

Perancangan Sistem Kendali Bahan Bakar Mesin Gas Turbin Mini Berbasis Arduino

Nazri Nurulaulia¹, Radi Suradi Kertanegara²

¹Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012
E-mail : nazri.nurulaulia.aer22@polban.ac.id

²Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012
E-mail : radisk@polban.ac.id

ABSTRAK

Perancangan sistem kendali bahan bakar untuk alat peraga mini mesin turbin gas berbasis *turbocharger* merupakan pengembangan dari sistem oromatisasi dalam mengontrol bahan bakar dengan sistem kendali bahan bakar menggunakan Arduino R3 ATMEGA328P. Sistem ini dirancang dengan menagtur jumlah debit bahan bakar pada mini mesin turbin gas, perancangan sistem kendali yang melibatkan komponen utama seperti fuel pump, fuel nozzle, sensor infrared, driver module L298N. Hasil pengujian ini dapat dikembangkan dan mampu menampilkan data saat *engine run* seperti debit bahan bakar, RPM, dan temperatur oli pada layar LCD serta kontrol yang akurat pada supply bahan bakar. Penggunaan *turbocharger* terbukti meningkatkan efisiensi termal dan mengurangi konsumsi bahan bakar dibandingkan sistem tanpa *turbocharger*. Dengan adanya sistem *turbocharger* menjadi mesin turbin gas ini diharapkan menjadi media pembelajaran dalam bidang teknik aeronautika, termodinamika, dan mesin turbin gas, serta mampu memberikan pemahaman terkait kerja *turbocharger* yang lebih ergonomis dan sistem bahan bakar mesin turbin gas

Kata Kunci

Sistem Bahan Bakar, Mesin turbin gas, Arduino R3 ATMEGA32P,

The design of a fuel control system for a mini gas turbine engine training model based on a turbocharger represents a development in the automation of fuel control using the Arduino R3 ATMEGA328P microcontroller. This system is designed to regulate the fuel flow rate in a mini gas turbine engine and involves key components such as a fuel pump, fuel nozzle, infrared sensor, and L298N driver module. The test results show that the system can be further developed to display real-time data during engine operation, including fuel flow rate, RPM, and oil temperature on an LCD screen, as well as provide precise control of the fuel supply. The use of a turbocharger has proven to increase thermal efficiency and reduce fuel consumption compared to systems without a turbocharger. With the integration of this turbocharged system, the gas turbine engine is expected to serve as an effective educational tool in the fields of aeronautical engineering, thermodynamics, and gas turbine engines, offering an ergonomic understanding of turbocharger operation and fuel control systems in gas turbines.

Keywords

Fuel System, Gas Turbine Engine, Arduino R3 ATMEGA328P

1. PENDAHULUAN

Pada tahun 2019, sistem bahan bakar mini gas turbine engine dirancang oleh mahasiswi aeronautika dalam tugas akhir berjudul “Rancang Bangun Test Bench Mini Gas Turbine Engine Hasil Modifikasi Turbocharger Kaji Sistem Bahan Bakar”. Dalam perancangan tersebut, Arduino UNO digunakan sebagai pengendali sistem bahan bakar yang sebelumnya menggunakan minyak tanah sebagai sumber bahan bakar (1).

Sistem kendali yang telah dilakukan bahwa debit bahan bakar yang masuk ruang bakar menunjukkan kenaikan RPM dan debit *fuel* saat *starting*, namun ketika sudah *self-sustaining* debit *fuel* cenderung konstan, dikarenakan mengubah sudut semprot dari *fuel nozzle*. Sementara untuk mengubah sudut semprot dari *fuel nozzle*, perlu membuka kembali saat *engine* tidak dihidupkan. Kemudian untuk

mengatur jumlah debit bahan bakar yang masuk menggunakan potensiometer hanya sebagai memberikan *supply* ke ruang bakar yang menyebabkan tekanan pada fuel menjadi berkurang dikarenakan bahan bakar yang tersedia terbatas. mengacu pada penelitian oleh David Setiawan dengan judul “Sistem Kontrol Motor DC Menggunakan PWM Arduino Berbasis Android System”. Dalam penelitian tersebut PWM pada Arduino digunakan untuk menentukan kecepatan putaran maju dan mundur dari motor DC dengan variable kecepatan dari 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% yang membuat pengaturan debit bahan bakar dapat diatur sesuai dengan kebutuhan dari engine (2).

