

## Analisis Efisiensi Exhaust Gas Temperatur Setelah Dilakukan Engine Water Wash di Engine CFM56-7B pada Pawat Boeing 737-800NG

Yafid Effendi<sup>1</sup>, M Arief Alfi Ardian<sup>2</sup>, Sangaji Yusuf Amin<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Jurusan Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Tangerang  
Email : <sup>1</sup>yafid\_effendi@yahoo.com, <sup>2</sup>ariefalfi.ardian@gmail.com, <sup>3</sup>Sangajiy@gmail.com

### Abstrak

Peranan dan fungsi pesawat terbang merupakan transportasi udara bagi Indonesia mempunyai posisi strategis ditinjau dari berbagai aspek. Transportasi udara merupakan satu-satunya alternatif yang cepat, efisien dan ekonomis bagi pengangkutan antar pulau dan antar daerah, terutama antar daerah terpencil di pulau-pulau besar luar Jawa. Semakin sering pesawat digunakan maka jam terbangnya juga akan bertambah, tingginya jam terbang berpengaruh pada performa dari setiap komponen pada pesawat. Maka dari itu untuk menjaga Engine tetap dalam keadaan performa yang maksimal dan saling bersinergi, maka dilakukanlah berbagai macam cara perawatan, salah satu perawatannya yaitu Engine water wash. Engine water wash dilakukan setiap 1200 Engine Flight Hour, dimana pengerjaan ini dijadwalkan pada tanggal 23 juni 2021. Perawatan Engine water wash menggunakan alat yang dinamakan Juniper. Alat ini mempunyai hook berbentuk J yang di sangkutkan pada Low Pressure Compressor. Engine akan di dry motoring selama 2 menit kemudian juniper akan menyemprotkan air panas yang bertekanan ke dalam Engine, pengerjaan ini dilakukan berulang hingga 4 kali, diharapkan kotoran yang berada pada bagian dalam Engine akan hilang, sehingga Engine akan berputar lebih maksimal dan efisien. Pada penelitian kali ini pengerjaan Engine water wash terbukti mampu untuk menaikkan efisiensi pada Engine, dimana Efisiensi pada Compressor naik sebesar 2,4% dari yang sebelumnya 97,25% menjadi 99,65%, pada Ruang Bakar naik sebesar 0,72% dari yang sebelumnya 99,18% menjadi 99,90%, pada Turbin naik sebesar 1,65% dari yang sebelumnya 90,60% menjadi 92,25%. Engine water wash juga berfungsi untuk menjaga efisiensi EGT (Exhaust Gas Temperatur), dimana tingkat efisiensi pada Engine EGT (Exhaust Gas Temperatur) naik sebesar 1,76% dari yang sebelumnya 42,59% menjadi 44,35%. Dari penelitian kali ini dapat disimpulkan bahwa, tingkat efisiensi pada tiap komponen dalam Engine mengalami kenaikan setelah dilakukan Engine water wash.

**Kata Kunci :** Pesawat Terbang, EGT, Engine Water Wash, Temperatur, Juniper

### Abstract

The role and function of aircraft as air transportation for Indonesia has a strategic position in terms of various aspects. Air transportation is the only fast, efficient and economical alternative for inter-island and inter-regional transportation, especially between remote areas in the big islands outside Java. The more often the aircraft is used, the flying hours will also increase, the high flying hours affect the performance of each component on the aircraft. Therefore, to keep the engine in a state of maximum performance and synergize with each other, various treatments are carried out, one of which is engine water wash. Engine water wash is carried out every 1200 Engine Flight Hour, where this work is scheduled for June 23, 2021. Engine water wash maintenance uses a tool called Juniper. This tool has a J-shaped hook that is attached to the Low Pressure Compressor. The engine will be dry motoring for 2 minutes then the juniper will spray pressurized hot water into the engine, this process is repeated up to 4 times, it is hoped that the dirt on the inside of the engine will disappear, so the engine will spin more optimally and efficiently. In this study, the engine water wash was proven to be able to increase the efficiency of the engine, where the efficiency of the compressor increased by 2.4% from the previous 97.25% to 99.65%, in the combustion chamber it increased by 0.72% from the previous one. previously 99.18% to 99.90%, the Turbine increased by 1.65% from the previous 90.60% to 92.25%. The water wash engine also functions to maintain the efficiency of EGT (Exhaust Gas Temperature), where the efficiency level on Engine EGT (Exhaust Gas Temperature) increased by 1.76% from the previous 42.59% to 44.35%. From this research, it can be concluded that the efficiency level of each component in the engine has increased after the engine water wash has been carried out.

