

Studi Pengujian MGT Berbahan Bakar Campuran LPG dan Briket Bambu serta Simulasi Tekanan Temperatur dengan Perangkat Lunak

Fatkur Rachman*, Mokhamad Is Subekti dan Widodo

Program Studi Teknologi Rekayasa Manufaktur, Politeknik Enjinering Indorama
Kembangkunging, Jatiluhur, Purwakarta, Jawa Barat 41152, Indonesia

*Email : fatkur.rachman@gmail.com

Diajukan: 28-11-2021; Diterima: 11-08-2022; Diterbitkan: 22-08-2022

Abstrak

Turbin gas merupakan salah satu penggerak mula siklus terbuka dengan bahan bakar berupa minyak bumi dan gas. Dalam perkembangannya turbin gas dapat dibuat dalam skala mikro dengan membalik prinsip *turbocharger* menjadi turbin gas mikro. Penelitian ini meliputi pengujian turbin gas mikro atau *micro gas turbine (MGT)* yaitu menggunakan 2 *turbocharger* yaitu 1 sebagai turbin gas penggerak kompresor (*high pressure turbine*) dan 1 turbin gas penggerak generator arus searah (*low pressure turbine*). Dalam penelitian ini menggunakan 1 ruang bakar dengan desain tertentu. Tujuan dari penelitian ini adalah membandingkan dan meneliti hasil pengujian langsung pada mesin dan simulasi penggunaan perangkat lunak untuk memberikan gambaran fundamental tentang permodelan kinerja turbin gas mikro. Metode penelitian yang digunakan adalah menggunakan metode kuantitatif berupa pengambilan data besaran fisik temperatur dan tekanan dengan pengujian langsung pada mesin menggunakan *turbocharger* DH 300-7 untuk turbin kesatu dan PC 200-8 untuk turbin kedua. Karena tumpuan poros menggunakan bantalan luncur (*journal bearing*) maka MGT dapat dilakukan dengan pengujian putaran turbin kesatu sebesar 16.000 rpm, pengujian kedua menggunakan putaran 20.000 rpm dan terakhir 25.000 rpm. Dalam penelitian ini hasil uji performa MGT dimasukkan dalam perangkat lunak *Thermoflow*, untuk memberikan gambaran fundamental tentang permodelan kinerja MGT lebih lanjut. Ditarik kesimpulan bahwa semakin tinggi putaran akan menghasilkan daya yang meningkat, tekanan dan temperatur pada sisi keluar kompresor semakin meningkat, tekanan dan temperatur pada sisi keluar dari ruang bakar semakin meningkat serta tekanan dan temperatur keluar dari turbin 1 meningkat juga temperatur keluar dari turbin 2 meningkat. Berlaku tren peningkatan tekanan pada lokasi pengamatan pada setelah keluar kompresor dan pada ruang bakar serta sedikit menurun akibat kehilangan tekanan (*pressure drop*) di tengah ruang bakar dan menurun setelah keluar turbin 1 dan keluar turbin 2. Tren temperatur secara umum meningkat dari keluar kompresor, ruang bakar, turbin ke 1 dan menurun sebelum masuk dan keluar turbin 2. Terjadi perbedaan antara hasil pengukuran langsung dan simulasi menggunakan perangkat lunak yaitu karena pengukuran langsung hanya mengukur kondisi fisik diluar (*casing*) mesin secara manual dan kondisi lingkungan yang berubah-ubah, berupa angin, kelembaban. Kondisi mesin berbeda saat pengujian 16.000 rpm mesin cenderung lebih dingin dibanding 20.000 rpm dan 25.000 rpm, kehadiran oli pendingin mesin serta desain ruang bakar. Untuk simulasi perangkat lunak menggunakan perhitungan berulang berupa iterasi menggunakan persamaan matematika secara ideal dan bersifat numerik serta kemungkinan adanya asumsi yang tidak pasti.

