

PENGUKURAN KONSUMSI BAHAN BAKAR MENGGUNAKAN *LOAD CELL* DENGAN METODE PENIMBANGAN STATIS

Marcell Hasudungan Baringbing¹, Berkah Fajar TK², Muchammad²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: hasudunganbaringbing@gmail.com

Abstrak

Penggunaan bahan bakar merupakan objek vital dalam berbagai industri terutama pada mesin pembakaran dan energi dalam khususnya bahan bakar mesin diesel, sehingga pengukuran konsumsi bahan bakar sangat penting dianalisis untuk mengetahui efisiensi penggunaan bahan bakar oleh mesin tersebut. Pada penelitian ini dibahas hasil pengukuran dari pengembangan *load cell* dalam mengukur konsumsi bahan bakar dan laju aliran bahan bakar, kemudian hasil pengukuran dari penelitian ini akan dibandingkan. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah pengukuran konsumsi bahan bakar dengan metode penimbangan statis dengan mengikuti standar ISO (International Organization for Standardization), dimana hasil pembacaan *load cell* akan ditampilkan pada *logic panel* dan kemudian dihubungkan ke laptop untuk mendapatkan data akuisisi. Hasil pengukuran konsumsi bahan bakar pada masing-masing beban adalah 13,26732 liter/jam (50 kW), 17,22772 (75 kW), 28,16831 (100 kW). Hasil laju aliran bahan bakar ditampilkan dalam bentuk grafik pada bagian pembahasan di penelitian ini. Nilai *error* pada hasil pengukuran ini yaitu *systematic errors* $E_s = \pm 0,051\%$ dan *random errors* $E_R = \pm 0,0707\%$. Penggunaan *load cell* pada pengukuran konsumsi bahan bakar di penelitian ini menunjukkan data yang akurat dan memiliki nilai *error* yang sangat kecil.

Kata kunci: iso; konsumsi bahan bakar; *load cell*; laju aliran massa; pengukuran massa

Abstract

Fuel consumption is a vital aspect in various industries, especially in combustion engines and energy, particularly diesel engine fuel. Thus, measuring fuel consumption is crucial for analyzing the efficiency of fuel usage by these engines. This study discusses the measurement results from the development of a load cell in measuring fuel consumption and fuel flow rate. The measurement results from this study will then be compared. The method used in this research is the measurement of fuel consumption with the static weighing method, following ISO (International Organization for Standardization) standards. The load cell readings will be displayed on the logic panel and then connected to a laptop for data acquisition. The measured fuel consumption at different loads is 13.26732 liters/hour (50 kW), 17.22772 liters/hour (75 kW), and 28.16831 liters/hour (100 kW). The fuel flow rate results are presented in the form of graphs in the discussion section of this study. The measurement errors include systematic errors $E_s = \pm 0.051\%$ and random errors $E_R = \pm 0.0707\%$. The use of load cells in measuring fuel consumption in this study shows accurate data with very small error values.

Keywords: fuel consumption; iso; *load cell*; mass flow rate; mass measurement

1. Pendahuluan

Pengukuran laju Konsumsi bahan bakar adalah aspek yang sangat penting dalam berbagai aplikasi industri dan penelitian, terutama yang berkaitan dengan sistem pembakaran dan energi. Misalnya, dalam industri otomotif, pengukuran yang tepat dari konsumsi bahan bakar sangat penting untuk meningkatkan efisiensi penggunaan bahan bakar, mengurangi emisi gas buang, dan memastikan kinerja mesin yang optimal. Di sektor pembangkit listrik, pengukuran Konsumsi bahan bakar digunakan untuk mengontrol proses pembakaran dan meningkatkan efisiensi termal pembangkit listrik [1].

Metode penimbangan merupakan salah satu teknik yang digunakan untuk mengukur Konsumsi bahan bakar [2]. Teknik ini cukup sederhana dan dapat menghasilkan data yang akurat jika diterapkan dengan benar. Prinsip utama dari metode ini adalah dengan menimbang massa bahan bakar pada interval waktu tertentu, lalu menghitung Konsumsi berdasarkan perubahan massa per satuan waktu. Salah satu teknologi yang digunakan untuk mengukur Konsumsi bahan bakar adalah *Load cell*. *Load cell* adalah sensor yang mampu mengubah gaya menjadi sinyal listrik yang bisa diukur.

Teknologi ini memungkinkan pengukuran massa bahan bakar dengan akurasi tinggi pada interval waktu tertentu [3], sehingga memungkinkan perhitungan laju aliran massa dengan presisi.

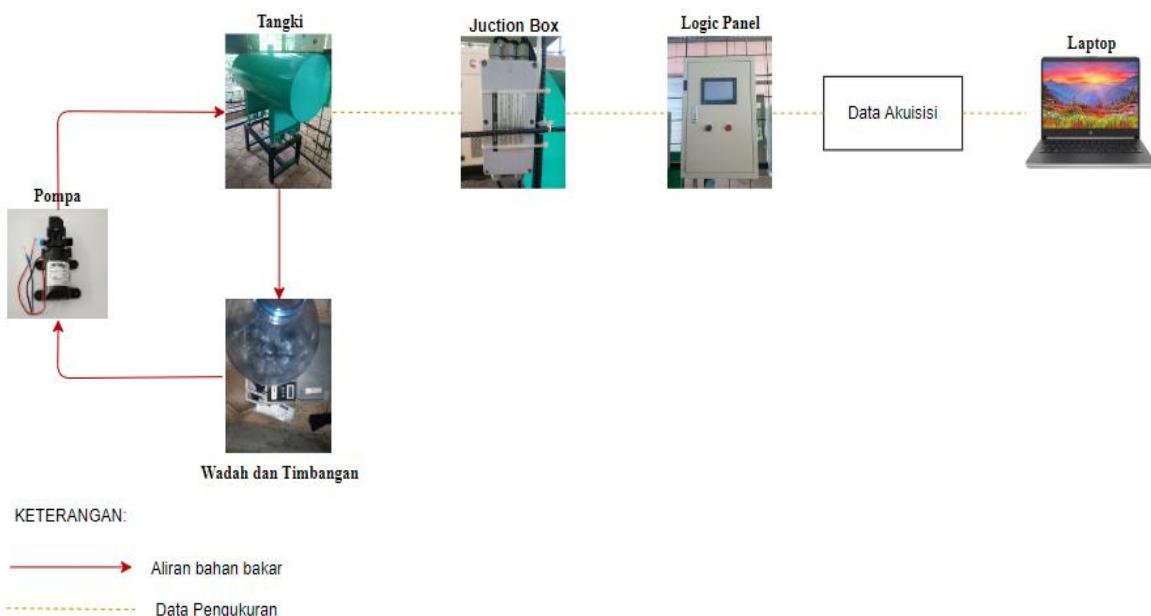
Penggunaan *Load cell* untuk mengukur Konsumsi bahan bakar memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan metode lainnya. Pertama, *Load cell* memiliki sensitivitas tinggi yang memungkinkan pendekatan perubahan massa yang sangat kecil[4]. Kedua, teknologi ini mudah diintegrasikan dengan sistem pengukuran otomatis, memungkinkan pemantauan laju aliran massa secara real-time. Selain itu, *Load cell* juga memiliki ketahanan yang baik terhadap kondisi lingkungan ekstrem [5].

Penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi pada pengembangan teknologi pengukuran Konsumsi bahan bakar yang lebih akurat dan efisien. Hasil penelitian ini juga diharapkan dapat memberikan panduan praktis bagi industri dan peneliti dalam memilih dan menggunakan *Load cell* untuk aplikasi pengukuran laju aliran massa bahan bakar.