Pemanfaatan *turbocharger* juga berperan besar dalam meningkatkan performa mesin, seperti pada KTM 390RC yang tenaganya meningkat dari 40-43 hp menjadi 43-60 hp. *Turbocharger* bekerja dengan memanfaatkan energi gas buang untuk memutar turbin dan menggerakkan kompresor, yang selanjutnya meningkatkan tekanan udara masuk ke ruang bakar. Ini meningkatkan efisiensi pembakaran dan

menambah performa mesin tanpa memperbesar kapasitasnya (3).

Studi oleh Williyanto Phillip Kristanto dan Rully Hartadi menunjukkan bahwa penggunaan turbocharger pada motor bensin Daihatsu tipe CB-23 dapat meningkatkan daya hingga 34,97%, berkat peningkatan kepadatan udara masuk yang menghasilkan pembakaran lebih sempurna (4).

2. LANDASAN TEORI

2.1 Mesin Turbin Gas

Mesin turbin gas adalah jenis mesin yang memanfaatkan udara bertekanan (fluida) yang dicampur, kemudian dibakar bersama bahan bakar (fuel) untuk menghasilkan energi panas, yang kemudian dikonversi menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran (RPM). Mesin turbin gas memiliki 4 tahapan utama di dalamnya saat bekerja yaitu: kompresi (*compressor*), pembakaran (*combustion chamber*), ekspansi (*turbine*), dan pembuangan (*exhaust*). Mesin turbin gas menggunakan sistem pembakaran dalam *engine (internal combustion)* atau siklus terbuka yaitu udara yang telah masuk dari atmosfer ke dalam kompresor akan keluar dari turbin menuju atmosfer secara kontinu.

2.2 Engine Test Bench

Engine test bench adalah sarana yang dipakai untuk menempatkan serta melakukan pengujian terhadap engine. Melalui penggunaan engine test bench, berbagai variabel dapat diukur saat *engine run*, seperti *RPM engine*, *fuel consumption*, *oil temperature*, serta aliran udara yang masuk maupun keluar dari *engine* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1(5) :



Gambar 1. Engine Test Bench (5)

2.2 Turbocharger

Turbocharger adalah perangkat yang bekerja menggunakan udara yang bertekanan untuk menghasilkan tenaga yang sangat besar dari hasil pembakaran udara dari turbocharger itu sendiri. Turbocharger terdiri dari dua komponen utama : kompresor dan turbin dalam poros yang sama. Dengan merubah masuknya sistem udara alami menjadi udara paksa. Sistem turbocharger ini sangat menguntungkan kinerja dari mesin karena jumlah udara yang masuk akan bertambah volume dan tekanan, sehingga bahan bakar yang

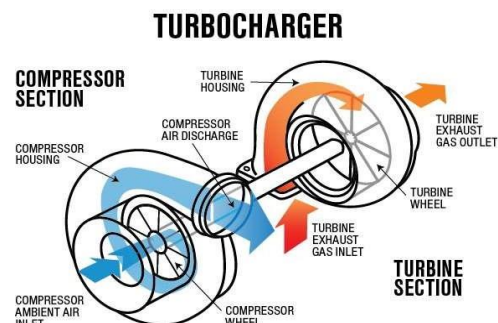
disemprotkan fuel nozzle terbakar secara sempurna di ruang bakar.

