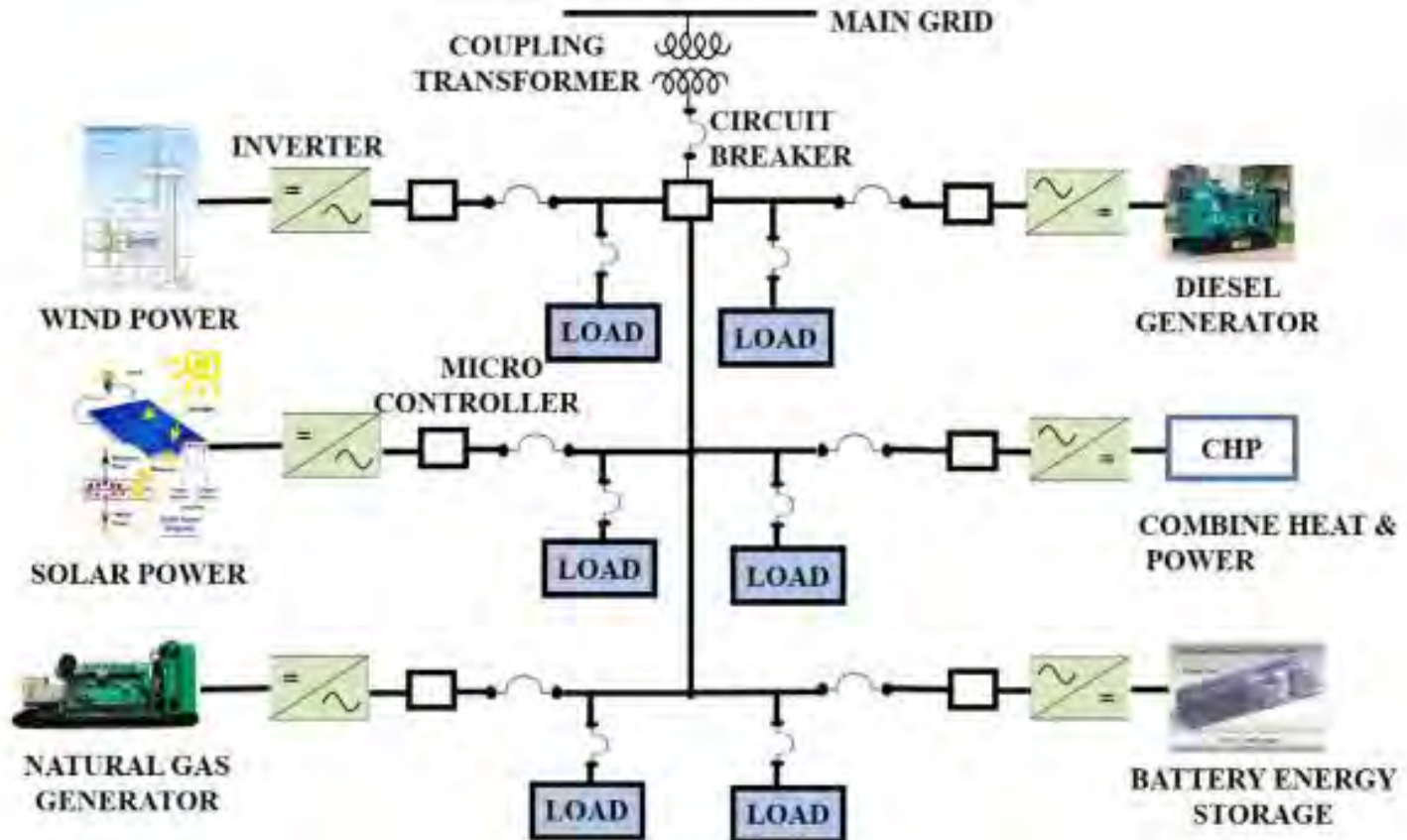
2212100030

**Dosen Pembimbing:**

Dr. Eng. Rony Seto Wibowo, S.T., M.T.

Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, M.T.

# LATAR BELAKANG




---

# PERMASALAHAN

---

**1.** Penerapan quadratic programming pada economic dispatch mikrogrid hybrid dengan distributed energy storage.



**2.** Pembebanan optimal setiap unit pembangkit untuk memenuhi permintaan beban.

**3.** Keadaan energy storage saat terjadi pembebanan sehingga memenuhi persyaratan.

---

# TUJUAN

---

1.

Dapat menerapkan metode quadratic programming untuk economic dispatch mikrogrid hybrid dengan distributed energy storage.

2.

Mendapatkan pembebanan optimal untuk setiap unit pembangkit sehingga kebutuhan beban dapat terpenuhi.

3.

Mendapatkan keadaan energy storage saat terjadi pembebanan sehingga memenuhi persyaratan.



---

# BATASAN MASALAH

---

Sistem dalam  
keadaan stabil

Rugi-rugi pada  
saluran transmisi  
diabaikan

Ketersediaan  
bahan bakar tidak  
terbatas

Tidak ada proses  
penjualan ke  
pihak PLN

Sistem  
digunakan  
berdasarkan  
*IEEE case 14*  
bus



elektro - Its

---

# SEL SURYA

---

- $CF(P_{PV}) = bP_{PV}$

Dimana:

$CF(P_{PV})$  total biaya operasi sel surya dalam \$/h.

$B$  koefisien sel surya, dengan nilai  $b=0,55$ .

$P_{PV}$  keluaran daya dari sel surya dalam  $mW$ .

---

# ENERGY STORAGE

---

- $CF(P_{ES}) = bP$

Dimana:

$CF(P_{ES})$  total biaya operasi *energy storage* dalam \$/h.

$B$  koefisien *energy storage*, dengan nilai  $b=0,119$ .

$P_{ES}$  keluaran daya dari *energy storage* dalam  $mW$ .

---

# MIKRO TURBIN

---

- $CF(P_{MT}) = a + bP_{MT} + cP_{MT}^2$

Dimana:

$CF(P_{MT})$  total biaya operasi mikro turbin dalam \$/h.

$a, b,$  dan  $c$  koefisien cost function, dengan masing-masing nilai  $a=9,$   $b=0,3,$  dan  $c=0,000315.$

$P_{MT}$  keluaran daya dari turbin mikro dalam  $mW.$

---

# GENERATOR DIESEL

---

- $CF(P_{DG}) = a + bP_{DG} + cP_{DG}^2$

Dimana:

$CF(PDG)$  total biaya operasi generator diesel dalam \$/h.

$a, b,$  dan  $c$  koefisien cos function, dengan masing-masing nilai  $a=14,88,$   $b=0,3,$  dan  $c=0,0004351.$

$P_{DG}$  keluaran daya dari generator diesel dalam  $mW.$



elektro - its

---

# PLN

---

- Harga listrik per *kwh* (l) : Rp. 1.342,98
- Kurs IDR ke *USD* (K) : Rp. 13.333,33
- *Cost Function* ( $CF(P_{PLN})$ ) :  $\frac{l}{K \times 1000}$

Dimana:

$CF(P_{PLN})$  total biaya operasi PLN dalam \$/h.