2. Metode Penelitian

2.1 Konfigurasi alat uji

Konfigurasi alat uji pada pengukuran konsumsi bahan bakar dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1



Gambar 1. Konfigurasi alat uji

Konfigurasi alat uji yang digunakan pada penelitian dapat dilihat pada Gambar 1 dimana garis merah menunjukkan aliran bahan bakar dari tanki menuju wadah yang sudah diletakkan di timbangan konvensional untuk mengukur massa aktual dari bahan bakar, kemudian bahan bakar akan dikembalikan lagi ke tangki dengan menggunakan bantuan pompa. Garis kuning menunjukkan proses data akuisisi didapatkan dari *junction box* sampai dapat diakses di laptop.

Tanki bahan bakar yang digunakan memiliki kapasitas 200L, dengan setiap ujung kaki tanki dilengkapi dengan *Load cell* untuk membaca massa bahan bakar di dalamnya. Tanki juga memiliki bukaan kran yang menjadi jalur keluarannya bahan bakar saat digunakan. Letak tanki diatur untuk mengurangi pengaruh lingkungan seperti getaran, suhu, dan aktivitas manusia, yang dapat mempengaruhi kinerja pembacaan massa oleh *Load cell*. Selang yang digunakan adalah selang standar untuk bahan bakar, di mana bahan bakar yang keluar akan ditampung dan ditimbang berat aktualnya. Bukaan kran memiliki variasi untuk 50 kW, 75 kW, dan 100 kW, yang hasil datanya akan dianalisis dalam penelitian ini.

Penggunaan pompa diperlukan karena *Load cell* memiliki sensitivitas tinggi, sehingga pengaruh luar seperti sentuhan tangan pada tanki dapat mengganggu pembacaan massa, membuat data tidak akurat. Gambar 1 menunjukkan panel yang digunakan untuk membaca data dari *Load cell*. Panel ini menampilkan massa bahan bakar dalam tanki, yang akan dibandingkan dengan massa aktual dari pembacaan timbangan konvensional, terutama dalam proses kalibrasi. Panel terhubung ke laptop melalui kabel LAN, sehingga data bisa diterima dan dianalisis.

Penelitian ini menggunakan empat *Load cell* pada setiap kaki tumpuan tanki bahan bakar. *Load cell* ini berfungsi untuk memberikan data massa bahan bakar dalam tanki[6], yang kemudian ditampilkan pada panel. Gambar 1 menunjukkan letak dan spesifikasi *Load cell* yang digunakan. Bahan bakar yang digunakan adalah Pertamina Dex, dengan massa jenis $0,808 \text{ kg/m}^3$, dipilih karena titik nyalanya yang tinggi sehingga aman dan mengurangi risiko kebakaran saat

pengujian. Software DAQ Master digunakan untuk memperoleh data dari *Load cell*, dan data tersebut disajikan dalam format Microsoft Excel untuk dianalisis lebih lanjut.

Metode penimbangan statis dengan standar ISO 4185-1980 merupakan prosedur yang digunakan dalam penelitian ini untuk mengukur aliran cairan menggunakan metode penimbangan. Langkah pertama adalah persiapan awal, di mana tangki penimbangan harus dibersihkan terlebih dahulu. Selanjutnya, bahan bakar yang akan diukur dialirkan ke dalam tangki penimbangan hingga mencapai jumlah tertentu yang sudah ditentukan, dengan mencatat massa awal tangki sebelum pengisian dimulai. Setelah itu, aliran bahan bakar harus distabilkan sebelum pengukuran dimulai agar laju aliran bahan bakar tetap konstan. Setelah laju aliran bahan bakar stabil, cairan dialihkan ke tangki penimbangan, dan pengukuran waktu dimulai dengan bantuan software DAQ Master yang dapat menunjukkan waktu setiap detiknya dari aliran massa bahan bakar.

2.2 Perhitungan Data

Dalam penelitian ini terdapat persamaan yang digunakan sebagai berikut:

- ### 2.2.1 Laju aliran massa

- ### 2.2.2 Laju aliran volumetrik

- ### 2.2.3 Perhitungan konsumsi bahan bakar

$$V = \frac{\frac{m}{\rho_{bh}}}{\frac{m_{awal} - m_{akhir}}{\rho_{bh}}} \dots \dots \dots \quad (4)$$

- #### 2.2.4 Perhitungan error timbangan

$$Error = \left[\frac{N_a - N_s}{N} \right] \times 100 \% (5)$$

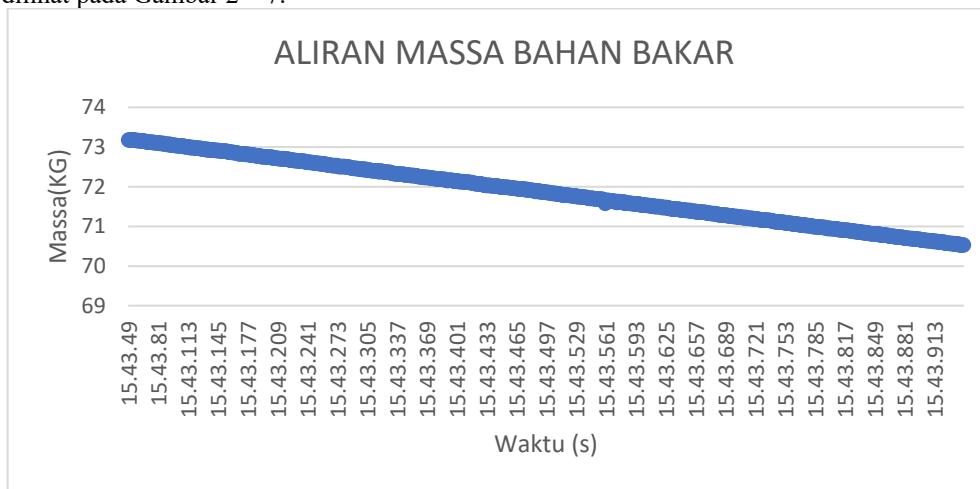
- ### 2.2.5 Perhitungan ketidakpastian pengukuran

$$E_s = \pm 100 \sqrt{\left(\frac{(e_s)b}{m}\right)^2 + \left(\frac{(e_s)d}{o}\right)^2 + \left(\frac{(e_s)\varepsilon}{m}\right)^2 + \left(\frac{(e_s)t}{t}\right)^2} \% \dots \quad (6)$$

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Laju Aliran Massa

Laju aliran massa adalah jumlah massa yang mengalir melalui suatu penampang dalam satuan waktu[7]. Pada bagian ini, akan dibahas mengenai bagaimana data yang didapat akan analisis dan dihitung menggunakan rumus yang tertera pada persamaan (1). Output yang akan di analisa pada penelitian ini adalah laju aliran massa. Terdapat 3 variasi bukaan kran yang akan dianalisis pada pengujian ini, yaitu bukaan 50 kw, 75 kw, dan 100 kw. Hasil pengujian setiap variasi dapat dilihat pada Gambar 2 – 7.