Udara bertekanan yang masuk ke dalam ruang bakar akan menentukan efisiensi dari pembakaran. Semakin banyak udara yang masuk maka semakin sedikit jumlah udara bahan bakar yang digunakan, hal ini menyebabkan hasil pembakaran meningkat dikarenakan adanya penambahan kalor yang sangat banyak dari bahan bakar yang sedikit. Selain itu, penambahan udara dengan jumlah banyak mampu meningkatkan temperatur dan tekanan saat kompresi, yang membuat proses awal pembakaran (ledakan) akan lebih cepat terjadi di ruang bakar.

Hasil dari pembakaran tersebut membuat tekanan dan temperatur akhir semakin besar, hal ini yang dimanfaatkan oleh turbocharger untuk memutar bilah turbin menjadi lebih energi mekanis yang lebih besar dan memutar poros shaft menjadi lebih meningkat yang membuat kompresor memasukan udara lebih banyak, sehingga daya mesin dapat menjadi lebih besar dengan penambahan udara.

Pemanfaatan ini banyak digunakan karena daya yang dibuat oleh turbocharger sangat besar dari dengan tanpa turbocharger walaupun ukuran yang sama. Selain itu, efisiensi bahan bakar akan berkurang dengan daya yang besar, dikarenakan semua gas buang dari pembakaran akan dimanfaatkan untuk kegunaan lain. Dengan berkurangnya efisiensi bahan bakar maka emisi bahan bakar ikut berkurang, maka dengan menggunakan turbocharger selain meningkatkan daya dengan bahan bakar yang relatif sedikit dan lebih ramah lingkungan karena berkurangnya emisi bahan bakar yang dihasilkan.

Pengurangan konsumsi bahan bakar sangat berpengaruh pada kondisi operational engine dan peningkatan energi panas, yang membuat daya tempuh dari engine menjadi lebih besar dibandingkan dengan yang tidak menggunakan turbocharger sama seperti yang dilakukan oleh Williyanto Phillip Kristanto dan Rully Hartadi pada “Analisa Turbocharger pada Motor Bensin Daihatsu Tipe CB-23” dalam penelitiannya, peningkatan daya oleh turbocharger meningkat hingga 34,97% dibandingkan dengan yang tidak menggunakan turbocharger. Hal ini terjadi karena tekanan udara yang masuk ke dalam ruang pembakaran menjadi lebih sempurna. Berikut adalah Gambar 7 bentuk dari turbocharger yang digunakan (6) :



Gambar 2. Turbocharger(6)

2.3 Komponen Sistem Bahan Bakar

Pada sistem bahan bakar turbocharger terdiri dari beberapa komponen penting yang berfungsi sebagai penyuplai dan penampung dari bahan bakar.

2.4.1 Fuel tank

Fuel tank merupakan tempat menampungnya bahan bakar yang akan disalurkan ke ruang bakar. Tangki bahan bakar menyesuaikan dengan kebutuhan dari engine tersebut sesuai dengan kemampuan atau kebutuhan engine dalam beroperasi, maka pemilihan tangki sangat penting saat pembuatan atau pembangunan engine.

2.4.2 Fuel pump

Pompa berfungsi untuk mengalirkan bahan bakar dari tangki menuju *fuel nozzle*. Tekanan tinggi pada pompa sangat dibutuhkan untuk mendorong bahan bakar keluar melalui *fuel nozzle*. Selain itu, kualitas pengabutan bahan bakar tidak hanya dipengaruhi oleh jenis *fuel nozzle*, tetapi juga oleh besarnya tekanan yang dihasilkan oleh pompa.

2.4.3 Fuel nozzle

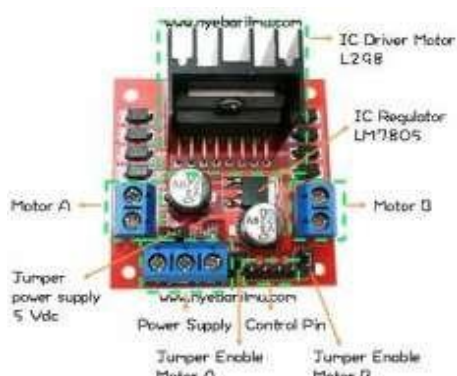
Fuel nozzle adalah bagian terakhir dari sistem bahan bakar sebelum memasuki ruang bakar yang bertugas menyemprotkan bahan bakar dalam bentuk gas(vapor) sehingga bahan bakar lebih mudah tercampur dengan udara dan memudahkan dalam proses pembakaran. Fuel nozzle berbentuk mengerucut yang membuat luas penampang lebih kecil dan membuat tekanan pada bahan bakar lebih meningkat.