$P_{PLN}$  keluaran daya dari PLN dalam *mW*.



elektro - its



---

# ECONOMIC DISPATCH

---

## Fungsi Objektif

$$CF(P) = CF(P_{ES}) + CF(P_{DG}) + CF(P_{MT}) + CF(P_{PV}) + CF(P_{PLN})$$

## Equality Constraint

### 1. Active Power Balance

$$P_{load} = P_{ES} + P_{DG} + P_{MT} + P_{PV} + P_{PLN}$$

## Inequality Constraints

### 1. Pembangkitan

$$P_i^{min} \leq P_i \leq P_i^{max}$$

### 2. Energy Storage

$$E_{ES,min}(t) \leq E_{ES,in}(t) \leq E_{ES,max}(t)$$

$$E_{ES}(t) = E_{ES}(t-1) - P_{ES}(t) * a$$



---

# QUADRATIC PROGRAMMING

---

Fungsi Objektif

$$f(x) = f + c^T x + \frac{1}{2} x^T H x$$

Equality Constraint

$$lb = ub = b_{eq}$$

$$Ax = b_{eq}$$

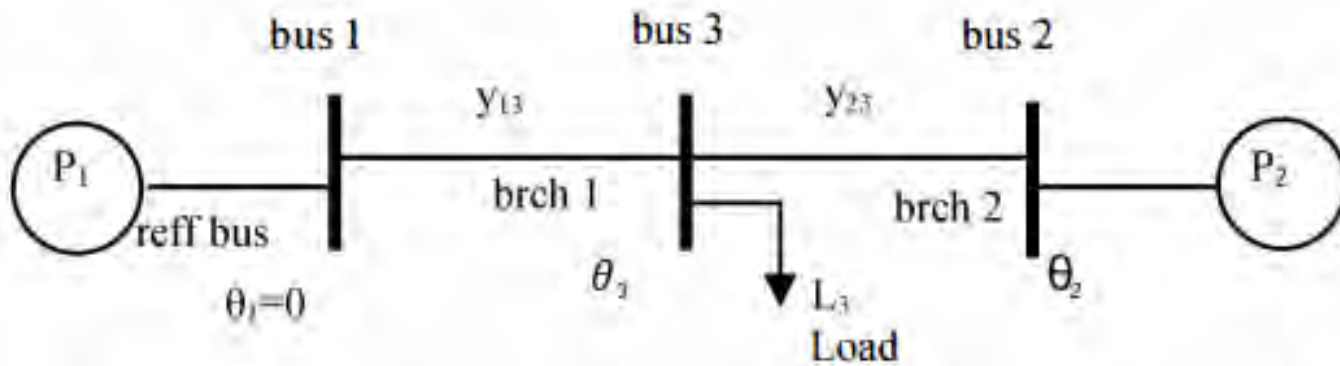
Inequality Constraints

$$lb \leq Ax \leq ub$$

$$x_{\min} \leq x \leq x_{\max}$$



# ED MENGGUNAKAN QUADARATIC PROGRAMMING



3 Bus; 2 Unit pembangkit ; 1 Load bus

# ED MENGGUNAKAN QUADARATIC PROGRAMMING

## Matriks H & C

**Matriks H**

Koefisien orde dua variabel kontrol

$$H = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & a_{11} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & a_{21} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & a_{12} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & a_{22} \end{bmatrix}$$

**Matriks C**

Koefisien orde satu variabel kontrol

$$C = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ b_{11} \\ b_{21} \\ 0 \\ 0 \\ b_{12} \\ b_{22} \end{bmatrix}$$


Koefisien orde dua daya pembangkitan

Koefisien orde satu daya pembangkitan

$$f(x) = \frac{1}{2} x^T H x + c^T x + f$$

$$CF(P) = CF(P_{ES}) + CF(P_{DG}) + CF(P_{MT}) + CF(\bar{P}_{PV}) + CF(P_{PLN})$$

$$F_i(P_i) = a_i P_{Gi}^2 + b_i P_{Gi} + c_i$$



# ED MENGGUNAKAN QUADARATIC PROGRAMMING

## Matriks A

$[A_{eq}]$

$$PG = \begin{bmatrix} y_{13} & 0 & -y_{13} & -1 & 0 \\ 0 & y_{23} & -y_{23} & 0 & -1 \\ -y_{31} & -y_{32} & y_{33} & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$[A_{ineq}]$

$$PIN = \begin{bmatrix} y_{13} & 0 & -y_{13} & 0 & 0 \\ 0 & y_{23} & -y_{23} & 0 & 0 \\ -y_{13} & 0 & y_{13} & 0 & 0 \\ 0 & -y_{23} & y_{23} & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$ES = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$PV = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

elektro - its



# IEEE 14 BUS

# SPESIFIKASI UNIT

IEEE 14 Bus Test System

# - Transmission Line #'s

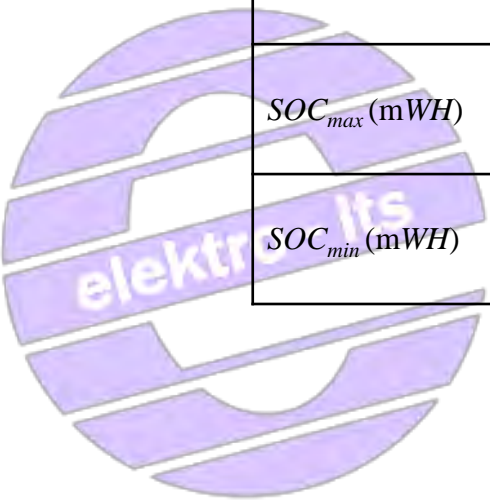
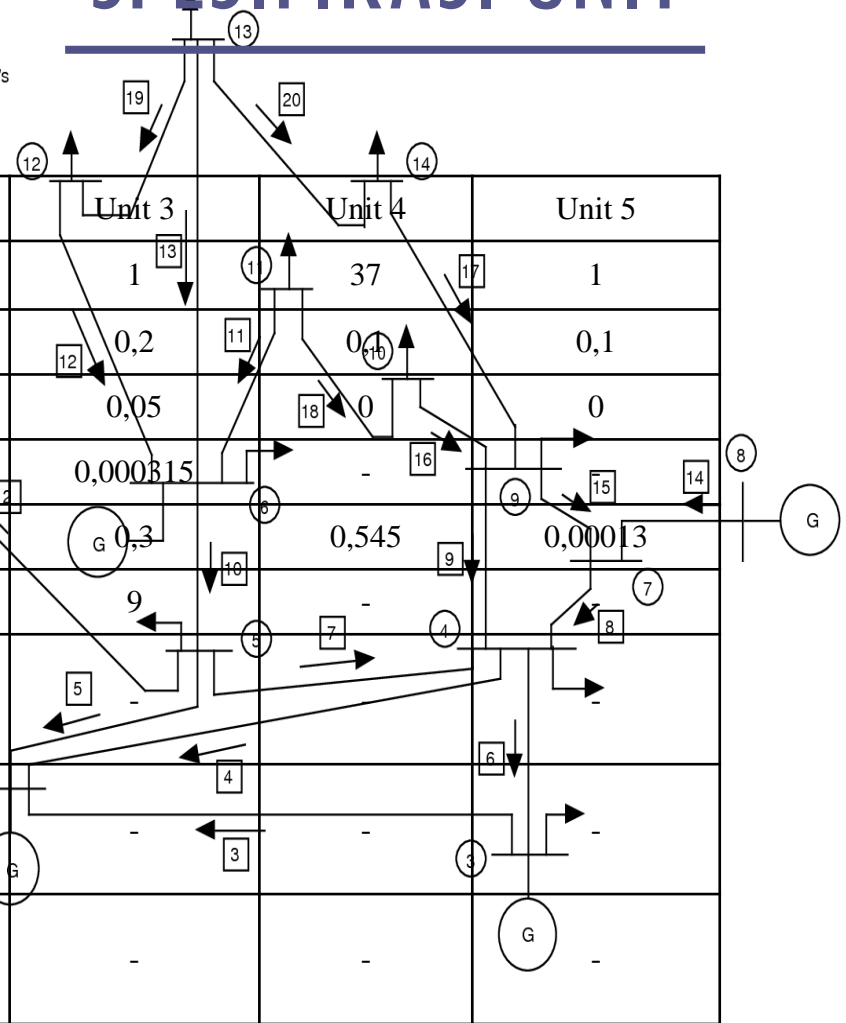
⊙ - Bus #'s