Kata kunci: bambu; LPG; MGT; pengujian; perangkat lunak

Abstract

The gas turbine is one of the prime movers of the open cycle with fuel in the form of oil, natural gas or a mixture of oil and gas. In its development, gas turbines can be made on a micro scale by reversing the principle of a turbocharger into a micro gas turbine. This research includes testing the micro gas turbine or micro gas turbine (MGT) using 2 turbochargers, 1 as a gas turbine driving a compressor (high pressure turbine) and 1 gas turbine driving a direct current generator (low pressure turbine). In this study using 1 combustion chamber with a certain design. The purpose of this research is to compare and examine the results of direct testing on the engine and simulation of the use of software to provide a fundamental picture of the performance modeling of micro gas turbines. The research method used is quantitative methods in the form of data collection of physical temperature and pressure by direct testing on the engine using a DH 300-7 turbocharger for the first turbine and PC 200-8 for the second turbine. Because the shaft supports using a journal bearing, the MGT can be done by testing the first turbine rotation of 16,000 rpm, the second test using 20,000 rpm and the last 25,000 rpm. In this study, the results of the MGT performance test were included in the *Thermoflow* software, to provide a fundamental overview of further MGT performance modeling. It was concluded that the higher the rotation, the higher the power, the higher the pressure and temperature at the exit of the compressor, the higher the pressure and temperature at the exit of the combustion chamber, and the higher the pressure and temperature at the exit of turbine 1, and the exit temperature of turbine 2 increased. There is a trend of increasing pressure at the observation location after exiting the compressor and in the combustion chamber and slightly decreasing due to pressure

drop in the middle of the combustion chamber and decreasing after exiting turbine 1 and exiting turbine 2. There is a difference between the results of direct measurements and simulations using software, namely because direct measurements only measure the physical conditions outside (the casing) of the engine manually and changing environmental conditions, in the form of wind, humidity. Different engine conditions when testing 16,000 rpm the engine tends to be cooler than 20,000 rpm and 25,000 rpm, the presence of engine cooling oil and the design of the combustion chamber. For software simulations, it uses repeated calculations in the form of iterations using mathematical equations that are ideal and numerical in nature and the possibility of uncertain assumptions.

Keywords: bamboo; LPG; MGT; testing; software

1. Pendahuluan

Seiring dengan upaya pemerintah tertuang dalam Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 12 Tahun 2017 tentang penggunaan energi baru terbarukan (EBT) untuk penyediaan tenaga listrik, terlebih lagi sejak lahirnya Protokol Kyoto pada pertemuan ke-3 COP dengan nilai kesepakatan Paris yang dikenal dengan *Paris Agreement on Climate Change*. Perjanjian Paris ini bertujuan untuk mencegah pemanasan global tidak lebih dari 2 derajat *Celsius* maka penggunaan energi baru dan terbarukan (EBT) menjadi lebih dikembangkan untuk kemandirian energi juga untuk pembangkitan listrik. Pembangkit listrik (*genset*) yang dikenal luas merupakan mesin motor bakar berbahan bakar bensin atau mesin motor *Diesel* berbahan bakar solar. Di negara maju *genset* menggunakan mesin turbin gas mikro karena relatif tidak berpolusi dan relatif senyap karena tidak banyak menghasilkan getaran juga dikenal sebagai mesin berputar, maka turbin gas mikro cocok untuk penyediaan listrik perumahan, pemukiman daerah desa, bisnis usaha kecil atau kantor kecil.

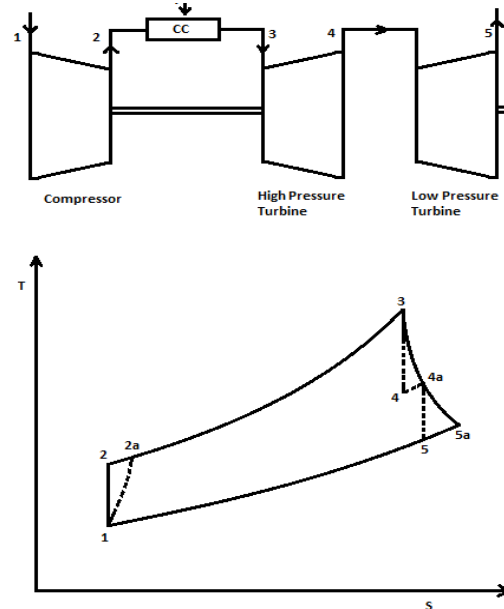
Mesin turbin gas mikro atau *Micro Gas Turbine (MGT)* mulai banyak diteliti dan digunakan sebagai pembangkit tenaga listrik. Turbin gas mikro secara umum mirip dengan turbin gas industri yang terdiri dari tiga komponen utama terdiri dari kompresor, ruang bakar dan turbin. Dalam pembuatan mesin *genset* turbin gas mikro yang baik, maka dalam tahap awal perlu dilakukan pengamatan kondisi kerja aktual pada turbin gas mikro sehingga berlaku prinsip termodinamika turbin gas dengan siklus *Brayton*. Untuk mengamati kondisi kerja turbin gas mikro maka perlu dilakukan penelitian berupa pengamatan langsung pada mesin dan simulasi komputer bilamana data unjuk kerja mesin secara langsung tidak dapat diukur.

