

SIMULASI CFD PADA RUANG BAKAR TURBIN GAS MIKRO BIOENERGI PROTO X-3 UNTUK BAHAN BAKAR BIOGAS DAN LPG

Asyari Daryus^{1,2}, Ahmad Indra Siswantara², Steven Darmawan^{2,3}, Gun Gun R. Gunadi^{2,4}, Rovida Camalia²

¹Jurusan Teknik Mesin, Universitas Darma Persada, Jakarta

²Departemen Teknik Mesin, Universitas Indonesia, Depok

³Jurusan Teknik Mesin, Universitas Tarumanagara, Jakarta

⁴Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Depok

ABSTRAK

Ruang bakar memegang peranan penting pada sebuah mesin penggerak mula karena energi yang dihasilkan dari proses pembakaran di dalamnya menentukan besarnya daya yang dibangkitkan. Mengetahui secara lengkap proses yang terjadi di dalam ruang bakar akan membantu dalam mendesain ruang bakar yang optimum dan meningkatkan efisiensi pemakaian bahan bakar. Melakukan pengukuran langsung terhadap kondisi gas di dalam ruang bakar saat terjadi proses pembakaran adalah sangat sulit karena keterbatasan alat ukur dan proses pembakaran yang berlangsung pada suhu tinggi, selain biaya yang tinggi untuk membuat peralatan percobaan dan juga waktu percobaan yang lebih lama. Untuk mengatasi permasalahan tersebut maka dapat dilakukan percobaan dengan simulasi numerik menggunakan metode CFD (Computational Fluid Dynamics). Telah dilakukan simulasi pada ruang bakar prototipe sistem turbin gas mikro bioenergi Proto X-3, yaitu turbin gas mikro yang didesain untuk aplikasi bangunan hijau (green building), dengan menggunakan dua jenis bahan bakar gas, yaitu biogas dan LPG. Tujuannya adalah untuk mengetahui karakteristik kedua bahan bakar tersebut pada saat berlangsungnya proses pembakaran di ruang bakar turbin gas mikro, baik dari segi distribusi temperatur, konsumsi bahan bakar dan konsentrasi gas buang. Simulasi dilakukan dengan menggunakan model turbulen standar (STD) $k-\epsilon$ untuk aliran gas dan model laju hingga/terbatas dan disipasi eddy untuk proses pembakaran. Besarnya energi pembakaran dari bahan bakar adalah 100 kJ/s dimana cukup untuk memutar turbin gas mikro hingga putaran 80.000 rpm. Temperatur tertinggi di dalam ruang bakar diperoleh pada bahan bakar biogas sebesar 1698 K, sedangkan untuk bahan bakar LPG adalah sebesar 1662 K. Temperatur keluar ruang bakar untuk biogas lebih tinggi, yaitu sebesar 1600 K sedangkan bahan bakar LPG hanya 1450 K. Untuk emisi gas buang, fraksi massa CO₂ yang dihasilkan oleh biogas lebih tinggi yaitu sebesar 0,38 dibandingkan bahan bakar LPG sebesar 0,14. Sehingga untuk emisi gas buang CO₂, bahan bakar LPG lebih bersih.

Kata kunci: Simulasi CFD, Aliran Turbulen, Turbin Gas Mikro Bioenergi Proto X-3, Biogas, LPG, Bangunan hijau

1. PENDAHULUAN

Turbin gas mikro atau dikenal juga dengan *micro gas turbine* (MGT) adalah sistem gas turbin dengan kapasitas daya antara 25-500 kW [1, 2]. Ada berbagai kelebihan yang dimiliki oleh sistem turbin gas mikro, diantaranya kerapatan daya tinggi, dampak terhadap lingkungan rendah, murah biaya perawatan dan operasi, dan dapat dioperasikan oleh berbagai jenis bahan bakar, seperti solar, etanol, biomassa, CNG, bogas, LPG, dan lain-lain [1-5].

Salah satu komponen utama dari sistem turbin gas adalah ruang bakar, diantara komponen-komponen utama lainnya seperti kompresor, dan turbin gas. Pada ruang bakar, terjadi proses pembakaran dimana bahan bakar terbakar dan energi kimia bahan bakar berubah menjadi energi panas dan pada akhirnya menggerakkan turbin gas [6]. Reaksi kimia yang terjadi sangat kompleks dan karakteristiknya, seperti temperatur, tekanan, dan emisi gas buang, sangat dipengaruhi oleh jenis bahan bakar yang digunakan.