5 PEMBANGKIT

11 LOAD BUS

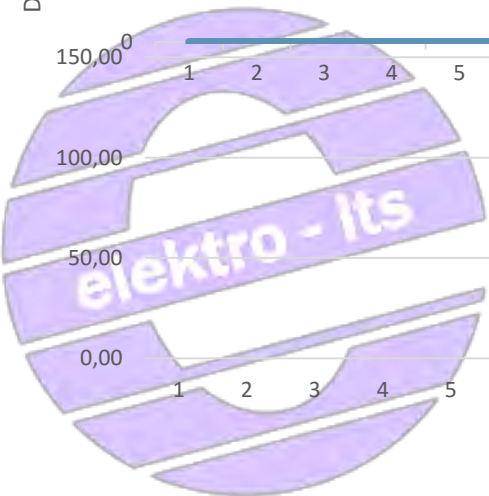
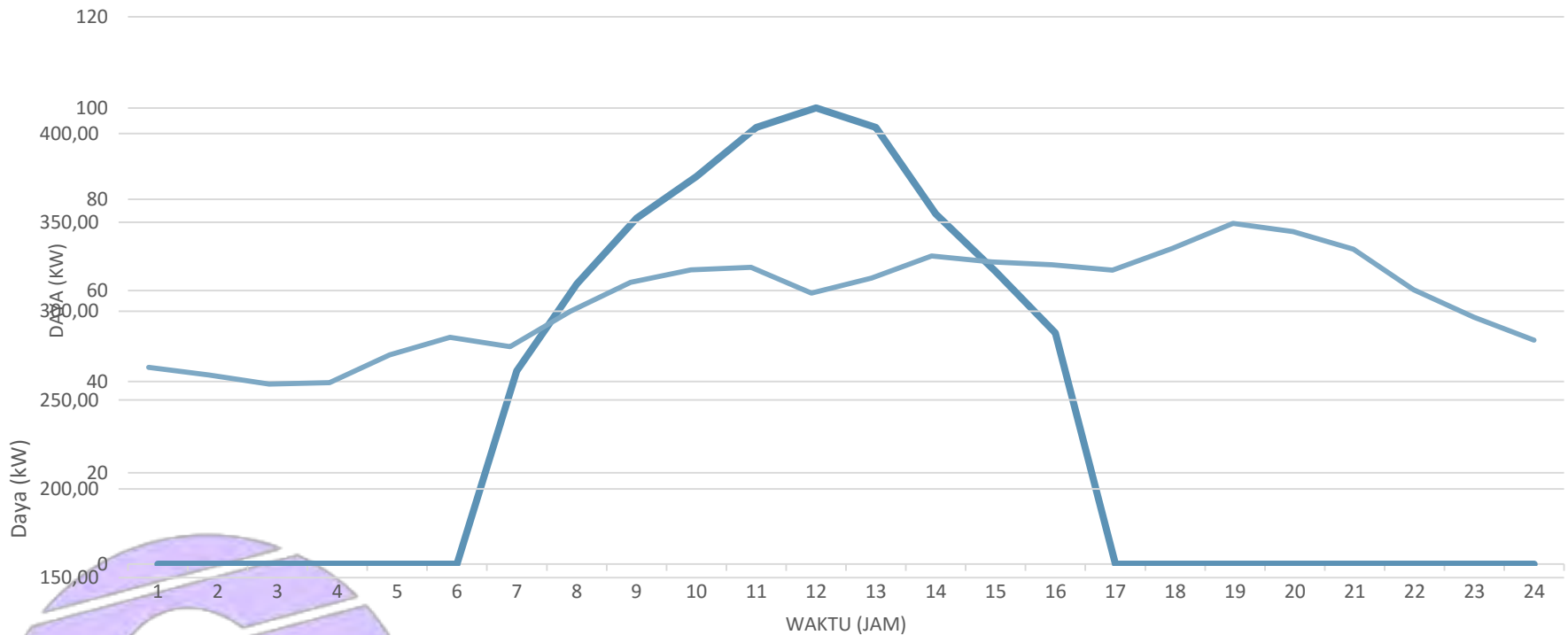
20 SALURAN TRANSMISI

	Unit 1	Unit 2	Unit 3	Unit 4	Unit 5
Jumlah Modul	1	1	1	37	1
$P_{max}$ (mW)	0,01	0,25	0,2	0,1	0,1
$P_{min}$ (mW)	-0,01	0,05	0,05	0	0
$c$ (\$/mW <sup>2</sup> H)	-	0,000435	0,000315	-	-
$b$ (\$/mWH)	0,119	0,3	0,3	0,545	0,00013
$a$ (\$/H)	-	14,8	9	-	-
Kapasitas (mWH)	0,2	-	-	-	-
$SOC_{max}$ (mWH)	0,16	-	-	-	-
$SOC_{min}$ (mWH)	0,04	-	-	-	-



# SOLAR FORECAST

# PROFIL BEBAN



Waktu (jam)