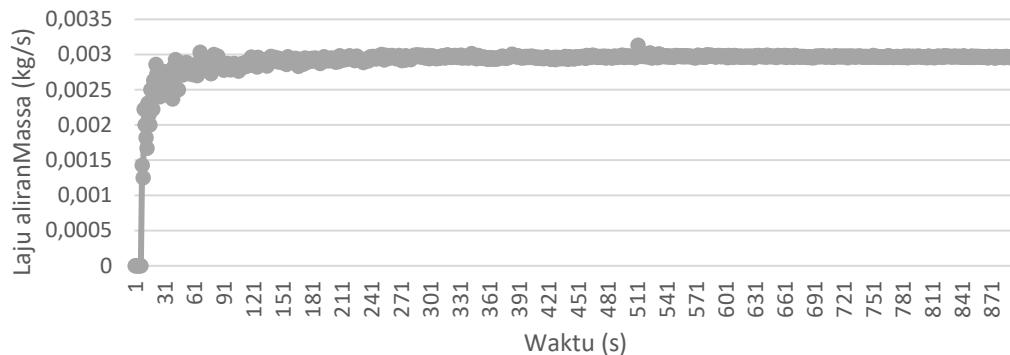


Gambar 2. Aliran Massa Bahan Bakar Variasi 1

Pengujian yang dilakukan pada variasi 1 adalah dengan membuka bukaan kran $\sim 18^\circ$. Pada Gambar 2 menunjukkan aliran massa bahan bakar dimana dilakukan pengambilan data selama 15 menit dengan setiap 3 menit mencatat data. Aliran massa yang baik akan menunjukkan penurunan yang teratur dan relatif konstan setiap waktunya. Massa awal bahan bakar adalah 73,18 kg dan massas akhir bahan bakar adalah 70,5 kg. dari grafik dapat dilihat

bawa pengurangan massa bahan bakar setiap waktunya Relatif konstan yang menunjukkan penurunan yang teratur dan tidak ada penurunan massa yang signifikan.

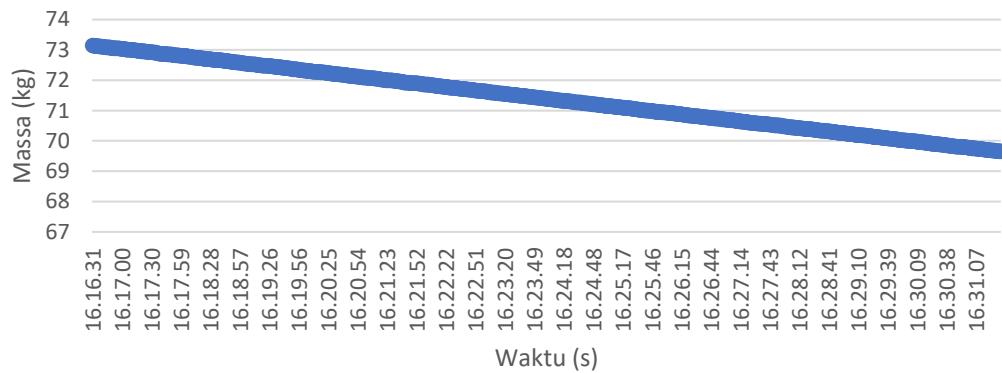
LAJU ALIRAN MASSA BAHAN BAKAR



Gambar 3. Laju Aliran Massa Bahan Bakar Variasi 1

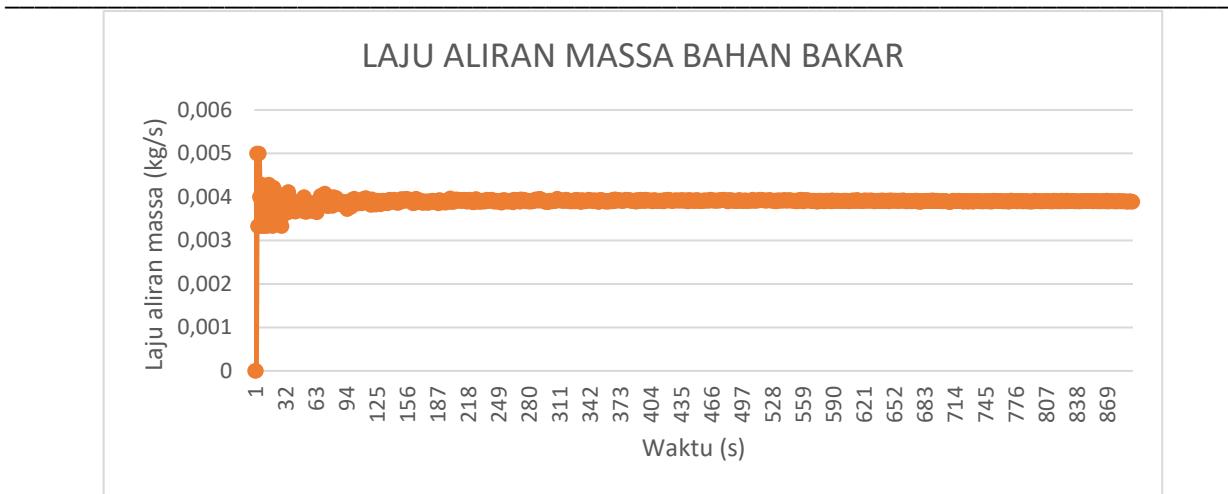
Pada Gambar 3 menunjukkan laju aliran massa bahan bakar pada kondisi 50kw. Pada variasi 1, Range nilai laju aliran massa bahan bakar adalah 0 - 0,00407 kg/s, nilai range ini menunjukkan bahwa laju aliran massa bahan bakar relatif konstan, perbedaan nilainya sangat kecil. Dari grafik dapat dilihat bahwa laju aliran massa bahan bakar pada setiap waktunya relatif konstan, namun pada awal mulai pengujian terlihat sedikit perbedaan laju aliran massa namun hanya sedikit. Hal ini menunjukkan bahwa massa bahan bakar yang mengalir per satuan waktu ke sistem pembakaran tetap stabil. Laju aliran massa yang konstan menunjukkan pembakaran yang lebih efisien karena tidak adanya fluktuasi yang dapat mengganggu pembakaran.

ALIRAN MASSA BAHAN BAKAR



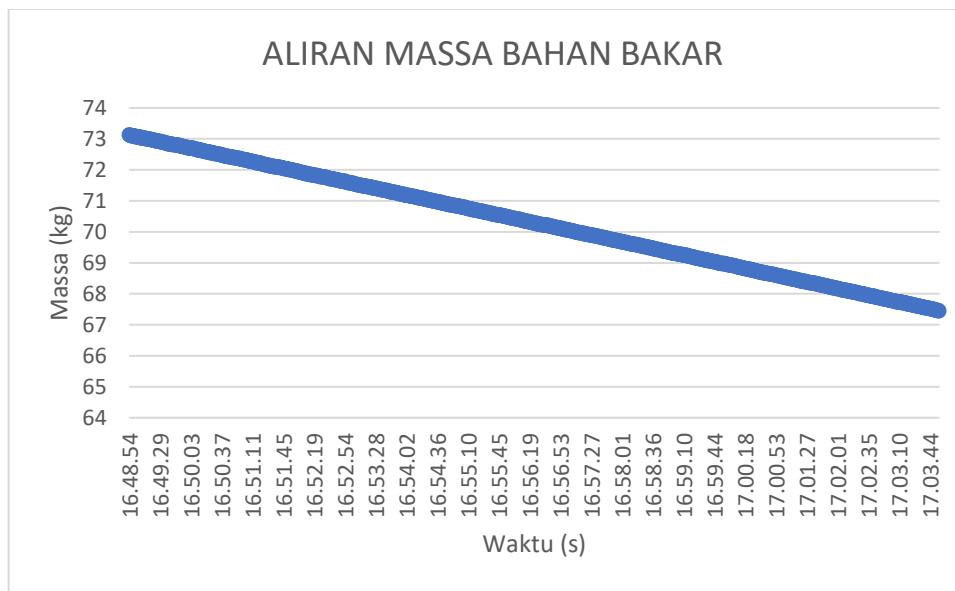
Gambar 4. Aliran Massa Bahan Bakar Variasi 2

Pengujian yang dilakukan pada variasi 2 adalah dengan membuka bukaan kran ~19°. Pada Gambar 4 menunjukkan aliran massa bahan bakar dimana dilakukan pengambilan data selama 15 menit dan setiap 3 menit mencatat data. Aliran massa yang baik akan menunjukkan penurunan massa bahan bakar yang teratur dan relative konstan per waktunya. Massa awal bahan bakar adalah 73,15 kg dan massa akhir bahan bakar adalah 69,67 kg. dari grafik dapat dilihat bahwa pengurangan massa bahan bakar setiap waktunya Relatif konstan yang menunjukkan penurunan teratur dan tidak ada penurunan massa yang signifikan atau fluktuatif.



