

TUGAS AKHIR

**PROTOTIPE MODEL SISTEM KONTROL CNG
DENGAN MENGGUNAKAN *ARTIFICIAL
INTELLIGENT* (AI)**



Disusun Oleh

Ray Ardhan Brightera : 19.0503.0003
Fadhlurrachman Masykur : 19.0503.0004

**PROGRAM STUDI D3 MESIN OTOMOTIF
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAGELANG
JULI, 2022**

TUGAS AKHIR

PROTOTIPE MODEL SISTEM KONTROL CNG DENGAN MENGGUNAKAN *ARTIFICIAL INTELLIGENT* (AI)

**Disusun Sebagai Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Ahli Madya Mesin Otomotif (A.Md.T)
Program Studi Mesin Otomotif Jenjang Diploma (D-3)
Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Magelang**



**Disusun Oleh
Ray Ardhan Brightera : 19.0503.0003
Fadlurrachman Masykur : 19.0503.0004**

**PROGRAM STUDI D3 MESIN OTOMOTIF
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAGELANG
JULI, 2022**

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pada beberapa tahun terakhir ini terdapat upaya berkelanjutan untuk mengurangi konsumsi bahan bakar serta emisi mesin kendaraan yang disebabkan oleh pengaruh lingkungan yang serius serta kurangnya bahan bakar fosil. Disamping itu kecenderungan kepemilikan kendaraan saat ini terus mengalami peningkatan. Menurut Badan Pusat Statistik Nasional Indonesia tahun 2020, trend jumlah kendaraan terus mengalami peningkatan secara signifikan sehingga mencapai 136.137.451 unit (Kepolisian RI, 2020). Kondisi ini menuntut adanya teknologi untuk meningkatkan penghematan bahan bakar dan teknologi yang ramah lingkungan. Penggunaan energi alternative merupakan salah satu upaya untuk untuk mengurangi emisi dan ketergantungan pada energi fosil. Beberapa energi *alternative* memiliki harga cukup terjangkau sehingga dapat meningkatkan penghematan dari sisi ekonomi (Siahaan, 2020).

Compressed Natural Gas (CNG) merupakan energi *alternative* yang memiliki harga terjangkau, menghasilkan emisi lebih baik dan sumber energi sudah tersedia di pasar. Pelaksanaan tentang CNG sudah banyak dilakukan, diantaranya pengurangan emisi dengan aplikasi CNG (Kurniawan, 2018), pengembangan CNG dengan sistem injeksi dengan metode *Direct Injection* (DI), maupun pengembangan sistem kontrol CNG. Untuk meningkatkan penghematan CNG sebagai bahan bakar, pengembangan sistem kontrol menjadi salah satu pilihan. Sistem ini dapat memberikan mengatur CNG untuk kebutuhan *engine* sesuai kebutuhan. Pelaksanaan tentang sistem kontrol CNG baru-baru ini mulai ramai dibicarakan para periset, diantaranya (Lino and Maione, 2016) yang mengembangkan pemodelan sistem kontrol CNG secara elektronik, perancangan *engine control module* (ECM) pada injeksi CNG (Rahmad and Wahyu, 2019) dan lain-lain. Namun pelaksanaan ini belum mengembangkan *Artificial Intteligent* (AI) sebagai *variable* pengendalinya.

Pengembangan sistem kontrol AI memiliki potensi besar untuk meningkatkan penghematan CNG sebagai bahan bakar (Panjaitan, Sudjadi and Sinuraya, 2018).

Berdasarkan permasalahan tersebut, pelaksanaan ini mengusulkan desain sistem kontrol CNG yang mempertimbangkan AI sebagai pengendaliannya. Sistem kontrol yang akan dirancang bekerja berdasarkan beberapa variabel diantaranya variabel kemiringan jalan, putaran mesin, aliran CNG dan AI.

B. Rumus Masalah

Pelaksanaan yang akan dilakukan memiliki rumusan masalah yang ditetapkan yaitu bagaimana merancang sistem kontrol CNG menggunakan AI (*Fuzzy logic*) untuk mengendalikan bahan bakar agar lebih efisien.

C. Tujuan Pelaksanaan

Tujuan pelaksanaan yang diharapkan yaitu merancang sistem kontrol CNG menggunakan AI (*artificial intilligence*) untuk mengendalikan sistem bahan bakar.

D. Batasan Masalah

1. Pelaksanaan yang dilakukan bersifat prototipe model.
2. Engine yang digunakan Suzuki Futura 1300 cc, 4 silinder dengan bahan bakar bensin.
3. CNG yang diterapkan menggunakan *reducer, mixer*, untuk aplikasi *non direct injection*.
4. Kevakuman *engine* menjadi salah satu variabel pengendali.
5. Tekanan pengujian CNG pada 180 bar dan 98 bar.

E. Manfaat Pelaksanaan

1. Terwujudnya teknologi CNG yang bisa meningkatkan efisiensi bahan bakar kendaraan.
2. Menumbuh kembangkan kreatifitas mahasiswa untuk meningkatkan iptek.

BAB II

STUDI PUSTAKA

A. Pelaksanaan Relevan

Pelaksanaan menggunakan bahan bakar gas sebagai bahan bakar *alternative* dalam memanfaatkan sumber energi untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri telah banyak dilakukan. Hasil dari pelaksanaan menunjukkan bahwa emisi menurun, tetapi emisi HC dan keontakan lebih tinggi dibandingkan mesin diesel bakar (Siahaan, 2020). Namun, Pada pelaksanaan tersebut masih fokus pada penurunan emisi namun belum melakukan penghematan bahan bakar. Pelaksanaan selanjutnya yaitu efisiensi mesin tertinggi dicapai pada sistem CNG dengan *Direct Injection* (DI). Emisi pada teknologi DI-CNG yang dibandingkan dengan DI mesin bensin menghasilkan penurunan emisi tertinggi (Melaika *et al.*,2022). Pada penelitian DI-CNG menggunakan perbandingan analisis performa mesin dan emisi dari *Gasoline Direct Injection* (GDI), PFI-CNG,DI-CNG. Namun, pelaksanaan ini masih konvensional belum menggunakan AI.

Tanjung *et al.*, (2019) menggunakan bahan bakar CNG pada *Analysis Of The Use Of Compressed Natural Gas On Cost Efficiency and Economic Value Of Crumb Rubber In Jambi Province*. Hasil Pelaksanaan menggunakan *Compressed Natural Gas* lebih efisien dibanding dengan menggunakan bahan bakar solar. Namun, pelaksanaan bisa difokuskan pada keamanan dan keramahan lingkungan tetapi implementasi AI belum dipertimbangkan dalam pelaksanaan ini.

Pelaksanaan dengan menggunakan teknik *Modelling of Manhattan K-Nearest Neighbor for Exhaust Emission* (MKNN) pada kendaraan *Hybrid* (Sathish and Muthulakshmanan, 2018). Rancangan sistem bahan bakar *hybrid* yang diusulkan menggabungkan gas alam dan diesel. Hasil dari pelaksanaan ini baru sebatas prediksi untuk peningkatan mesin dari BFSC, Torsi, *Brake Power* & Emisi. Namun, metode ini belum dilakukan aplikasi pada kendaraan karena pelaksanaan ini baru tahap prediksi.

Pelaksanaan dikembangkan menggunakan teknik *accurate dynamic modeling of an electronically controlled CNG injection system*. Metode yang digunakan memvalidasi dengan perbandingan simulasi hasil dengan data *eksperimental*.

Hasil dari pelaksanaan bahwa mesin gas alam yang terkompresi menyediakan solusi *non standart* untuk mengurangi emisi gas yang mencemari partikel (Lino and Maione, 2016). Namun, pelaksanaan masih fokus pada pengembangan model tetapi belum pada pelaksanaan CNG skala aplikasi. Pelaksanaan Rahmad *et al.*, (2020) sudah diperbarui menggunakan metode Perancangan sistem pendingin *Jet cooled* dengan variasi. Hasil dari pelaksanaan bahwa dengan memberikan tambahan semburan ke udara akan mampu mengurangi emisi keonaran hingga 18%. Namun, penelitisn ini masih fokus pada emisi belum melakukan penghematan bahan bakar.

Pelaksanaan terbaru yang dikembangkan Suarez-Bertoa *et al.*, (2020) menggunakan teknik *Regulated And Non-Regulated Emissions From Euro 6 Diesel, Gasoline And CNG Vehicles Under Real-World Driving Conditions*. Hasil dari pelaksanaan menyatakan bahwa pentingnya pengukuran emisi polutan. Namun untuk pelaksanaan ini belum pengarah pada konusmsi bahan bakar dengan AI dan bisa fokus pada pencapaian emisi.