# SIMULASI DAN ANALISIS

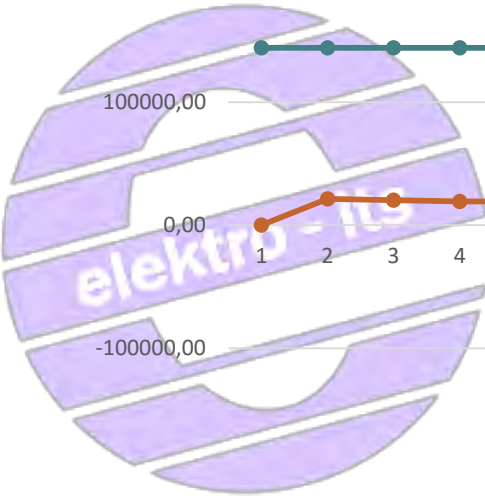
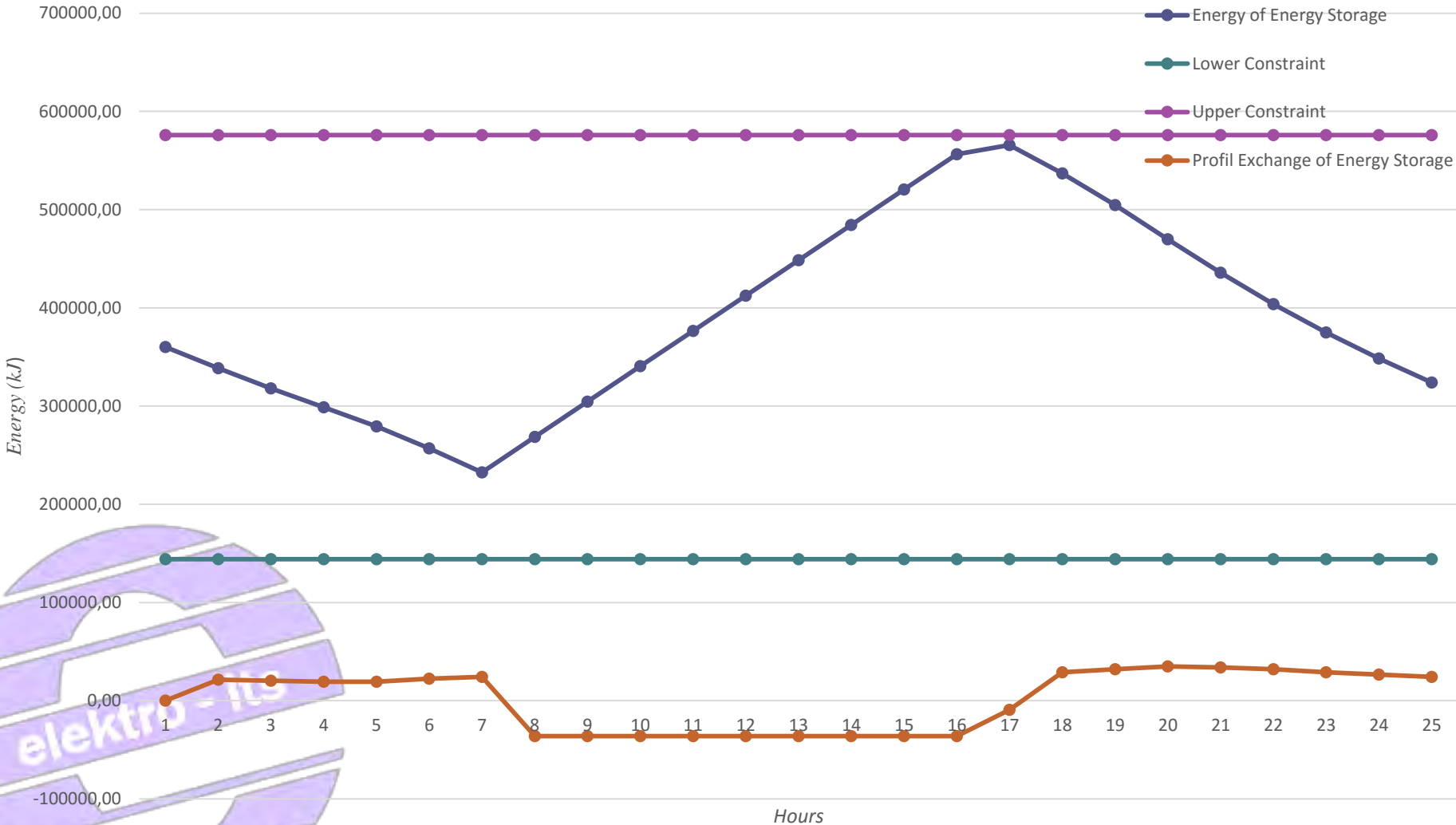
T	Unit 1 (kW)	Unit 2 (kW)	Unit 3 (kW)	Unit 4 (kW)	Unit 5 (kW)
1	5,96	80,53	81,82	0,00	100,00
2	5,68	78,68	79,67	0,00	100,00
3	5,39	75,77	77,84	0,00	100,00
4	5,39	76,07	78,27	0,00	100,00
5	6,23	83,32	85,85	0,00	100,00
6	6,75	88,58	89,91	0,00	100,00
7	-10,00	72,12	80,00	37,91	99,99
8	-10,00	71,92	79,38	58,63	99,99
9	-10,00	72,02	79,95	74,17	99,99
10	-10,00	72,99	83,50	76,77	99,99
11	-10,00	70,00	77,59	87,13	99,99
12	-10,00	60,01	60,11	99,99	99,99
13	-10,00	71,78	79,98	76,77	99,99
14	-10,00	87,31	89,98	63,81	99,99
15	-10,00	86,96	89,56	61,22	99,99
16	-2,56	89,96	92,95	45,68	100,00
17	8,03	100,79	114,24	0,00	100,00
18	8,91	101,79	124,69	0,00	100,00
19	9,72	109,78	129,87	0,00	100,00
20	9,42	107,71	127,67	0,00	100,00
21	8,91	101,79	124,13	0,00	100,00
22	8,03	100,79	103,29	0,00	100,00
23	7,36	94,26	94,94	0,00	100,00
24	6,75	87,78	89,07	0,00	100,00

# SIMULASI DAN ANALISIS

T	Fluktuasi Energy Storage (kW)	Fluktuasi Energy Storage (kJ)	Energi Energy Storage (kJ)
0	0,00	0,00	360000,00
1	5,96	21445,13	338554,87
2	5,68	20433,35	318121,52
3	5,39	19402,77	298718,75
4	5,39	19402,77	279315,98
5	6,23	22431,32	256884,66
6	6,75	24313,90	232570,76
7	-10,00	-35986,04	268556,80
8	-10,00	-35986,04	304542,85
9	-10,00	-35985,81	340528,66
10	-10,00	-35986,74	376515,40
11	-10,00	-35987,50	412502,90
12	-10,00	-35990,01	448492,91
13	-10,00	-35989,28	484482,19
14	-10,00	-35987,12	520469,31
15	-10,00	-36000,04	556469,35
16	-2,56	-9219,49	565688,85
17	8,03	28903,52	536785,33
18	8,91	32075,76	504709,58
19	9,72	34991,71	469717,87
20	9,42	33916,66	435801,21
21	8,91	32075,76	403725,45
22	8,03	28903,52	374821,94
23	7,36	26494,12	348327,82
24	6,75	24313,90	324013,91
		Min Value (kJ)	232570,76
		Max Value (kJ)	565688,85



# SIMULASI DAN ANALISIS



---

# SIMULASI DAN ANALISIS

---

No.	Unit Pembangkit	Biaya (\$)
1	Energy Storage	0,00119
2	Generator Diesel	15,49464
3	Mikro Turbin	9,66583
4	Sel Surya	0,37174
5	PLN	0,00031
	Total (\$)	25,53371



---

# KESIMPULAN

---

1

Quadratic programming dapat digunakan untuk optimasi economic dispatch mikrogrid hybrid dengan distributed energy storage.