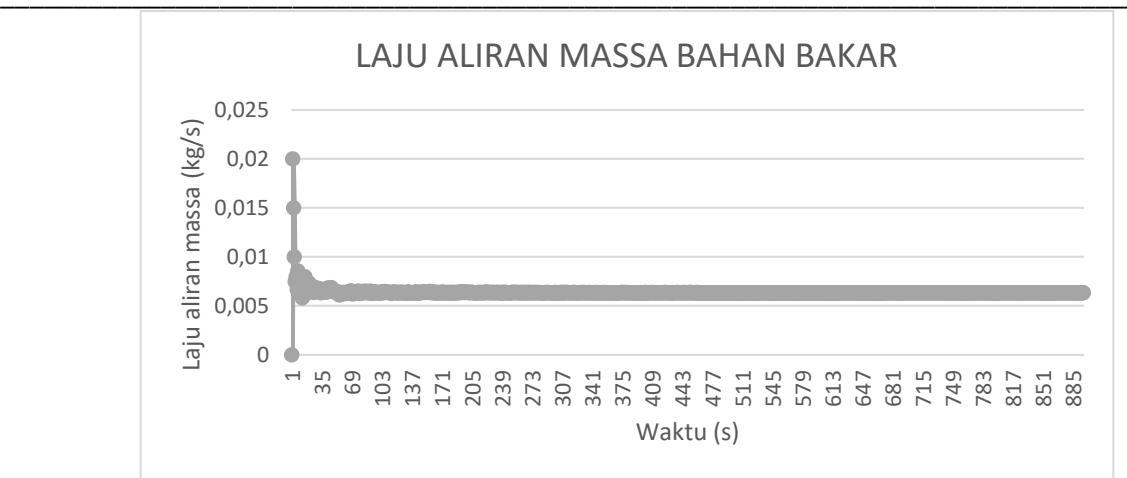
Gambar 5. Laju Aliran Massa Bahan Bakar Variasi 2

Pada gambar 5 menunjukkan laju aliran massa bahan bakar pada kondisi 75 kw. Pada variasi 2, Range nilai laju aliran massa bahan bakar adalah 0 - 0,005 kg/s, nilai range ini menunjukkan bahwa laju aliran massa bahan bakar relatif konstan, perbedaan nilainya sangat kecil. Dari grafik dapat dilihat bahwa laju aliran massa bahan bakar pada setiap waktunya relatif konstan, namun pada awal mulai pengujian terlihat sedikit perbedaan laju aliran massa namun hanya sedikit. Hal ini menunjukkan bahwa massa bahan bakar yang mengalir per satuan waktu ke sistem pembakaran tetap stabil. Laju aliran massa yang konstan menunjukkan pembakaran yang lebih efisien karena tidak adanya fluktuasi yang dapat mengganggu pembakaran.



Gambar 6. Aliran Massa Bahan Bakar Variasi 3

Pengujian yang dilakukan pada variasi 3 adalah dengan membuka bukaan kran $\sim 20^\circ$. Pada Gambar 6 menunjukkan aliran massa bahan bakar pada variasi 3 , dimana dilakukan pengambilan data selama 15 menit dan setiap 3 menit mencatat data. Aliran massa yang baik akan menunjukkan penurunan massa bahan bakar yang teratur dan relative konstan per waktunya. Massa awal bahan bakar adalah 73,13 kg dan massa akhir bahan bakar adalah 67,44 kg. dari grafik dapat dilihat bahwa pengurangan massa bahan bakar per satuan waktu Relatif konstan yang menunjukkan penurunan teratur dan tidak ada penurunan massa yang signifikan atau fluktuatif. Aliran bahan bakar yang konstan akan memiliki performa yang lebih stabil dan responsive[8].

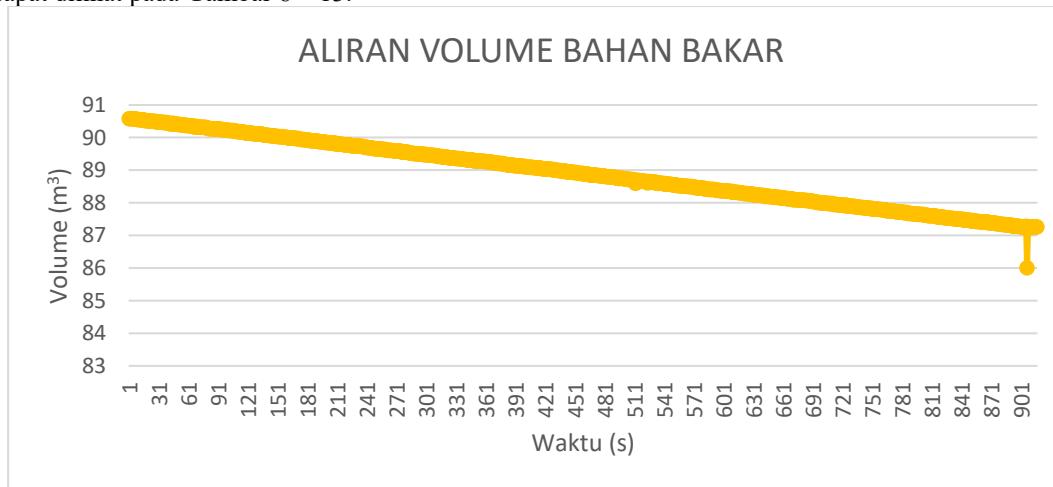


Gambar 7. Laju Aliran Massa Bahan Bakar Variasi 3

Pada Gambar 7 menunjukkan laju aliran massa bahan bakar pada kondisi 100 kw. Pada variasi 3, Range nilai laju aliran massa bahan bakar adalah 0 - 0,02 kg/s, nilai range ini menunjukkan bahwa laju aliran massa bahan bakar relatif konstan, perbedaan nilainya terhitung kecil. Dari grafik juga dapat dilihat bahwa laju aliran massa bahan bakar pada setiap waktunya relatif konstan, namun pada awal mulai pengujian terlihat sedikit perbedaan laju aliran massa namun hanya sedikit. Hal ini menunjukkan bahwa massa bahan bakar yang mengalir per satuan waktu ke sistem pembakaran tetap stabil. Laju aliran massa yang konstan menunjukkan pembakaran yang lebih efisien karena tidak adanya fluktuasi yang dapat mengganggu pembakaran.

