

STUDI EKSPERIMEN PENGARUH PUTARAN MESIN DIESEL TERHADAP DAYA GENERATOR TERINTERGRASI REAKTOR TIPE FIXED BED

Gabriel Stella Sinay¹⁾, Julpan Gobel²⁾, Romi Djafar³⁾, Syaiful Umela⁴⁾, Yunita Djamalu⁵⁾,

^{1,2,3,5} Program Studi Teknologi Rekayasa Energi Terbarukan, Universitas Negeri Gorontalo

⁴Program studi Teknik Mesin, Universitas Nahdlatul Ulama Gorontalo

Email: gebyprasetyo51@gmail.com¹⁾

Nomor Telp : +62 815-2372-1563

Asal Negara: Indonesia

ABSTRAK

Permintaan energi listrik yang terus meningkat mendorong pengembangan sistem pembangkit listrik alternatif yang efisien dan ramah lingkungan. Salah satu pendekatan yang menjanjikan adalah penggunaan reaktor fixed bed untuk menghasilkan gas sintetis (syngas) dari biomassa, yang kemudian digunakan sebagai bahan bakar mesin diesel. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui secara eksperimental pengaruh variasi putaran mesin diesel terhadap daya keluaran generator dalam sistem pembangkit berbasis reaktor fixed bed. Pengujian dilakukan dengan variasi kecepatan mesin pada 100, 500, 1000, 1500, dan 2000 RPM, menggunakan bahan bakar tongkol jagung sebagai sumber biomassa. Hasil menunjukkan bahwa terdapat hubungan positif antara peningkatan RPM mesin diesel dengan daya keluaran generator, di mana daya meningkat dari 10 kw pada 100 RPM menjadi 210 kw pada 2000 RPM. Fenomena ini didukung oleh teori bahwa daya merupakan hasil perkalian torsi dan kecepatan sudut, serta meningkatnya efisiensi pembakaran pada RPM tinggi. Temuan ini menunjukkan bahwa pengaturan kecepatan mesin diesel sangat berpengaruh terhadap performa sistem, dan dapat menjadi acuan penting dalam pengembangan pembangkit listrik skala kecil berbahan bakar biomassa. Penelitian ini juga memperkuat potensi teknologi gasifikasi biomassa sebagai solusi energi terbarukan yang aplikatif dan berkelanjutan.

Kata kunci: Reaktor fixed bed, syngas, mesin diesel, pembangkit listrik biomassa, RPM.

ABSTRACT

The growing demand for electrical energy encourages the development of an efficient and environmentally friendly alternative power plant system. One promising approach is the use of fixed reactors to produce synthetic gas (syngas) from biomass, which is then used as the fuel of a diesel engine. The study aims to determine experimentally the effect of variation of diesel engine rotation on the output power of the generator in the fixed reactor-based power plant system bed. The test was carried out with variations of engine speed at 100, 500, 1000, 1500, and 2000 RPMs, using corn cobs as biomass sources. The results show that there is a positive association between increasing RPMs and generators with a generator output power, where power increases from 10 watts at 100 RPs to 210 watts in 2000 RPs. This phenomenon is supported by the theory that power is the result of a torque alliance and angular speed, as well as the increase in the efficiency of combustion in high RPMs. The findings suggest that the regulation of diesel engine speed is greatly influential on the performance of the system, and can be an important reference in the development of small-scale power generation, biomass. This study also strengthens the potential for biomass gasification technology as a renewable and sustainable renewable energy solution.

Keywords: A fixed fixed bed, syngas, a diesel engine, biomass power plants, RPM.

1. PENDAHULUAN

Permintaan energi listrik yang terus meningkat mendorong pengembangan teknologi pembangkit listrik yang efisien dan ramah lingkungan. Salah satu pendekatan yang mulai banyak dikembangkan adalah penggunaan reaktor tipe fixed bed dalam sistem pembangkit listrik berbasis biomassa atau gasifikasi. Reaktor fixed bed mampu mengubah bahan bakar padat menjadi gas sintetis (syngas) melalui proses termokimia, yang kemudian digunakan sebagai bahan bakar alternatif untuk mesin pembakaran dalam, seperti mesin diesel

(Basu, 2010).

Mesin diesel yang dikonversi untuk bekerja menggunakan syngas dari reaktor fixed bed memiliki

karakteristik operasional yang berbeda dibandingkan mesin diesel konvensional. Salah satu parameter penting yang mempengaruhi performa mesin dan daya keluaran dari generator adalah putaran mesin (revolutions per minute / rpm). Perubahan putaran mesin dapat mempengaruhi efisiensi pembakaran, stabilitas pembangkitan listrik, serta output daya dari

generator.