Bahan bakar gas, seperti LPG, gas alam, biogas, dapat menjadi pilihan untuk sebuah sistem turbin gas mikro dengan keuntungan-keuntungannya seperti mudah penyalaannya, temperatur pembakaran yang relatif tinggi, dan pembakaran yang lebih bersih [7].

Disisi lain dengan mengetahui fenomena di dalam ruang bakar ketika terjadi proses kimia pembakaran dapat membantu kita dalam mendesain geometri ruang bakar yang optimal, atau mengoperasikan sistem turbin gas dengan lebih efisien. Ada dua cara yang dapat dilakukan untuk mengetahui fenomena di dalam ruang bakar yaitu metode eksperimen dan metode simulasi. Metode eksperimen adalah metode dimana pengambilan data dilakukan secara eksperimen di lapangan pada peralatan uji, sementara metode simulasi adalah metode dimana tidak memerlukan eksperimen langsung, namun dilakukan dengan melakukan simulasi metode numerik dari persamaan-persamaan matematik yang terkait dengan menggunakan peralatan komputasi dan biasanya hasil simulasi ditampilkan di layar komputer.

Pada penelitian ini akan dilakukan simulasi proses pembakaran pada ruang bakar turbin gas mikro dengan metode CFD (*Computational Fluid Dynamics*) pada sistem turbin gas mikro bioenergi Proto X-3. Sistem turbin gas mikro bioenergi Proto X-3 adalah sebuah prototipe sistem turbin gas mikro yang didesain untuk aplikasi bangunan hijau (*green building*) dengan kemampuan dapat menggunakan berbagai jenis bahan bakar. Pemodelan-pemodelan matematik yang digunakan adalah pemodelan turbulen dan pemodelan pembakaran, dimana untuk pemodelan turbulen menggunakan model turbulen standar $k-\epsilon$ (STD $k-\epsilon$), dan pemodelan pembakaran menggunakan model laju hingga/terbatas dan disipasi *eddy*. Persamaan matematik turbulen digunakan dalam perhitungan simulasi karena proses aliran fluida di dalam ruang bakar dapat dipastikan adalah turbulen yang disebabkan oleh kecepatan udara masuk yang cukup tinggi, ditandai dengan bilangan Reynolds tinggi. Sementara itu model turbulen STD $k-\epsilon$ dipilih karena persamaan model ini telah terbukti cocok diterapkan pada berbagai situasi aliran fluida, dan termasuk cepat dalam perhitungan komputasi. Pada percobaan-percobaan simulasi

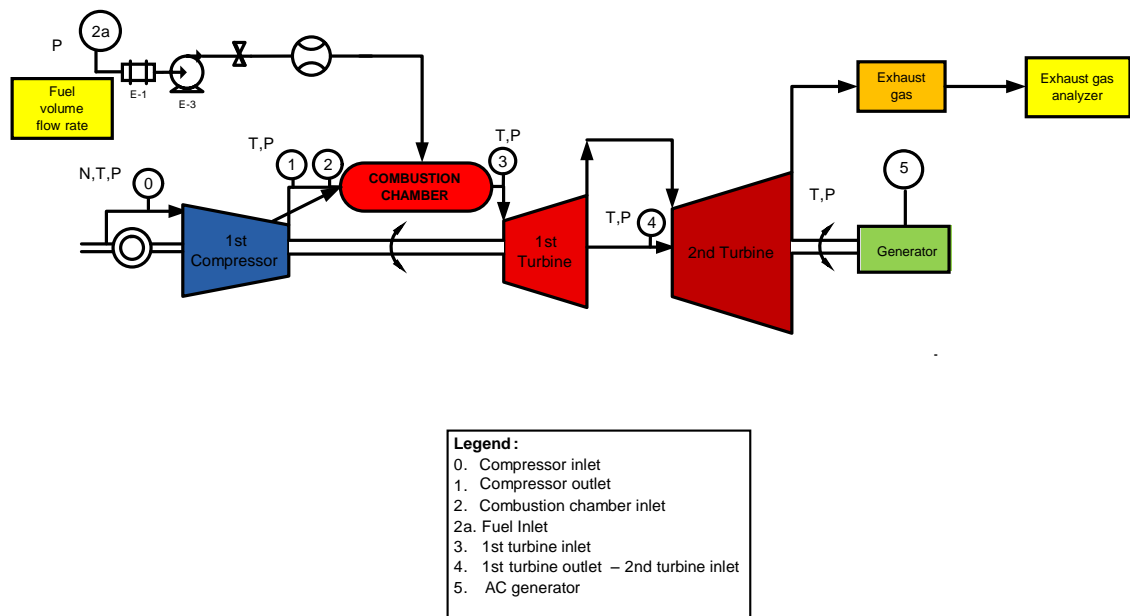
aliran gas di ruang bakar yang telah dilakukan sebelumnya, model ini cukup memberikan hasil yang akurat.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melihat karakteristik proses pembakaran yang terjadi di ruang bakar sistem ruang bakar turbin gas mikro untuk bahan bakar biogas dan bahan bakar LPG dengan metode simulasi CFD.