**Keywords:** Aircraft, EGT, Engine Water Wash, Temperature, Juniper

## PENDAHULUAN

Seiring dengan perkembangan teknologi pesawat terbang sangat mendominasi dari segi transportasi, Pada saat ini penguasaan teknologi rancang bangun di bidang kedirgantaraan sangatlah pesat contohnya saja bermunculan berbagai jenis pesawat terbang

Peranan dan fungsi pesawat terbang, terutama transportasi udara bagi Indonesia mempunyai posisi strategis ditinjau dari berbagai aspek. Transportasi udara merupakan satu-satunya alternatif yang cepat, efisien dan ekonomis bagi pengangkutan antar pulau dan antar daerah, terutama antar daerah terpencil di pulau-pulau besar luar Jawa. Pentingnya transportasi udara tercermin pada semakin meningkatnya kebutuhan jasa angkutan udara bagi mobilitas orang serta barang di dalam negeri, dari dan ke luar negeri serta berperan sebagai pendorong dan penggerak bagi pertumbuhan daerah dan pengembangan wilayah Pengangkutan udara, baik internasional maupun domestik mempunyai peranan dan fungsi yang makin penting dalam kehidupan umat manusia. Sukar dibayangkan dalam kehidupan modern dewasa ini tanpa adanya jasa pengangkutan udara.

Semakin sering pesawat digunakan maka jam terbangnya juga akan bertambah, tingginya jam terbang berpengaruh pada performa dari setiap komponen pada pesawat. Penurunan performa yang terjadi dapat menimbulkan berbagai masalah. Maka dari itu untuk menjaga *Engine* tetap dalam keadaan performa yang maksimal dan saling bersinergi, maka dilakukanlah berbagai macam cara perawatan, salah satu perawatannya yaitu *Engine water wash*. *Engine water wash* bertujuan untuk menjaga efisiensi EGT (*Exhaust Gas Temperature*), artinya makin tinggi efisiensi EGTnya, maka *live time* penggunaan *Engine* itu akan semakin lama dan performa dari *Engine* tersebut juga dapat maksimal. *Engine water wash* pada *Engine* dilakukan menggunakan alat yang dinamakan *Juniper*.

Alat ini menggunakan dua tabung air yang dipanaskan hingga suhu 70 derajat celcius sehingga air yang dipancarkan adalah air panas dan alat ini dilengkapi injektor berbentuk J yang di sangkutkan pada bagian *Compressor* tekanan rendah (*Low Pressure Compressor*) sehingga air yang digunakan bisa fokus untuk membersihkan bagian dalam *Engine*.

## METODOLOGI PENELITIAN

Pengumpulan data dilakukan dengan metode kuantitatif. Kemudian di dilandasi oleh kegiatan proses pengerjaan *Engine Water Wash* di lapangan dan di dasarkan oleh teori serta jurnal ilmiah. Data yang di gunakan pada penelitian kali ini didapatkan dari berbagai sumber yaitu, *Engine Trend Monitoring*, *Aircraft Maintenance Log (PK-GNH)* dan *Engine Run up Performance*. Selain itu teori dasar dan informasi diperoleh dari *Aircraft Maintenance Manual Boeing 737-800*, *Engine Maintenance Manual CFM56-7B*, *Aircraft Training Manual*, jurnal ilmiah dan e-book.

Data yang diperoleh pada penelitian kali ini di dapat dari *Engine Trend Monitoring* dan *Engine Run-up Performance* pada tanggal 23 Juni 2021 dan 24 Juni 2021. Kemudian pengolahan data dilakukan untuk menghitung dan menjelaskan hasil efisiensi yang terjadi pada tiap komponen, serta membandingkan antara sebelum dan setelah proses pengerjaan *engine water wash*. Dari Analisa data perbandingan efisiensi yang dihasilkan, maka dapat diperoleh kesimpulan dalam penelitian kali ini.