Kagiri *et al.*, (2017) melakukan pelaksanaan menggunakan metode mengoptimalkan pengoperasian stasiun gas alam terkompresi. Hasilnya mengindikasi bahwa biaya operasi lebih rendah dengan pergeseran beban kompresor. Namun, pada pelaksanaan ini fokus pada analisis CNG pada stasiun pengisian namun belum diterapkan pada kendaraan darat (mobil). Pada pelaksanaan Szurlej, (2019) dengan pengenalan aspek kebutuhan CNG dari aspek kebutuhan CNG, Konsumsi CNG dan total biaya pengisian untuk operasi pada stasiun pengisian CNG. Hasil dari tes operasional dan keamanan rumah gas alam terkompresi bahwa peralatan rumah pengisian bahan bakar dapat menjadi solusi untuk mengisi kesenjangan dalam infrastruktur pengisian bahan bakar CNG. Namun, Metode penerapan CNG digunakan pada stasiun pengisian bahan bakar belum diterapkan pada sistem kendaraan.

Pelaksanaan terbaru yang dilakukan Kim *et al.*, (2021) dengan mengatur waktu *variable* katup untuk mengontrol *camshaft* & katup sesuai kecepatan rotasi dan beban dapat meningkatkan efisiensi. Hasil pelaksanaan ini menyatakan dengan kondisi meningkat, katup pemasukan hanya dapat ditingkatkan menjadi 45 CAD bTDC dan waktu katup knalpot hanya dapat dihambat 27.4 CAD bBDC.

Namun, untuk membuat pembakaran lebih sempurna bisa digunakan dengan *dual Variable Valve Timing* VVTI dan pelaksanaan ini belum mengembangkan pada teknologi penghematan bahan bakar CNG. (Melaika *et al.*, 2021) memperbarui pelaksanaan menggunakan teknik *DI-CNG Injector Nozzle Design Influence On SI Engine Standard Emissions And Particulates At Different Injection Timings*. Hasil pelaksanaan Melaika *et al.*, (2021) menyatakan bahwa performa mesin dan parameter emisi gas knalpot dapat dipengaruhi oleh desain kepala *nozle*, hasil yang diperoleh juga tergantung pada tekanan bahan bakar dan waktu injeksi. Metode ini bisa ditambahkan dengan memodifikasi ruang bakar untuk menambah performa mesin. Namun, dengan melakukan pertimbangan pada kondisi lingkungan, AI belum digunakan pada pelaksanaan ini.

Pelaksanaan terhadap sistem *dual fuel* sudah banyak dilakukan, Ismail, (2010) menggunakan teknik perancangan kontrol masukan bahan bakar pada Sistem Peralatan Konversi Bahan Bakar Gas pada Motor Diesel (*dual fuel*). Metode yang digunakan dengan merancang sistem kontrol dengan *dual fuel* menggunakan *central processing* dan *real time monitoring*. Hasil dari pelaksanaan bahwa sistem kontroler masukan bahan bakar pada sistem peralatan konversi bahan bakar gas pada motor diesel (*dual fuel*) mengatur jumlah pasokan bahan bakar solar dan gas. Namun, pada pelaksanaan ini masih fokus pada teknologi *dual fuel* tetapi untuk teknologi belum secara *individual*. Pelaksanaan tentang pengaturan durasi dan waktu injeksi CNG dikembangkan Kurniawan, (2018) dengan teknik Pengaruh Durasi Dan Waktu Injeksi Cng Pada Mesin Diesel *Dual Fuel* Terhadap Proses Pembakaran, Pembentukan Emisi Dan *Heat Release Rate*. Hasil dari memundurkan waktu injeksi CNG dapat memberikan kesempatan oksigen masuk ke dalam ruang bakar lebih besar sehingga bahan bakar solar dan CNG lebih banyak yang terbakar ketika oksigen yang masuk ke dalam ruang bakar dirasa cukup. Ketika oksigen bertemu dengan bahan bakar akan lebih mudah bahan bakar tersebut terbakar. Ketika menambah durasi CNG dapat menurunkan emisi PM karena dengan energi yang masuk ke dalam ruang bakar lebih banyak sehingga emisinya berkurang. Namun, teknologi pada pelaksanaan ini belum secara *individual* karena masih fokus pada teknologi *dual fuel*.

Pelaksanaan Purwanto and Haryono, (2018) tentang Gas Sebagai Energi Alternatif Pada Penggerak Kapal menghasilkan bahwa penggunaan bahan bakar gas pada sektor transportasi rendah sehingga dapat menurunkan kompresi pada mesin, maka akan menekan biaya operasinal sampai 50%. Namun, pelaksanaan ini masih fokus pada pengembangan CNG pada kapal namun belum diterapkan pada kendaraan darat (mobil). Pelaksanaan yang telah diperbarui menggunakan teknik *Natural Gas Vehicle* (NGV): Status Teknologi dan Peluang Pengembangannya. Hasil dari pelaksanaan Susanto and Setiyo, (2018) menunjukkan bahwa *output* daya kendaraan yang dioperasikan dengan CNG lebih rendah daripada yang dioperasikan dengan bensin atau LPG karena efisiensi volumetrik yang rendah. Namun, pengembangan sistem kontrol CNG dengan AI belum dipertimbangkan dalam pelaksanaan ini. metode ini bisa ditambahkan dengan *water methanol injection*.

Pelaksanaan menggunakan *Remote Monitoring and Management System of CNG Flow based on Modbus RTU Protocol* telah dilakukan oleh (Li and Cao, 2014). Hasil pelaksanaan menyatakan bahwa sistem bisa membaca nilai alir yang ditampilkan pada LCD frngan cara pengukuran jarak jauh, kontrol dan sistem manajemen CNG dipresentasikan berdasar Modbus RTU dan kartu non kontak. Namun, pelaksanaan ini baru sebatas melihat/*monitoring* CNG namun belum melakukan pengendalian sistem CNG. Pelaksanaan yang dikembangkan Rahmad and Wahyu, (2019) tentang perancangan *Engine Control Modul Untuk Indirect Injection Engine* Menggunakan Bahan Bakar Gas (CNG). Hasilnya yaitu *signal digital* yang dihasilkan dari *arduino* digunakan sebagai trigger pada *transistor* NPN TIP41C untuk mengontrol arus yang lebih besar melalui kaki *Colector* dan *Emitor*. Namun, pada pelaksanaan ini belum mempertimbangkan efisiensi bahan bakar pelaksanaan dan masih fokus terhadap penerapan *transistor* menggunakan *adruino*.

Penelitian yang dilakukan Gunawan, (2019) melakukan pengembangan pelaksanaan tentang *Analysis Of Reaction Rates On Combustion Of Cng - Air With Diluent Argon*. Hasil dari pelaksanaan tersebut bahwa batas kecepatan cahaya antara 5kPa di batas *flammabilitas* yang lebih rendah dan 15 kPa di batas atas *flammabilitas*. Namun, belum melakukan pertimbangan terhadap efisiensi

bahan bakar karena masih fokus pada penerapan *transistor* menggunakan *Adruino*. Pelaksanaan terbaru yang dilakukan Darmanto and Fahrudin, (2021) menggunakan metode CNG *cooler* untuk menukar kalor tipe *shell* dan *tube* pada analisa kinerja CNG *cooler* pada sistem CNG *plant*. Hasil dari pelaksanaan ini yaitu grafik laju perpindahan kalor, *fouling factor*, dan efektivitas CNG *Cooler* yang *fluktuatif*. Semakin tinggi nilai laju perpindahan kalor, maka semakin baik kinerja CNG *Cooler*. Semakin rendah nilai *fouling factor*, maka semakin baik kinerja CNG *Cooler*). Namun, pelaksanaan ini fokus pada pengembangan CNG pada sistem *plant* dan belum diterapkan pada kendaraan darat (mobil).

Pelaksanaan Junipitoyo, (2018) menghasilkan nilai torsi, daya, secara berturut turut sebesar 41,83 Nm, 16,4 kW atau mengalami kenaikan sebesar 1,22 %, 1,12 % terhadap premium. Nilai efisiensi *thermal* menurun masing-masing sebesar 21,48 %. yaitu sebesar 7,87% saat menggunakan *blower*. Pelaksanaan tentang Pengaruh Pengaturan *Air Fuel Ratio* Terhadap Torsi dan Daya Mesin Bensin Berbahan Bakar *Premium-Compressed Natural Gas*. Namun, *Artificial Intelligent* belum diterapkan karena pelaksanaan baru dicoba pada konversi mesin bensin.

Pelaksanaan CNG sudah banyak dilakukan, namun ada beberapa variabel yang masih belum dilakukan diantaranya menggunakan implemementasi *Aritificial Intelligence* (AI) untuk mengendalikan bahan bakar, menggunakan transistor untuk meningkatkan efisiensi bahan bakar, sistem *dual fuel* untuk teknologi secara *individual*, pengendalian CNG dengan sistem *dual Variable Valve Timing* (VVT-i) dan penerapan sistem *cooller* CNG yang digunakan pada stasiun pengisian bahan bakar dan dapat diterapkan pada sistem kendaraan. Untuk itu pelaksanaan yang akan dilakukan mengusulkan rancangan sistem kontrol CNG menggunakan AI untuk mengendalikan bahan bakar agar lebih hemat dalam penggunaanya.