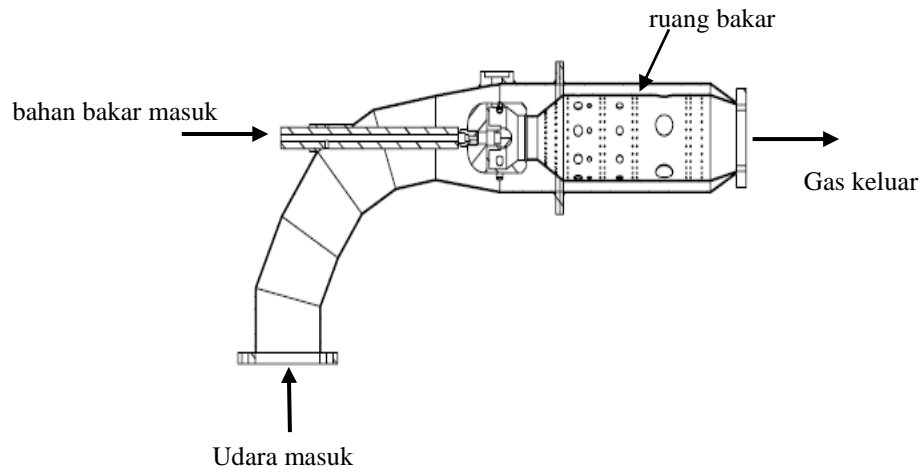
2. METODE

Untuk proses simulasi dengan CFD diperlukan input kondisi batas sistem yang diperoleh dari data eksperimen berupa tekanan, temperatur, laju aliran massa udara dan bahan bakar. Tata letak perangkat eksperimen ditunjukkan oleh Gambar 1, yang digunakan untuk mendapatkan data untuk simulasi. Sementara skema ruang bakar dapat dilihat pada Gambar 2, yang merupakan ruang bakar jenis annular dengan dimensi panjang 253,34 mm dan diameter luar 112 mm.

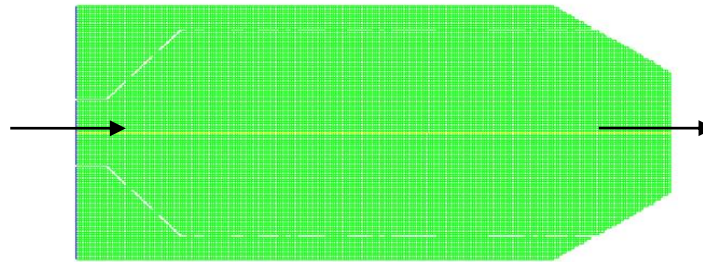
Simulasi CFD menggunakan model turbulen STD $k-\epsilon$ untuk aliran fluida dan model laju terbatas (*finite rate*) dan disipasi *eddy* untuk proses pembakaran. Perangkat lunak CFD SOF® digunakan sebagai perangkat lunak CFD yang melakukan tiga tahapan proses simulasi, yaitu *pre-processing*, *processing*, dan *post-processing*. *Grid* untuk simulasi adalah jenis 2 dimensi, Cartesian dengan jumlah nodal 13.794 (Gambar 3).



Gambar 1. Tata letak peralatan eksperimen



Gambar 2. Skema ruang bakar.

Gambar 3. Geometri *mesh* ruang bakar.