Perhitungan Turbin Gas dilakukan dengan siklus Brayton secara ideal, yang mana data-data yang didapat seperti temperatur secara ideal dan aktual. Serta perhitungan yang dilakukan untuk menentukan kerja dari siklus Turbin Gas dan Efisiensinya akan di jelaskan sebagai berikut:

- (1) Menentukan ratio tekanan ( $rp$ ) keluar Compressor masuk ke Chamber ( $pr2$ ) dan masuk Compressor ( $pr1$ ) untuk

penentuan besar temperatur dan entalpi disisi tersebut dengan rumus berikut.

$$r_p = \frac{p_{r2}}{p_{r1}} \quad (1)$$

- (2) Mencari nilai Temperatur pada keluar Compressor (masuk ke Chamber) dan keluar Chamber (masuk ke turbin), serta mencari nilai temperature ideal pada keluar Compressor (masuk ke Chamber) dan turbin (exhaust) menggunakan rumus interpolasi.

$$y_0 = y_1 + \left[ \frac{(x_0 - x_1)}{(x_2 - x_1)} (y_2 - y_1) \right] \quad (2)$$

- (3) Rumus Interpolasi juga dilakukan untuk mencari nilai entalpi ( $h_1, h_2, h_3, h_4$ ) aktual dengan cara menggunakan tabel ideal-gas properties of air untuk setiap siklus kerja Engine.

- (4) Menghitung nilai efisiensi pada compressor

$$\eta_{compressor} = \frac{(h_{2s} - h_1)}{(h_2 - h_1)} \times 100\% \quad (3)$$

dengan,

$h_1$  = nilai entalpi udara masuk Compressor (kj/kg),

$h_2$  = nilai entalpi udara keluar Compressor (kj/kg),

$h_{2s}$  = nilai entalpi udara ideal keluar Compressor (kj/kg)

- (5) Menghitung nilai efisiensi pada combustion Chamber (ruang bakar)

$$\eta_{chambers} = \frac{(h_2 - h_3)}{(h_{2s} - h_3)} \times 100\% \quad (4)$$

dengan,  $h_3$  = nilai entalpi udara keluar chamber (kj/kg)

- (6) Menghitung nilai efisiensi pada turbin

$$\eta_{turbin} = \frac{(h_3 - h_4)}{(h_3 - h_{4s})} \times 100\% \quad (5)$$

$h_4$  = nilai entalpi udara turbin (kj/kg)

$h_{4s}$  = nilai entalpi udara ideal turbin (kj/kg)

- (7) Menghitung efisiensi thermal pada gas turbin.

$$\eta_{thermal} = 1 - \frac{(T_4 - T_1)}{(T_3 - T_2)} \times 100\% \quad (6)$$

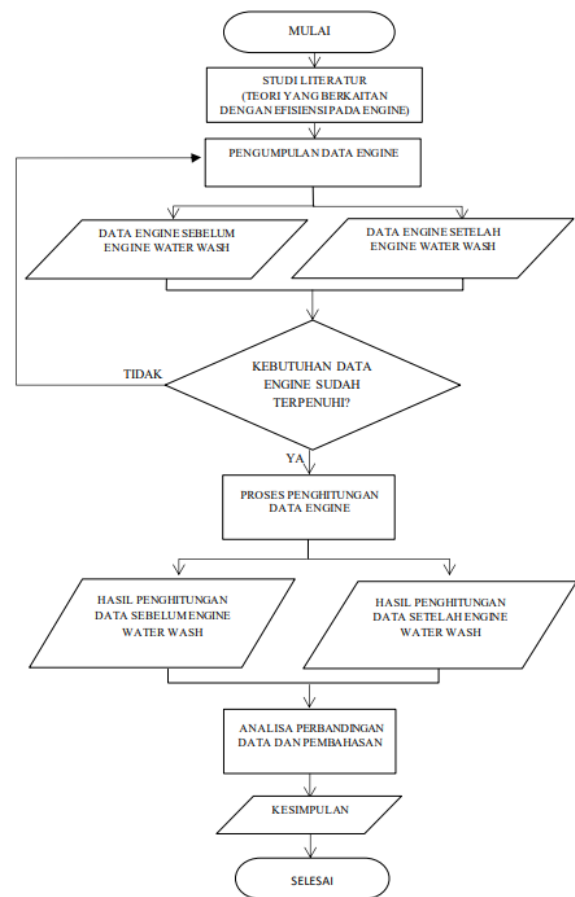
$T_1$  = Temperatur masuk Compressor (K)

$T_2$  = Temperatur keluar Compressor (K)

$T_3$  = Temperatur keluar Chamber (K)

$T_4$  = Temperatur turbin (K)

Metode penelitian dapat dilihat pada Gambar 1 berikut.



