

OPTIMASI PEMBAGIAN BEBAN PLTU SURALAYA MENGUNAKAN METODE ANT COLONY OPTIMIZATION

Suhendar¹, Ika Wanti Tussyani², Alimuddin³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Jl. Jenderal Sudirman Km. 03 Kota Cilegon - Banten

email: suhendar_tebet@yahoo.com; ikawantitussyani@gmail.com; alimudyuntirta@yahoo.com

Abstrak

Sekitar 70% biaya operasional dari keseluruhan total biaya yang harus dikeluarkan oleh PLTU Suralaya adalah biaya bahan bakar. Angka ini termasuk pemborosan untuk jangka waktu yang lama. Sehubungan dengan itu, penelitian ini ditujukan untuk mengetahui optimasi operasi pembangkit yang efisien. Salah satu usaha untuk meminimalkan biaya dengan mengoptimalkan operasi pembangkit atau disebut dengan "Economic Dispatch". Economic dispatch adalah pengoperasian pembagian beban pada pembangkit-pembangkit yang ada dengan biaya minimum, pada harga beban sistem tertentu. Penelitian ini, ditujukan untuk mengoptimalkan pengoperasian pembangkit di PLTU Suralaya unit 1-7 agar efisien menggunakan metode Ant Colony Optimization (ACO).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa angka rata-rata pembebanan Januari 2013 sebesar 234.512 Mmbtu/h dengan efisiensi bahan bakar sebesar 0.861% dan penghematan rata-rata biaya sebesar Rp. 5811983.855/h. Bulan November 339.466 Mmbtu/h dengan efisiensi bahan bakar sebesar 1.201% penghematan biaya Rp. 8848441.743/h. Bulan September 313.278 Mmbtu/h dengan efisiensi bahan bakar sebesar 1.101% serta penghematan rata-rata bahan bakar sebesar Rp.8848441.743/h. Bulan Juli 161.147 Mmbtu/h dengan efisiensi bahan bakar sebesar 0.616% dan penghematan rata-rata bahan bakar sebesar Rp. 5163931.517/h. Bulan 200.763 Mmbtu/h dengan efisiensi bahan bakar sebesar 0.786% serta rata-rata penghematan bahan bakar sebesar Rp. 5634081.328/h.

Oleh karena itu total penghematan bahan bakar selama 5 bulan sebesar Rp. 60788731.249/h. Dengan demikian hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan karakteristik pembangkit yang berbeda-beda selama 1 bulan, 6 bulan, 1 tahun berbantu analisis metode Ant Colony Optimization (ACO) mampu menghasilkan konsumsi bahan bakar yang minimum.

Kata Kunci : *Optimasi, Economic Dispatch, Ant Colony Optimization.*

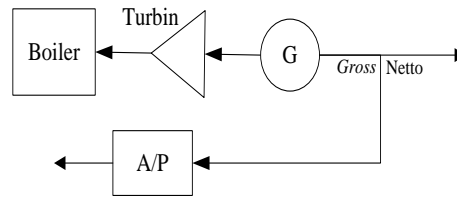
1. PENDAHULUAN

Bahan baku energi merupakan bagian terbesar dalam pembiayaan operasi sistem tenaga listrik, sekitar 80% dari biaya operasi secara keseluruhan. Biaya ini sangat mempengaruhi naik turunnya pemakaian bahan bakar dari penggunaan energi listrik oleh beban [1]. Pada PLTU Suralaya biaya bahan bakar sekitar 70% dari biaya operasi secara keseluruhan. Sehingga sangat diperlukan cara pengoperasian total pembangkit yang efisien. Usaha untuk meminimalkan biaya pembangkitan disebut "*Economic Dispatch*". *Economic dispatch* adalah pengoperasian pembagian beban pada pembangkit-pembangkit yang ada dengan biaya minimum, pada harga beban sistem tertentu [12]. Dalam tugas akhir ini pengoperasian pembangkit minimum dilakukan di PLTU Suralaya unit 1-7 menggunakan *ant colony optimization* (ACO). Algoritma ini berdasarkan atas perilaku sekelompok semut dalam mencari jalur terpendek dari sarang kesuatu sumber makanan.