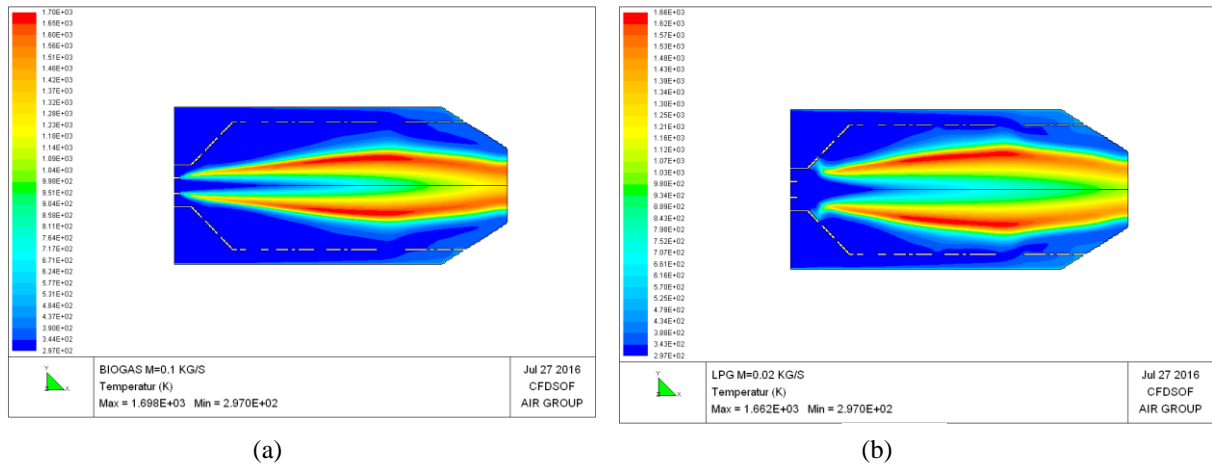
Data eksperimen yang diukur untuk data simulasi adalah temperatur masuk udara dan bahan bakar masuk ruang bakar, tekanan di dalam ruang bakar, jumlah laju aliran massa bahan bakar dan udara. Data yang digunakan adalah: temperatur udara masuk sebesar 312 K, temperatur bahan bakar masuk sebesar 297 K, laju aliran massa bahan bakar diperhitungkan untuk menghasilkan daya turbin sebesar 80 kW dan putaran sampai 80.000 rpm, komposisi bahan bakar biogas adalah: 0,62 fraksi massa CH_4 dan 0,38 fraksi massa CO_2 , komposisi bahan bakar LPG adalah: 100 % C_3H_8 , tekanan gas di dalam ruang bakar sebesar 1,5 bar absolut.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

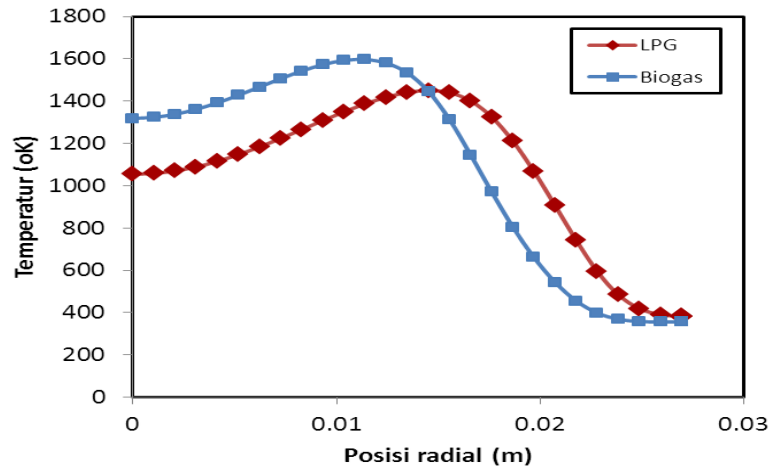
Gambar 4 dan 5 memperlihatkan hasil simulasi distribusi temperatur untuk kedua jenis bahan bakar. Temperatur tertinggi di dalam ruang bakar ditemukan pada bahan bakar biogas sebesar 1698 K, sedangkan untuk bahan bakar LPG sebesar 1662 K. Distribusi

panas bahan bakar biogas lebih terkonsentrasi di tengah/sumbu aksial sementara untuk LPG lebih menyebar ke dinding ruang bakar.

Untuk temperatur di sisi keluar ruang bakar, bahan bakar biogas lebih tinggi dari bahan bakar LPG yaitu 1600 K vs 1450 K. Lebih tingginya temperatur keluar dari pembakaran bahan bakar biogas terhadap bahan bakar LPG kemungkinan disebabkan oleh laju aliran massa udara yang masuk lebih tinggi, atau secara kimia panas hasil reaksi biogas memang lebih tinggi dari LPG, untuk membuktikan ini perlu penelitian lanjutan.