B. Landasan Teori

1. *Compressed Natural Gas (CNG)*

Compressed Natural Gas (CNG) merupakan gas alam yang dikompresi tanpa melalui proses penyulingan dan disimpan dalam tabung logam. CNG relatif lebih murah karena tanpa melalui proses penyulingan dan lebih ramah lingkungan. Bahan bakar gas terdiri tiga jenis yaitu *Liquified Petroleum Gas (LPG)*, *Liquified Natural Gas (LNG)* dan *Compressed Natural Gas (CNG)* dimana memiliki spesifikasi, keunggulan dan kelemahan. Pelaksanaan ini difokuskan pada bahan bakar gas jenis CNG. Indonesia memiliki potensi bahan bakar gas nomor 11 di dunia akan tetapi pemanfaatannya belum maksimal dan masih terbatas pada rumah tangga. Negara-negara tetangga seperti Singapura dan Malaysia sudah digunakan untuk transportasi baik darat maupun laut, Bahkan kendaraan yang menggunakan bahan bakar gas diberi subsidi satu tahun bebas pajak karena telah menurunkan emisi di daerahnya. *Compressed Natural Gas (CNG)*, dianggap bahan bakar masa depan, juga tumbuh sebagai bahan bakar untuk sektor kelautan. Studi menunjukkan CNG mengurangi emisi *nitrogen oksida (NOx)* sekitar 90 persen sementara *sulfur oksida (SOx)* dan partikel emisi juga berkurang sedikit.

2. *Gasoline Engine*

Gasoline engine merupakan sejenis mesin panas dengan pembakaran *internal* yang ditenagai bahan bakar bensin. Bahan bakar dan udara masuk kedalam ruang bakar secara bersama sama membentuk campuran homogen udara dan uap pada saat pengapian. Resistansi bahan bakar pada pengapian memungkinkan kondisi yang lebih panas ditoleransi dalam ruang bakar mengakibatkan rasio kompresi yang lebih tinggi, lebih efisien, dan pengurutan waktu nyala yang lebih maju. Lebih tepatnya dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 *Gasoline Engine.*

3. Sistem Kontrol

Sistem kontrol merupakan suatu sistem yang menghasilkan nilai tertentu sebagai keluarannya melalui pengendalian atau perubahan ketentuan dari masukan sistem. Ada dua jenis pada sistem kontrol yaitu sebagai berikut :

a. Sistem kontrol *open loop*

Suatu sistem yang keluarannya (*output*) tidak memberikan pengaruh terhadap aksi kontrol. *Output* yang dihasilkan sistem ini tidak dapat dijadikan umpan balik (*feedback*) ke dalam masukan sistem.

b. Sistem kontrol *close loop*

Suatu sistem yang keluarannya (*output*) memberikan pengaruh terhadap aksi kontrol sehingga kesalahan yang dihasilkan pada keluaran dapat menjadi *feedback* (umpan balik) ke dalam masukan sistem.

4. Mikrokontroler

Mikrokontroler merupakan sistem mikroprosesor lengkap yang terkandung didalam sebuah *chip*. Suatu chip berupa *integrated circuit* (IC) yang dapat menerima sinyal *input*, mengolahnya dan memberikan sinyal *output* sesuai dengan program yang diisikan ke dalamnya. Sinyal *input mikrokontroler* berasal dari *sensor* yang merupakan informasi dari lingkungan, sedangkan sinyal *output* ditujukan kepada *aktuator* yang dapat memberikan efek ke lingkungan. Mikrokontroler pada dasarnya merupakan komputer dalam satu *chip*, yang di dalamnya terdapat mikroprosesor, *memory*, jalur *Input/Output* (I/O) dan perangkat pelengkap lainnya. Kecepatan operasi mikrokontroler

pada berkisar antara 1 – 16 MHz. Sistem yang menggunakan *mikrokontroler* sering disebut sebagai *embedded system* atau *dedicated system*.

5. Sensor

Sensor merupakan perangkat yang dapat menerima dan menanggapi *signal* atau *stimulus* kemudian mengubah menjadi data yang dapat diinterpretasikan oleh mikrokontrol. *Sensor* bekerja tidak berdasarkan perintah atau intruksi dari sistem, melainkan karena menerima *trigger* atau pemicu dari luar. Sensor yang digunakan pada pelaksanaan ini menggunakan sensor putaran engine, sudut kemiringan dan sensor TPS. Sensor kemiringan untuk pelaksanaan ini menghasilkan *signal analog* disajikan dalam gambar 2.2.



Gambar 2. 2 *Sensor* sudut kemiringan dengan *output analog*.

C. Air Fuel Ratio (AFR)

Air Fuel Ratio yaitu rasio perbandingan antara udara dan bahan bakar yang merupakan faktor penting dalam kesempurnaan pada proses pembakaran di ruang bakar. Untuk menghasilkan daya yang optimal maka nilai AFR pada mesin bensin bahan bakar *Compressed Natural Gas* (CNG) \ yaitu 15,49 - 17,2:1 (Subekti, 2016). Perbandingan campuran bahan bakar dan udara dipengaruhi beberapa faktor yaitu temperatur mesin, kecepatan mesin, beban mesin, dan beberapa faktor lainnya. Ada 3 kondisi pada *Air Fuel Ratio* yaitu sebagai berikut.

1. AFR lean

AFR *lean* terjadi saat *air fuel ratio* berada di atas angka *stoichiometric*. Pada kondisi ini, campuran akan mengandung lebih sedikit bahan bakar. Konsumsi bahan bakar cenderung lebih irit, namun tenaga mesin yang

dihasilkan juga lebih kecil dan mesin cepat panas. kondisi ini membuat mesin bekerja lebih berat sehingga dapat mengakibatkan kerusakan.

2. *AFR ideal*

Pada kondisi ini merupakan campuran bahan bakar dan udara dengan AFR yang ideal kinerja mesin kendaraan akan menjadi lebih optimal. Selain itu mesin tidak mudah mengalami kerusakan, pemakaian bahan bakar dan pembakaran lebih efisien.

3. *AFR rich*

AFR rich terjadi saat *air fuel ratio* berada di bawah angka *stoichiometric*. Pada kondisi ini, campuran akan mengandung lebih banyak bahan bakar sehingga membuat pemakaian bahan bakar boros dan emisi buang karbon banyak. Asap kendaraan berwarna jauh lebih pekat, dalam jangka waktu yang panjang *AFR rich* akan menyebabkan kerak pada ruangan bakar dan menimbulkan suara yang tidak normal pada mesin.

D. Penghematan Bahan Bakar

Perlunya melakukan penghematan bahan bakar karena salah satu sumber energi yang tidak dapat diperbarui. Sumber daya alam tidak dapat diperbarui karena terbentuk dari fosil makhluk hidup jutaan tahun lalu. Disamping itu kecenderungan kepemilikan kendaraan saat ini terus mengalami peningkatan. Kondisi ini menuntut adanya teknologi untuk meningkatkan penghematan bahan bakar dan teknologi yang ramah lingkungan. Penggunaan energi alternative merupakan salah satu upaya untuk untuk mengurangi emisi dan ketergantungan pada energi fosil.

E. AI (*Artificial Intelligence*)

Artificial Intelligence merupakan kecerdasan buatan yang ditambahkan pada suatu sistem yang bisa diatur dalam konteks ilmiah. AI adalah model statistik yang digunakan untuk mengambil keputusan dengan menggeneralisir karakteristik dari suatu objek berbasis data yang kemudian dipasang pada berbagai perangkat elektronik. AI memiliki beberapa proses yaitu pembelajaran (*learning*), penalaran (*reasoning*), dan proses koreksi diri (*self correction*). Dalam proses koreksi diri, AI diprogram untuk terus belajar dari kesalahan sebelumnya dan memperbaiki

diri. Ini memungkinkan sistem berfungsi lebih baik dan menghindari kesalahan yang tidak perlu. Kecerdasan buatan dapat bekerja berdasarkan salah satu dari empat faktor:

1. Pemikiran manusia (*Thinking humanly*): sistem yang dapat berpikir seperti manusia.
2. Berpikir rasional (*Think rationally*): sistem yang dapat berpikir secara rasional.
3. Tindakan manusiawi (*Acting humanly*): sistem yang mampu berperilaku seperti manusia.
4. Tindakan rasional (*Act rationally*): sistem yang mampu bertindak secara rasional.

F. Neural Network

Neural network merupakan cabang dari kecerdasan buatan *artificial intelligence* yang dapat dikategorikan sebagai ilmu *soft computing*. *Neural network* sebenarnya mengadopsi dari kemampuan otak manusia yang dapat memberikan stimulasi/rangsangan, melakukan proses dan memberikan *output*. *Output* diperoleh dari variasi stimulasi dan proses yang terjadi di dalam otak manusia. *Neural networking* melatih data agar mampu belajar dan meningkatkan akurasi seiring berjalanya waktu.