Karakteristik unit pembangkit thermal terdiri dari *gross input* dan *net output*. Gambar 1 menjelaskan pada unit pembangkit terdiri dari sebuah boiler untuk menghasilkan uap sehingga turbin akan terkopel dengan rotor dari generator. *Gross input* adalah total *input* dan diukur dalam dolar per jam, atau ton bahan bakar per jam atau kubik gas per jam atau bentuk unit yang lainnya. Sedangkan *net output* adalah *output* daya listrik yang tersedia untuk penggunaan pada sistem tenaga. Karakteristik dari unit turbin uap digunakan beberapa konstanta sebagai berikut [17]:

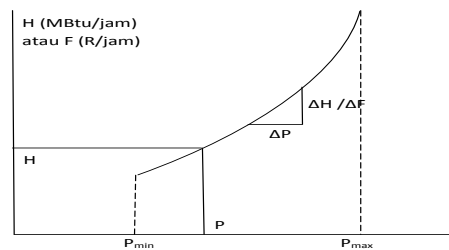
$$H = \text{Btu per jam input panas pada unit (Mbtu/h)}$$

F = Biaya bahan bakar dikalikan H sehingga hasil yang didapatkan R per jam (R/h) *input* pada unit untuk bahan bakar.



Gambar 1. Pemodelan boiler-turbin-generator pada pembangkit *thermal* [17]

Sedangkan Gambar 2 merupakan karakteristik *output-input* dari unit pembangkit tenaga uap yang ideal. *Input* unit dinyatakan dalam energi panas (MBtu/jam) atau bentuk biaya total per jam (R/jam). Sedangkan *outputnya* adalah daya listrik dari unit tersebut. Bentuk karakteristik *output-input* tampak halus berupa kurva cembung.[20]



Gambar 2. Kurva *input-output* pembangkit tenaga uap [17]

1.1

Persamaan *Economic Dispatch*

$$C_t = \sum_{i=1}^n C_i \quad (1)$$

Atau

$$C_i = \alpha_i + \beta_i P_i + \gamma_i P_i^2 \quad (2)$$

keterangan :

C_t = total biaya produksi (\$)

C_i = fungsi biaya input-output pembangkit i (\$/hour)

P_i = daya yang dibangkitkan pembangkit i (MW)

α, β, γ = konstanta *input output* pembangkit

n = jumlah pembangkit

Kombinasi daya *output* yang dibangkitkan oleh tiap-tiap generator pada sistem harus memenuhi kebutuhan daya dari sistem (*equality constraint*), dengan persamaan [17][18]:

$$\sum_{i=1}^n P_i = P_D \quad (3)$$

Daya *output* pembangkit harus memenuhi batasan minimum serta maksimum dari daya yang dapat dibangkitkan oleh masing-masing generator (*inequality constraint*) dengan persamaan [17][18]:

$$P_{i \min} \leq P_i \leq P_{i \max} \quad (4)$$

1.2 Ant Colony Optimization

Ant Colony Optimization merupakan algoritma yang mengikuti perilaku koloni semut (sistem semut). Perilaku koloni semut disini adalah semut mampu menemukan rute terpendek dalam perjalanan dari sarang ke tempat-tempat sumber makanan [12]. Algoritma ini biasa digunakan untuk menyelesaikan masalah komputasi melalui grafik yang terinspirasi dari perilaku semut dalam menemukan jalur dari sarang menuju makanan.[15]