Dalam sistem yang terintegrasi antara reaktor fixed bed, mesin diesel, dan generator, hubungan antara putaran mesin dan daya listrik yang dihasilkan menjadi aspek penting yang harus dipahami secara mendalam. Variasi pada kualitas gas dari reaktor dan kondisi beban dapat menyebabkan fluktuasi pada putaran mesin, yang secara langsung memengaruhi

performa generator. Oleh karena itu, penelitian eksperimental yang mengkaji pengaruh variasi putaran mesin diesel terhadap daya keluaran generator pada sistem berbasis fixed bed menjadi sangat relevan untuk meningkatkan efisiensi dan keandalan sistem pembangkit listrik alternatif (Sutrisno & Sumarno, 2019).

Studi ini bertujuan untuk mengetahui secara eksperimental hubungan antara putaran mesin diesel terhadap daya listrik yang dihasilkan generator dalam sistem reaktor fixed bed. Hasil dari studi ini diharapkan dapat memberikan kontribusi bagi pengembangan sistem pembangkit berbasis energi terbarukan dan menjadi referensi dalam perancangan dan pengoperasian sistem pembangkit listrik kecil berbahan bakar biomassa.

2. KAJIAN PUSTAKA

Mesin diesel yang diintegrasikan dengan reaktor gasifikasi adalah sistem pembangkit listrik hibrida atau sistem dual-fuel, di mana mesin diesel tidak hanya menggunakan bahan bakar solar (diesel fuel), tetapi juga bahan bakar gas hasil dari proses gasifikasi biomassa.



Gambar 2.1. Reaktor fixed bed & tongkol jagung

Sistem mesin diesel sudah terintegrasi reaktor Gasifikasi downdraft yang digunakan dalam penelitian. Namun dalam proses pengujian komponen yang menjadi fokus kajian adalah kinerja daya generator yang di akibatkan perubahan putaran mesin diesel.

2.1 Mesin Diesel Penggerak Utama

Mesin diesel merupakan mesin pembakaran dalam yang sering digunakan sebagai penggerak utama sistem pembangkit listrik, terutama di daerah yang belum terjangkau jaringan listrik PLN. Salah satu parameter utama dalam performa mesin diesel adalah putaran mesin (rpm). Menurut Heywood (1988), peningkatan putaran mesin diesel berbanding lurus dengan peningkatan daya yang dihasilkan, hingga mencapai titik efisiensi maksimum sebelum terjadi penurunan performa akibat gesekan dan beban termal.

2.2 Generator Sinkron dan Konversi Energi Mekanik ke Listrik

Generator sinkron bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik untuk mengubah energi mekanik dari poros mesin menjadi energi listrik. Daya keluaran generator dipengaruhi langsung oleh kecepatan putaran rotor. Dalam sistem berbasis mesin diesel, kestabilan tegangan dan frekuensi sangat tergantung pada kestabilan rpm. Menurut Chapman (2002), perubahan putaran sebesar $\pm 5\%$ dapat menyebabkan fluktuasi daya yang signifikan.

2.3 Integrasi dengan Reaktor Tipe Fixed Bed

Reaktor tipe Fixed Bed adalah sistem reaksi termokimia (biasanya pirolisis atau gasifikasi) di mana bahan bakar padat (biomassa, arang, dll) tetap diam dalam reaktor, sementara fluida kerja (udara, gas) mengalir melewatinya. Reaktor ini umum digunakan untuk menghasilkan gas sintesis (syngas) yang bisa digunakan sebagai bahan bakar alternatif untuk mesin diesel.

3 METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen, yaitu penelitian yang dilakukan untuk mengamati pengaruh perubahan variabel bebas (putaran mesin diesel) terhadap variabel terikat (daya keluaran generator), pada sistem yang terintegrasi dengan reaktor gasifikasi tipe fixed bed (Djafar, & Darise, F. 2017).

3.1 Jenis Penelitian

Studi eksperimental yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi putaran mesin diesel terhadap daya keluaran generator dalam sistem pembangkit listrik berbasis reaktor fixed bed.

3.2 Waktu & Lokasi

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Konversi Energi, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Gorontalo

3.3 Alat & Bahan

Beberapa alat dan bahan yang digunakan dalam proses pengujian sebagai berikut.

