



**OPERASI LOAD SHARING GAS TURBINE GENERATOR DAN GAS  
ENGINE GENERATOR DALAM INTERKONEKSI GAS REFINERY  
PLANT KANGEAN ENERGY INDONESIA Ltd**

**Robi Kurnia Tisna**

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

JL. Brawijaya, Tamantirto, Bantul Yogyakarta 55183

[rkurniatisna@gmail.com](mailto:rkurniatisna@gmail.com)

---

**INTISARI**

*Gas turbine generator* dan *gas engine generator* merupakan pembangkit listrik yang sering di jumpai di *oil and gas company*. Kangean Energy Indonesia Ltd merupakan salah satu perusahaan migas terkemuka dan memiliki sumur gas alam serta mengolahnya menjadi sales gas. Dengan adanya gas alam dipagerungan, maka lebih efisien jika pembangkit listrik yang ada di pagerungan menggunakan bahan bakar gas alam. Operasi *load sharing gas turbine generator* dan *gas engine generator* digunakan dengan tujuan, meningkatkan daya listrik yang dihasilkan untuk suplai *gas refinery plant* dan Pulau Pagerungan Besar, mempermudah pengerjaan bila ada perbaikan pembangkit, menjaga kontinuitas suplai energi listrik di Pagerungan. *Gas turbine* merupakan mesin pembakaran dalam. Sebagai penggerak generator, *gas turbine* dan *gas engine* memiliki prinsip kerja yang berbeda. *Gas turbine* dengan *compressor axial* dan *gas engine* dengan piston. Mesin tersebut memutar generator agar dapat menghasilkan listrik. Generator utama, 5 unit dan 1 generator cadangan. 3 x 500 Kilo Watt 480 Volt dan 2 x 1000 Kilo Watt 4160 Volt untuk mensuplai listrik ke *gas refinery plant* dan seluruh pulau pagerungan generator bekerja parallel dalam operasi *load sharing*. Sebelum bekerja secara interkoneksi terlebih dahulu pembebanan diperkirakan, kemudian di sinkronkan dan unit dapat bekerja dalam operasi *load sharing*. Sinkronisasi dikendalikan oleh SPM-A, pembebanan per unit dikendalikan oleh *automatic generator loading control*, dan *load sharing* serta kecepatan secara keseluruhan dikendalikan oleh *load sharing and speed control*.

**Kata kunci:** *Load Sharing, Gas Turbine, Gas Engine, SPM-A, AGLC, LSSC.*

---



## 1. PENDAHULUAN

Kangean Energy Indonesia Ltd yang merupakan perusahaan gas swasta yang memproduksi *sales gas*. Sumbernya berupa gas alam dari sumur yang disebut *natural gas* dan sumbernya berasal dari wilayah Pulau Pagerungan Besar. Dalam menunjang proses produksi dan kehidupan pulau pagerungan besar, plant yang beroperasi 24 jam ini disuplai dengan sistem pembangkit sendiri, yaitu 2 unit *Saturn 20 gas turbine generator* dan 3 unit *3512 caterpilaar gas engine generator* serta 1 unit *diesel generator*.

Faktor keandalan dan fluktuasi jumlah beban yang berubah-ubah, maka disediakan dua atau lebih unit yang dioperasikan dengan jaringan interkoneksi yang ada, atau dengan unit cadangan. Untuk memenuhi peningkatan beban listrik maka generator-generator tersebut dioperasikan dengan sumber pasokan lain yang lebih besar misalnya dari PLN, sehingga diperlukan pula sistem pembagi daya listrik untuk mencegah adanya sumber tenaga listrik terutama generator yang bekerja paralel mengalami beban lebih mendahului yang lainnya.