2.5 Sistem Kendali

2.5.1 Arduino UNO R3

Arduino UNO R3 adalah board mikrokontroler yang menggunakan chip Atmega328P sebagai inti utamanya. Perangkat ini memiliki 14 pin digital untuk input dan output, di mana 6 pin bisa digunakan sebagai output PWM. Selain itu, terdapat 6 pin untuk input analog, konektor untuk catu daya, port USB, serta tombol reset (7).

Arduino bisa dioperasikan dengan menghubungkannya ke komputer menggunakan kabel USB, atau dengan memberikan pasokan daya dari adaptor AC-DC maupun baterai. Dapat dilihat pada Gambar 3 (8) :



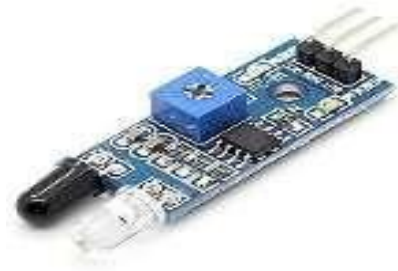
Gambar 3. Arduino UNO(8)

2.5.2 Arduino IDE

IDE merupakan singkatan dari *Integrated Development Environment*, yaitu perangkat lunak yang digunakan untuk melakukan pemrograman pada *board* Arduino. Program yang dibuat menggunakan perangkat lunak ini disitilahkan sebagai *sketch* (9).

2.5.3 Driver module L298N

L298N merupakan sebuah IC tipe H-bridge yang berfungsi mengendalikan orientasi rotasi dan laju motor, seperti motor DC, motor stepper, maupun solenoid. IC ini tersedia sebagai modul pengendali yang telah dilengkapi dengan pin input/output yang terorganisasi dengan baik, sehingga memudahkan dalam penerapannya. L298N mampu mengoperasikan motor pada rentang tegangan 5 hingga 35 volt DC. Berikut adalah Gambar 10 Driver Module (12):



Gambar 4. Driver Module L298N(12)

2.5.4 Infrared obstacle sensor module

Sensor inframerah adalah perangkat elektronik yang memanfaatkan radiasi infra merah untuk mentransfer informasi antara unit pemancar (transmitter) dan unit penerima (receiver). Radiasi infra merah ini tidak dapat terdeteksi oleh indera penglihatan manusia dan memiliki panjang gelombang yang lebih tinggi dibandingkan dengan spektrum cahaya tampak, yaitu berada dalam kisaran 700 nanometer hingga 1 milimeter. Modul sensor IR biasanya terdiri dari beberapa komponen utama, di antaranya:

1. IR LED Trasmmitter

IR LED adalah komponen semikonduktor transparan yang berfungsi menghasilkan cahaya infra merah saat diberikan tegangan 5 V DC. LED ini mempunyai sudut penyinaran antara 20° sampai 60°, serta jangkauan hingga 20 cm, bergantung pada jenis dan sensornya.

2. Photodiode Receiver

Photodiode berfungsi untuk menangkap sinar infra merah yang dikirimkan oleh LED pemancar. Komponen ini merupakan jenis semikonduktor dengan sambungan P-N dan dioperasikan dalam kondisi bias terbalik. Saat terkena cahaya, photodiode menghasilkan arus listrik dengan arah berlawanan, di mana besar arus tersebut sebanding dengan tingkat intensitas cahaya yang diterimanya. Secara fisik, bentuknya mirip dengan LED, namun memiliki lapisan luar berwarna hitam.