**Gambar 1.** Diagram Alir Penelitian

## HASIL DAN PEMBAHASAN

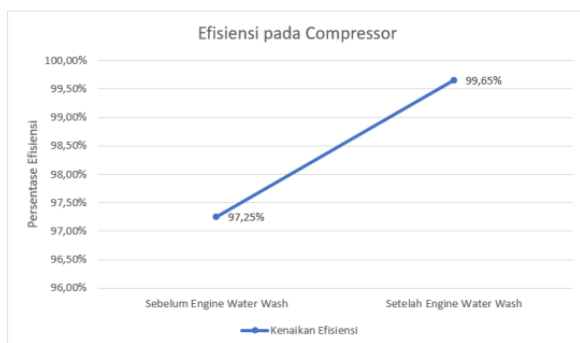
Dari hasil data penghitungan dan penelitian sebelum dan sesudah Engine

Water Wash maka didapatkan hasil seperti pada Tabel 1 sebagai berikut:

**Tabel 1.** Data Engine

No	Jenis Data Input	Simbol	Satuan	Sebelum	Setelah
				23 Jun 2021	24 Jun 2021
1	Temperatur Udara Masuk Compressor	$T_1$	$^{\circ}C$ $K$	28 301	26 299
2	Temperatur Udara Gas Buang	$T_4$	$^{\circ}C$ $K$	570 843	537 810
3	Pressure Udara Atmosfir	$P_1$	Bar	1,013	1,013
4	Pressure Udara Keluar Compressor	$P_2$	Bar	12,82	13,43
5	Laju aliran massa Bahan Bakar	$m_{bb}$	$Kg/s$	1,16	1,18
6	Nilai Kalor Bahan Bakar	LHV	$KJ/Kg$	42800	42800
7	Massa Jenis Bahan Bakar	$\rho_{bb}$	$Kg/m^3$	0,775	0,775
8	Daya Output Generator	$W_g$	KVA	90	90
9	Efisiensi Pada Compressor	$\eta_{compressor}$	%	97,25	99,65
10	Efisiensi Pada Ruang Bakar	$\eta_{chambers}$	%	99,18	99,90
11	Efisiensi Pada Turbin	$\eta_{turbin}$	%	90,60	92,25
12	Efisiensi Thermal Engine	$\eta_{thermal}$	%	42,59	44,35

Efisiensi Compressor adalah perbandingan kerja Compressor ideal dengan aktual. Kenaikan efisiensi Compressor juga dipengaruhi oleh kerja Compressor ideal dan aktual. Kerja Compressor ideal dapat ditentukan dari entalpi temperatur ideal masuk dan keluar dari Compressor. Dengan demikian semakin besar kerja Compressor aktual maka efisiensi Compressor mengalami penurunan. Sebaliknya semakin besar kerja Compressor ideal maka efisiensi Compressor mengalami peningkatan. Rendahnya kerja Compressor akan berpengaruh pada rasio kompresi dan akan menurunkan suhu keluar Compressor.



**Gambar 2.** Kenaikan Efisiensi Compressor

Kenaikan yang terjadi pada efisiensi Compressor dapat dihubungkan dengan kegiatan Engine Water Wash yang berada pada bagian blade-blade Compressor. Kotoran yang berada pada blade Compressor akan mengurangi efisiensi dan kerja dari Compressor, maka dari itu setelah

proses Engine Water Wash, output Pressure dari Compressor juga meningkat.

Efisiensi pada ruang bakar dipengaruhi oleh temperatur keluar Compressor dan temperatur masuk turbin. Temperatur yang keluar Compressor ini mempengaruhi proses pembakaran pada ruang bakar. Kemudian proses pembakaran pada ruang bakar mempengaruhi besar kecilnya temperatur yang akan masuk ke turbin.

Peningkatan efisiensi pada ruang bakar dapat dihubungkan dengan kegiatan Engine Water Wash pada bagian Chombustion Chamber yaitu dengan membersihkan ruang bakar dari segala kotoran dan proses ini juga membersihkan outlet dari fuel injector sehingga laju aliran massa bahan bakar juga meningkat, sehingga proses pembakaran menjadi lebih optimal.