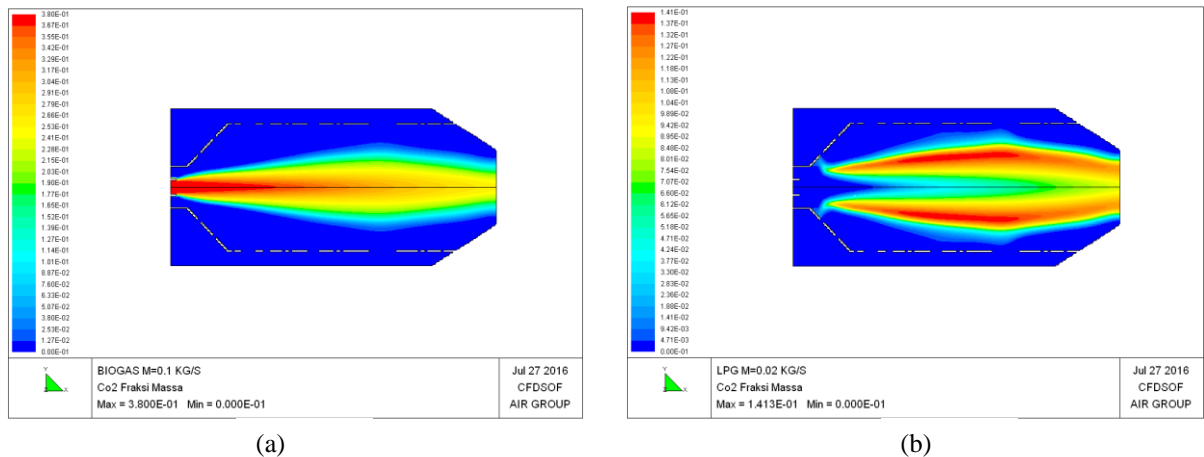
Gambar 4. Distribusi temperatur dalam ruang bakar. (a) biogas, (b) LPG.



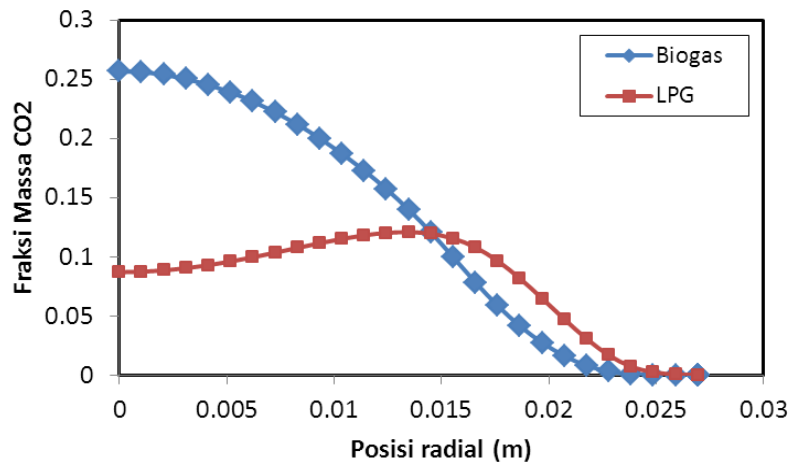
Gambar 5. Plot temperatur di sisi keluar arah radial dari sumbu.

Gambar 6 adalah hasil simulasi produk pembakaran, yaitu CO₂. Fraksi volume CO₂ yang dihasilkan oleh biogas lebih terkonsentrasi di tengah dibandingkan LPG yang menyebar ke arah radial. Hal ini dimungkinkan karena gas LPG mempunyai konsentrasi CO₂ yang tinggi. Gambar 7 memperlihatkan plot fraksi massa CO₂ di sisi keluar pada arah radial. Pada daerah sumbu simetri yaitu pada jarak 0 sampai 0,015 meter terlihat fraksi massa

CO₂ untuk biogas ternyata lebih tinggi, namun makin jauh dari sumbu atau di atas 0,01 m emisi gas karbon dioksida turun dengan tajam ke angka nol atau dengan kata lain gas karbondioksida pada bahan bakar biogas masih terkonsentrasi di bagian sumbu dibandingkan dengan bahan bakar LPG. Besar fraksi massa CO₂ bahan bakar biogas lebih tinggi dari bahan bakar LPG, hal ini mungkin disebabkan bahwa bahan bakar biogas pada awalnya sudah mengandung gas karbondioksida dalam jumlah yang cukup besar sementara LPG tidak ada.