Semut yang melalui suatu lintasan dipengaruhi oleh feromon. Feromon ini akan menguap, jika semakin banyak semut melalui jalan tersebut. Maka semakin jelas lintasan yang dilalui. Sehingga lintasan yang dilalui semut dalam jumlah sedikit, semakin lama semakin berkurang kepadatan semut yang melewatinya, atau bahkan akan tidak dilewati sama sekali. Sebaliknya lintasan yang dilalui semut dalam jumlah banyak, semakin lama akan semakin bertambah kepadatan semut yang melewatinya, atau bahkan semua semut melalui lintasan tersebut. *Stigmergy* adalah proses peninggalan feromon, proses ini bertujuan untuk mengingat jalan pulang ke sarang dan komunikasi semut dengan koloninya. Secara lengkap algoritma atau langkah-langkah dalam *Ant Colony Optimization*, yaitu:

1. Inisialisasi parameter algoritma *Ant Colony Optimization*
Tetapan siklus-semut (Q), Jumlah semut (m), dan Ketahanan feromon (alpha) (ρ)
2. Setelah inisialisasi kota pertama semut dilakukan, kemudian jumlah semut (m) ditempatkan pada kota pertama tertentu secara acak.
3. Transisi status (*state transition rule*)

Semut memutuskan ke ruas mana ia akan pergi serta dapat memilih untuk pergi ke ruas baru (ruas yang belum dikunjungi semut lainnya) atau ruas yang terbaik (ruas yang mempunyai jumlah feromon terbanyak dan jarak terpendek) secara probabilistik. Transisi status yang digunakan oleh *ant system* dinamai *random proportional rule*. Semut memilih suatu jalur yang akan dilalui mulai dari titik r menuju ke titik s dalam suatu perjalanan dengan probabilitas [12]:

$$p(r,s) = \frac{\gamma(r,s)}{\sum_t \gamma(r,t)} s, l \in N_r^k \quad (5)$$

matrix $\gamma(r,s)$ merepresentasikan jumlah intensitas feromon antara titik r dan s . Setelah itu feromon akan diperbaharui melalui persamaan berikut[12] :

$$\gamma(r,s) = \alpha \cdot \gamma(r,s) + \Delta y^k(r,s) \quad (6)$$

nilai α memiliki interval $0 < \alpha < 1$ ini merupakan daya tahan suatu feromon, maka $(1 - \alpha)$ merepresentasikan penguapan yang terjadi pada feromon dan $\Delta y^k(r,s)$ merupakan jumlah feromon yang semut k jatuhkan pada jalur (r,s) .

4. *Pheromone* lokal (*local pheromone updating*)

Jejak feromon (r,s) dari perjalanan terbaik yang telah dilakukan semut akan diperbaharui [12]

$$\gamma(r,s) = \alpha \cdot \gamma(r,s) + \frac{Q}{f_{\text{best}}} r, s \in J_{\text{best}}^k \quad (7)$$

Q merupakan sebuah konstanta positif yang sangat besar nilainya.

5. Pembaruan feromon global (*global pheromone updating*)

Global *pheromone updating* digunakan untuk menghindari terjadinya stagnan (suatu situasi dimana semut akan mengikuti jalur yang sama), maka kekuatan jejak feromon dibatasi pada interval:

$$\gamma(r, s) = \begin{cases} \tau_{\min} & \text{if } \gamma(r, s) \leq \tau_{\min} \\ \tau_{\max} & \text{if } \gamma(r, s) \geq \tau_{\max} \end{cases} \quad (8)$$

Batas atas dan batas bawahnya adalah sebagai berikut[12] :

$$\tau_{\max} = \frac{1}{\alpha \cdot f_{\text{best}}} \quad (9)$$

$$\tau_{\min} = \frac{\tau_{\max}}{M^2} \quad (10)$$

M adalah jumlah semut

2. METODOLOGI

Gambar 3 menjelaskan tentang diagram blok penelitian dengan 3 parameter yaitu *input*, proses dan parameter *output*. Parameter input dalam penelitian ini terdapat 2 yaitu *input economic dispatch* dan *ant colony optimization*.