Tinjauan literatur pada penelitian turbin gas dan *MGT* sebelumnya telah dilakukan penelitian desain sudu turbin gas mikro menggunakan *CFD* [1]. Telah dilakukan simulasi pada ruang bakar prototipe sistem turbin gas mikro [2]. Turbin gas mikro aksial berputar 20.000-150.000 rpm [3]. Turbin gas mikro menggunakan bahan bakar briket yang terbuat dari limbah bambu dan *LPG* menggunakan 1 turbin gas [4]. Putaran aktual turbin gas industri sekitar 15.000 rpm serta dapat menggunakan *CFD* untuk memprediksi bentuk sudu [5]. Mengubah *turbocharger* mobil sebagai turbin gas mikro telah dilakukan [6]. Turbin gas mikro yang dihasilkan dengan pembakaran eksternal biomassa menggunakan komponen otomotif [7]. Telah dilakukan turbin gas mikro bertenaga hibrid energi surya berbasis *turbocharger* [8]. Karena pada umumnya turbin gas mikro bekerja pada putaran tinggi maka telah di teliti penggunaan *High Speed Generator* untuk membangkit listrik [9]. Pengujian turbin gas mikro menggunakan kerosin dan gas amonia telah diteliti menghasilkan *NOx* yang rendah [10]. Desain *Combustor* pada ruang bakar menghasilkan distribusi variasi temperatur pada aliran ruang bakar [11]. Simulasi turbin gas mikro menggunakan sistem *exhaust gas recirculated* perangkat lunak *cycle-tempo* [12]. Simulasi kinerja turbin gas mikro menggunakan komputer dengan program *Simulink* [13]. Setelah literatur di atas maka dilakukan penelitian kinerja *MGT* baik secara pengukuran langsung dan secara simulasi menggunakan komputer dengan perangkat lunak *Thermoflow*.

Tujuan dari penelitian ini adalah membandingkan dan meneliti hasil pengujian langsung pada mesin dan simulasi komputer menggunakan perangkat lunak untuk memberikan gambaran fundamental tentang permodelan kinerja turbin gas mikro. Literatur mencakup karya sebelumnya pada berbagai aspek pembuatan turbin gas mikro, penelitian diakhiri dengan kesimpulan pengamatan dalam kaitannya dengan permodelan kinerja *MGT* serta beberapa kemungkinan untuk penelitian selanjutnya guna penyempurnaan yang akan datang.

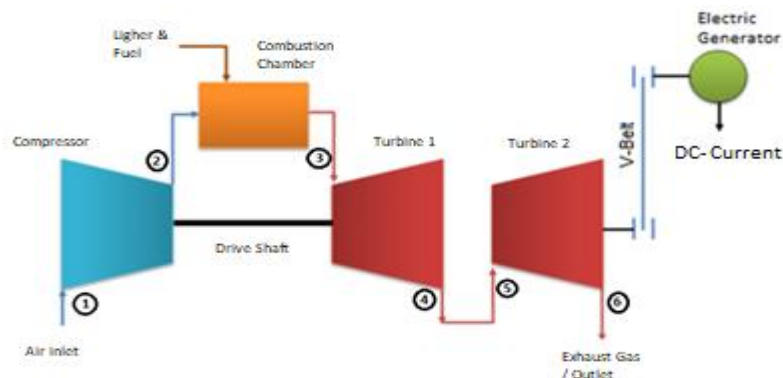
2. Material dan metodologi

Skema dan siklus *MGT* dalam penelitian ini adalah sesuai Gambar 1 [14].