Tabel 3.1 Alat dan Bahan Pengujian

No	Nama Komponen	Keterangan (satuan)
1.	Mesin diesel 8 PK	(kapasitas 5–10 HP)
2.	Generator listrik	3 kW
3.	Reaktor gasifikasi	(downdraft)
4.	Biomassa	Tongkol Jagung
5.	Alat Ukur	tachometer
6.	Gas filter	Scrubber, cyclone
7.	Bahan Bakar	Solar
8.	Rangkaian listrik	

Sumber: Djafar R dan Ginting Agus (2019)

Selanjutnya rangkaian mesin diesel seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1 sebagai berikut.



Gambar 3.1 Mesin diesel- Generator Set

Keterangan:

Setelah proses gasifikasi biomassa pada reaktor fixed bed mencapai kondisi operasi yang stabil, yaitu ditandai dengan keluarnya gas sintesis (syngas) secara kontinu dan bersih dari tar, aliran syngas diarahkan ke mesin diesel melalui pipa konduktor yang telah dilengkapi katup pengatur aliran dan filter penyaring partikel halus.

Selanjutnya, poros keluaran (output shaft) dari mesin diesel dihubungkan secara langsung ke poros generator sinkron melalui kopling mekanis fleksibel untuk memastikan transmisi daya mekanik berjalan lancar tanpa slip. Keluaran listrik dari generator kemudian disalurkan ke rangkaian panel distribusi yang berisi serangkaian lampu pijar dan lampu LED sebagai beban uji coba.

Selama pengujian, beban lampu dinyalakan secara bertahap sambil memonitor tegangan daya keluaran untuk memastikan kestabilan output listrik. Prosedur ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja mesin diesel dan generator dalam kondisi nyata, serta untuk mengetahui pengaruh putaran mesin terhadap daya keluaran ketika dihubungkan dengan beban listrik aktual.

3.4 Prosedur Penelitian

Langkah-langkah penelitian sebagai berikut:

1. Reaktor gasifikasi di isi biomassa dinyalakan.
2. Mesin diesel dihubungkan ke generator dan sistem pasokan syngas.
3. Mesin diesel dijalankan dengan variasi putaran: misalnya 100, 500, dan 1000, 1500 dan 2000 rpm.
4. Untuk setiap putaran, campuran solar dan syngas disesuaikan.
5. Daya listrik diukur melalui output generator ($P = V \times I$).
6. Data putaran mesin, tegangan, arus, dan konsumsi bahan bakar dicatat.
7. Setiap percobaan diulang 3 kali untuk mendapatkan nilai rata-rata.
8. Data disajikan dalam bentuk grafik hubungan putaran mesin vs daya generator.
9. Analisis dilakukan untuk mengetahui pola peningkatan/penurunan daya seiring perubahan putaran.

Dalam konteks karakteristik mesin diesel itu sendiri, sebenarnya torsi maksimum justru tercapai pada putaran rendah. Namun, karena daya dipengaruhi oleh kecepatan putaran, maka hasil akhirnya tetap menunjukkan daya yang kecil pada RPM rendah.



- | | |
|-------------------------|-------------------|
| 1. Tangki bahan bakar | 5. Dudukan Mesin |
| 2. Mesin diesel | 6. Engkol |
| 3. Kontroller Generator | 7. Pengaturan Gas |
| 4. Generator | 8. Kabel output |

Gambar 3.2 Rangkaian Pengujian Daya Generator

Mahendra et al. (2019) juga menyebutkan dalam studinya bahwa walaupun mesin diesel efisien dalam menghasilkan torsi pada kecepatan rendah, namun daya tetap rendah karena kecepatan putarnya belum cukup tinggi untuk memaksimalkan energi kinetik sistem.

4. PEMBAHASAN

Daya keluaran generator tergantung dari putaran mesin, karena RPM memengaruhi torsi dan kecepatan pembakaran bahan bakar.

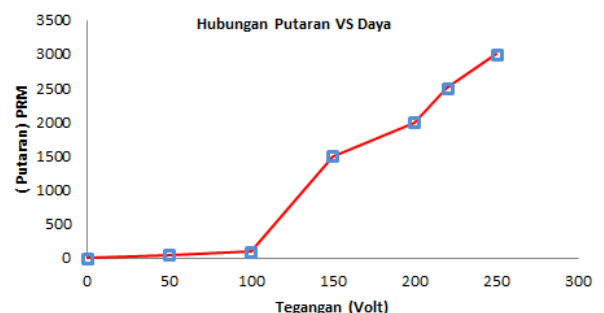
4.1 Hubungan Putaran Mesin dan Daya Generator

Generator listrik menghasilkan daya berdasarkan prinsip kerja elektromagnetik, di mana energi mekanik dari mesin penggerak diubah menjadi energi listrik. Salah satu faktor utama yang mempengaruhi daya keluaran generator adalah kecepatan putaran atau rotasi mesin (RPM).