G. Fuzzy Logic

Fuzzy logic merupakan cabang ilmu *artificial intelligence* yang mempunyai fungsi untuk memberikan pemodelan pemecahan masalah seperti yang dilakukan manusia dengan bantuan teknologi komputer. *Fuzzy logic* merupakan bentuk logika yang memiliki nilai kebenaran variabel dalam bilangan real antara 0 dan 1. Logika *fuzzy* merupakan pengembangan dari logika biner. *Fuzzy logic* berasal dari bahasa *fuzzy* dan *logic*. *Fuzzy* artinya kabur dan *logic* artinya logika. *Fuzzy logic* memiliki kelebihan mampu bekerja dengan sistem yang samar/kabur/kurang jelas. Disamping itu, sistem ini memberikan pendekatan antara bahasa manusia dengan bahasa mesin.

H. Data Akuisisi

Data akuisisi dikenal dengan proses pengambilan data dari *sensor* yang diubah dari sinyal listrik ke bentuk angka *digital*, diproses, dianalisis dan ditampilkan kembali untuk keperluan perancangan/evaluasi sistem. Bagian data akuisisi dimulai dari unit yang memproses sinyal, *sensor*, perangkat keras dan unit komputer. Beberapa perangkat sensor dibutuhkan dalam data akuisisi sebagai pengkonversi data variabel fisik ke variabel tegangan listrik. Konversi dari piranti sensor analog diubah ke data *digital* menggunakan *Analog Digital Converter* (ADC). Akurasi data dari mikrokontrol dipengaruhi dengan besarnya resolusi data dari *Analog to Digital Converter* (ADC).

I. Dinamika CNG

Untuk menciptakan pembakaran sempurna pada *gasoline engine* menggunakan bahan bakar *Compressed Natural Gas*, AFR *Stoichiometri* yang dibutuhkan sekitar 15,49 - 17,2:1. Performa yang dihasilkan kendaraan berbahan bakar CNG dengan pengaturan laju aliran gas meningkat sekitar 3%. *Flowrate* udara merupakan satuan kecepatan aliran yang berupa satuan jarak per waktu. *Flowrate* bahan bakar yaitu banyaknya bahan bakar yang habis terpakai selama periode pemakaian.

J. Persamaan Pemodelan Mesin Bensin

Persamaan dinamika mesin bahan bakar CNG, dimana sebagai pecahan bahan bakar, waktu konstan untuk bahan bakar, rasio aliran bahan bakar dan bahan yang disuntikan kedalam bahan bakar dan aliran keluaran dikirim ke *ignition chamber*. Aliran bahan bakar dihitung menggunakan muatan udara per mesin dan Campuran bahan bakar dan udara disajikan pada persamaan 1 dan persamaan 2 (Ebrahimi *et al.*, 2012).

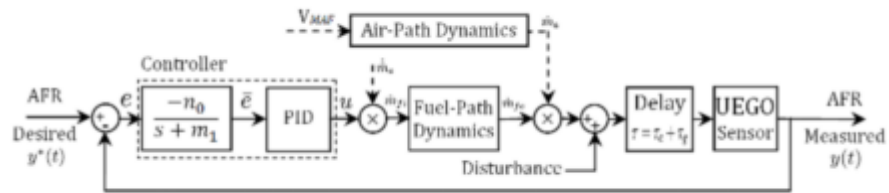
$$m_{fi} = \frac{m_a}{AFR} \quad (1)$$

$$AFR = \frac{m_a}{m_{fi}} \quad (2)$$

Dalam aliran bahan bakar dibagi menjadi 2 yaitu aliran bahan bakar yang diinjeksikan ke ruang bakar melalui *injector*, aliran bahan bakar yang dikeluarkan

dari *injector* ke dalam ruang bakar , waktu konstan (s), untuk evaporasi bahan bakar dari dinding yang basah , fraksi bahan bakar yang menempel di dinding basah , perubahan aliran udara yang masuk kedalam mesin disajikan dalam persamaan 3 dan disajikan dalam gambar 2.3.

$$\dot{m}_{fo} + \frac{1}{T_f} m_{fo} = (1 - X) \dot{m}_{fi} + \frac{1}{T_f} m_{fi} \quad (3)$$



Gambar 2.3 Closed-loop controller structure

Penghitungan muatan udara per mesin yaitu perubahan aliran udara yang masuk kedalam mesin dirumuskan dengan menghitung *Volumetrik* efisiensi dikali sebagai *Densitas* udara dikalikan merupakan *Engine displacement* dikalikan *N* meliputi utaran mesin (rpm) dan dibagi dengan nilai 12 dikalikan dengan disajikan dalam persamaan 4.

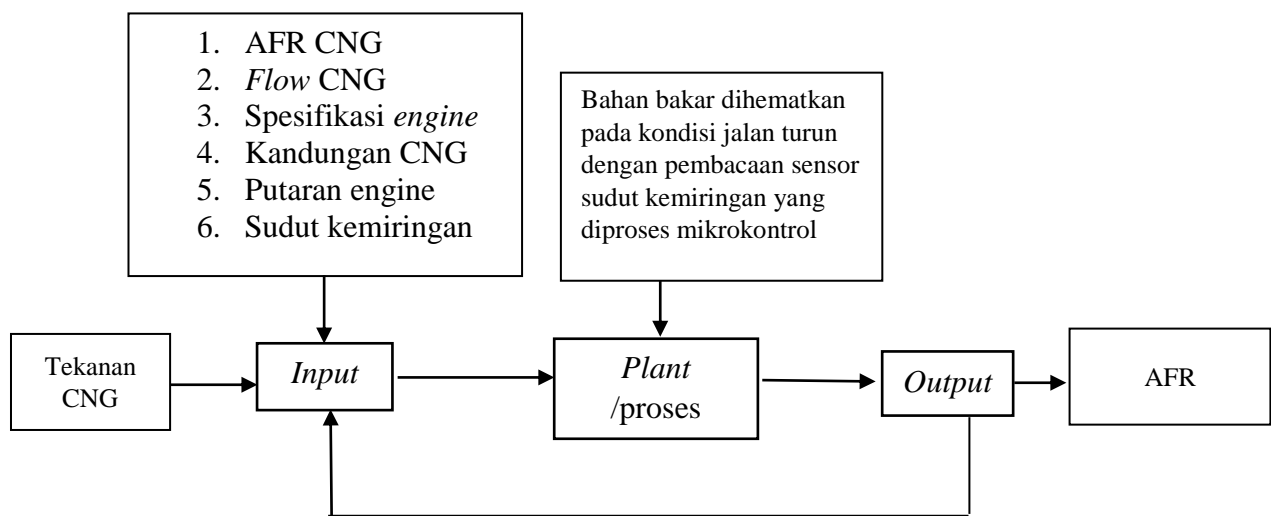
$$m_a = \frac{N_v \cdot \rho_a \cdot V_d \cdot N}{12 \cdot 10^7} \quad (4)$$

Torsi mesin yaitu torsi yang dihasilkan oleh mesin (N.m) (Structures, 2017), AFR merupakan rasio udara untuk bahan bakar yang dihisap kedalam ruang bakar. (σ) percikan bunga api yang maju sebelum TMA yang disajikan dalam persamaan 5.

$$\begin{aligned} \text{Torsi mesin} = & -181.3 + 379,36 \times m_a + 21,91 \times AFR & (5) \\ \text{(N.m)} & -0,85 \times AFR^2 + 0,26 \times \sigma - 0,0028 \times \sigma^2 + 0,0027 \times N \\ & -0,000107 \times N^2 + 0,00048 \times N \times \sigma + 2,55 \times \theta \times m_a \\ & -0,05 \times \sigma^2 \times m_a \end{aligned}$$

K. Kerangka Konsep

Sistem kontrol CNG ini berkerja dari untuk mengatur bahan bakar yang masuk ke mesin dengan mempertimbangkan sudut kemiringan jalan dan putaran mesin. Konfirmasi aliran bahan bakar yang masuk ke mesin dilihat melalui perubahan AFR dan *flowrate* dalam satuan liter/minute. Sistem kontrol CNG ini dirancang untuk mengendalikan bahan bakar agar lebih efisien, sehingga sistem ini dapat bekerja dengan maksimal. Konsep sistem kontrol yang dirancang disajikan pada Gambar 2.4