3. Variable Resistor (Trimmer)

Trimmer digunakan untuk menyesuaikan jarak pendeteksian objek. Saat diputar searah dengan arah jarum jam, jarak pendeteksian akan meningkat. Sebaliknya, apabila diputar berlawanan arah jarum jam, maka jarak deteksinya akan menurun.

4. Pin

Modul sensor infrared terdiri atas tiga pin utama, yaitu VCC, GND (ground), dan OUT (output). Pin VCC dihubungkan ke sumber daya 5 volt, sedangkan pin GND terhubung ke ground. Sementara itu, pin OUT disambungkan ke salah satu pin digital pada board Arduino untuk proses pembacaan sinyal.

5. LM393 (Op-Amp)

LM393 adalah *operational amplifier* yang berperan sebagai pembanding tegangan dalam rangkaian sensor. Komparator ini membandingkan tegangan referensi terhadap tegangan yang berasal dari rangkaian resistor seri yang terhubung dengan photodiode. Berikut Gambar 5 tampilan dari infrared obstacle sensor module (13):



Gambar 5. Infrared Sensor(13)

2.5.5 LCD (Liquid Crystal Display)

LCD merupakan rangkaian elektronika yang terdiri dari beberapa komponen untuk menampilkan data yang didapatkan dari sensor dan dapat menampilkan menu pada aplikasi mikrokontroler. LCD dapat menampilkan data berupa gambar, angka, dan tulisan sesuai kebutuhan. Penggunaan LCD banyak ditemui di beberapa sendi kehidupan seperti televisi, telepon seluler, komputer dan lain – lain. LCD umumnya di buat menggunakan sistem komunikasi jenis parallel, dalam hal ini banyak port mikrokontroler yang dibutuhkan pada LCD, mikrokontroler tersebut terdapat sebuah clock untuk mengatur kecepatan dan sinkronisasi komunikasi dengan LCD. Terdapat juga selector mode untuk membaca data, dan potensiometer yang berfungsi untuk mengendalikan LCD.

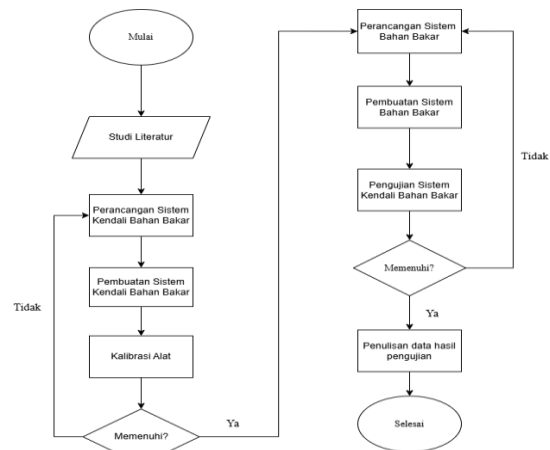
2.5.6 Power supply

Power supply menyalurkan kelistrikan yang akan digunakan untuk sistem kendali bahan bakar, hal ini juga berguna untuk komponen lainnya yang memerlukan kelistrikan.

3. METODE

Metode yang digunakan adalah metode eksperimen dengan melakukan beberapa kali pengujian pada sistem. Selanjutnya hasil dari pengujian tersebut dianalisis untuk mendapatkan

hasil akhir dari pengujian. Berikut merupakan diagram alir penyelesaian masalah pada Gambar 6 :



Gambar 6. Diagram Alir

3.1 Pemilihan Komponen

Pemilihan komponen untuk sistem kendali dan sistem bahan bakar adalah tahapan pertama dari pembuatan rancangan beberapa komponen elektronika. Tahapan ini dilakukan sebelum pembangunan sistem bahan bakar. Berikut Tabel 1 merupakan komponen – komponen pada rangkaian elektronika sistem kendali bahan bakar dan sistem bahan bakar :