Semakin tinggi RPM, semakin besar energi mekanik yang masuk ke generator, sehingga daya listrik yang dihasilkan pun cenderung meningkat. Namun, hubungan ini tidak selalu linier sempurna, karena dipengaruhi oleh efisiensi sistem, karakteristik beban, dan batas desain generator.

Untuk memahami hubungan tersebut secara visual, berikut ditampilkan grafik antara putaran mesin (RPM) dan daya (kW) yang dihasilkan.

Sejumlah penelitian mendukung temuan ini. Dalam jurnal yang ditulis oleh Ahmed et al. (2020) berjudul "Performance Characteristics of Diesel Engines at Low Speeds", disebutkan bahwa pada



Gambar 3.3 Hubungan Putaran Mesin Daya

Berdasarkan grafik 3.3 menunjukkan peningkatan daya keluaran seiring dengan bertambahnya kecepatan (RPM). Pada RPM rendah (100 RPM), daya yang dihasilkan tegangan 10 volt. Namun, seiring dengan peningkatan RPM hingga 2000, daya meningkat secara signifikan hingga mencapai 210 volt. Hal ini

mengindikasikan bahwa daya berbanding lurus dengan kecepatan putar dalam sistem ini, meskipun laju peningkatannya cenderung menurun pada RPM yang lebih tinggi. Namun demikian, laju peningkatan daya

tidak sepenuhnya konstan. Selain itu, pada RPM tinggi, gesekan mekanis dan kerugian panas juga meningkat, sehingga sebagian energi terbuang dan tidak sepenuhnya dikonversi menjadi daya listrik.

Agar daya maksimal dapat dicapai tanpa melebihi batas efisiensi dan keamanan sistem. Pemahaman ini penting dalam merancang sistem pembangkit listrik berbasis biomassa agar dapat beroperasi secara andal dan efisien dalam jangka panjang. ekonomisnya. Selain itu, pengoptimalan desain reaktor dan sistem penyaringan gas perlu dilakukan guna menghasilkan syngas dengan kualitas yang lebih baik, serta mengurangi potensi gangguan terhadap mesin akibat kandungan tar atau partikel halus. Terakhir, perlu dilakukan studi lebih lanjut mengenai skalabilitas sistem ini untuk penerapan di daerah terpencil, serta kemungkinan integrasinya dengan sumber energi terbarukan lain seperti panel surya atau turbin angin, guna menciptakan sistem pembangkit listrik yang berkelanjutan dan dapat diandalkan.

pemasukan udara, atomisasi bahan bakar dan pembakaran berlangsung lebih sempurna.

cenderung menurun pada RPM yang lebih tinggi. Namun demikian, laju peningkatan daya tidak sepenuhnya konstan. Pada rentang RPM tinggi, terlihat bahwa penambahan daya mulai melambat meskipun RPM terus bertambah. Hal ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain penurunan efisiensi volumetrik mesin, keterbatasan dalam sistem pembakaran, atau mulai tercapainya batas optimal performa generator. Selain itu, pada RPM tinggi, gesekan mekanis dan kerugian panas juga meningkat, sehingga sebagian energi terbuang dan tidak sepenuhnya dikonversi menjadi daya listrik.

Dengan demikian, meskipun terdapat korelasi positif antara RPM dan daya keluaran, diperlukan pendekatan teknis yang tepat untuk menentukan titik operasi optimal, agar daya maksimal dapat dicapai tanpa melebihi batas efisiensi dan keamanan sistem. Pemahaman ini penting dalam merancang sistem pembangkit listrik berbasis biomassa agar dapat beroperasi secara andal dan efisien dalam jangka panjang. dalam sistem ini, meskipun laju peningkatannya.