2

Pembangkit yang dioperasikan untuk menghasilkan daya terbangkitkan sebesar 7349,02 kW dan memenuhi daya yang dibutuhkan.

3

Selama operasi pembangkitan, fluktuasi energi energy storage tidak melanggar constraint energy storage.

4

Biaya pembangkitan tenaga listrik berjumlah 25,534 \$.

5

Quadratic programming adalah metode untuk menyelesaikan persamaan matematis yang bersifat linear dan non-linear, sehingga nilai yang dihasilkan bersifat mutlak.



---

# DAFTAR PUSTAKA

---

1. Robandi, Imam. **"Modern Power System Control"**. Penerbit ANDI. Yogyakarta, 2009.
2. Wang Jiang-hai, TAI Neng-ling, Song Kai, **"Penetration Level Permission of for DG in Distributed Network Considering Relay Protection,"** Proceedings of the CSEE, 30 (2010), No. 22, 37-43.
3. Yu Kun, CAO Yijia, CHEN Xingying, **"Dynamic Probability Power Flow of District Grid Containing Distributed Generation,"** Proceedings of the CSEE, 31 (2011), No. 1, 20-25.
4. Mishel Mahmoodi, Pourya Shamsi, Babak Fahimi, **"Economic dispatch of a hybrid microgrid with distributed energy storage"** IEE Trans. On Smart Grid, vol 6, no. 6, November 2015.
5. Sulistijono, Primaditya. **"Emission dan Economic Dispatch Pada Sistem Kelistrikan Micro Grid Menggunakan Multiobjective Genetic Algorithm Optimization"**. Elektro ITS. Surabaya, 2014.
6. Yann Riffonnew, Seddik bacha, Franck barruel, Stephane Ploix, **"Optimal Power Flow Management for Grid Connected PV System With Batteries"** IEEE Trans. Sustainable Energy, July 2011
7. F. A. Mohamed and H. N. Koivo, **"Power management strategy for solving power dispatch problems in microgrid for residential applications,"** in Proc. 2010 IEEE Int. Energy Conf. Exhibit. (EnergyCon), Manama, Bahrain, pp. 746–751.
8. J. Xu, S. Tan, and S. K. Panda, **"Optimization of economic load dispatch for a microgrid using evolutionary computation,"** in Proc. 2011 37th Annu. Conf. IEEE Ind. Electron. Soc. (IECON), Melbourne, VIC, Australia, pp. 3192–3197.
9. A. Pantoja and N. Quijano, **"A population dynamics approach for the dispatch of distributed generators,"** IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 58, no. 10, pp. 4559–4567, Oct. 2011.
10. J. M. Guerrero, P. C. Loh, T.-L. Lee, and M. Chandorkar, **"Advanced control architectures for intelligent microgrids Part II: Power quality, energy storage, and AC/DC microgrids,"** IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 60, no. 4, pp. 1263–1270, Apr. 2013.
11. A. Sobu and G. Wu, **"Dynamic optimal schedule management method for microgrid system considering forecast errors of renewable power generation,"** in Proc. 2012 Int. Conf. Power Syst. Technol. (POWERCON), Auckland, New Zealand, pp. 1–6.
12. Vinod M.Raj and Saurabh Chanana, **"Fuel Cost Optimization of an Islanded Microgrid Considering Environmental Impact,"** Journal of Clean Energy Technologies, Vol. 4, No. 2, March 2016.
13. Y. Xiao, C. Lin, and B. Fahimi, **"Online State of Charge Estimation in Electrochemical Batteries: Application of Pattern Recognition Techniques,"** in Proc. 2013 28th Annu. IEEE Appl. Power Electron. Conf. Expo. (APEC), Long Beach, CA, USA, pp. 2474-2478.
14. R. Sundari, S. Bayne, M. Giesselmann, **"Economic Dispatch Optimization of Microgrid in Islanded Mode"**, in IESC, Texas Tech University, 2014.
15. PLN, **"Penetapan Penyesuaian Tarif Tenaga Listrik Bulan April 2016"**, PLN, Jakarta, 2016.
16. ensen, Paul A., Bard, Jonathan F., **"Operations Research Models and Methods"**, Wiley, 2002.
17. L. Nani. Rony Seto. Sjamsjul Anam. **"Dynamic DC Optimal Power Flow Mempertimbangkan Kontrak Energi Listrik pada Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi Menggunakan Skema Take or Pay"**. Jurusan Teknik Elektro ITS. Surabaya. 2015.
18. PV Watts. Grid Data Calculator, National Renewable Energy Laboratory. [Online]. Available: <http://pwwatts.nrel.gov/>

# *ECONOMIC DISPATCH MIKROGRID HYBRID DENGAN DISTRIBUTED ENERGY STORAGE BERBASIS METODE QUADRATIC PROGRAMMING*



**Oleh:**

Kemas Robby Firmansyah

2212100030

**Dosen Pembimbing:**

Dr. Eng. Rony Seto Wibowo, S.T., M.T.

Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, M.T.

# TERIMAKASIH



**Oleh:**

Kemas Robby Firmansyah

2212100030

**Dosen Pembimbing:**

Dr. Eng. Rony Seto Wibowo, S.T., M.T.

Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, M.T.



---

# Perhitungan Modul Sel Surya

---

- $$P_{pv} = M \left( P_{stc} \frac{G_{ing}}{G_{stc}} + (1 + k(T_c - T_r)) \right)$$

Dimana:

$P_{PV}$  daya keluaran dari modul saat radiasi (W).

$G_{ING}$   $P_{STC}$  adalah daya maksimum modul saat STC dalam (W)

$G_{ING}$  radiasi aktual dalam ( $W/m^2$ )

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

$M$  jumlah modul sel surya

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

$TC$  suhu sel dalam ( $^{\circ}C$ )

$Tr$  referensi suhu ( $25^{\circ}C$ )