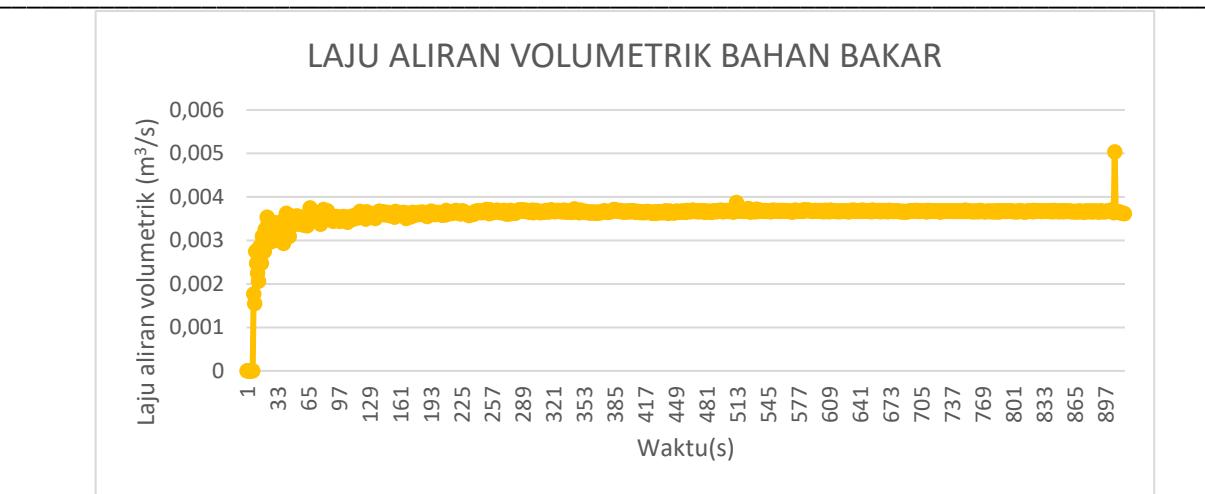
3.2 Laju Aliran Volumetrik

Laju aliran volumetrik adalah volume fluida yang mengalir melalui suatu penampang per satuan waktu. Pada bagian ini, akan dibahas mengenai bagaimana data yang didapat akan analisis dan dihitung menggunakan rumus yang tertera pada persamaan (2). Output yang akan dianalisa pada penelitian ini adalah laju aliran volumetrik. Terdapat 3 variasi bukaan kran yang akan dianalisis pada pengujian ini, yaitu bukaan 50 kw, 75 kw, dan 100 kw. Hasil pengujian setiap variasi dapat dilihat pada Gambar 8 – 13.



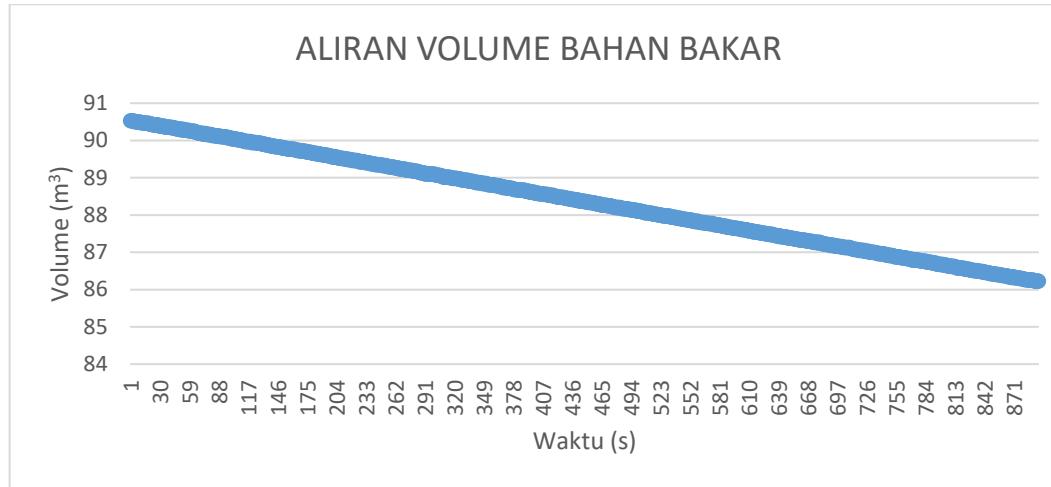
Gambar 8. Aliran Volumetrik Bahan Bakar Variasi 1 (50 kw, bukaan kran ~18°)

Pada Gambar 8 menunjukkan aliran Volume bahan bahan bakar pada variasi 1 , dimana dilakukan pengambilan data selama 15 menit dan setiap 3 menit mencatat data. Aliran volume yang baik akan menunjukkan penurunan volume bahan bakar yang teratur dan relative konstan per waktunya. Volume awal bahan bakar adalah 90,5693 m³ dan Volume akhir bahan bakar adalah 86,0025 m³. dari grafik dapat dilihat bahwa pengurangan volume bahan bakar per satuan waktu Relatif konstan yang menunjukkan penurunan teratur dan tidak ada penurunan nilai volume yang signifikan atau fluktuatif. nilai yang memiliki sedikit perbedaan adalah pada saat volume bahan bakar dari 87,2153 menjadi 86,0025, namun perbedaannya kecil sehingga dapat ditoleransi.



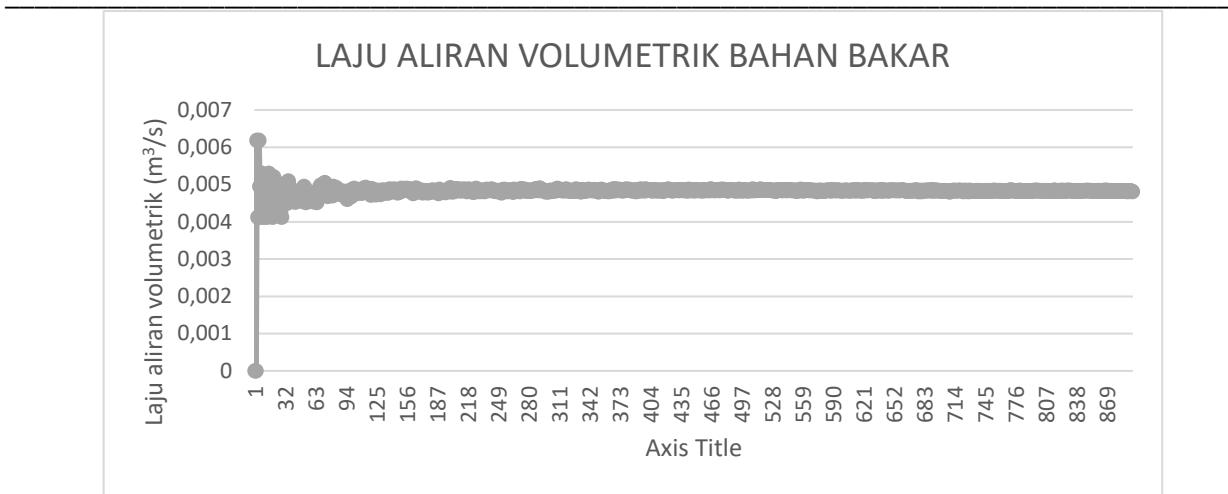
Gambar 9. Laju Aliran Volumetrik Bahan Bakar Variasi 1 (50 kw, bukaan kran ~18°)

Pada Gambar 9 menunjukkan laju aliran Volumetrik bahan bakar pada kondisi 50 kw. Pada variasi 1, Range nilai laju aliran volumetrik bahan bakar adalah 0 - 0,00504 m³/s, nilai range ini menunjukkan bahwa laju aliran Volumetrik bahan bakar relatif konstan, perbedaan nilainya terhitung kecil. Dari grafik juga dapat dilihat bahwa laju aliran massa bahan bakar pada setiap waktunya relatif konstan, namun pada awal mulai pengujian terlihat sedikit perbedaan laju aliran massa namun hanya sedikit, kemungkinan terjadi dikarenakan pengkondisian awal mulai pengujian. Nilai laju aliran volumetrik yang konstan menunjukkan bahwa volume bahan bakar yang mengalir melalui penampang per satuan waktu tetap konstan[9]. Ini berarti tidak ada perubahan yang signifikan dalam jumlah volume fluida yang melewati penampang tangki dalam waktu tertentu, menunjukkan aliran yang stabil tanpa perubahan kecepatan atau luas penampang di titik-titik tertentu dalam sistem aliran.