Gambar 1. (atas) diagram blok (*layout*) turbin gas terdiri dari 2 turbin gas (*high pressure dan low pressure*) dan (bawah) diagram siklus (T-S) ideal Brayton 1-2-3-4-5-1 serta diagram siklus (T-S) aktual Brayton 1-2a-3-4a-5a-1

Penulis meneliti *MGT* menggunakan 1 kompresor, 1 ruang bakar, turbin kesatu (*high-pressure turbine*) untuk penggerak kompresor dan turbin kedua (*low-pressure turbine*) sebagai penggerak generator, dapat dilihat pada diagram blok sesuai Gambar 2.

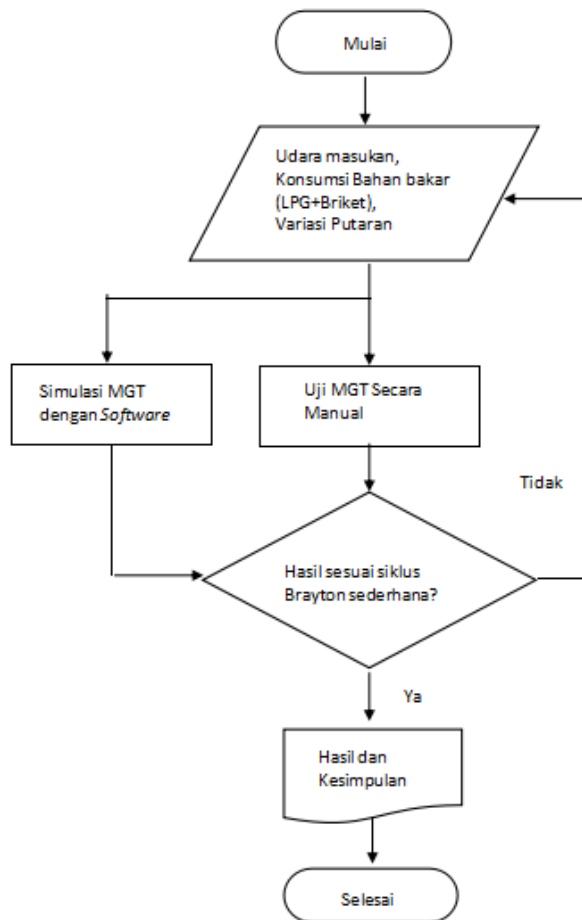


Gambar 2. Diagram blok (*layout*) *MGT* yang diteliti

Metode penelitian yang digunakan adalah menggunakan metode kuantitatif berupa pengujian langsung pada mesin menggunakan turbocharger DH 300-7 untuk turbin kesatu dan PC 200-8 untuk turbin kedua di bengkel Prodi Teknologi

Mesin Politeknik Enjinerung Indorama pada bulan Desember 2020. Pengambilan data yang terbaca dengan alat bantu pendeteksi besaran fisik, menggunakan *thermometer infrared* untuk pengukuran temperatur kerja mesin, *pressure gauge* untuk tekanan. Hasil data pengujian kemudian dilakukan komputasi pada perangkat lunak (*software*) menggunakan *Thermoflow*. Data input pengujian yang dilakukan dengan putaran diatas 15.000 rpm sesuai putaran turbin gas industri, yaitu dengan putaran varasi sebesar 16.000 rpm, 20.000 rpm dan 25.000 rpm.

Untuk diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 3 seperti berikut.



Gambar 3. Diagram Alur Penelitian MGT

3. Hasil dan pembahasan

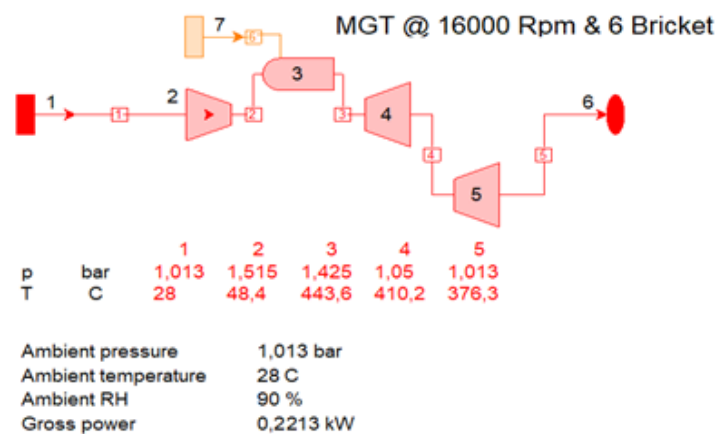
Dari hasil pengujian turbin gas mikro (*MGT*) aktual maka didapat sesuai Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengujian MGT