Tabel 1. Komponen yang digunakan

Nama	Keterangan
Arduino UNO R3	5 V DC
Driver Module L298N	operating voltage hingga 46 V DC, total arus hingga 4A DC
Transistor C5198	sebagai power transistor
Kabel Jumper	Disesuaikan
Infrared Sensor Module	working voltage 3-5 V DC
Power Supply Variable	24 V DC

3.2 Pengukuran RPM Turbocharger

Metode pengukuran RPM dilakukan dengan menggunakan MGTE dan kipas angin sebagai permisalan dari kompresor turbocharger, hal ini dilakukan untuk mengantisipasi kerusakan pada komponen dari turbocharger dan sistem pembacaan RPM yang dibuat. Dengan menggunakan kipas angin pengujian dapat dilakukan dengan cepat dan aman.

3.3 Pengukuran RPM Pompa

Pengukuran pada pompa yang akan digunakan bertujuan untuk mendapatkan pengaruh RPM pompa terhadap debit yang dikeluarkan oleh pompa per 30 detik ketika dinyalakan.

3.4 Penentuan DRO

Dalam tahapan ini penentuan DRO digunakan untuk berbagai aspek seperti : harapan dan keharusan, Tabel 2 merupakan table *Design Requirement and Objective* :

Tabel 2. DRO

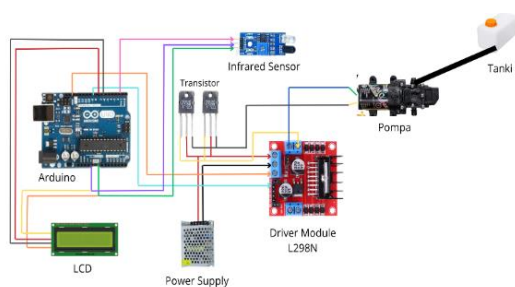
Fungsional		
Kategori	Tujuan	Nilai
M	Sistem pompa mampu membaca 10% rpm pada kondisi minimum dan 100% rpm pada kondisi maksimum	15.000 RPM
M	Sistem membaca RPM pada kipas angin 2 tahap	Tahap 1 4920 RPM Tahap 2 5460 RPM
M	Sistem mampu menampilkan data kecepatan RPM secara <i>real time</i>	RPM 1 PWM 2

3.5 Perancangan Sistem Kendali Bahan Bakar

Perancangan sistem kendali bahan bakar merupakan tahapan yang menggunakan Arduino UNO agar sistem bahan bakar dapat dikendalikan secara otomatis dan membuat data yang didapatkan dapat ditampilkan dalam layar LCD.

3.6 Perakitan Rangkaian Sistem Kendali Bahan Bakar

Pembuatan rangkaian sistem kendali bahan bakar dilakukan untuk mengetahui semua komponen elektronika dapat bekerja melalui percobaan pada pompa agar dapat mengalirkan bahan bakar. Perakitan sistem kendali bahan bakar dapat dilihat pada Gambar. 7 berikut :



Gambar 7. Rangkaian Sistem Kendali

3.7 Perancangan sistem bahan bakar

Perancangan sistem bahan bakar mempermudah dalam pembuatan dari sistem bahan bakar jika terjadi kesalahan atau perbaikan di salah satu komponen.

3.8 Pengujian menggunakan kipas angin

Setelah proses perancangan, proses selanjutnya adalah pengukuran RPM dan kecepatan pada kipas angin 2 tahap menggunakan tachometer dan sensor inframerah.

3.9 Kalibrasi Tachometer dan Inframerah

Kalibrasi dilakukan terhadap sensor inframerah dan tachometer yang digunakan dalam pengujian. Hal ini bertujuan untuk memastikan data RPM dan kecepatan udara yang ditampilkan akurat. Proses kalibrasi menggunakan referensi RPM standar dari tachometer dan disesuaikan pembacaan sensor pada tiap tahap.