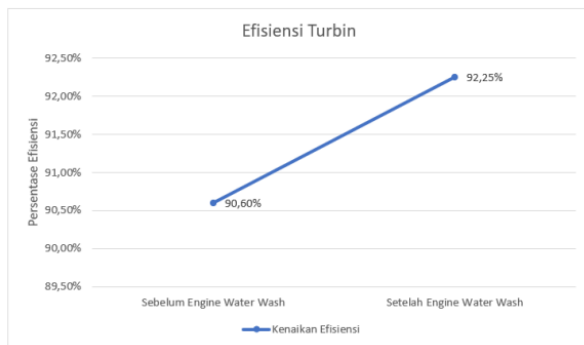


**Gambar 3.** Kenaikan Efisiensi Ruang bakar

Parameter yang mempengaruhi dari temperatur masuk turbin akibat proses pembakaran yang terjadi di ruang bakar, yang mana suhu masuk turbin harus semakin tinggi karena untuk proses ekspansi pada turbin akan meningkatkan daya yang dihasilkan. Sedangkan temperatur keluar turbin harus serendah mungkin dikarenakan agar gas yang terbuang tidak akan sia-sia saat proses pembuangan ke atmosfer, hal ini juga sesuai dengan siklus turbin gas Brayton.

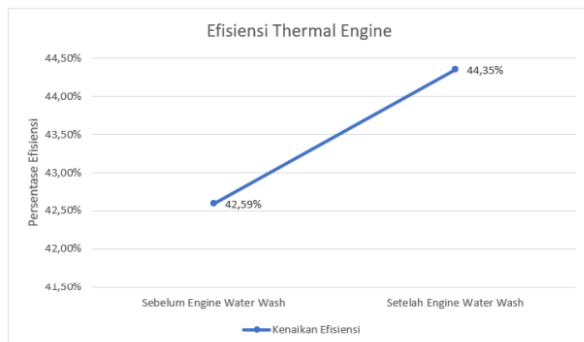
Hal yang mempengaruhi kenaikan efisiensi turbin dapat dihubungkan dengan kegiatan Engine Water Wash yaitu pembersihan flage atau kerak kotoran yang menempel pada blade turbin akibat dari

hasil pembakaran yang tidak sempurna saat sebelum dilakukan proses *Water Wash*.



**Gambar 4.** Kenaikan Efisiensi pada Turbin

Efisiensi *thermal* yang terjadi mampu menjaga EGT margin sehingga *live time* dari penggunaan *Engine* menjadi semakin lama. Pada saat sebelum proses *Engine Water Wash* Efisiensi *Thermalnya* sebesar 42,59% dan setelah pengerjaan *Engine Water Wash* naik sebesar 1,76% menjadi 44,35%.



**Gambar 5.** Kenaikan EGT

Hal yang dapat mempengaruhi efisiensi *thermal* turbin gas adalah *ambient* temperatur, serta efisiensi tiap komponen yaitu *Compressor*, ruang bakar dan turbin. Selain itu proses pengerjaan *Engine Water Wash* di tiap-tiap komponen terbukti mampu mengurangi temperatur di sisi udara masuk *Compressor*, udara keluar *Compressor* (masuk ke *Chamber*), udara keluar *Chamber* (masuk ke turbin), udara keluar turbin (*exhaust*).

## KESIMPULAN

Berdasarkan dari penghitungan, pembahasan dan hasil analisa pada bab sebelumnya, maka didapatkan kesimpulan

yang menjadi jawaban dari tujuan penelitian sebagai berikut:

1. Sangat penting untuk menjaga masa pakai *Engine*, salah satu caranya yaitu dengan melakukan perawatan rutin *Engine Water Wash*. *Engine Water Wash* sendiri menurut Maintenance Program memiliki Interval waktu yang rutin dilaksanakan setiap 1200EFH (*Engine Flight Hour*). Pekerjaan *Engine water wash* dilakukan untuk membersihkan setiap komponen pada bagian dalam *Engine* dengan cara menyemprotkan air panas bertekanan kedalam *Engine* menggunakan alat yang dinamakan *Juniper*.
2. Proses penghitungan yang dilakukan pada data sebelum dan setelah *Engine Water Wash* ternyata ditemukan bahwa terjadi peningkatan efisiensi dari tiap komponen yang berada pada bagian dalam *Engine*. Selain itu pengaruh kegiatan *Engine Water Wash* yang dilakukan terbukti mampu menurunkan temperatur di sisi udara masuk *Compressor*, udara keluar *Compressor* (masuk ke *Chamber*), udara keluar *Chamber* (masuk ke turbin), udara keluar turbin (*exhaust*). sehingga efisiensi *thermal* pun juga akan meningkat.
3. Hasil analisa perbandingan efisiensi yang terjadi sebelum dan setelah proses pengerjaan *Engine Water Wash*:
  - a. Efisiensi pada *Compressor* saat sebelum proses *Engine Water Wash* sebesar 97,25% dan setelah pengerjaan *Engine Water Wash* naik sebesar 2,4% menjadi 99,65%.
  - b. Efisiensi pada Ruang Bakar saat sebelum proses *Engine Water Wash* sebesar 99,18% dan setelah pengerjaan *Engine Water Wash* naik sebesar 0,72% menjadi 99,90%.
  - c. Efisiensi pada Turbin saat sebelum proses *Engine Water Wash* sebesar 90,60% dan setelah