1. *Input economic dispatch* terdiri dari

- a. batas minimum dan batasan maksimum daya yang dibangkitkan dari masing-masing generator.
- b. nilai karakteristik dari pembangkit (alfa,beta,gamma). Nilai ini didapatkan dari kurva *polynomial* pembangkit dengan kordinat (x,y). Kordinat x adalah daya yang dibangkitkan sedangkan kordinat y adalah bahan bakar yang digunakan. Lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 5 *flowchart* untuk menghitung α , β dan γ . Nilai karakteristik ini yang akan masuk dalam perhitungan algoritma *ant colony optimization*.

2. *Input Ant Colony Optimazition*

Dalam tugas akhir ini, *input-an* yang digunakan pada algoritma *Ant Colony Optimazition* terdiri dari inialisasi parameter yang digunakan yaitu jumlah semut sebanyak 10, iterasi maksimum sebesar 500, ketahanan feromon sebesar 0.89.

3. Permintaan Daya

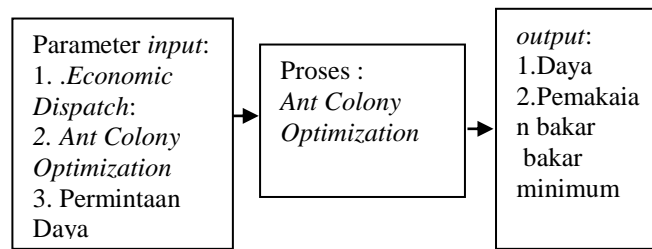
Maksud dari permintaan daya adalah jumlah permintaan daya yang akan dikirimkan ke sistem. Sehingga hasil simulasi dari masing-masing daya yang dibangkitkan generator totalnya sama dengan permintaan daya sesuai dengan *equality constraint* persamaan 3

a. Proses

Pada bagian ini merupakan proses yang dilakukan dengan menggunakan *Ant Colony Optimazition* untuk mendapatkan pemakaian bahan bakar yang minimum. Didalam proses semua parameter input yang dimasukan dihitung sehingga menghasilkan penghematan pemakaian bahan bakar. *Input* dari inialisasi parameter ACO digunakan untuk mendapatkan daya yang dibangkitkan. Sehingga nilai daya yang terbangkitkan dapat dimasukkan dalam perhitungan persamaan matematis dari *economic dispatch* persamaan (1) dengan melihat batasan *inequality constrain* persamaan (4) dan *equality constrain* persamaan (3).

b. *Output*

Hasil yang diharapkan adalah kombinasi dari masing-masing daya yang terbangkitkan dengan melihat penggunaan konsumsi bahan bakar yang minimum dan tidak terlepas dari batasan *inequality constrain* persamaan (4) dan *equality constrain* persamaan (3).