3.10 Pengujian Pada Pompa

Pengujian pada pompa dilakukan untuk mendapatkan data

RPM dan Massflow yang dikeluarkan oleh pompa dengan menggunakan sensor inframerah dan pengukuran di gelas ukur dengan waktu yang sama.

4. HASIL

4.1 Hasil Pengujian

4.1.1 Pengukuran RPM Turbocharger

Proses pengukuran RPM dilakukan dengan cara menyalakan MGTE yang telah dirakit dengan sistem pengapian dengan menggunakan LPG sebagai bahan bakar dan sistem pelumasan. Pengukuran RPM dilakukan menggunakan tachometer pada blade kompresor turbocharger. Setelah melakukan pengukuran RPM, dilanjutkan pada pengukuran kecepatan udara sehingga mendapatkan massflow.

4.1.2 Pengujian Pada Kipas Angin

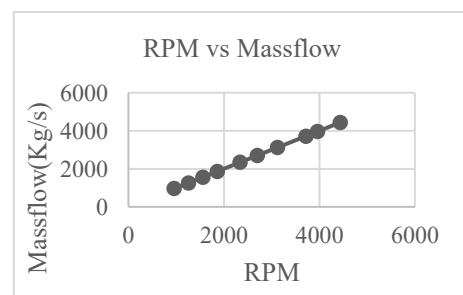
Pengujian ini menggunakan kipas angin 2 tahap sebagai pengganti compressor pada turbocharger, dengan melakukan pengujian terhadap kipas angin yaitu untuk mempermudah jika terjadi kendala sistem pembacaan dengan mengkalibrasi alat dengan tachometer dan sensor inframerah.

4.1.3 Pengujian Pompa

Pengujian pada pompa menggunakan power supply variabel 24V dengan maksimum yang dapat beroperasi pada pompa sebesar 12V, dengan mengatur voltage output dari pembacaan dari power supply variabel maka pompa dapat beroperasi untuk mendapatkan pengaruh RPM terhadap debit keluaran pompa yang ditunjukkan pada Tabel 3 dan Gambar 8 berikut (14) :

Tabel 3. Hasil Pengujian Pompa

Voltage	RPM	Massflow
3	960	0,013
4	1260	0,016
5	1560	0,0184
6	1860	0,024
7	2340	0,028
8	2700	0,034
9	3120	0,04
10	3720	0,045
11	3960	0,048
12	4440	0,050



Gambar 8. Grafik PRM vs Massflow

4.2 Pembahasan

Hasil pengujian sistem kendali bahan bakar menunjukkan bahwa variasi tegangan input ke pompa menghasilkan perubahan yang proporsional terhadap RPM dan debit bahan bakar yang dikeluarkan. Peningkatan tegangan dari 3V hingga 12 V menghasilkan peningkatan RPM dari 960 hingga 4440 RPM, dan debit bahan bakar (kerosene) dari 500 ml hingga 1900 dalam durasi waktu yang sama (30 detik). Hal ini sejalan dengan prinsip dasar pengoperasian pompa sentrifugal, di mana kenaikan kecepatan rotasi akan meningkatkan tekanan keluaran dan debit fluida yang dipompa. Dengan demikian pengaruh RPM terhadap debit bahan bakar terbukti linier dalam kisaran tegangan operasional sistem. Sistem pembacaan RPM menggunakan sensor inframerah juga menunjukkan akurasi yang mendekati hasil dari tachometer manual, dengan selisih rata-rata <2% dalam pengukuran. Ini menunjukkan bahwa sensor dan sistem kendali yang dirancang sudah mampu merekam perubahan dinamis dari sistem secara akurat dan responsif. Sebelum menguji turbocharger secara langsung, dilakukan simulasi dengan kipas angin 2 tahap sebagai langkah kalibrasi dan validasi sensor inframerah. Hasil pembacaan RPM menggunakan tachometer dan sensor inframerah menunjukkan selisih yang kecil (<2%).