## 2. METODE PENELITIAN

*Flowchart* metodologi penelitian yang dilakukan dalam penulisan tugas akhir ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 1. Flowchart diagram penelitian



*Gas turbine generator* yang digunakan di Pagerungan Operation - Kangean Energ Indonesia Ltd terdiri dari 2 unit *Saturn 20 Solar Turbine Caterpillar*. Di wilayah operasi pagerungan, saturn 20 diberi nama dengan M 6100. M 6100 menggunakan bahan bakar gas, dikontrol oleh PLC Alen Bradley, memiliki kecepatan 18.000 Rpm yang direduce menjadi 1800 Rpm. Generator yang digunakan yaitu buatan dari Kato Generator, dengan tegangan *output* 4160 Volt, dengan rotor 4 kutub frekuensi 60 Hertz dan berkapasitas 1000 Kilo Watt.

Gas engine generator pada Pagerungan Operation - Kangean Energ Indonesia Ltd terdiri dari 3 unit *Caterpillar 3512 Spark Ignited Air Started Engine*, dimana setiap unit memiliki kapasitas 500 Kilo Watt pada tegangan 480Voltn3 fasa. Proporsional dalam praktiknya, setiap generator dibatasi dalam penyuplaian daya tidak melebihi 450 Kilo Watt per unit, karena faktor usia generator. Mesin ini menggunakan bahan bakar gas dari *Fuel Gas System* untuk pembakaran. *Governor* mengontrol bahan bakar gas untuk karburator sehingga terjadi pembakaran yang efisien dari kecepatan rendah sampai kecepatan mesin maksimal. *Altronic III Electronic Ignition* terpasang pada unit gas engine generator.

*LSSC* adalah modul yang digunakan untuk mengatur beban yang ditanggung dan juga kecepatan putaran generator. Fungsinya, supaya generator dapat mensuplay daya ke beban dengan tepat dan frekwensi jaringan tetap stabil. Pada saat frekuensi turun, *LSSC* memberi perintah *governor* untuk mengindikasi *actuator* untuk menambah *fuel* yang diinject kan ke *combustion* untuk menambah torsi dan kecepatan putaran *engine*, outputnya putaran generator akan naik dan frekuensi akan ikut naik.

*Automatic generator loading control* adalah penambahan kendali system pembebanan masing masing generator. *AGLC* di desain untuk digunakan sebagai pendukung *system load sharing and speed control* untuk bekerja auto mengendalikan pembebanan (*loading*) dan pelepasan beban (*unloading*) dari *engine generator- set*. *AGLC* membantu *system load sharing and speed control* agar tidak terjadi benturan saat operasi parallel



dimulai. *AGLC* juga membantu generator untuk dapat menanggung beban sesuai kemampuan.

*SPM-A Synchronizer* menyeimbangkan kecepatan putaran generator set. Artinya frekuensi diatur untuk sama dengan frekuensi bus. *SPM* dapat bekerja secara otomatis apabila mendapat signal untuk menutup kontak *circuit breaker* ketika frekwensi dan phase terhitung masuk dalam batas waktu untuk menutup *circuit breaker* yang artinya unit terhubung dengan bus. *SPM* mengunci *loop synchronizer* dan berusaha medapatkan perhitungan frekuensi dan tegangan. *SPM* dengan perhitungan tegangan menghasilkan sinyal yang dapat digunakan untuk penambahan ataupun pengurangan tegangan dan frekuensi. Sinyal tersebut sebagai indikasi kontak dengan *voltage regulator*.

### **1. 3512 Gas Engine Alpha**

$$\begin{aligned} \text{Pukul 01.00} &= 160 \text{ Kw} \cdot 100 / 500 \text{ Kw} \\ &= 32 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pukul 07.00} &= 160 \text{ Kw} \cdot 100 / 500 \text{ Kw} \\ &= 32 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pukul 13.00} &= 180 \text{ Kw} \cdot 100 / 500 \text{ Kw} \\ &= 36 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pukul 19.00} &= 200 \text{ Kw} \cdot 100 / 500 \text{ Kw} \\ &= 40 \% \end{aligned}$$