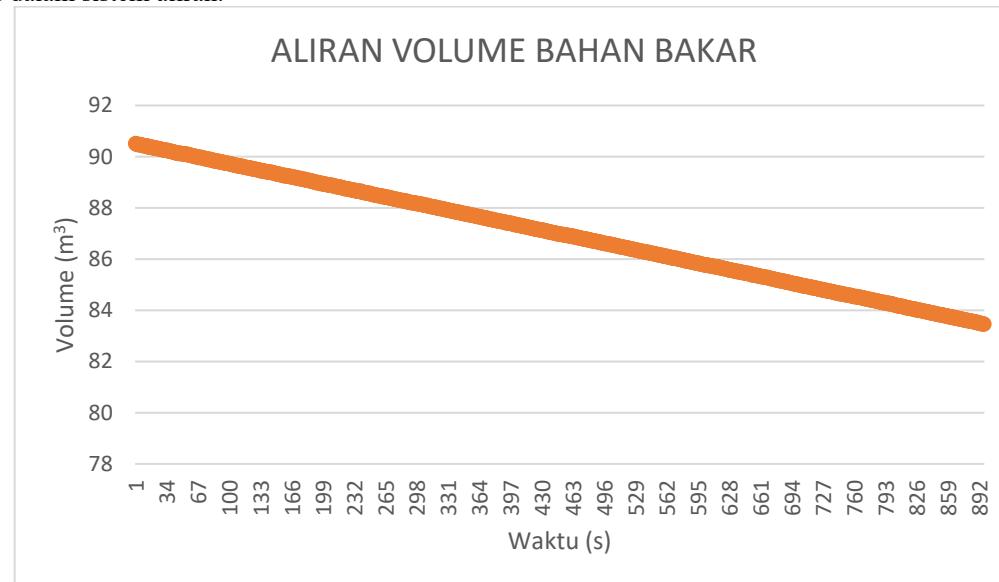
Gambar 10. Aliran Volumetrik Bahan Bakar Variasi 2 (75 kw, bukaan kran ~19°)

Pada gambar 10 menunjukkan aliran Volume bahan bakar pada variasi 2 , dimana dilakukan pengambilan data selama 15 menit dan setiap 3 menit mencatat data. Aliran volume yang baik akan menunjukkan penurunan volume bahan bakar yang teratur dan relative konstan per waktunya. Volume awal bahan bakar adalah 90,53218 m³ dan Volume akhir bahan bakar adalah 86,22525 m³. dari grafik dapat dilihat bahwa pengurangan volume bahan bakar per satuan waktu Relatif konstan yang menunjukkan penurunan teratur dan tidak ada penurunan nilai volume yang signifikan atau fluktuatif.



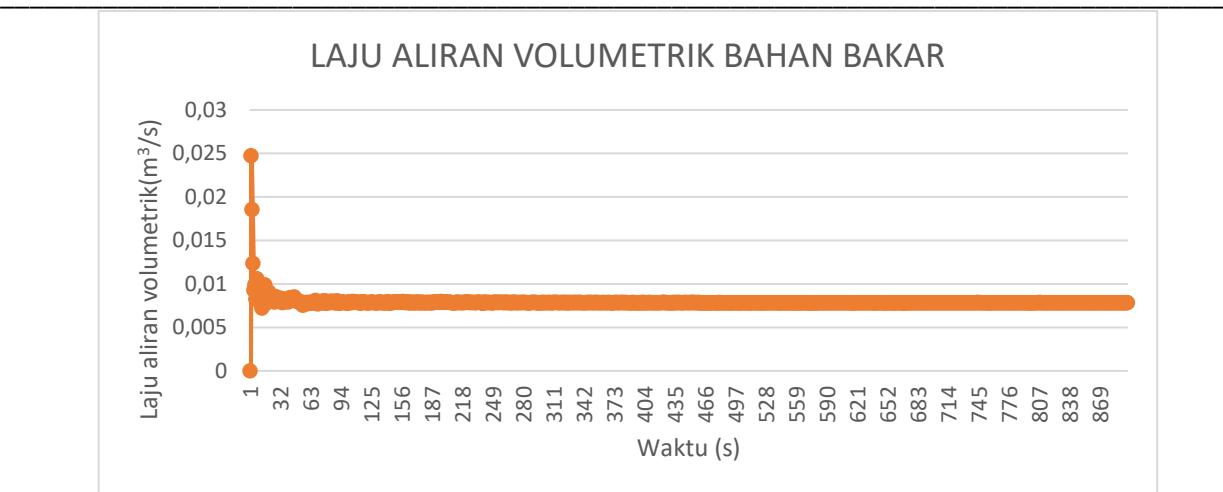
Gambar 11. Laju Aliran Volumetrik Bahan Bakar Variasi 2 (75 kw, bukaan kran ~19°)

Pada gambar 11 menunjukkan laju aliran Volumetrik bahan bakar pada kondisi 75 kw. Persamaan (2.7) digunakan untuk mencari laju aliran Volumetrik bahan bakar. Pada variasi 2, Range nilai laju aliran volumetrik bahan bakar adalah 0 - 0,00618811 m³/s, nilai range ini menunjukkan bahwa laju aliran Volumetrik bahan bakar relatif konstan, perbedaan nilainya terhitung kecil. Dari grafik juga dapat dilihat bahwa laju aliran massa bahan bakar pada setiap waktunya relatif konstan, namun pada awal mulai pengujian terlihat sedikit perbedaan laju aliran massa namun hanya sedikit, kemungkinan terjadi dikarenakan pengkondisian awal mulai pengujian. Nilai laju aliran volumetrik yang konstan menunjukkan bahwa volume bahan bakar yang mengalir melalui penampang per satuan waktu tetap konstan. Ini berarti tidak ada perubahan yang signifikan dalam jumlah volume fluida yang melewati penampang tangki dalam waktu tertentu, menunjukkan aliran yang stabil tanpa per(100 kw, bukaan kran ~20°)ubahan kecepatan atau luas penampang di titik-titik tertentu dalam sistem aliran.



Gambar 12. Aliran Volumetrik Bahan Bakar Variasi 3 (100 kw, bukaan kran ~20°)

Pada Gambar 12 menunjukkan aliran Volume bahan bahan bakar pada variasi 3 , dimana dilakukan pengambilan data selama 15 menit dan setiap 3 menit mencatat data. Aliran volume yang baik akan menunjukkan penurunan volume bahan bakar yang teratur dan relative konstan per waktunya. Volume awal bahan bakar adalah 90,50742574 m³ dan Volume akhir bahan bakar adalah 83,4653 m³. dari grafik dapat dilihat bahwa pengurangan volume bahan bakar per satuan waktu Relatif konstan yang menunjukkan penurunan teratur dan tidak ada penurunan nilai volume yang signifikan atau fluktuatif.