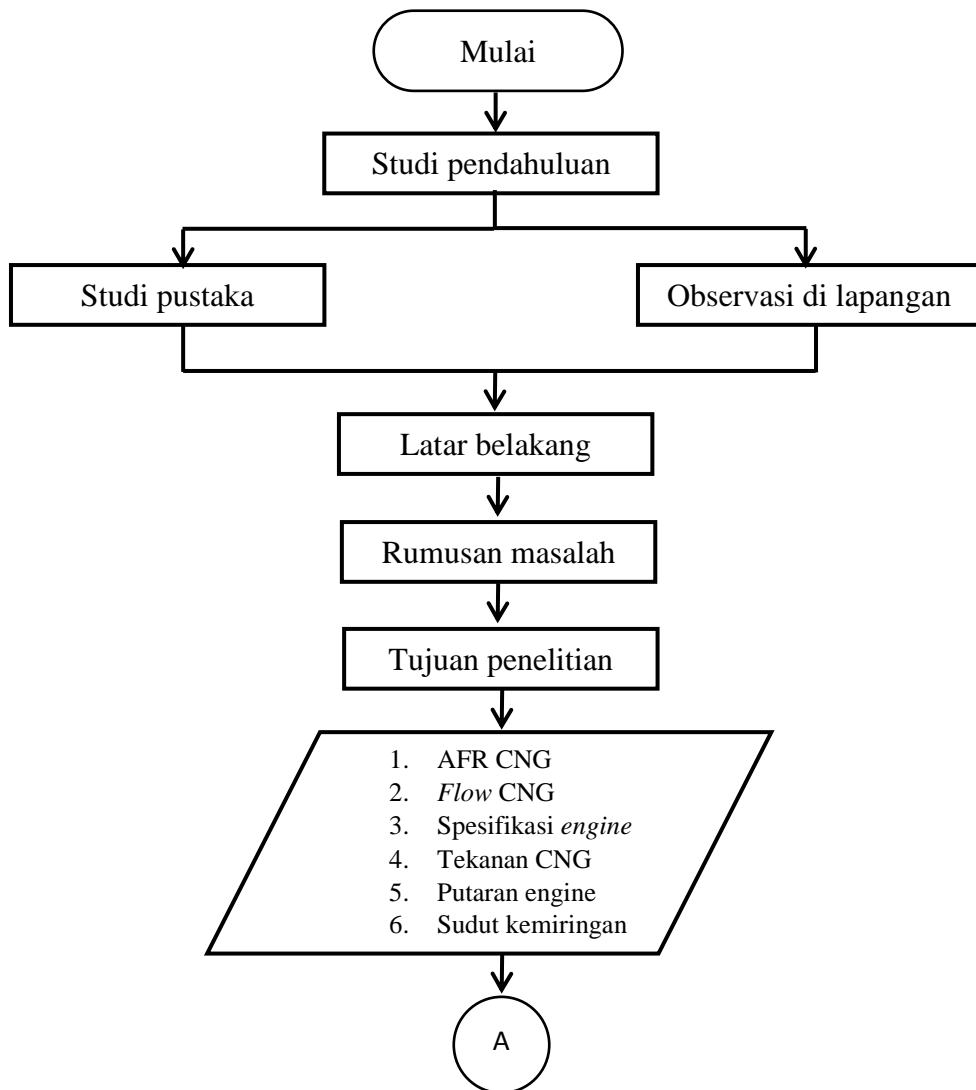
Gambar 2.4 Kerangka konsep

BAB III

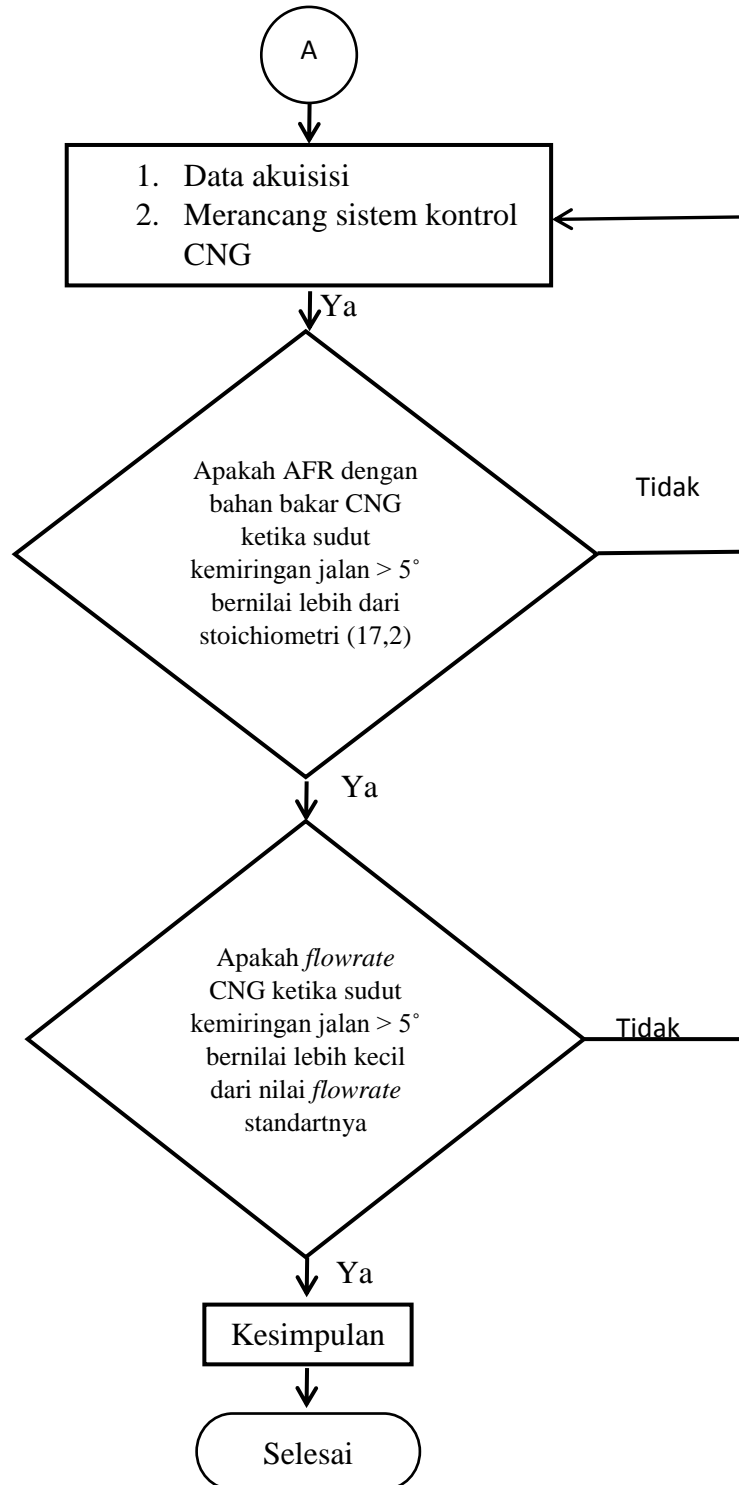
METODE PELAKSANAAN

A. Alur Proses Pelaksanaan

Berikut ini adalah langkah-langkah / tahapan - tahapan yang dilakukan dalam pelaksanaan ini disajikan dalam gambar 3.1 dan 3.2.



Gambar 3. 1 *Flowchart* penelitian



Gambar 3. 2 Lanjutan flowchart penelitian

B. Studi Pendahuluan

Studi pendahuluan adalah langkah awal dari sebuah pelaksanaan yang terdiri dari :

1. Studi lapangan

Merupakan kegiatan pengamatan langsung terhadap permasalahan yang ada di lapangan. Pengamatan dilakukan dengan cara pengendalian bahan bakar

2. Studi pustaka

Studi pustaka terdiri dari teori-teori yang mempelajari tentang sistem kontrol CNG menggunakan AI untuk mengendalikan bahan bakar.

3. Latar belakang

Latar belakang pelaksanaan ini tentang penghematan bakar untuk mengefisieni penggunaan bahan bakar karena semakin berkurangnya sumber daya alam.

4. Rumusan masalah

Rumusan masalah dalam pelaksanaan ini tentang bagaimana merancang sistem kontrol CNG menggunakan AI untuk mengendalikan bahan bakar agar lebih efisien.

5. Tujuan pelaksanaan

Merancang sistem kontrol CNG menggunakan AI untuk mengendalikan bahan bakar.

6. Batasan masalah

CNG yang diterapkan menggunakan *reducer*, *mixer*, untuk aplikasi *non direct injection* pada pelaksanaan ini. Adapun kevakuman *engine* menjadi salah satu *variable* pengendali.

7. Manfaat pelaksanaan

Manfaat dari pelaksanaan ini yaitu mewujudkan teknologi CNG yang dapat meningkatkan efisiensi bahan bakar kendaraan.

C. Proses Pengambilan Data

Data yang diukur dalam pelaksanaan ini menggunakan dua tipe data, yaitu data *primer* dan data *sekunder*.

1. Data Primer

Data primer merupakan data yang berasal dari proses pengambilan data secara langsung tanpa perantara. Data primer yang diukur dalam pelaksanaan ini meliputi: putaran *engine*, AFR CNG, *Flow* CNG dan sudut kemiringan jalan.

2. Data Sekunder

Data sekunder yang dilakukan dalam pelaksanaan dengan mencari data-data yang telah tersedia di lembaga atau instansi yang terkait. Data sekunder dalam pelaksanaan ini meliputi kandungan CNG dan spesifikasi mesin.