### **2. 3512 Gas Engine Charlie**

$$\begin{aligned} \text{Pukul 01.00} &= 200 \text{ Kw} \cdot 100 / 500 \text{ Kw} \\ &= 40 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pukul 07.00} &= 200 \text{ Kw} \cdot 100 / 500 \text{ Kw} \\ &= 40 \% \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}\text{Pukul 13.00} &= 220 \text{ Kw} \cdot 100 / 500 \text{ Kw} \\ &= 44 \%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Pukul 19.00} &= 240 \text{ Kw} \cdot 100 / 500 \text{ Kw} \\ &= 48 \%\end{aligned}$$

### 1. Arus

$$\text{Ampere 1} = 330 + 320 + 310 + 300 = 1260$$

$$\text{Ampere 2} = 330 + 320 + 310 + 300 = 1260$$

$$\text{Ampere 3} = 330 + 320 + 310 + 300 = 1260$$

$$\text{Ampere 1} = 1260 : 4 = 315$$

$$\text{Ampere 2} = 1260 : 4 = 315$$

$$\text{Ampere 3} = 1260 : 4 = 315$$

$$\text{Ampere} = 315 + 315 + 315 : 3$$

$$\text{Ampere} = 315 \text{ Ampere}$$

### 2. Daya

$$= 240 + 220 + 230 + 210 = 900$$

$$= 900 : 4 = 225 \text{ Kilowatt}$$

Persen

$$= 225 \text{ Kilowatt} \times 100 : 500$$

$$= 45 \%$$

### 3. Tegangan

$$\text{Volt 1} = 480 + 480 + 480 + 480 = 1920$$

$$\text{Volt 2} = 480 + 480 + 480 + 480 = 1920$$

$$\text{Volt 3} = 480 + 480 + 480 + 480 = 1920$$

$$\text{Volt 1} = 1920 : 4 = 480$$

$$\text{Volt 2} = 1920 : 4 = 480$$

$$\text{Volt 3} = 1920 : 4 = 480$$

$$= 480 \text{ Volt} \times 3 : 3 = 480 \text{ Volt}$$

#### 4. Frekuensi

$$= 60.3 + 60.3 + 60.4 + 60.4 = 241.4$$

$$= 241.4 : 4$$

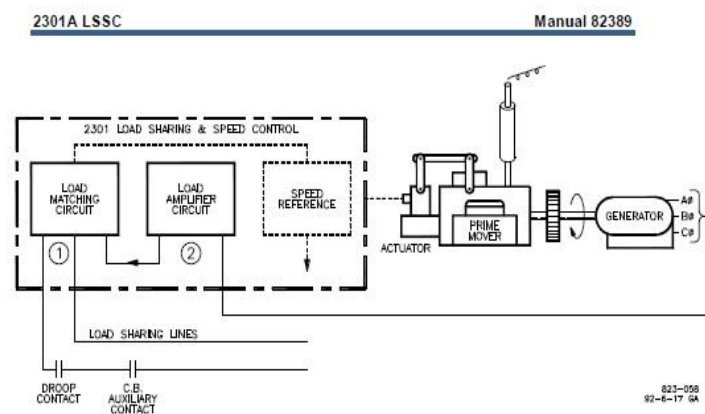
$$= 60.35 \text{ Hertz}$$

#### 5. Faktor Daya

$$= 0.87 + 0.86 + 0.90 + 0.85 = 3.48$$

$$= 3.48 : 7 = 0.87$$

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 2. Load Sharing and Speed Control



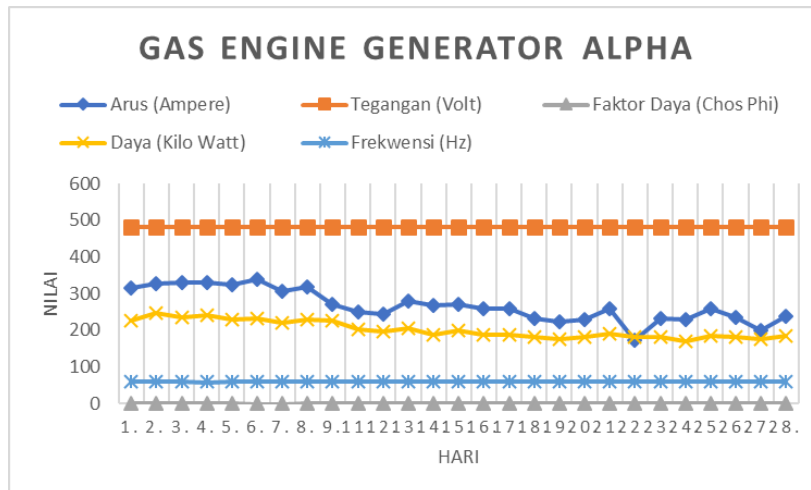
Tabel 1. Data Gas Engine Generatora Alpha