pengerjaan *Engine Water Wash* naik sebesar 1,65% menjadi 92,25%.

- d. Efisiensi *thermal* dipengaruhi oleh efisiensi dan temperatur dari tiap komponen, dimana efisiensi *thermal* yang di dapat saat sebelum *Engine water wash* sebesar 42,59% dan setelah proses pengerjaan *Engine Water Wash* naik sebesar 1,76% menjadi 44,35%

#### DAFTAR PUSTAKA

- Boeing Company. (2018). *Boeing B737-600/700/800/900 (CFM56) Training Manual*.
- Boeing Company. (2021). *Aircraft Maintenance Manual 737-600/700/800/900*. Boeing Company.
- Boles, M. A. (2007). *Thermodynamics An Engineering Approach Sixth*. North Carolina.
- Cengel, Y. A. (2006). *Brayton cycle : the ideal cycle for gas turbine Engine. Dalam thermodynamics an Engineering approach 5th edition (hal. 507-554)*.
- Cengel, Y. A. (2008). *Thermodynamics: An Engineering Approach*. New York: The McGraw-Hill Companies.
- CFM56 ENGINES. (2021). *Engine Maintenance Manual*.
- Fadlillah, A. R. (2020). *Analisis Efisiensi Turbin Gas Sebelum Dan Setelah Intermediate Inspection di PT PJB Up Muara Tawar Blok 2 Unit 2*. Jakarta: Institut Teknologi PLN.
- Garuda Indonesia. (2019). *Maintenance Program Boeing 737-800*.
- GMF Aeroasia. (2018). *Basic Aircraft Maintenance Airframe Powerplant*.
- Sarifudin. (2019). *Analisis Aliran Udara Fan Blade Pada Mesin CFM56-7B BOEING 737-800NG Dengan Computational Fluid Dynamic (CFD)*. Tangerang: Universitas Muhammadiyah Tangerang.
- Senjaya, F. D. (2013). *Analisa Pengaruh Water Wash Terhadap Performansi Turbin Gas Pada PLTG UNIT 7 Paya Pasir PT.PLN Sektor Pembangkitan Medan*. Medan: Jurnal USU ISSN 2338-1035 Volume. 7, No.3 Desember 2013.
- Setiawan\*, B. (2017). *Analisis Pengaruh Compressor Washing Terhadap Efisiensi Kompresor Dan Efisiensi Thermal Turbin Gas*. Jakarta: Jurnal Mesin Teknologi (UMJ) Volume 11 No. 1 Juni 2017.
- Sukadana, I. G. (2015). *Teori Turbin Gas Dan Teori Turbin Gas*. Bali: PS. Teknik Mesin Universitas Udayana.
- Sulistiyo, F. (2018). *Analisa Eksergi Dan Efisiensi Aktual Turbin Gas Unit P-4 Sesudah Pemeliharaan Menyeluruh di PT. PUPUK KALTIM*. Jakarta: Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Trisakti.
- Sunarwo, T. H. (2016). *Analisa Efisiensi Turbin Gas Unit 1 Sebelum Dan Setelah Overhaul Combustor Inspection di PT PLN (PERSERO)*. Semarang: Jurnal Teknik Energi Vol 12 No. 2 Mei 2016; 50-57.
- Syukrillah, M. (2019). *Analisis Perhitungan Efisiensi Energi Di Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa (PLTBM) PT. Harjohn Timber Kubu Raya*. Pontianak: Program Studi Teknik Elektro Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.