3. Data Yang dibutuhkan dalam Pelaksanaan

Data yang diukur dalam pelaksanaan disajikan pada tabel 3.1.

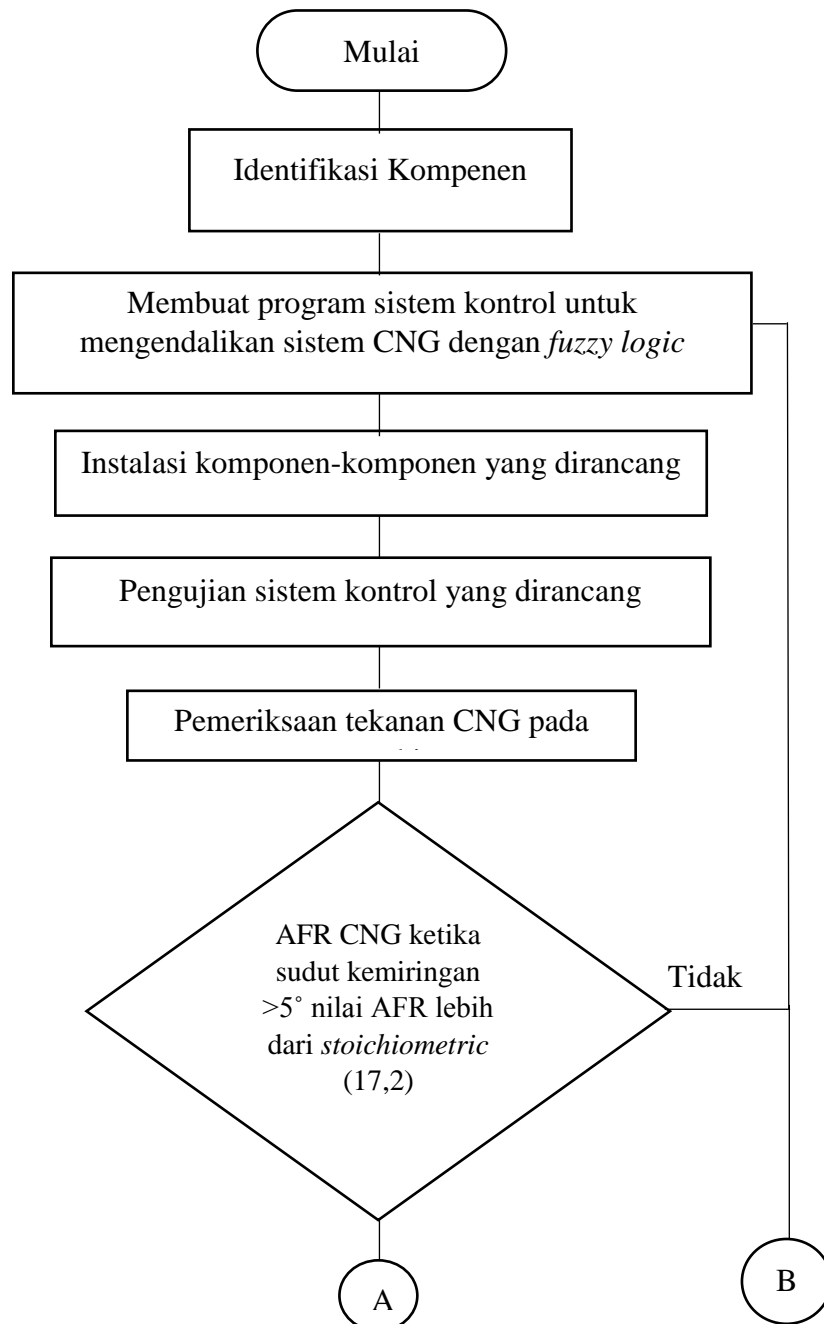
Tabel 3. 1 Data yang digunakan dalam pelaksanaan.

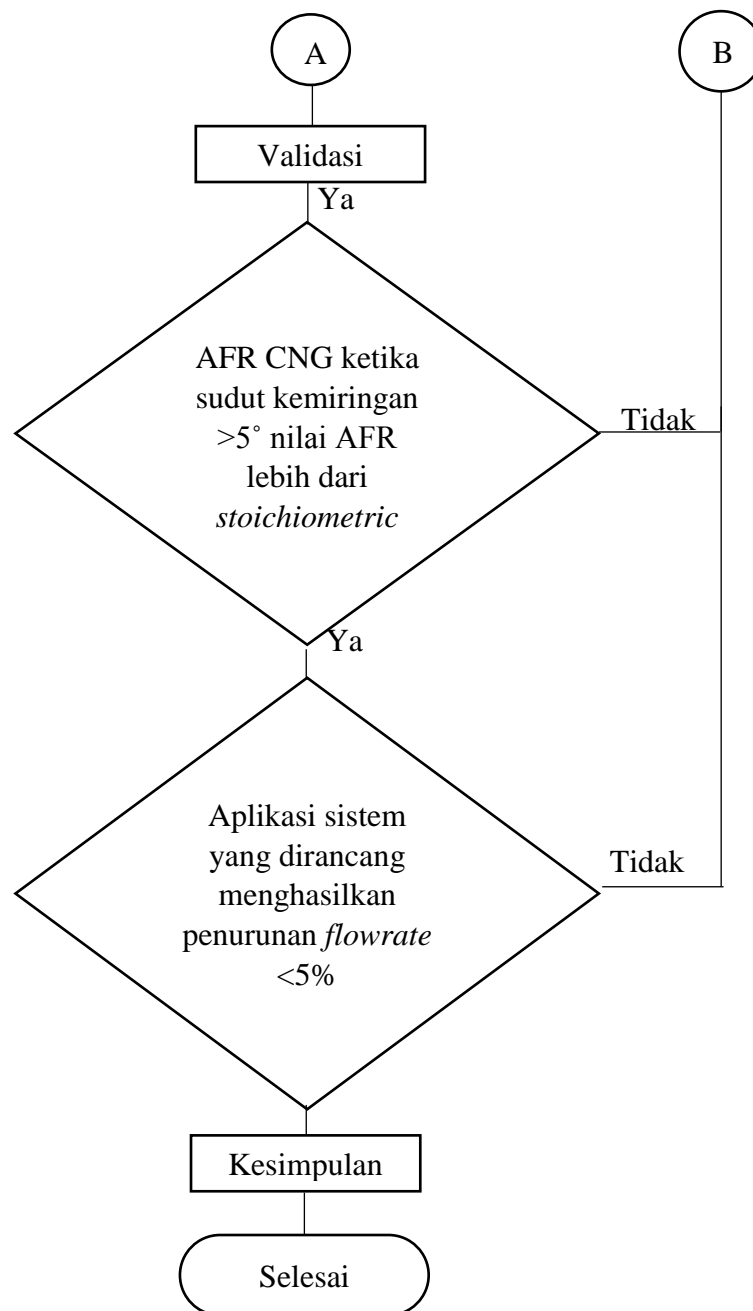
No	Putaran mesin (Rpm)	<i>Air to fuel ratio</i>	Kemiringan jalan (°)	Aliran Bahan bakar (Liter/menit)
1.	800	18	0	12.49
2.	800	17.9	0	12.4
3.	800	18.1	0	12.38
4.	800	18	0	12.49
5.	800	23.1	5	9.3
6	800	26.8	5	9.3
7.	800	27.5	5	9.3
8.	800	29.8	5	9.3

D. Merancang Sistem Kontrol CNG

Dalam merancang sistem kontrol CNG menggunakan beberapa komponen diantaranya yaitu *sensor*, mikrontroler, *actuator* dan alat ukur. *Sensor* yang digunakan meliputi *sensor* putaran mesin, *sensor* sudut kemiringan dan *sensor* (*Throttle Possision Sensor*) TPS. *Sensor* putaran mesin diambil menggunakan fiber optik yang dipasang pada *crankshaft*. Sistem kontrol menggunakan

microcontroller Atmega. Actuator menggunakan *solenoid/ISC* untuk mengendalikan bahan bakar ke dalam ruang bakar. Pada saat kendaraan di jalan turunan, *sensor sudut* kemiringan dapat mendeteksi kondisi tersebut. Ketika melewati jalan turunan yang tajam maka sistem kontrol akan membaca kondisi tersebut karena pada kondisi ini kendaraan tidak membutuhkan daya yang besar dikarenakan adanya gaya gravitasi bumi yang disajikan dalam gambar 3.3.





Gambar 3.3 *Flowchart* perancangan sistem kontrol CNG

E. *Variable Fuzzy*

Logika *fuzzy* yang digunakan pada pelaksanaan ini untuk mengendalikan bahan bakar CNG yang sudah di *embed* pada *microcontroller* disajikan dalam tabel 3.2.

Tabel 3.2 Logika pengenalan sistem kontrol dengan *fuzzy logic*.