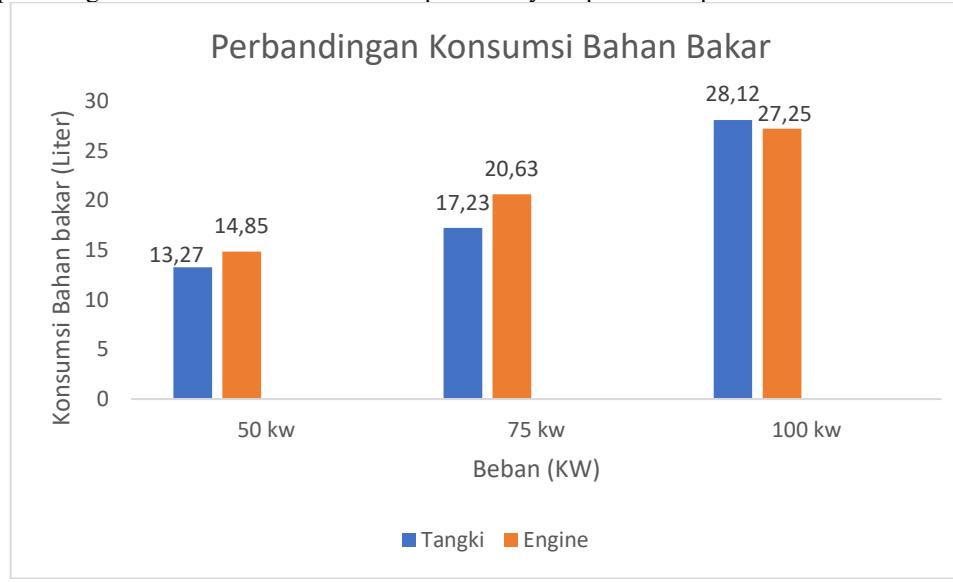


Gambar 13. Laju Aliran Volumetrik Bahan Bakar Variasi 3 (100 kw, bukaan kran $\sim 20^\circ$)

Pada Gambar 13 menunjukkan laju aliran Volumetrik bahan bakar pada kondisi 100 kw. Pada variasi 3, Range nilai laju aliran volumetrik bahan bakar adalah 0 - 0,24752 m^3/s , nilai range ini menunjukkan bahwa laju aliran Volumetrik bahan bakar relatif konstan, perbedaan nilainya terhitung kecil. Dari grafik juga dapat dilihat bahwa laju aliran massa bahan bakar pada setiap waktunya relatif konstan, namun pada awal mulai pengujian terlihat sedikit perbedaan laju aliran massa namun hanya sedikit, kemungkinan terjadi dikarenakan pengkondisian awal mulai pengujian. Nilai laju aliran volumetrik yang konstan menunjukkan bahwa volume bahan bakar yang mengalir melalui penampang per satuan waktu tetap konstan. Ini berarti tidak ada perubahan yang signifikan dalam jumlah volume fluida yang melewati penampang tangki dalam waktu tertentu, menunjukkan aliran yang stabil tanpa perubahan kecepatan atau luas penampang di titik-titik tertentu dalam sistem aliran.

3.3 Perbandingan Konsumsi Bahan Bakar

Metode perhitungan konsumsi bahan bakar pada penelitian ini adalah dengan menghitung selisih massa awal dengan massa akhir. Rumus yang digunakan untuk mencari nilai konsumsi bahan bakar tertulis pada persamaan (3). pada perhitungan ini akan membandingkan konsumsi bahan bakar dari 3 jenis kondisi yang digunakan yaitu 50kw, 75kw, dan 100kw. Hasil perhitungan konsumsi bahan bakar setiap variasinya dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Perbandingan Konsumsi Bahan Bakar Setiap Variasi

Pada Gambar 14 menunjukkan perbandingan konsumsi bahan bakar yang digunakan pada setiap kondisi beban, konsumsi bahan bakar terendah terjadi pada kondisi beban 50kw yaitu 13,26732 m^3/jam dan konsumsi bahan bakar tertinggi terjadi pada beban 100kw yaitu 28,16831. Hal itu menunjukkan bahwa konsumsi bahan bakar berbanding lurus dengan kondisi beban, Peningkatan konsumsi bahan bakar dikarenakan mesin membutuhkan kerja yang lebih besar untuk menggerakkan beban yang lebih besar. Pada Gambar 14 juga menunjukkan perbandingan konsumsi bahan bakar pada

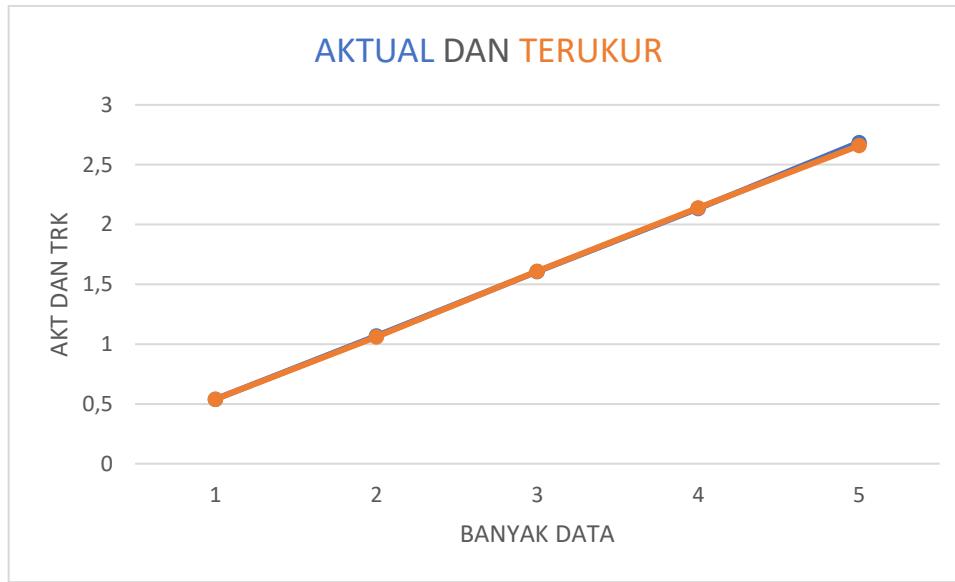
engine di setiap beban. Hal ini menunjukkan bahwa konsumsi bahan bakar yang di dapatkan dalam perhitungan mendekati dengan konsumsi bahan bakar pada saat digunakan di engine.

3.4 Error dan Kalibrasi Timbangan

Perbandingan pembacaan antara timbangan konvensional dan *load cell* memiliki perbedaan nilai yang disebut dengan *error*[10]. Persamaan (5) digunakan untuk mencari nilai error dari perbedaan pembacaan nilai massa bahan bakar Timbangan konvensional dan *load cell*. Perbandingan error antara timbangan konvensional dengan *load cell* dapat dilihat pada Tabel 1 dan Gambar 15.

Tabel 1. Perbandingan Error Timbangan Konvensional dengan *Load cell*

Massa timbangan konvensional (kg)	Massa <i>load cell</i> (kg)	Error(%)
0,54	0,54	0
1,07	1,06	- 0,9433
1,608	1,61	0,12422
2,134	2,14	0,28037
2,686	2,66	- 0,9774



Gambar 15. Perbandingan Pembacaan Timbangan konvensional Dan *Load cell*

Dari hasil pengujian yang disajikan pada Tabel 1, menunjukkan perbedaan pembacaan nilai massa antara timbangan konvensional dan *load cell* tidak berbeda jauh. Nilai *error* tertinggi yang didapatkan adalah 0,28037 %, dimana nilai tersebut masih tergolong rendah. Nilai *error* yang rendah pada pengujian pengukuran ini menunjukkan bahwa pengukuran tersebut memiliki tingkat akurasi dan presisi yang tinggi. Ini berarti bahwa hasil pengukuran mendekati nilai sebenarnya dan konsisten jika diulang dalam kondisi yang sama. Akurasi yang didapatkan adalah 99,534 %, Dari hasil *error* yang didapatkan menunjukkan bahwa pembacaan massa oleh *load cell* sangat baik sehingga perhitungan laju aliran massa bahan bakar menjadi lebih akurat dan dapat dianalisis.