Gambar 6. Fraksi massa CO₂ (a) biogas, (b) LPG.



Gambar 7. Plot fraksi massa CO₂ di sisi keluar arah radial dari sumbu.

4. KESIMPULAN

Telah dilakukan simulasi terhadap ruang bakar turbin gas mikro bioenergi Proto X-3 untuk dua jenis bahan bakar yaitu biogas dan LPG yang bertujuan untuk mengetahui karakteristik masing-masing bahan bakar ketika terjadi proses pembakaran di ruang bakar. Simulasi menggunakan metode CFD dengan model persamaan turbulen STD $k-\epsilon$

untuk aliran gas dan model laju terbatas dan disipasi *eddy* untuk proses pembakaran. Dari hasil simulasi dapat diambil kesimpulan:

1. Biogas menghasilkan panas yang lebih tinggi pada proses pembakaran yaitu sebesar 1698 K sementara LPG sebesar 1662 K. Temperatur tertinggi ada di zona sekunder.
2. Temperatur di sisi keluar ruang bakar untuk bahan bakar biogas ternyata lebih tinggi yaitu sebesar 1600 K dibandingkan dengan LPG yaitu sebesar 1450 K. Kemungkinan hal ini disebabkan oleh laju aliran massa udara pada bahan bakar biogas yang lebih tinggi sehingga pembakarannya lebih sempurna.
3. Emisi CO₂ bahan bakar biogas lebih terkonsentrasi di daerah sumbu simetri sedangkan untuk LPG lebih menyebar ke arah radial. Fraksi massa CO₂ bahan bakar biogas terlihat lebih tinggi dari LPG, hal ini karena bahan bakar biogas pada awalnya sudah mengandung gas CO₂ sebesar 38% sedangkan LPG tidak ada. Dapat disimpulkan bahwa emisi gas buang bahan bakar LPG lebih bersih dari bahan bakar biogas.

5. UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada DRPM Universitas Indonesia yang telah membiayai penelitian ini melalui "Hibah Pasca Sarjana tahun 2015" dan kepada PT. CCIT Group Indonesia atas lisensi perangkat lunak CFDSOF®.

DAFTAR PUSTAKA

1. M. Renzi, F. Caresana, I. Pelagalli, and G. Comodi, **Enhancing Micro Gas Turbine Performance Through Fogging Technique: Experimental Analysis**, *Journal of Applied Energy*, vol. 135 pp. 165-173, 2014.
2. W. D. Paepe, F. Contino, F. Delattin, and S. Bram, **Optimal Waste Heat Recovery in Micro Gas Turbine Cycles Through Liquid Water Injection**, *Journal of Applied Thermal Engineering*, vol. 70, pp. 846-856, 2014.
3. F. Basrawi, T. Yamada, and S. Obara, **Theoretical analysis of performance of a micro gas turbine co/trigeneration system for residential buildings in a tropical region**, *Journal of Energy and Buildings*, vol. 67, pp. 108-117, 2013.
4. A. I. Siswantara, S. Darmawan, and O. Purba, **Combustion Analysis of Proto X-2 Bioenergy Micro Gas Turbine with Diesel - Bioethanol Blends**, in *Proceeding of 13th International Conference on QIR (Quality on Research)*, Yogyakarta, Indonesia, 2013, pp. 132-138.
5. D. Chiaramonti, A. M. Rizzo, A. Spadi, M. Prussi, G. Riccio, and F. Martelli, **Exhaust Emissions from Liquid Fuel Micro Gas Turbine Fed with Diesel Oil, Biodiesel and Vegetable Oil**, *Journal of Applied Energy*, vol. 101, pp. 349-356, 2013.
6. H. L. Cao and J. L. Xu, **Thermal Performance of a Micro-combustor for Micro-gas Turbine System**, *Journal of Energy Conversion and Management*, vol. 48, pp. 1569-1578, 2007.
7. S. Alexopoulos, **Biogas Systems: Basics, Biogas Multifunction, Principles of Fermentation and Hybrid Application with a Solar Tower for Treatment of Waste Animal Manure**, *Journal of Engineering Science and Technology Review*, vol. 5, pp. 48-55, 2012.