No.	Deskripsi	Pengujian 1	Pengujian 2	Pengujian 3
1	Putaran (Rpm)	16.000	20.000	25.000
2	P1 (Bar)	1	1	1
3	T1 (°C)	28	28	28
4	P2 (Bar)	1,76	5,45	9,5
5	T2 (°C)	50	30,9	30
6	P3 (Bar)	1,15	1,55	1,92

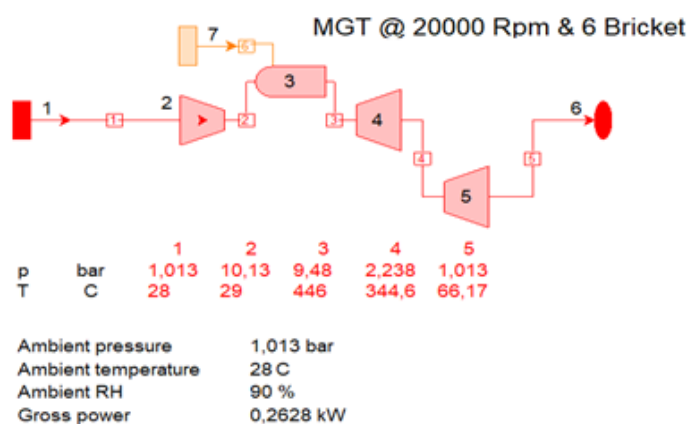
No.	Deskripsi	Pengujian 1	Pengujian 2	Pengujian 3
7	T3 (°C)	439	404	399
8	P4 (Bar)	-	-	-
9	T4 (°C)	503	507	602
10	P5 (Bar)	-	-	-
11	T5 (°C)	503	507	512
12	P6 (Bar)	1	1	1
13	T6 (°C)	297	304	312

T1 hingga T6 merupakan nilai temperatur pada tiap titik peninjauan sesuai Gambar 2. P1 hingga P6 merupakan nilai tekanan dari titik tinjauan yang diambil sesuai Gambar 2. Tekanan P4, P5 tidak ada karena tidak dipasang sensor akibat besarnya biaya pengadaan sensor tekanan dengan temperatur ekstrim. Secara umum sesuai perilaku pengujian MGT bahwa semakin putaran mesin semakin tinggi maka tekanan keluar kompresor dan tekanan masuk ke turbin 1 (*High Pressure Turbine*) semakin tinggi [15]. Dari data mesin dan kondisi pengujian menggunakan perangkat lunak (software) dengan putaran 16.000 rpm menghasilkan Gambar 4.



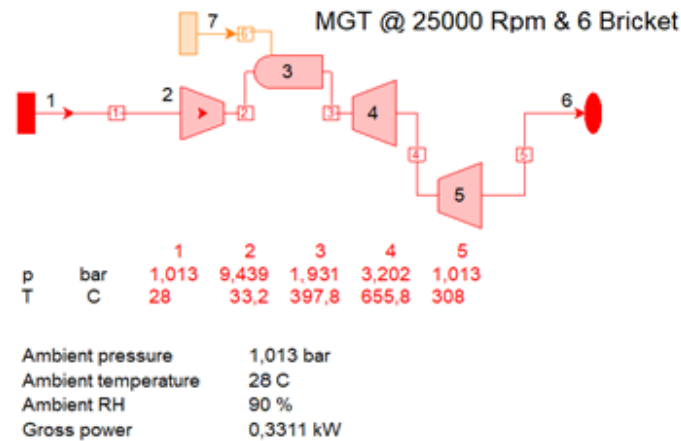
Gambar 4. Hasil simulasi perangkat lunak untuk putaran 16.000 rpm

Pada Gambar 4 terjadi peningkatan tekanan dan temperatur di tiap titik tinjauan hingga menurun setelah turbin 1 dan turbin 2. Sedangkan untuk putaran 20.000 rpm menghasilkan sesuai pada Gambar 4.