No	Tanggal	Arus (Ampere)	Tegangan (Volt)	Faktor Daya (Cos Phi)	Daya (Kilo Watt)	Frekwensi (Hz)
1.	28-04-2018	315	480	0,87	225	60,3
2.	29-04-2018	327,5	480	0,86	247,5	60,3
3.	30-04-2018	330	480	0,86	235	60,3
4.	31-04-2018	330	480	0,85	241,25	60,2
5.	01-05-2018	325	480	0,85	227,5	60,4
6.	02-05-2018	340	480	0,83	232,5	60,3
7.	03-05-2018	307,5	480	0,83	220	60,3
8.	04-05-2018	317,5	480	0,86	227,5	60,3
9.	05-05-2018	270	480	0,86	225	60,3
11.	06-05-2018	250	480	0,88	202,5	60,4
12.	07-05-2018	245	480	0,91	195	60,4
13.	08-05-2018	280	480	0,89	205	60,4
14.	09-05-2018	267,5	480	0,85	187,5	60,6
15.	10-05-2018	270	480	0,87	200	60,5
16.	15-05-2018	257,5	480	0,88	187,5	60,4
17.	16-05-2018	260	480	0,87	187,5	60,4
18.	17-05-2018	232,5	480	0,89	180	60,4
19.	18-05-2018	222,5	480	0,89	175	60,4
20.	19-05-2018	227,5	480	0,91	180	60,4
21.	20-05-2018	260	480	0,88	190	60,4
22.	21-05-2018	172,5	480	0,91	180	60,4
23.	22-05-2018	232,5	480	0,91	182,5	60,4
24.	23-05-2018	230	480	0,90	170	60,4
25.	24-05-2018	257,5	480	0,89	185	60,5
26.	25-05-2018	233,4	480	0,90	180	60,4
27.	26-05-2018	200	480	0,89	175	60,4
28.	27-05-2018	236,6	480	0,86	183,3	60,5

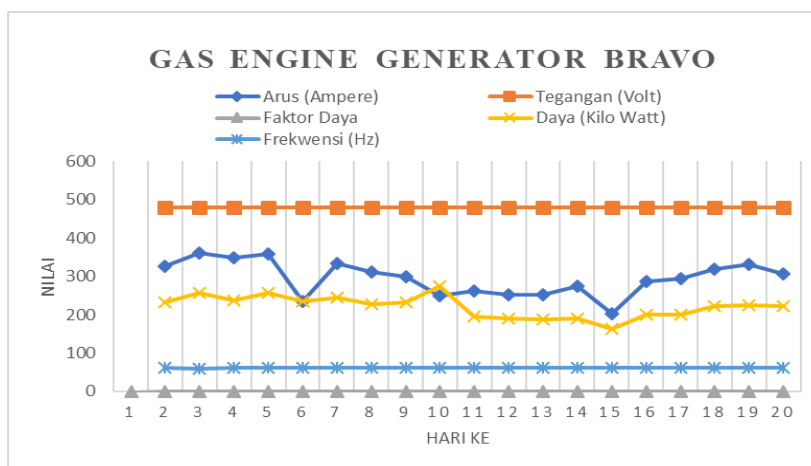
Dari tabel dan perhitungan diatas, dapat dilihat bahwa *gas engine generator alpha* menghasilkan arus terendah 170 ampere dan tertinggi 330 ampere. Hal ini disebabkan karena pembebanan untuk *gas engine generator alpha* sudah dikendalikan oleh *automatic generator loading control*, sehingga kerja dari *gas engine generator alpha* disesuaikan dengan permintaan beban. Tegangan yang dihasilkan stabil 480 volt. Hal ini disebabkan karena sistem eksitasi dikendalikan oleh *voltage regulator*, sehingga sistem eksitasi selalu menyesuaikan tegangan