Pada Gambar 15, garis biru menunjukkan nilai pembacaan oleh timbangan konvensional (massa aktual) dan garis kuning menunjukkan nilai pembacaan oleh *load cell* (massa terukur). Dari grafik juga menunjukkan kepresisan dari *load cell*, karena garis yang terbentuk dari nilai pembacaan massa oleh *load cell* hampir sama dengan garis yang dibentuk oleh nilai pembacaan timbangan konvensional(massa aktual) hanya memiliki sedikit perbedaan. Artinya *load cell* dapat digunakan sebagai alat ukur yang bekerja dengan baik dan menghasilkan kualitas data yang dapat dianalisis serta pengujian pengukuran yang efektif.

3.5 Ketidakpastian Pengukuran

Perhitungan ketidakpastian pengukuran laju aliran pada penelitian ini berdasarkan sumber *errors* yang didapat berdasarkan standard ISO 4185-1980 yaitu *systematic errors* dan *random errors*. Rumus perhitungan yang digunakan ada pada persamaan (6) dan (7). Data yang diambil pada perhitungan ini yaitu pada selang waktu 60 s, massa bahan bakar

yang berkurang sebanyak 0,37 kg dengan massa jenis bahan bakar yang didapat dari pengukuran langsung adalah 808 kg/m³. Sehingga ketidakpastian sistematis dapat dihitung menggunakan persamaan (6) sebagai berikut dengan nilai (e_s) ε diabaikan.

$$E_s = \pm 100 \sqrt{\left[\frac{(e_s)b}{m}\right]^2 + \left[\frac{(e_s)d}{\rho}\right]^2 + \left[\frac{(e_s)\varepsilon}{m}\right]^2 + \left[\frac{(e_s)t}{t}\right]^2} \%$$

$$E_s = \pm 100 \sqrt{\left[\frac{0,000185}{0,37}\right]^2 + \left[\frac{0,0808}{808}\right]^2 + \left[\frac{0,001}{60}\right]^2} \%$$

$$E_s = \pm 100 \sqrt{(25 \times 10^{-8}) + (1 \times 10^{-8}) + (2,7 \times 10^{-10})} \%$$

$$E_s = \pm 100 \times 0,00051 \%$$

$$E_s = \pm 0,051 \%$$

Dari data yang diambil juga dapat dihitung ketidakpastian acak dengan menggunakan rumus pada persamaan (7) sebagai berikut,

$$E_R = \pm 100 \sqrt{\left[\frac{(e_R)b}{m}\right]^2 + \left[\frac{(e_R)d}{\rho}\right]^2} \%$$

$$E_R = \pm 100 \sqrt{\left[\frac{0,000259}{0,37}\right]^2 + \left[\frac{0,0808}{808}\right]^2} \%$$

$$E_R = \pm 100 \sqrt{(49 \times 10^{-8}) + (1 \times 10^{-8})} \%$$

$$E_R = \pm 0,0707 \%$$

4. Kesimpulan

Pengukuran konsumsi bahan bakar menggunakan *load cell* dengan metode penimbangan statis menghasilkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengukuran konsumsi bahan bakar dengan menaggunkan *load cell* dilakukan dengan mengikuti standard ISO 4185-1980 dan penggunaan *load cell* dalam mengukur konsumsi bahan bakar dapat dilakukan karna menghasilkan data yang akurat dan memiliki nilai *error* yang sangat kecil.
2. Pengukuran laju aliran bahan bakar dilakukan dengan 3 variasi, yaitu pada beban 50 kw(~18°), 75 kw(~19°), 100 kw(~20°), pada setiap grafik laju aliran massa dan volumetrik bahan bakar menunjukkan aliran yang konstan. pada beban 50 kw , rata-rata laju aliran massa bahan bakar adalah 0,0029062 kg/s, dan rata- rata laju aliran volumetrik adalah 0,003596 (m³/s). pada beban 75 kw, rata , rata-rata laju aliran massa adalah 0,003894 kg/s, dan rata- rata laju aliran volumetrik adalah 0,004820 (m³/s). pada beban 100 kw, rata-rata laju alirannya adalah 0,006403 kg/s, dan rata- rata laju aliran volumetrik adalah 0,0079243 (m³/s).
3. Konsumsi bahan bakar pada beban 50 kw adalah 13,26732 liter/jam. Pada beban 75 kw sebesar 17,22772 liter/jam dan pada beban 100 kw sebesar 28,16831 liter/jam, hasil ini menunjukkan bahwa semakin besar beban yang diterima maka semakin besar juga konsumsi bahan bakar yang digunakan.
4. Nilai ketidakpastian sistematis (*systematic errors*) pengukuran adalah $E_s = \pm 0,051 \%$ dan nilai ketidakpastian acak (*random errors*) adalah $E_R = \pm 0,0707 \%$.

5. Daftar Pustaka

- [1] Rihaldi Syahputra, Armila, and Rudi Kurniawan Arief, "Analisis Pengaruh Laju Aliran Massa Fluida Terhadap Perubahan Temperatur Pada Radiator Honda CBR 150 CC," *JTTM J. Terap. Tek. Mesin*, vol. 2, no. 2, pp. 69–77, 2021, doi: 10.37373/jttm.v2i2.138.
- [2] R. Pačník and F. Novak, "A high-sensitivity hydraulic load cell for small kitchen appliances," *Sensors*, vol. 10, no. 9, pp. 8452–8465, 2010, doi: 10.3390/s100908452.
- [3] Z. Arifin, M. Zaenudin, and Y. K. P. Saleh, "Perancangan Kontroler Pada Konveyor Pendekripsi Berat Menggunakan Load Cell Berbasis Plc," *Technopex 2023*, no. November, pp. 66–78, 2023.
- [4] B. Edbert and F. Wahab, "Analisis perbandingan nilai ukur sensor load cell antara PLC Delta dengan Arduino Uno," *JITEL (Jurnal Ilm. Telekomun. Elektron. dan List. Tenaga)*, vol. 2, no. 1, pp. 75–84, 2022, doi: 10.35313/jitel.v2.i1.2022.75-84.
- [5] R. W. Maulid Himawan and B. Hariadi, "Rancang Bangun Alat Penghitung Berat dan Volume Paket Berbasis Arduino," *COMSERVA J. Penelit. dan Pengabd. Masy.*, vol. 3, no. 06, pp. 2180–2190, 2023, doi: 10.59141/comserva.v3i06.1008.
- [6] V. A. Kamble, V. D. Shinde, J. K. Kittur, R. Scholar, and Profesoor, "Overview of Load Cells," *J. Mech. Mech. Eng.*, vol. 6, no. 3, pp. 22–29, 2020, [Online]. Available: www.matjournals.com

-
- [7] A. R. Adimi, M. Fauziyah, and D. Dewatama, "Kontrol PI pada Motor AC untuk Mesin Peniris Minyak," vol. 11, no. 9, pp. 31–43, 2024.
 - [8] I. S. Matondang, "Analisis Konsumsi Bahan Bakar Jenis Premium, Pertalite Dan Pertamax Yang Terpasang Pada Sepeda Motor 125CC," *Repos. Univ. Medan Area*, pp. 1–82, 2018.
 - [9] D. Lestariningsih, H. Pranjoto, L. Agustine, Y. D. W. Werdani, and B. Teja, "Aplikasi Load Cell Untuk Sistem Monitoring Volume Cairan Infus," *J. Penelit. Saintek*, vol. 26, no. 2, pp. 165–177, 2021, doi: 10.21831/jps.v26i1.34441.
 - [10] W. WAHYUDI, A. RAHMAN, and M. NAWAWI, "Perbandingan Nilai Ukur Sensor Load Cell pada Alat Penyortir Buah Otomatis terhadap Timbangan Manual," *ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron.*, vol. 5, no. 2, p. 207, 2018, doi: 10.26760/elkomika.v5i2.207.