# IEEE 30 BUS

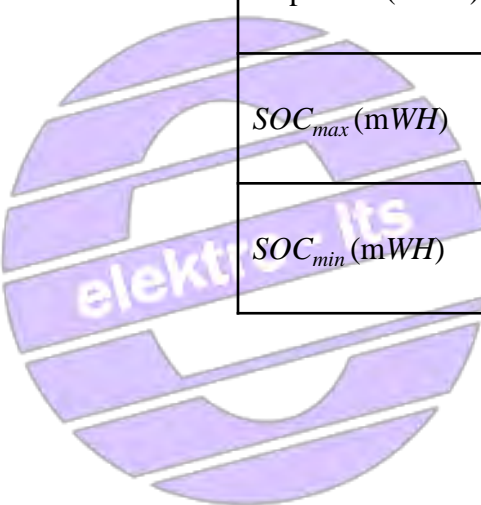
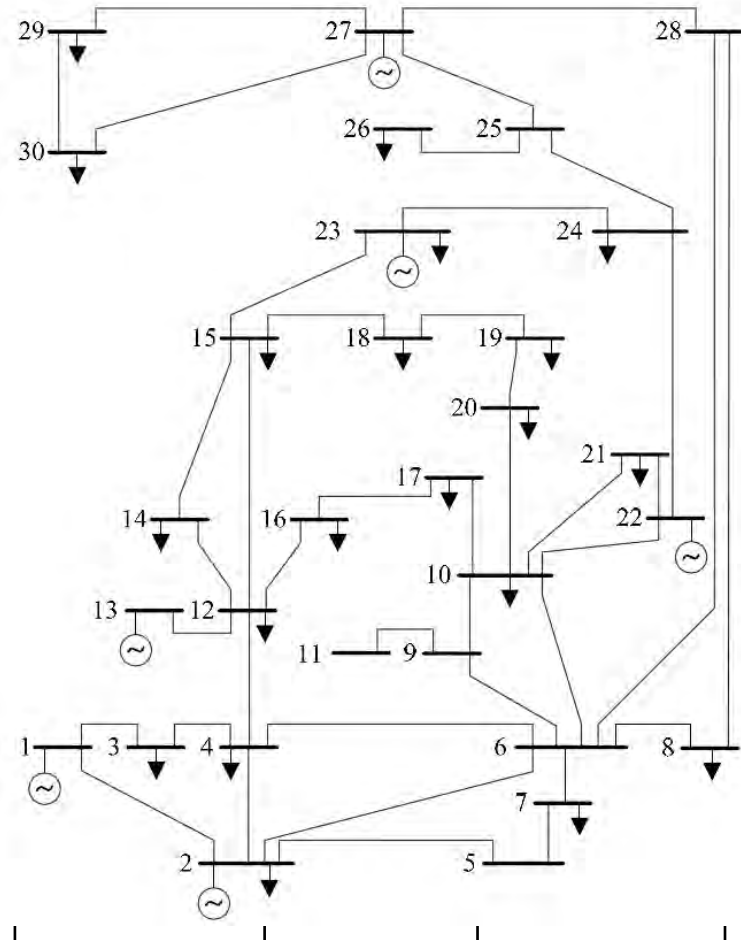
6 PEMBANGKIT

20 LOAD BUS

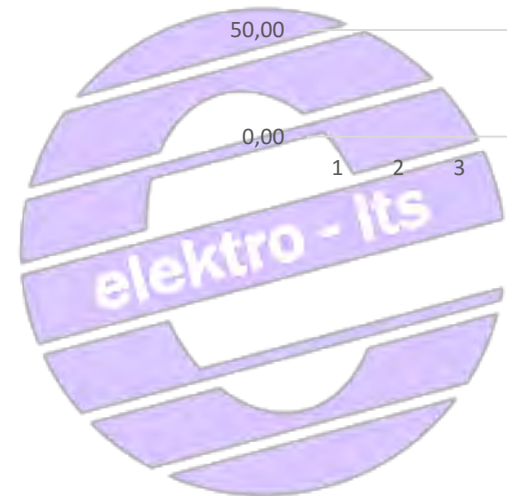
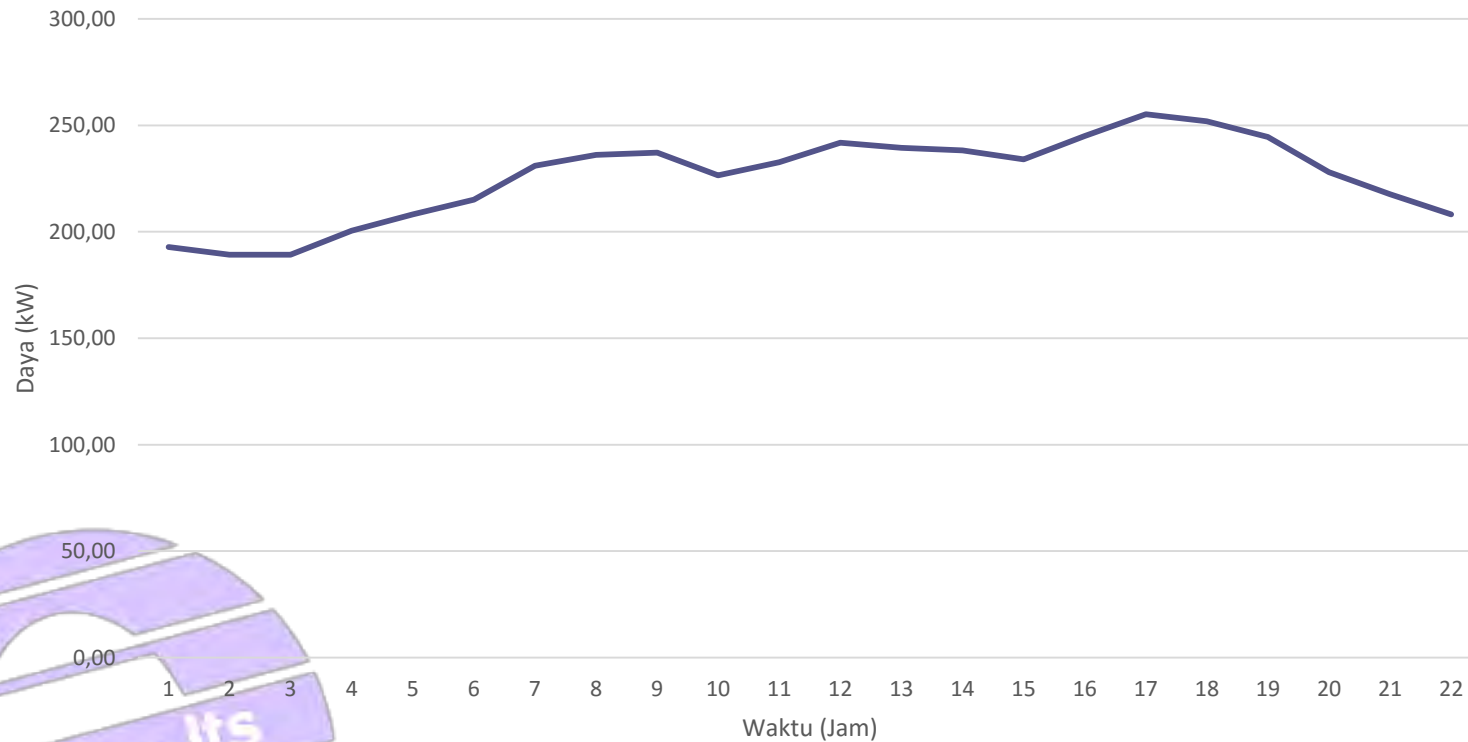
41 SALURAN TRANSMISI

	Unit 1 dan Unit 6	Unit 2
Jumlah Modul	1	1
$P_{max}$ (mW)	0,01	0,25
$P_{min}$ (mW)	-0,01	0,05
$a$ (\$/H)		0,000435
$b$ (\$/mWH)	0,119	0,3
$c$ (\$/mWH <sup>2</sup> )		14,88
Kapasitas (mWH)	0,2	-
$SOC_{max}$ (mWH)	0,16	-
$SOC_{min}$ (mWH)	0,04	-