keluaran generator. Daya listrik terendah yang dihasilkan oleh *gas engine generator alpha* adalah 170 Kilo Watt yang terjadi pada tanggal 25-05-2018 dan tertinggi 247,5 Kilo Watt tanggal 04-04-2018. Karena kebutuhan daya listrik bervariasi maka arus pada *gas engine generator alpha* pun bervariasi. Pembebanan untuk gas engine generator sendiri dibatasi sampai 450 Kilowatt, dan itu sangat dihindari



Gambar 3. Grafik Gas Engine Generator Alpha



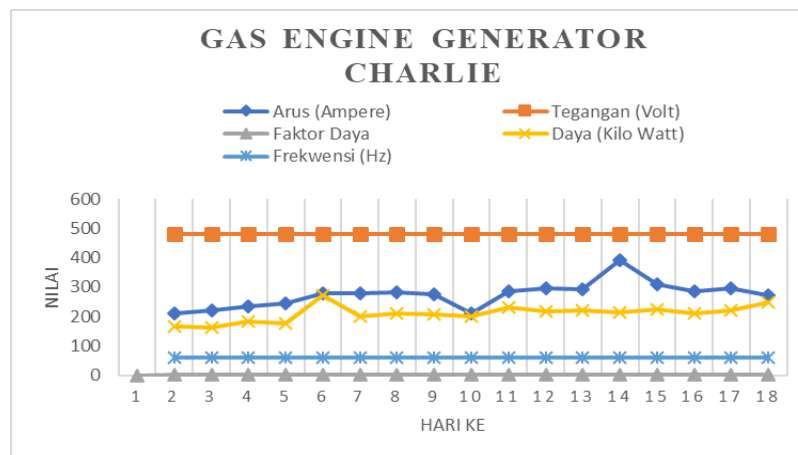
Gambar 4. Grafik Gas Engine Generator Bravo

Arus listrik dan tegangan adalah dua satuan dasar dalam kelistrikan. Tegangan listrik adalah penyebab dan arus listrik adalah efeknya. Tegangan adalah beda potensial yang menghasilkan gaya gerak listrik sedangkan arus adalah banyaknya muatan elektron dalam sebuah penghantar atau

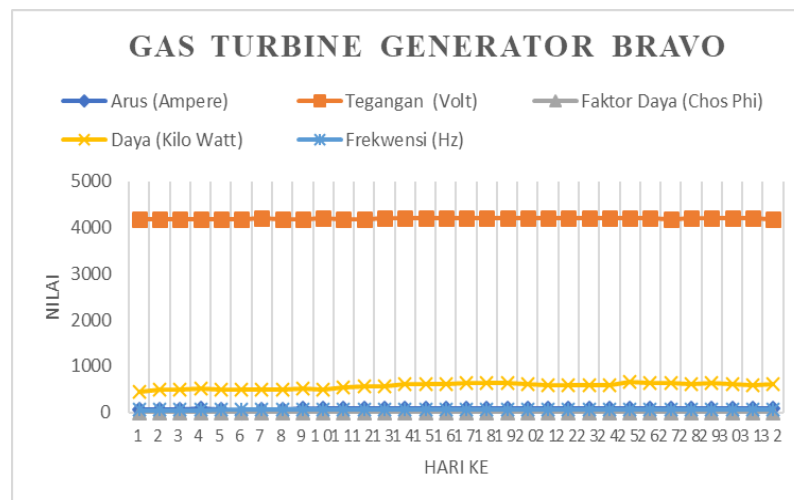




rangkaian. Saat generator diberi eksitasi dan putaran, maka akan timbul tegangan listrik. Akan tetapi bila belum ada beban yang di tanggung, maka belum ada arus listrik yang mengalir, artinya daya aktif belum digunakan oleh kosumen.



