

# PERANCANGAN KONTROLER AIR TO FUEL RATIO ELEKTRONIK BERBASIS FUZZY LOGIC SEBAGAI MODE BERKENDARA SPORT DAN ECONOMIC PADA SEPEDA MOTOR

Kirana Herdinrodia<sup>1\*</sup>, Budi Setyono<sup>2</sup> dan Eko Handoyo<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia  
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

\*) Email: [kiranaherdin@students.undip.ac.id](mailto:kiranaherdin@students.undip.ac.id)

## Abstrak

Jumlah kendaraan sepeda motor di Indonesia pada tahun 2020 mencapai 84,49% dari keseluruhan kendaraan bermotor di Indonesia dan terus mengalami peningkatan. Hal tersebut berdampak pada penggunaan bahan bakar minyak (BBM) yang semakin meningkat. Untuk meningkatkan efisiensi penggunaan BBM dapat dilakukan penerapan teknologi kontrol elektronik pada proses pembakaran di mesin berupa pengaturan *air to fuel ratio* (AFR). Perubahan nilai AFR dapat mempengaruhi konsumsi bahan bakar dan performa mesin dari sepeda motor. Namun, penggunaan teknologi kontrol AFR memiliki batasan salah satunya adalah hanya terdapat satu profil berkendara berdasarkan nilai AFR yang ingin diraih. Untuk mengatasi hal tersebut, teknologi kontroler AFR dapat dikombinasikan dengan teknologi mode berkendara. Penelitian ini merancang prototipe kontroler AFR berbasis logika *fuzzy* yang dapat mengatur durasi buka injeksi dengan dua profil berkendara yaitu sport dan economic. Kontroler dipasang secara paralel dengan *engine control unit* (ECU) standar sepeda motor. Implementasi kontroler AFR pada sepeda motor menghasilkan penghematan konsumsi BBM yang mencapai 28,1% pada mode berkendara *economic*. Pada mode berkendara *sport* peningkatan tenaga mesin mampu mencapai 0,3 HP dan peningkatan torsi mesin mencapai 0,29 Nm.

*Kata Kunci: spark ignition engine, air to fuel ratio, logika fuzzy, mode berkendara, engine control unit.*

## Abstract

The number of motorcycles in Indonesia in 2020 reached 84,49% of all motorized vehicles in Indonesia and continues to rise. This has an impact on the increasing fuel consumption. To increase the efficiency of fuel consumption, electronic control technology can be applied to the combustion process in engines in the form of air to fuel ratio (AFR) control. Changes in the AFR value can affect motorcycles fuel consumption and engine performances. However, the use of AFR control technology has limitations one of which is that there can only be one driving profile based on the setpoint AFR value. To overcome this limitation, AFR control technology can be combined with driving mode technology. This research tries to design a AFR controller prototype based on fuzzy logic controller that can adjust the duration of injection opening with two driving profiles namely sport and economic. The controller is installed in parallel with the motorcycle's standard engine control unit (ECU). The implementation of AFR controller on motorcycles resulting in fuel consumption savings up to 28.1% in economic driving mode. Sport driving mode increases engine power up to 0.3 HP and increases engine torque up to 0.29 Nm.

*Keywords: spark ignition engine, air to fuel ratio, fuzzy logic, riding mode, engine control unit*

## 1. Pendahuluan

### 1.1 Latar Belakang

Jumlah pengguna kendaraan bermotor di Indonesia yang sangat besar dan terus meningkat berdampak secara langsung terhadap penggunaan bahan bakar minyak (BBM). Penggunaan dengan jumlah besar akan mengurangi ketersediaan BBM sedangkan BBM merupakan energi tak terbarukan yang jumlahnya terbatas. Untuk mengatasi permasalahan tersebut dapat dilakukan penerapan teknologi kontrol elektronik pada proses

pembakaran di mesin berupa pengaturan *air to fuel ratio* (AFR). Perubahan nilai AFR tersebut dapat mempengaruhi konsumsi bahan bakar maupun tenaga mesin dari sepeda motor [1]. Penerapan teknologi kontrol AFR ini memiliki limitasi, salah satunya adalah hanya terdapat satu profil berkendara yang dapat digunakan sesuai dengan *setpoint* nilai AFR.