Gambar 3. Diagram blok penelitian

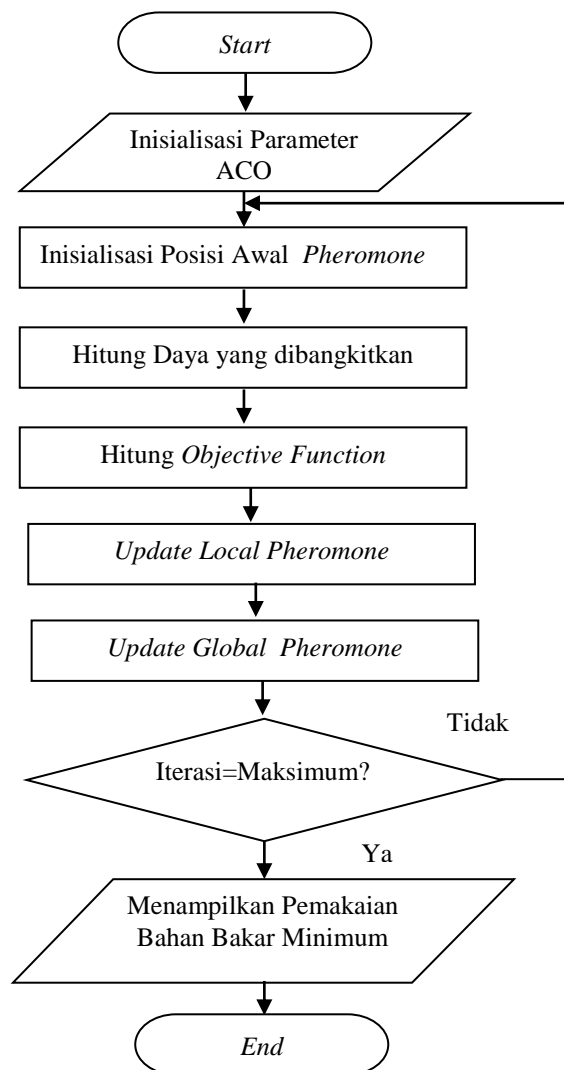
Tabel 1. Karakteristik Pembangkit Selama 1 dan 6 Bulan

	Unit	Alfa	Beta	Gamma		Unit	Alfa	Beta	Gamma	
1 Bulan	UNIT1	891.901	5.094	0.007	6 Bulan	UNIT1	455.026	8.115	0.001	
	UNIT2	-889.903	17.158	-0.013		UNIT2	-	1504.32	19.923	-0.016
	UNIT3	-436.09	14.463	-0.008		UNIT3	-	752.321	15.652	-0.01
	UNIT4	-85.581	11.898	-0.005		UNIT4	394.994	8.877	0	
	UNIT5	-614.89	13.443	-0.004		UNIT5	-	229.803	12.584	-0.005
	UNIT6	-3215.58	24.129	-0.016		UNIT6	-	1630.05	17.807	-0.009
	UNIT7	-331.335	12.001	-0.003		UNIT7	323.172	9.728	-0.001	

Tabel 2. Karakteristik Pembangkit Selama 12 Bulan

	Unit	Alfa	Beta	Gamma
12 Bulan	UNIT1	505.953	8.047	0.002
	UNIT2	522.755	8.574	0
	UNIT3	576.978	8.143	0.001
	UNIT4	230.294	9.631	0
	UNIT5	-156.101	12.127	-0.004
	UNIT6	-1629.73	17.982	-0.01
	UNIT7	489.523	9.661	-0.002

Langkah selanjutnya adalah perancangan program simulasi optimasi menggunakan metode ACO (*Ant Colony Optimzation*).



Gambar 4. Diagram Alir Penggunaan Ant Colony Optimization

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Operasi optimal pada pembangkit dapat diketahui dengan melihat karakteristik pembangkit. Karakteristik pembangkit digunakan untuk mengetahui konsumsi bahan bakar yang optimal. Nilai karakteristik pembangkit penulis dapatkan dari data laporan harian di PLTU UBP Suralaya unit 1-7. Pengambilan karakteristik pembangkit penulis membagi dalam 3 yaitu dalam 1 bulan, 6 bulan dan 12 bulan. Nilai karakteristik ini digunakan untuk mencari kombinasi pembangkit yang akan dioperasikan berdasarkan pada batasan fungsi objektif sehingga mendapatkan penggunaan konsumsi bahan bakar yang minimum. Pengujian ini dilakukan pada bulan Januari 2013 dengan menggunakan karakteristik 1 bulan, bulan September dan bulan November 2012 menggunakan karakteristik 6 bulan. Sedangkan karakteristik 12 bulan pengujian ini dilakukan pada bulan Juli dan Februari 2012. Pada pembebanan bulan Januari 2013 didapatkan kombinasi unit-unit pembangkit yang optimal yaitu:

Tabel 3. Model pembebanan Unit Pembangkit Suralaya Januari 2013

Pdemand (Mwaat)	Data Pembebanan Indonesia Power UBP Suralaya Januari 2013							Bahan Bakar (Mmbtu)
	Unit 1	Unit 2	Unit 3	Unit 4	Unit 5	Unit 6	Unit 7	
2457.7	282.5	341.5	319.2	271.2	410.3	400.2	432.7	24962.4
2701.6	288.5	258.1	301.0	303.8	499.6	491.9	558.8	27478.3
2827.3	327.7	379.8	369.8	302.1	444.0	440.4	563.6	28774.8
2568.3	302.0	333.2	291.1	296.8	455.0	444.2	446.0	26324.3
2533.1	291.8	324.4	266.8	248.9	497.2	501.9	402.0	25649.5
2732.1	333.9	331.7	226.3	340.1	487.0	508.3	504.9	27757.3
2418.0	284.5	330.9	323.2	298.4	384.6	419.3	377.0	25079.8

Tabel 4. Pembebanan Suralaya Januari 2013 Menggunakan ACO

Pdemand (Mwaat)	Data Pembebanan simulasi ACO Januari 2013							Bahan Bakar (Mmbtu)
	Unit 1	Unit 2	Unit 3	Unit 4	Unit 5	Unit 6	Unit 7	
2457.0	400	202	400	400	355	350	350	24462.1
2702.0	234	400	368	400	600	350	350	26819.0
2827.0	256	400	244	292	600	582	452	28033.3
2568.0	356	380	382	400	350	350	350	25511.7
2533.0	400	222	206	400	355	600	350	25062.0
2732.0	232	400	400	400	600	350	350	27068.5
2418.0	244	260	214	400	600	350	350	24191.2

Tabel 5. Penghematan yang dihasilkan Bulan Januari 2013

Pdemand (MW)	Pembebanan Bulan Januari 2013		
	Pemakaian BAHAN BAKAR(Mmbtu/h)		
	Lapangan	ACO	Selisih
2457	24962.370	24462.148	500.222
2702	27478.296	26818.999	659.297
2827	28774.808	28033.341	741.467
2568	26324.268	25511.699	812.569
2533	25649.464	25062.008	587.456
2732	27757.269	27068.495	688.774
2418	25079.765	24191.201	888.564

Hasil rata-rata penghematan bahan bakar bulan Januari 2013 didapatkan sebesar 234.512 Mmbtu/h dengan biaya Rp. 5811983.855/h dan effisiensinya sebesar 0.861%. Sedangkan hasil rata-rata penghematan bahan bakar bulan Februari 2012 didapatkan sebesar 200.763 Mmbtu/h dengan biaya Rp. 5634081.328/h dan effisiensinya sebesar 0.786%.

4. PENUTUP

Dari hasil pengujian yang dilakukan dengan menggunakan simulasi ACO pada variasi nilai karakteristik pembangkit yang berbeda, didapatkan rata-rata penghematan bahan bakar yaitu :

- 1) Januari 234.512 Mmbtu/h dengan efisiensi bahan bakar sebesar 0.861%
- 2) November 339.466 Mmbtu/h dengan efisiensi bahan bakar sebesar 1.201%
- 3) September 313.278 Mmbtu/h dengan efisiensi bahan bakar sebesar 1.101%
- 4) Juli 161.147 Mmbtu/h dengan efisiensi bahan bakar sebesar 0.616%
- 5) Februari 200.763 Mmbtu/h dengan efisiensi bahan bakar sebesar 0.786%

Sedangkan penghematan rata-rata biaya bahan bakar yang didapatkan sebesar:

- 1) Januari Rp. 5811983.855/h
- 2) November Rp. 8848441.743/h
- 3) September Rp. 35330292.807/h
- 4) Juli Rp. 5163931.517/h
- 5) Februari Rp. 5634081.328/h