# SPESIFIKASI UNIT



# Profil Beban Sistem IEEE 30 Bus



# SIMULASI DAN ANALISIS

T	Energy Storage 1 (kw)	Diesel (kw)	Microturbin (kw)	PV (kw)	Grid (kw)	Energy Storage 2 (kw)
1	-2,09	50,00	50,00	0,00	99,23	-1,14
2	-3,90	50,00	50,00	0,00	99,88	-3,12
3	-5,68	50,00	50,00	0,00	100,00	-5,12
4	-5,68	50,00	50,00	0,00	100,00	-5,12
5	-0,23	50,00	50,00	0,00	100,00	0,78
6	3,67	50,00	50,00	0,00	100,00	4,45
7	-3,28	50,00	50,00	21,02	91,01	-4,19
8	-3,28	50,00	50,00	23,44	99,13	-4,19
9	-4,17	50,00	50,00	40,06	100,00	-4,95
10	-7,65	50,00	50,00	51,72	100,00	-7,93
11	-9,39	50,00	50,00	65,43	90,59	-9,41
12	-10,00	50,00	50,00	88,81	57,72	-10,00
13	-10,00	50,00	50,00	81,84	70,84	-10,00
14	-8,52	50,00	50,00	71,92	87,14	-8,68
15	0,33	50,00	50,00	39,94	100,00	-0,86
16	6,47	50,00	50,00	25,60	100,00	6,11
17	6,91	50,00	50,00	20,53	100,00	6,49
18	10,00	61,47	63,53	0,00	100,00	10,00
19	10,00	66,58	68,64	0,00	100,00	10,00
20	10,00	64,91	66,97	0,00	100,00	10,00
21	10,00	61,47	63,13	0,00	100,00	10,00
22	10,00	53,14	54,86	0,00	100,00	10,00
23	8,73	50,00	50,00	0,00	100,00	8,86
24	3,67	50,00	50,00	0,00	100,00	4,45

# SIMULASI DAN ANALISIS

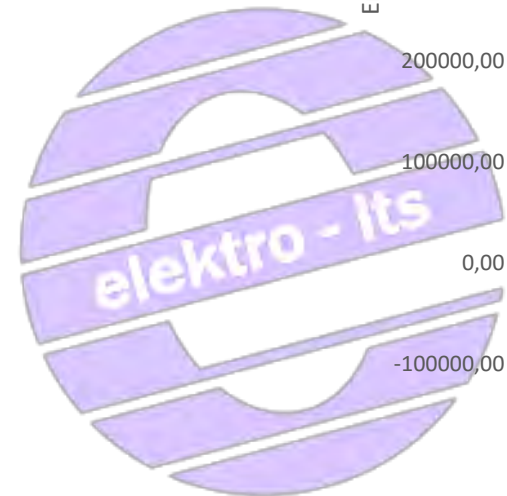
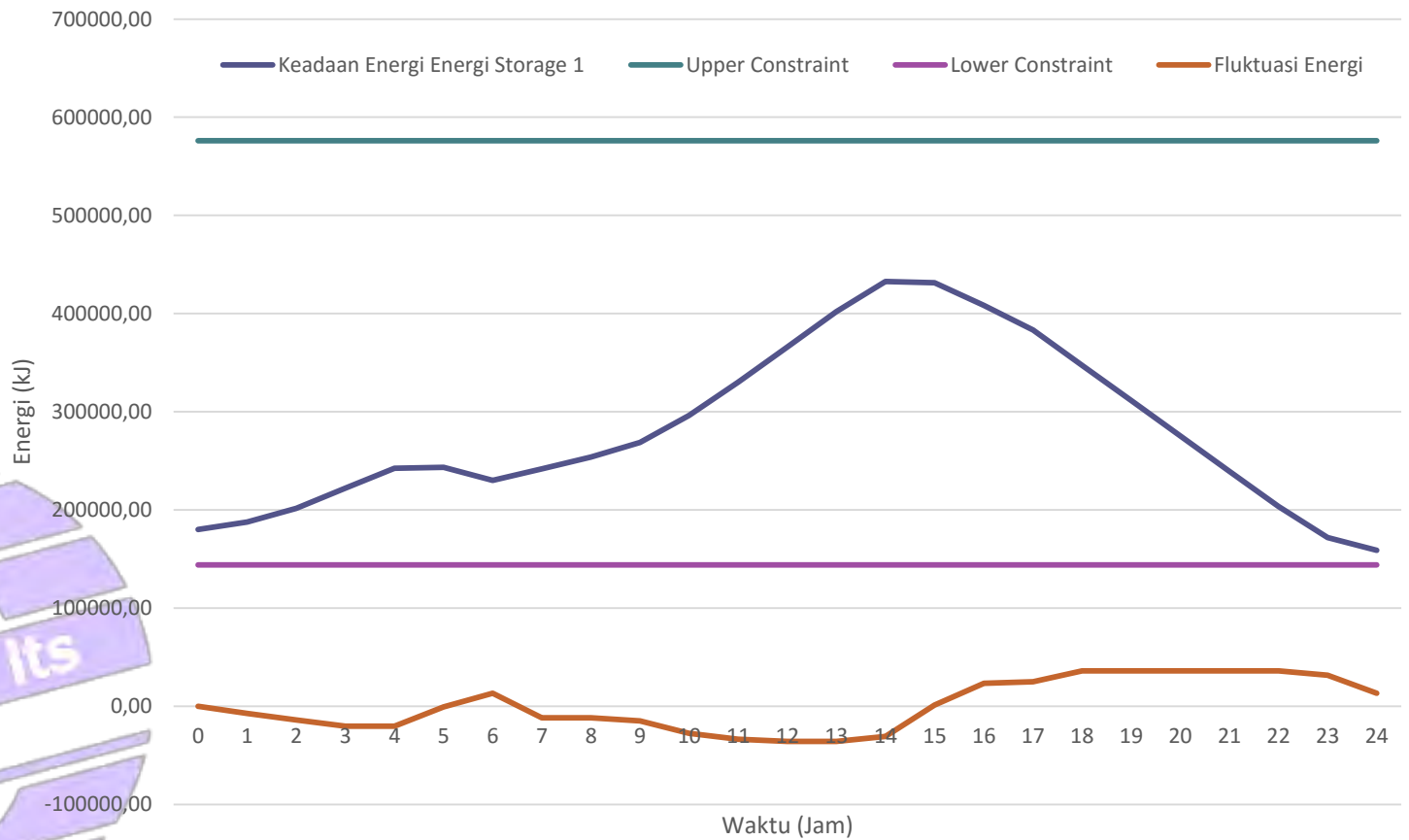
## Energy Storage 1

T	Fluktuasi Daya(kW)	Fluktuasi Energi (kJ)	Keadaan Energi ES 1 (kJ)
0	0	0	180000,00
1	-2,09	-7539,029352	187539,03
2	-3,90	-14040,43623	201579,47
3	-5,68	-20430,80058	222010,27
4	-5,68	-20430,80058	242441,07
5	-0,23	-834,0179386	243275,08
6	3,67	13200,96719	230074,12
7	-3,28	-11806,85237	241880,97
8	-3,28	-11806,85237	253687,82
9	-4,17	-14999,69225	268687,51
10	-7,65	-27524,12412	296211,64
11	-9,39	-33816,26889	330027,91
12	-10,00	-35996,33226	366024,24
13	-10,00	-35997,25597	402021,50
14	-8,52	-30674,2608	432695,76
15	0,33	1202,624989	431493,13
16	6,47	23299,9486	408193,18
17	6,91	24871,73952	383321,44
18	10,00	35998,56914	347322,87
19	10,00	35998,38618	311324,49
20	10,00	35998,37645	275326,11
21	10,00	35998,56914	239327,54
22	10,00	35997,92192	203329,62
23	8,73	31410,79089	171918,83
24	3,67	13200,96719	158717,86
		Min Value (kJ)	158717,86
		Max Value (kJ)	432695,76