No	Kondisi AFR	Sensor kemiringan	Putaran mesin	Putaran TPS
1	ECO	2	2	2
2	ECO	2	2	3
3	ECO	2	3	2
4	<i>Stoichiometric</i>	1	1	1
5	<i>Stoichiometric</i>	1	2	2
6	<i>Stoichiometric</i>	1	3	3
7	<i>Stoichiometric</i>	1	2	3
8	<i>Stoichiometric</i>	2	1	1
9	ECO	2	3	3
10	<i>Stoichiometric</i>	1	3	2
11	<i>Stoichiometric</i>	1	2	3
12	<i>Stoichiometric</i>	1	3	1
13	<i>Stoichiometric</i>	1	1	3

F. Alat dan Bahan

Dalam pelaksanaan ini alat dan bahan yang digunakan disajikan dalam Tabel 3.3 dan tabel 3.4.

Tabel 3. 3 Alat yang digunakan

No	Alat	Spesifikasi	Fungsi
1.	AFR meter	12 volt, 2 ampere range pengukuran 10 – 40.	Membaca AFR pada mesin
2.	Multitester	<i>Ampere</i> (0,2550A), <i>Voltage</i> (0.1-1000), <i>Ohm</i> (1-1k).	Mengukur tegangan, resistansi, arus listrik
3.	Pressure regulator	200 bar menjadi 1-2 bar.	Menjaga tekanan bahan bakar
4.	Flow meter	-60 hingga 400°C, tekanan maksimal 480 bar dan penurunan tekanan maksimal $\Delta p_{max} = 16$ bar, <i>viskositas fluida</i> dari 1/s - 1.000.000 /s.	Mengukur laju aliran

Lanjutan Tabel 3. 4 Alat yang digunakan

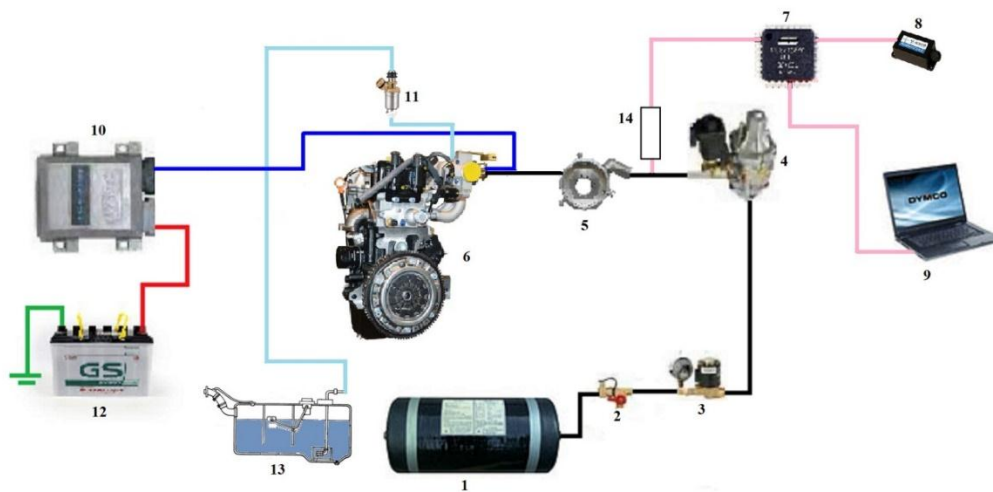
No	Alat	Spesifikasi	Fungsi
5	Sensor flow meter	5 volt , 0,2 ampere.	Membaca laju aliran
6	Modul flow meter	12 volt , 1,2 ampere.	Mengendalikan flow meter

Tabel 3. 5 Bahan yang digunakan

No	Bahan	Spesifikasi	Fungsi
1	Solenoid	tegangan 24 volt, ampere.	Mengatur laju aliran gas
2	Pipa tekanan tinggi	200-240 bar.	Mengalirkan bahan bakar CNG
3	Mixer	Plastik paduan	Mencampur udara dan gas
4	Sensor kemiringan	5 Volt (high), 20 mA.	Membaca sudut kemiringan jalan
5	Microcontroler	Atmega, memori flash 16 kb , 32 I/O, ADC 8 kanal, resolusi 10-bit dan 4 kanal PWM.	Pengontrol rangkaian elektronik
6	Kabel	12 volt, 20 ampere.	Penghantar arus listrik
7	PCB	Lapisan <i>substrat</i> , lapisan <i>cooper</i> , lapisan <i>soldermask</i> dan lapisan <i>silkscreen..</i>	Penghubung komponen
8	Engine	1496 cc, tenaga 109 dk, torsi 141Nm.	Mengubah energi panas pada kendaraan menjadi energi gerak
9	Gas CNG	Gas <i>methana</i> (CH ₄), gas <i>ethana</i> (C ₂ H ₆), dan <i>hidrokarbon</i> .	Bahan bakar

G. Set-up Pelaksanaan

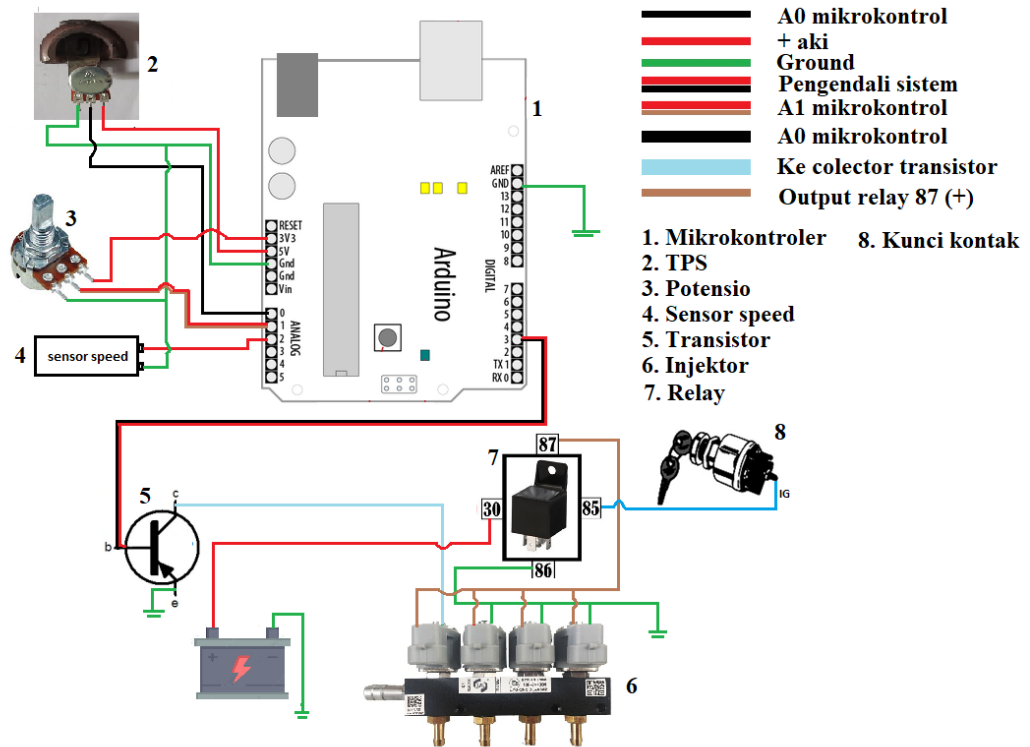
Pada pelaksanaan ini bertujuan untuk memberikan penghematan bahan bakar pada kendaraan dengan menggunakan bahan bakar CNG yang dikendalikan oleh mikrokontrol. disajikan dalam gambar 3.4, sedangkan *wiring diagram* mikrokontroler disajikan dalam 3.5. sistem yang dirancang dengan memasang seperangkat bahan bakar CNG yang terdiri dari tanki CNG (1), *filling valve* (2), *solenoid* (3), *reducer* (4), *mixer* (5), *engine* (6), sistem *control* (7), sensor (8), computer (9) dan sistem *control valve* (14).



Gambar 3. 4 Set up pelaksanaan.

Keterangan gambar:

1. Tangki bahan bakar CNG
2. *Filling valve*.
3. *Solenoid*.
4. *Reducer*.
5. *Mixer*.
6. *Engine*.
7. Mikrokontrol.
8. Sensor kemiringan.
9. *Computer*.
10. ECU.
11. Injector.
12. Aki.
13. Tangki bensin.
14. Actuator CNG kontroler.



Gambar 3. 5 Wiring diagram mikrokontroler.