Gambar 5. Grafik Gas Engine Generator Charlie



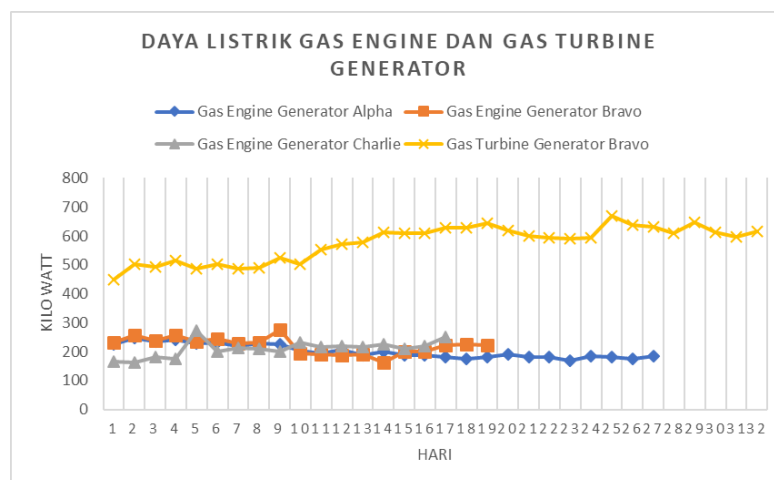
Gambar 6. Grafik Gas Turbine Generator Bravo

Tegangan gas turbine generator bravo stabil di 4180 V karena dijaga set point nya oleh *voltage regulator*. Tegangan yang tinggi tersebut menyebabkan arus yang dihasilkan lebih rendah dari *gas engine generator*. Hal ini merupakan realitas dari rumus daya, yaitu  $V \cdot I = P$ . Semakin tinggi arus listrik maka penampang yang digunakan harus lebih besar, sehingga



kurang ekonomis apabila digunakan untuk distribusi jarak jauh. Arus dan daya yang mengalami peningkatan dan penurunan disebabkan oleh berubahnya beban – beban listrik yang ada di pagerungan. Arus dan daya tertinggi terjadi pada tanggal 28 mei 2018 98,5 Ampere, dan terendah pada tanggal 28 April 2018 69,5 Ampere.

Dari grafik diatas pada grafik *gas engine generator* dapat disimpulkan bahwa kisaran kenaikan arus listrik banyak terjadi di siang hari menjelang petang, Meskipun pada *gas turbine generator* sedikit mengalami penurunan arus listrik pada pagi hari, kemudian meningkat sampai di beban tertinggi malam hari. Nilai arus tersebut masih dalam batas wajar kemampuan unit unit pembangkit, gas turbine generator dan gas engine generator di Kengan Energy Indonesia Ltd Pagerungan Operation.



Gambar 7. Grafik Daya dan Arus Gas Turbine dan Gas Engine Generator

Hasil akhir dari operasi *load sharing* yaitu beban besar dapat ditanggung oleh beberapa generator secara proporsional serta efisien dan ekonomis. Penggunaan biaya produksi untuk menghasilkan listrik dapat ditekan sesuai dengan situasi dan kondisi power plant itu sendiri. Dengan beban yang besar, apabila ditanggung oleh 1 unit. *Load sharing* digunakan saat konsumen ingin memanfaatkan unit pembangkit yang ada seiring dengan bertambahnya kebutuhan listrik. Sistem *load sharing* banyak



digunakan di pusat pembangkitan tenaga listrik, industri, *oil and gas company*, kapal laut, dan lain sebagainya.