# SIMULASI DAN ANALISIS

## Energy Storage 1



# SIMULASI DAN ANALISIS

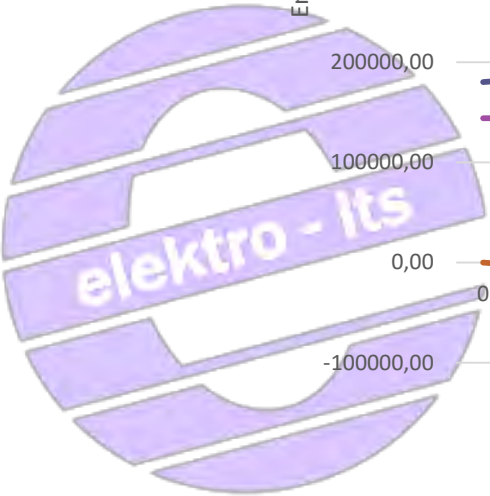
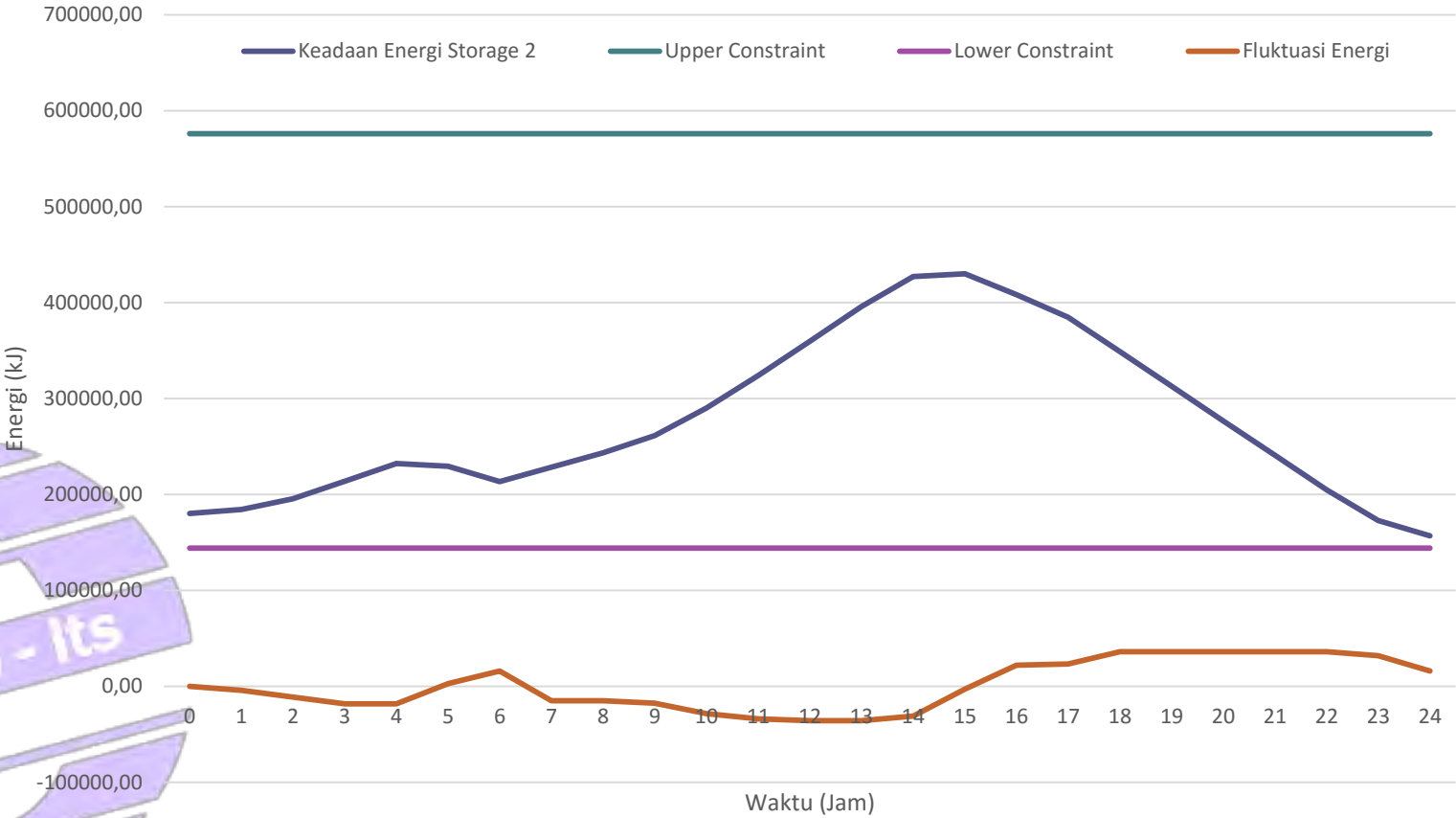
## Energy Storage 2

T	Fluktuasi Daya (kW)	Fluktuasi Energi (kJ)	Keadaan Energi ES 1 (kJ)
0	0	0	180000,00
1	-1,14	-4095,76	184095,76
2	-3,12	-11216,44	195312,20
3	-5,12	-18448,58	213760,78
4	-5,12	-18448,58	232209,36
5	0,78	2821,26	229388,10
6	4,45	16030,82	213357,28
7	-4,19	-15073,82	228431,10
8	-4,19	-15073,82	243504,92
9	-4,95	-17822,24	261327,17
10	-7,93	-28537,53	289864,70
11	-9,41	-33883,65	323748,35
12	-10,00	-35996,28	359744,63
13	-10,00	-35996,97	395741,60
14	-8,68	-31233,11	426974,72
15	-0,86	-3094,62	430069,33
16	6,11	21987,77	408081,57
17	6,49	23380,19	384701,37
18	10,00	35997,99	348703,38
19	10,00	35998,85	312704,53
20	10,00	35998,20	276706,33
21	10,00	35997,99	240708,34
22	10,00	35998,11	204710,23
23	8,86	31878,28	172831,95
24	4,45	16030,82	156801,13
		Min Value (kJ)	156801,13
		Max Value (kJ)	430069,33



# SIMULASI DAN ANALISIS

## Energy Storage 2





---

# SIMULASI DAN ANALISIS

---

No.	Unit Pembangkit	Biaya (\$)
1	Energy Storage 1	0,00070329
2	Generator Diesel	15,2579621
3	Mikro Turbin	9,38064477
4	Sel Surya	0,2890135
5	PLN	0,00029842
6	Energy Storage 2	0,00076636
	Total (\$)	24,929388