Teknologi kontrol AFR dapat dikombinasikan dengan teknologi mode berkendara. Fitur mode berkendara dapat dimanfaatkan untuk menunjang kebijakan hemat energi berupa penghematan konsumsi bahan bakar melalui mode berkendara dengan kondisi *lean fuel* dan meningkatkan

tenaga mesin sepeda motor melalui mode berkendara dengan kondisi *rich fuel*. Penelitian mengenai kontroler AFR penghematan konsumsi bahan bakar berbasis *fuzzy logic controller* sudah dilakukan sebelumnya dan mampu menghemat bahan bakar mencapai 33% [2]. Penelitian mengenai pengendalian AFR melalui manipulator ECU sudah dilakukan sebelumnya dan terbukti mampu meningkatkan tenaga dan torsi mesin sepeda motor [3]. Penelitian yang dilakukan sebelumnya masih belum mengkombinasikan teknologi kontrol AFR dengan mode berkendara sehingga hanya terdapat satu profil berkendara sesuai *setpoint* AFR. Untuk itu diperlukan perancangan kontroler AFR berbasis *fuzzy logic* sebagai mode berkendara *sport* dan *economic*. Logika *fuzzy* digunakan karena karakteristik sistem sepeda motor yang *nonlinear* dan bersifat *black box*.

## 2. Metode

### 2.1 Mesin Bensin 4 Langkah

Mesin kendaraan bermotor berbahan bakar bensin merupakan sebuah motor bakar dalam atau mesin pembakaran dalam. Langkah pertama dari siklus empat langkah adalah induksi ketika piston bergerak turun di dalam silinder dari titik mati atas ke titik mati bawah dan katup masuk terbuka. Langkah kedua disebut langkah kompresi, dimana pada langkah ini piston bergerak naik di dalam silinder menuju titik mati atas sehingga campuran udara dan bahan bakar mengalami kompresi. Langkah ketiga disebut dengan langkah usaha. Pada langkah ini busi menyala sesaat sebelum piston mencapai titik mati atas sehingga terjadi ledakan yang mendorong piston turun. Pada langkah keempat piston bergerak naik untuk mengeluarkan seluruh gas buang.

### 2.2 Sistem Logika Fuzzy

*Fuzzy logic controller* merupakan sebuah metode kendali cerdas yang perancangannya menggunakan teori himpunan *fuzzy*. Konfigurasi dasar dari pengendalian dengan logika *fuzzy* ditunjukkan oleh Gambar 1.



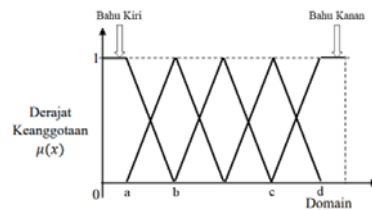
Gambar 1. Diagram Blok Fuzzy Logic Controller [4]

Terdapat empat komponen utama penyusun suatu *fuzzy logic controller* yaitu unit fuzzifikasi, *fuzzy inference* atau logika pengambilan keputusan, basis pengetahuan, dan unit defuzzifikasi [5].

#### 2.2.1 Fuzzifikasi

Fuzzifikasi merupakan suatu proses untuk mengolah masukan data *crisp* ke dalam himpunan *fuzzy*. Masukan data *crisp* dipetakan ke dalam himpunan *fuzzy* menjadi

nilai derajat keanggotaan dengan interval 0 sampai dengan 1 yang direpresentasikan oleh fungsi keanggotaan [1].



Gambar 2. Fungsi Keanggotaan Bentuk Bahu

Gambar 2 merupakan fungsi keanggotaan.

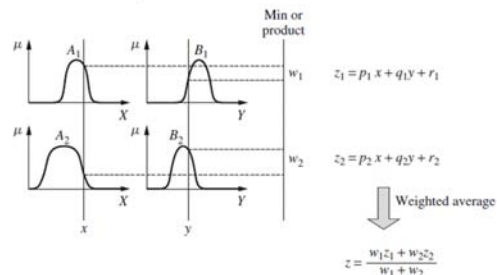
#### 2.2.2 Basis Pengetahuan

Basis pengetahuan atau *knowledge base* merupakan sebuah modul yang memiliki pengetahuan terhadap semua masukan maupun keluaran dari partisi *fuzzy*. Basis pengetahuan terbagi menjadi 2 yaitu basis data dan basis aturan. Basis data mendefinisikan himpunan *fuzzy* dengan fungsi keanggotaan dari tiap elemen atau variabel. Basis aturan merupakan kumpulan aturan *fuzzy* yang dirancang berdasarkan pengetahuan manusia untuk mengendalikan suatu sistem agar mencapai hasil yang diinginkan.