- Tahap 1: RPM tachometer = 4880, RPM sensor IR = 4920
- Tahap 2: RPM tachometer = 5357, RPM sensor IR = 5460

Kesesuaian data tersebut menunjukkan bahwa sistem kendali berbasis sensor inframerah cukup andal untuk diterapkan dalam pengukuran nyata pada turbocharger. Masing-masing pengujian menunjukkan gambaran menyeluruh tentang kinerja sistem bahan bakar berbasis Arduino UNO yang dikembangkan terhadap pembacaan RPM dan kontrol kendali bahan bakar secara proporsional (15).

4.3 Analisis

Ketiga pengujian menunjukkan bahwa sistem kendali bahan bakar otomatis ini bekerja sesuai teori. Turbocharger memberikan kontribusi terhadap peningkatan pasokan udara, pompa mengatur debit secara linier, dan sistem pengukuran berbasis inframerah memberikan hasil akurat. Kombinasi ketiganya menjadikan sistem ini tidak hanya layak untuk alat peraga pendidikan, tetapi juga dapat dikembangkan menjadi prototipe sistem bahan bakar turbin skala kecil dengan kontrol adaptif (16).

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem kendali bahan bakar berbasis Arduino Uno R3 berhasil dikembangkan dan mampu mengatur debit bahan bakar secara otomatis serta real-time dengan tingkat akurasi yang baik. Terdapat hubungan linier yang jelas antara tegangan masukan terhadap RPM pompa dan debit bahan bakar, sehingga sistem mampu merespons perubahan input secara

proporsional. Selain itu, sensor inframerah yang digunakan mampu membaca nilai RPM dari kipas dan pompa dengan akurasi yang mendekati hasil pembacaan tachometer konvensional, dengan selisih kurang dari 2%. Penggunaan turbocharger juga terbukti memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan massa aliran udara (*mass flow*) yang masuk ke ruang bakar, sehingga secara langsung meningkatkan efisiensi proses pembakaran pada sistem turbin gas mini ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. Sarah. Rancang bangun test bench mini gas turbine engine hasil modifikasi turbocharger kaji sistem bahan bakar. 2019.
2. Setiawan D. Sistem kontrol motor DC menggunakan PWM Arduino berbasis Android system. J Sains Teknol Ind. 2017;1(15):7-14.
3. Kamble S, Pawar R, Srivastava A, Patil A, Sakhre S. Design of turbocharger for KTM 390RC. 2018.
4. Kristanto P, Willyanto W, Hartadi R. Analisa turbocharger pada motor bensin Daihatsu tipe CB-23. J Tek Mesin. 2001;3(1).
5. Grobbelaar E. The development of a small diesel engine test bench employing an electric dynamometer. 2017.
6. Mutiara Car Care. Aliran fluida turbocharger. [Internet]. Available from: <https://mutiaracarcare.com>
7. Atmel Corporation. ATmega328P datasheet. 2016.
8. Google Images. Arduino UNO R3. [Internet]. Available from: <https://www.google.com>
9. Arduino. Software. [Internet]. Available from: <https://www.arduino.cc/en/software>
10. Arduino.cc. Arduino UNO Rev3 — Tech specs. [Internet]. Available from: <https://www.arduino.cc>
11. Open Source Hardware Group. Arduino projects handbook. 2020.
12. Nyebar Ilmu. Driver module L298N. [Internet]. Available from: <https://www.nyebarilmu.com>
13. Phipps Electronics. Infrared obstacle sensor module. [Internet]. Available from: <https://www.phippselectronics.com>
14. Fözó L, Andoga R. Advanced control of an electric fuel-oil pump for small turbojet engines. Aerospace. 2022;9(10):607.
15. Haquarsum ENAA, Ekawati R, Yuliza E. Comparison of infrared and optocoupler sensors performance for lab-scale RPM measurement system. Indones Phys Rev. 2022;5(2):130-6.
16. Dwivedi V, Parab R, Sharma S. Design of a portable contact-less tachometer using infrared sensor for laboratory application. Int Res J Eng Technol (IRJET). 2019;6(6):1324-8.