BAB VI PENUTUP

A. Kesimpulan

Pada pelaksanaan ini telah dilakukan dengan perancangan sistem kontrol menggunakan AI (*Artificial Intelligence*) untuk mengendalikan bahan bakar CNG yang diaplikasikan ke mesin Suzuki Futura 1300cc 4 silinder. Sistem ini menggunakan variabel logika *fuzzy* yang sudah di *embeded* pada *microcontroller* supaya saat sensor kemiringan bekerja dengan membaca sudut kemiringan jalan turun $>5^\circ$ sinyal dikirim ke mikrokontrol untuk mengendalikan bahan bakar yang melewati *control valve* agar lebih hemat melalui sebuah *transistor*. Variable logika *fuzzy* menggunakan 3 *input* yang terdiri dari sensor kemiringan, putaran mesin dan putaran TPS. Sedangkan *output* yang digunakan pada variabel ini berupa kondisi AFR meliputi kondisi *stoichiometric* dan *eco*. Pengujian ini mendapatkan hasil saat kondisi jalan datar AFR sekitar 17,8. Sedangkan pada saat sensor kemiringan bekerja pada kondisi sudut jalan turun 5° maka AFR yang dihasilkan meningkat sekitar 27,5 dengan kondisi tekanan bahan bakar 180 bar. Tekanan bahan bakar 98 bar pada kondisi jalan datar dengan waktu 0-15 detik dan rpm 1000 menghasilkan AFR 24,2. Dengan kondisi sudut jalan turun 5° menghasilkan AFR 29,9 pada rpm 1000 dan sensor mulai bekerja detik ke 30. Penelitian yang telah dilakukan berhasil mengalami penghematan 25% saat tekanan bahan bakar 180 bar, sedangkan bahan bakar bertekanan 98 bar menghasilkan penghematan 4%.

B. Saran

Bahan bakar CNG pada saat tekanan kurang lebih 180 bar mampu menghasilkan kondisi AFR *stoichiometric* (17,8) dengan pembacaan sensor pada jalan turun $>5^\circ$ menghasilkan (27,5) dan *flowrate* 12 liter/menit pada jalan datar. Sementara pada jalan turunan $>5^\circ$ *flowrate* yang dihasilkan (9,3) liter/menit. Namun dengan tekanan bahan bakar yang menurun sekitar 98 bar maka AFR yang dihasilkan (24,2) dengan pembacaan sensor pada jalan turun $>5^\circ$ menghasilkan (29,9) dan *flowrate* (45) liter/menit pada jalan datar. Sementara pada jalan

turunan $>5^\circ$ *flowrate* yang dihasilkan (43) liter/menit.. Pada pelaksanaan ini baru tahap model, belum diaplikasikan dalam kendaraan dan pelaksanaan lebih bermanfaat jika sudah bisa digunakan dalam kendaraan untuk penghematan bahan bakar.

DAFTAR PUSTAKA

- Darmanto, S. and Fahrudin, M. (2021) 'Analisa Kinerja CNG *Cooler* Pada Sistem CNG *Plant*', *Gema Teknologi*, 21(2), pp. 91–94. doi: 10.14710-/gt.v21i2.17963.
- Ebrahimi, B. *et al.* (2012) A Systematic Air-Fuel Ratio Control Strategy For Lean-Burn SI Engines, *IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline)*. IFAC. doi: 10.3182/20121023-3-FR-4025.00007.
- Gunawan, I. (2019). Analysis Of Reaction Rates On Combustion Of Cng - Air With Diluent Argon. *Mekanik*, 5(1), 20–27.
- Ismail, K. (2008). Perancangan Kontrol masukan bahan bakar pada Sistem Peralatan Konversi Bahan Bakar Gas pada Motor Diesel (Dual fuel). *Inkom*, 2(2), 1–7.
- Junipitoyo, B. (2018) 'Pengaruh Pengaturan Air Fuel Ratio Terhadap Torsi dan Daya Mesin Bensin Berbahan Bakar Premium-Compressed Natural Gas', *Encyclopedia of volcanoes.*, 3, p. 662.
- Kagiri, C. Zhang, L. and Xia, X. (2017) 'Optimal Energy Cost Management Of A CNG Fuelling Station', *IFAC-PapersOnLine*. Elsevier B.V., 50(2), pp. 94–97. doi: 10.1016/j.ifacol.2017.12.017.
- Kepolisian RI (2020) Jumlah Kendaraan Bermotor, Badan Pusat Statistik.
- Kim, S. *et al.* (2021) 'Effect Of Boosting On A Performance And Emissions In A Port Fuel Injection Natural Gas Engine With Variable Intake And Exhaust Valve Timing', *Energy Reports*. Elsevier Ltd, 7, pp. 4941–4950. doi: 10.1016/j.egy.2021.07.073.
- Kurniawan, M. A. (2018). Pengaruh Durasi Dan Waktu Injeksi Cng Pada Diesel Dual Fuel Proses Heat Diesel Dual Fuel Proses Heat. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Li, J and Cao, S. (2014) 'Remote Monitoring And Management System Of CNG Flow Based On Modbus RTU Protocol', *International Journal of Interactive Mobile Technologies*, 10(5), pp. 52–56. doi: 10.3991/ijoe.v10i5.3945.
- Lino, P and Maione, G. (2016) 'Accurate Dynamic Modeling Of An Electronically Controlled CNG Injection System', in *IFAC-PapersOnLine*. Elsevier B.V., pp. 490–496. doi: 10.1016/j.ifacol.2016.08.072.
- Melaika, M., Herbillon, G. and Dahlander, P. (2021) 'Spark Ignition Engine Performance, Standard Emissions And Particulates Using Gdi, Pfi-Cng And Di-CNG Systems', *Fuel*. Elsevier Ltd, 293, p. 120454. doi: 10.1016-/j.fuel.2021.120454.

- Melaika, M., Herbillon, G. and Dahlander, P. (2022) ‘DI-CNG Injector Nozzle Design Influence On SI Engine Standard Emissions And Particulates At Different Injection Timings’, *Fuel*. Elsevier Ltd, 317, p. 123386. doi: 10.1016/j.fuel.2022.123386.
- Panjaitan, J. H. D., Sudjadi and Sinuraya, E. W. (2018) ‘Perancangan Prototipe Kontroler Air-To-Fuel Ratio Elektronik Berbasis Fuzzy Logic Untuk Penghematan Bahan Bakar Pada Mesin Sepeda Motor Sistem Injeksi’, *Transient: Jurnal Ilmiah*, 7(2).
- Purwanto and Haryono (2018) ‘Gas Sebagai Energi Alternatif Pada Pengerak Kapal’, *Jurnal Sains Dan Teknologi Maritim*, XVII(2). doi: 10.33556/jstm.v0i2.173.
- Rahmad, H., & Wahyu, M. (2019). Perancangan Engine Controle Module Untuk Indirect Injection Engine Menggunakan Bahan Bakar Gas (Cng). *Conference on Innovation and ...*, pp. 383–388.
- Rahmad, H., Wahyu, M. and Hendarti, D. R. (2020) ‘Pengaruh Temperatur Mesin Terhadap Kadar Emisi NOx Pada Motor dengan Bahan Bakar Compressed Natural Gas (CNG)’, *Jurnal Energi dan Teknologi Manufaktur (JETM)*, 3(02), pp. 1–4. doi: 10.33795/jetm.v3i02.59.
- Sathish, T. and Muthulakshmanan, A. (2018) ‘Modelling Of Manhattan K-Nearest Neighbor For Exhaust Emission Analysis Of CNG-Diesel Engine’, *Journal of Applied Fluid Mechanics*, 11(Specialissue), pp. 39–44. doi: 10.36884/jafm.11.SI.29415.
- Siahaan, H. (2020). Emisi Gas Buang Dari Mesin Diesel Ber Bahan Bakar Gas (CNG) Dan Solar. *Jurnal Penelitian Teknik Dan Informatika*, 2(April), 222–232.
- Structures, V. (2017) ‘Modeling Of Deceleration Fuel Cut-Off For LPG Fuelled Engine Using Fuzzy Logic Controller’, *International Journal of Vehicle Structures & Systems*, 9(4), pp. 261–265. doi: 10.4273/ijvss.9.4.12.
- Suarez-Bertoa, R. *et al.* (2020) ‘Regulated And Non-Regulated Emissions From Euro 6 Diesel, gasoline and CNG vehicles under real-world driving conditions’, *Atmosphere*, 11(2), pp. 1–18. doi: 10.3390/atmos11020204.
- Subekti, R. A. (2016) ‘Pengaruh Laju Aliran Bahan Bakar CNG Pada Performa Mesin Kendaraan Bermotor’, *Teknologi Bahan dan Barang Teknik*, 6(2).
- Susanto, R. M. and Setiyo, M. (2018) ‘Natural Gas Vehicle (NGV): Status teknologi dan peluang pengembangannya’, *Automotive Experiences*, 1(1), pp. 1–6. doi: 10.31603/ae.v1i01.2000.

Tanjung, S., Amir, A., & Hamid, E. (2020). Analisis Pemanfaatan Compressed Natural Gas (CNG) Terhadap Efisiensi Biaya Dan Nilai Ekonomi Crumb Rubber Di Provinsi Jambi Analysis Of The Use Of Compressed Natural Gas (CNG) On Cost Efficiency And Economic Value Of Crumb Rubber In Jambi Province. *Agrivet*, 8(1), 86–96.

Szurlej, A. (2019) 'Experimental Investigations and Operational', *Energies*, 12, pp. 2–15.