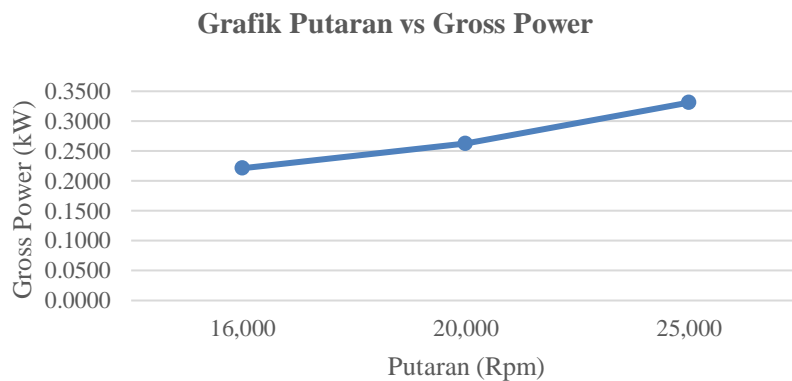
Gambar 5. Hasil simulasi perangkat lunak untuk putaran 20.000 rpm

Terjadi peningkatan tekanan dan temperatur di tiap titik tinjauan hingga menurun setelah turbin 1 dan turbin 2 sesuai Gambar 5, hasil daya kotor (*gross power*) putaran 20.000 rpm lebih besar dari putaran 16.000 rpm. Adapun untuk putaran 25.000 rpm menghasilkan Gambar 6.



Gambar 6. Hasil simulasi perangkat lunak untuk putaran 25.000 rpm

Pada Gambar 6 terjadi peningkatan tekanan dan temperatur di tiap titik tinjauan hingga menurun setelah turbin 1 dan turbin 2, hasil daya kotor (*gross power*) putaran 25.000 rpm lebih besar dari putaran 20.000 rpm dan 16.000 rpm



Gambar 7. Grafik Putaran (Rpm) vs *Gross Power* (kW)

Pada Gambar 7, bahwa putaran 25.000 rpm menghasilkan *gross power* (kW) yang lebih tinggi /meningkat dibandingkan putaran 16.000 rpm ataupun 20.000 rpm karena seiring meningkatnya kecepatan putar kompresor dan turbin 1 sehingga mengakibatkan peningkatnya tekanan dan temperatur kerja yang secara otomatis meningkatkan enthalpi (energi panas) gas hasil pembakaran serta semakin tinggi kecepatan gas menabrak sudu sudu turbin 2, berakibat pada semakin cepat poros turbin 2 berputar yang dihubungkan dengan poros generator listrik.

4. Kesimpulan

Dari pengujian mesin dan penggunaan software dapat ditarik kesimpulan bahwa semakin tinggi putaran akan menghasilkan daya yang meningkat, tekanan dan temperatur pada sisi keluar kompresor semakin meningkat, tekanan dan temperatur pada sisi keluar dari ruang bakar semakin meningkat, tekanan dan temperatur keluar dari turbin 1 meningkat, temperatur keluar dari turbin 2 meningkat, maka berlaku sistem turbin gas aktual Brayton. Terdapat penurunan tekanan

saat masuk ruang bakar dan keluar ruang bakar (pressure drop). Terjadi perbedaan antara hasil pengukuran langsung dan simulasi menggunakan perangkat lunak karena pengukuran langsung hanya mengukur diluar (casing) mesin secara manual dan kondisi lingkungan yang berubah-ubah, berupa angin, kelembaban, kondisi mesin berbeda saat pengujian 16.000 rpm mesin cenderung lebih dingin dibanding dua pengukuran serta kehadiran oli pendingin mesin, desain ruang bakar. Untuk simulasi komputer menggunakan perhitungan berulang berupa iterasi menggunakan persamaan matematika secara ideal dan bersifat numerik serta kemungkinan adanya asumsi yang tidak mutlak benar. Diperlukan penelitian lanjut berupa penggunaan data akuisisi penggunaan sensor yang lengkap untuk pengujian yang presisi dibutuhkan pengujian berulang di dalam saluran jalannya udara dan pencampuran bahan bakar sampai hasil gas pencampuran hingga keluar sistem MGT seperti pengujian yang dilakukan pada mesin turbin gas industri.