Total penghematan bahan bakar selama 5 bulan adalah Rp. 60788731.249/h

DAFTAR PUSTAKA

- Harun, Nadjamuddin. "Perancangan Pembangkit Tenaga Listrik" program studi teknik elektro jurusan fakultas teknik Universitas Hasanuddin, Makassar, 2011.
- Pudjo W, Prabowo dan Rahmadya. "Penerapan *soft computing* dengan matlab" Rekayasa Sains, Bandung, 2009.
- Cekdin, Cekmas. "Sistem tenaga listrik contoh soal dan penyelesaiannya menggunakan matlab", Andi, Yogyakarta, 2006.
- Siswanto, Marmo, "Mengoptimalkan pembagian beban pada unit pembangkit PLTGU Tambaklorok dengan metode lagrang multiplier". Tugas akhir jurusan Teknik Elektro Universitas Diponegoro, 2001.
- Basuki, Cahyo Adi, "Analisa konsumsi bahan bakar pada pembangkit listrik tenaga uap dengan menggunakan metode *least square*". Tugas akhir jurusan Teknik Elektro Universitas Diponegoro, 2008.
- Luciana, Erlina, "Simulasi perhitungan pembebanan ekonomis pada pusat listrik tenaga diesel dengan metode *Dynamic Programming* (Studi kasus di PT. Arteria Daya Mulia)". Tugas akhir jurusan Teknik Elektro Universitas Diponegoro, 2009.
- Sukma, Dian Yayan. "Optimasi Pembangkit Termal Menggunakan Metode *Dynamic Programming*". Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau.
- Pothiya, Saravuth, Ngamroo Issarachi & K. Waree. "Ant colony optimization for economic dispatch problem with non-smooth cost functions". *Electrical Power and Energy Systems* 2010:32:478-487.
- Song, Y.H. Chou, C.S.V. & Min, Y. "Large Scale Economic Dispatch by Artificial Ant Colony Search Algorithms". *IEEE Electric Machines and Power Systems* 1999:27:679-690.
- Krisna, Ida Bagus. "Economic Dispatch Menggunakan Ant Colony Optimization pada sistem Transmisi 500 KV Jawa Bali". Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh November. 2009.
- Stevano. "Pembebanan Ekonomis Pada Pusat Pembangkit Termal Menggunakan *Particle Swarm Optimization* dan Iterasi Lamda". Jurusan Teknik Elektro Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. 2013.
- Hilmawan, Ryan. "Sistem Pendukung Pengambil Keputusan Optimasi Penjadwalan Pembangkit Listrik Tenaga Termal Menggunakan Metode Pengali Langrang". Jurusan Teknik Elektro Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. 2013.
- Wardi, Ibnu Sina. "Penggunaan Graf dalam Algoritma Semut Untuk Melakukan Optimasi". Program Studi Teknik Informatika Institut Teknologi Bandung.
- Hermanto, Eko. "Perancangan Sistem Penjadwalan Ujian Semester Berbasis Web Menggunakan Algoritma Semut". Jurusan Teknik Elektro Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. 2013.
- Agus, Handi. "Operasi Sistem Tenaga Listrik Resume". Jurusan Pendidikan Teknik Elektro Fakultas Pendidikan Teknologi dan Keuruan Universitas Pendidikan Indonesia. 20012.
- Saadat, Hadi. "Power System Analysis". McGraw Hill, New York. 1999.
- Musirin, Ismail "Ant Colony Optimization (ACO) Technique in Economic Power Dispatch Problems". *International Multiconference of Engineers and Computer Scientists*. Hongkong. 2008. Volume 2.
- Fahlusiyanto. "Operasi Ekonomis PLTU PT. KDL Dengan Metode *Dynamic Programming*". Jurusan Teknik Elektro Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. 2008.
- Marsudi, Djiteng. "Operasi Sistem Tenaga Listrik", Graha Ilmu, Yogyakarta, 2006