#### 4. KESIMPULAN

1. Sebelum unit pembangkit paralel ke jaringan, tegangan dan frekuensi unit *incoming* harus disamakan dengan system jaringan.
2. Modul *SPM-A*, *AGLC* dan *LSCS* saling terhubung dalam operasi *load sharing* di Kangean Energy Indonesia Ltd Pagerungan Operation
3. Beban listrik di Pulau Pagerungan pada tanggal 29 april sampai 28 mei tertinggi terjadi pada 21 April 2018 (1.140 Kilowatt) dan terendah terjadi pada tanggal 3 April 2018 (0.836 Kilowatt) karena perubahan daya yang diserap beban desa pagerungan dan kebutuhan listrik di *gas refinery plant*, serta dengan membagi beban listrik kepada beberapa unit pembangkit, kehandalan serta efisiensi sistem dapat terjaga kontinuitasnya dengan baik.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- Operation and Maintenance Instruction for Saturn 20 Solar Turbine  
Caterpilar USA.
- Operation and Maintenance Instruction For 3512 Gas Engine Generator  
Caterpilar USA.
- Voltage Regulator 6-B Manual Caterpilar RENR2480-02 USA.
- Voltage Regulator 3 Manual Caterpilar SENR7958 USA.
- Woodward SPM-A Synchronizer Manual 82384 USA.
- Woodward AGLC Manual 82004 USA.
- Woodward LSSC Manual 82389 USA.
- Suripto Slamet, "Sistem Tenaga Listrik: Universitas Muhammadiyah  
Yogyakarta, Yogyakarta.
- Panduan Penulisan Laporan Kerja Praktik, Jurusan Teknik Elektro  
Universitas Muhammadiyah Yogyakarta 2013.



- S.Z. Vijlee, A. Ouruoa, L.N. Domaschk, and J.H. Beno (Naval Research, US) 2007. *Coupled Gas Turbine Permanent Magnet Generator Sets For Prime Power Generation On Board Electric Ships* : USA.
- Dr. -Ing. Tobias Vogel, Dr. -Ing. Gerd Oeljklaus, Univ. Prof. Dr. -Ing. Habil Klaus Görner, University of Duisburg- Essen 2016. Dr. -Ing. Thoomas Polklas, Dipl. -Ing Christian Frekers (MAN Deisel & Turbo SE). *Study of Gas Engines and Gas Turbines in CO generations (CHP) Using the Example of Typical Public District Heat Distribution Network* : GERMANY
- Lee S. Langston (University of Connecticut) IGTI, ASME 2013. *The Adaptable Gas Turbine* : USA.
- Yousef Almarzooq 2011 *One of The Most Important Turbine (Gas Turbine)*.
- Dolotovskii, E Larin (Gagarin Saratov State Technical University Rusia) 2017. *Stabilization of Gas Turbine Unit Power* : RUSIA.
- Kyong Hee Kim, Changsok Yoo. (Seoul National University South Korea) 2013 *A Feasibility Study on Natural Gas Power Plant Project in the DPRK Under the CDM Scheme and Grid Connection* : SOUTH KOREA.
- O. R. AL-Hamdan, A. A. Saker (High Institute Energy of Kuwait) 2013 *Studying the Role Played By Evaporative Cooler On the Performance of GE Gas Turbine Existed in Shuaiba North Electric Generator Power Plant* : KUWAIT.
- M. L. Elhafyani, S. Zounggar, M. Benkaddour, A. Aziz (University Mohammed Morroco) 2014. *Behavior on Induction Generator Without and With Voltage Regulator* : MORROCO.
- Julia Kurz, Martin Hoeger, Reinhard Niehuis (Bundeswehr University Munich, MTU aero Engines AG Germany) 2017. *Active Boundary Layer Control On Highly Loaded Turbine Exit Case Profile* : GERMANY.
- Ari Saikkonen, Tom Kaas (Wartsila Technical Journal)2012 . *Analogue Isochronous Load Sharing and UNIC* : FINLAND.
- Syahputra, R., Robandi, I., Ashari, M. (2015). *Performance Improvement of Radial Distribution Network with Distributed Generation Integration Using Extended Particle Swarm Optimization Algorithm. International Review of Electrical Engineering (IREE)*, 10(2). pp. 293-304.