Ucapan terima kasih

Terimakasih kepada Kementerian Pendidikan Tinggi (DIKTI) melalui Hibah Penelitian Simlitabmas Nomor Kontrak 138/SP2H/AMD/LT-MONO/LL4/2020 antara LLDIKTI-IV dan Politeknik Enjinerung Indorama pada program Penelitian Dosen Pemula pelaksanaan tahun 2020 yang telah mendanai penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] Sivasaikumar, J., Barathi, P. CFD analysis of radial flow micro gas turbine. *International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology (IJARET)*. 2018 Juli; 10(04): p. 113.
- [2] Daryus, A., Nopryandi, Siswantara, A. I., & Gunadi, G. G. R. Simulasi CFD aliran turbulen pada ruang bakar turbin gas mikro bioenergi proto x-3 menggunakan model turbulen k- ϵ . *Jurnal Sains & Teknologi Fakultas Teknik Universitas Darma Persada*. 2019 September; 09(02): p. 12
- [3] Oppong, F., Spuy, S. J. Van Der, & Diaby, A. L. An overview on the performance investigation and improvement of micro gas turbine engine. *R & D Journal Of the South African Institution Of Mechanical Engineering*. 2015 Maret; 31: p. 35. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.10055.09123>.
- [4] Rachmanu, F., Janizal, J. Studi turbin gas mikro berbahan bakar briket limbah bambu dan LPG. *JTERA Jurnal Teknologi Rekayasa*. 2019 Desember; 4(2): p. 261. <https://doi.org/10.31544/jtera.v4.i2.2019.261-266>.
- [5] Rachmanu, F. Evaluasi desain sudu turbin gas model S-20 tipe aksial menggunakan CFD. *Turbo Jurnal Program Studi Teknik Mesin*. 2020 Juni; 9(1): p. 44. <https://doi.org/10.24127/trb.v9i1.1188>.
- [6] Usman Butt, M. Converting an automobile turbocharger into a micro gas turbine. *E3S Web of Conferences 95 (ICPEME)*. 2019; EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199502008>.
- [7] Francesconi, M., Pasini, G., Lensi, R., & Antonelli, M. Externally fired micro gas turbine for biomass application using automotive components. *AIP Conference Proceedings 2191*. 17 December 2019; AIP Publishing, New york, USA. 2019 . p 020080-1. <https://doi.org/10.1063/1.5138813>.
- [8] Kalathakis, C., Aretakis, N., & Mathioudakis, K. Solar hybrid micro gas turbine based on turbocharger. *Applied System Innovation*. Agustus 2018; 01(03): p. 14. <https://doi.org/10.3390/asi1030027>.
- [9] James, B. P., & Zahawi, B. High speed generator for turbocharger based domestic combined heat and power unit employing the inverted brayton cycle. *Mediterranean Green Energy Forum. Energy Procedia 42*, Amsterdam, Netherland. Elsevier. 2013; p 249. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2013.11.025>.

- [10] Iki, N., Kurata, O., Inoue, T., Matsunuma, T., Tsujimura, T., Furutani, H. Rich-lean combustor for a 50kw class micro gas turbine firing ammonia. Proceeding Of Global Power And Propulsion Societ. 16-18 September 2019; Beijing, China. GPPS Global. <https://doi.org/10.33737/gpps19-bj-074>.
- [11] Abagnale, C., Cameretti, M.A., Robbio, R.D., Tucillo, R. CFD study of a MGT combustor supplied with syngas. 71st Conference of the Italian Thermal Machines Engineering Association. Energy Procedia; 14-16 September 2016; Turin, Italy. Elsevier; 2016. p 933. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.11.118>.
- [12] Ali, U., Best, T., Finney, K.N, Palma, C.F., Hughes, K.J, Ingham, D.B., Pourkashanian, M. Process simulation and thermodynamic analysis of a micro turbine with post combustion CO₂ capture and exhaust gas recirculation. Energy Procedia 63; Amsterdam, Netherland. Elsevier; 2014. p 986. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.11.107>.
- [13] Shakur, SA., Jain S.K. Micro turbine generation using simulink. International Journal of Electrical Enjinerig, 2012; 05(01): p 95.
- [14] Boyce P., Meherman. Gas Turbine Engineering Handbook 4th edition, Netherland: Elsevier Inc ; 2012.p 100 .
- [15] Fikri, M., Ridzuan, M., Saleh, M. Preliminary study of low-cost micro gas turbine. Material Science and Engineering; November 2016; IOP Publishing ; 2016. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/160/1/012036>.