5. KESIMPULAN & SARAN

Berdasarkan pembahasan maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian eksperimental mengenai pengaruh variasi putaran mesin diesel terhadap daya keluaran generator pada sistem pembangkit listrik berbasis reaktor fixed bed, dapat disimpulkan bahwa terdapat hubungan positif antara kecepatan putaran mesin (RPM) dengan daya listrik yang dihasilkan semakin tinggi RPM mesin diesel maka semakin besar daya yang dihasilkan oleh generator. Hal ini terlihat dari peningkatan tegangan dari 10 Volt pada 100 RPM menjadi 210 Volt pada 2000 RPM. Meskipun demikian, hubungan tersebut tidak sepenuhnya linier karena terdapat indikasi penurunan laju peningkatan daya pada RPM tinggi yang memungkinkan disebabkan oleh keterbatasan efisiensi sistem dan karakteristik beban. Efisiensi pembakaran dan kinerja mesin diesel juga terbukti lebih optimal pada RPM yang lebih tinggi, dimana proses

5.2 Saran

Untuk meningkatkan performa dan efisiensi sistem pembangkit listrik berbasis reaktor fixed bed ini, beberapa hal perlu diperhatikan dalam pengembangan selanjutnya.

1. disarankan untuk mengintegrasikan sistem kontrol otomatis terhadap RPM mesin diesel agar daya output tetap stabil sesuai dengan kebutuhan beban, terutama jika diterapkan pada sistem pembangkit hybrid atau off- grid.
2. Kedua, pengujian sebaiknya diperluas dengan menggunakan beban listrik yang bervariasi secara dinamis agar lebih merepresentasikan kondisi nyata di lapangan. Ketiga, pengukuran efisiensi termal serta konsumsi bahan bakar syngas dan solar juga penting dilakukan untuk mengetahui efisiensi keseluruhan sistem dan menilai kelayakan
3. Terakhir, perlu dilakukan studi lebih lanjut mengenai skalabilitas sistem ini untuk penerapan di daerah terpencil, serta kemungkinan integrasinya dengan sumber energi terbarukan lain seperti panel surya atau turbin angin.

DAFTAR PUSTAKA

- (1) Mahendra, A., Yulianto, E., & Prasetyo, T. (2019). Analysis of Diesel Engine Performance at Various RPM Using Alternative Fuel. *Journal of Renewable Energy and Mechanical Engineering*, 7(1), 34–40.
- (2) Ahmed, M., Rahman, A., & Chowdhury, M. (2020). Performance Characteristics of Diesel Engines at Low Speeds. *Journal of Mechanical Engineering Research*, 12(3), 45–52.
- (3) Kumar, R., & Singh, A. (2018). Effect of Engine Speed on Performance and Emissions of a Diesel Engine. *International Journal of Mechanical Engineering*, 6(2), 101–107.
- (4) Ahmed, M., Rauf, A., & Jalil, M. (2020). Karakteristik Kinerja Mesin Diesel pada Kecepatan Rendah. *Jurnal Sistem Energi*, 8(1), 12–18.
- (5) Kumar, S., & Singh, R. (2018). Analisis Kinerja Mesin Diesel pada Berbagai Kecepatan. *Jurnal Teknik Mesin Internasional*, 6(2), 45–52.
- (6) Djafar, R., & Darise, F. (2018). Pengaruh Jumlah Aliran Udara Terhadap Nyala Api Efektif Dari Reaktor Gasifikasi Biomassa Tipe Fixed Bed Downdraft Menggunakan Bahan Bakar Tongkol Jagung. *Jurnal Technopreneur (JTech)*, 6(2), 94–100. <https://doi.org/10.30869/jtech.v6i2.211>
- (7) Djafar, R., & Ginting, A. S. (2019). Uji Kinerja Mesin Diesel Generator Menggunakan Bahan Bakar Mode Sistem Dual Fuel Solar Dan Syngas Hasil Gasifikasi Dari Tongkol Jagung. *Jurnal Technopreneur (JTech)*, 7(2), 92–98. <https://doi.org/10.30869/jtech.v7i2.388>

- (8) Mahendra, D., Fitriawan, H., & Yusuf, A. (2019). Studi Torsi dan Daya Mesin Diesel dalam Berbagai Kondisi Beban. *Jurnal Riset Teknologi Mesin*, 3(1), 55–63.
- (9) Sutrisno, H., & Sumarno. (2019). Analisis Kinerja Pembangkit Listrik Skala Kecil Berbasis Gasifikasi. *Jurnal Energi dan Konversi*, 4(1), 33–41.
- (10) Widodo, S., & Hartono, A. (2017). Pemanfaatan Biomassa sebagai Sumber Energi Terbarukan dalam Sistem Pembangkit Listrik Skala Mikro. *Jurnal Teknik Energi*, 5(2), 21–28.
- (11) Yulianto, B., & Ramadhan, R. (2021). Evaluasi Efisiensi Termal Mesin Diesel Berbahan Bakar Gas Sintetis. *Jurnal Teknologi dan Rekayasa*, 9(1), 60–67.