#### 2.2.3 Fuzzy Inference

Inferensi *fuzzy* merupakan proses evaluasi aturan *fuzzy* untuk mendapatkan keluaran dari kondisi masukan tertentu. Aturan yang dirancang digunakan untuk menghubungkan variabel masukan dengan variabel keluaran dan berupa pernyataan kondisional dengan bentuk *IF-THEN* [6][7]. Salah satu metode inferensi *fuzzy* adalah metode Sugeno yang menggunakan pendekatan sistematis untuk mendapatkan aturan *fuzzy* dari himpunan data masukan dan keluaran yang ada. Berikut merupakan model *fuzzy* Sugeno orde-nol.

$$IF \ x \text{ is } A_n \text{ AND } y \text{ is } B_n, \text{ THEN } z \text{ is } k \quad (1)$$



Gambar 3. Inferensi Fuzzy Metode Sugeno

Gambar 3 menunjukkan inferensi *fuzzy* metode Sugeno.

### 2.2.4 Defuzzifikasi

Defuzzifikasi merupakan sebuah proses untuk mendapatkan nilai *crisp* dari suatu himpunan *fuzzy*. Proses defuzzifikasi menerima masukan berupa himpunan *fuzzy* yang dihasilkan dari komposisi aturan-aturan *fuzzy* dengan keluaran yang dihasilkan berupa bilangan pada domain himpunan *fuzzy*. Defuzzifikasi pada metode Sugeno menggunakan metode *weighted average* dan ditunjukkan oleh persamaan (2).

$$z^* = \frac{\sum u_c(z) \cdot z}{\sum u_c(z)} \quad (2)$$

### 2.3 Air To Fuel Ratio

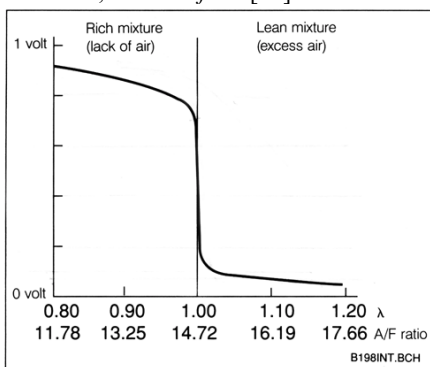
Rasio campuran antara udara dengan bahan bakar pada sebuah mesin disebut dengan AFR (*Air to Fuel Ratio*), AFR dapat disimbolkan dengan  $\lambda$ . Nilai AFR suatu proses pembakaran dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 3.

$$AFR = \frac{m_{air}}{m_{fuel}} \quad (3)$$

Pembakaran yang sempurna dapat diciptakan dengan nilai AFR yang ideal sebesar 14,7. Perbedaan nilai AFR yang lebih besar dari 1% dibawah 14,7 disebut dengan *rich fuel* dan nilai AFR yang lebih besar dari 1% diatas 14,7 disebut dengan *lean fuel* [8][9].

### 2.4 Sensor AFR Narrow Band

Sensor  $\lambda$  merupakan sensor yang mengukur kadar oksigen pada gas sisa pembakaran dari mesin. Hasil pembacaan sensor  $\lambda$  kemudian dikirimkan ke ECU melalui sinyal tegangan listrik [1]. Tegangan keluaran yang dihasilkan oleh sensor  $\lambda$  jenis ini berada dalam rentang tegangan sebesar 0 sampai 1 volt. Sensor jenis ini hanya bisa membaca nilai AFR pada 3 kondisi yaitu *lean fuel*, stoikiometri, dan *rich fuel* [10].

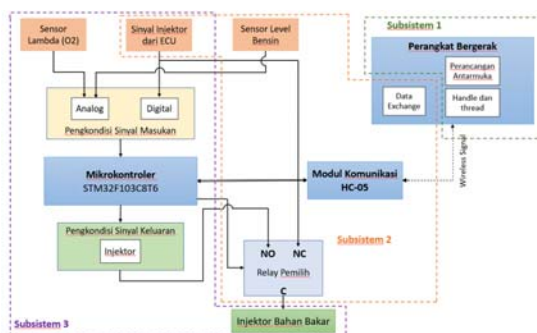


Gambar 4. Grafik Keluaran Sensor  $\lambda$  Narrow Band

Keluaran dari sensor  $\lambda$  jenis *narrow band* ditunjukkan pada Gambar 4.

### 2.5 Perancangan Perangkat Keras

Kontroler AFR pada penelitian ini dipasang secara paralel dengan ECU standar sepeda motor sehingga tidak terdapat ubahan konfigurasi maupun komponen bawaan sepeda motor. Diagram blok sistem secara keseluruhan ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Diagram Blok Sistem Keseluruhan

Perangkat keras kontroler AFR meliputi pengkondisi sinyal masukan digital, pengkondisi sinyal masukan analog, mikrokontroler, dan pengkondisi sinyal keluaran. Mikrokontroler STM32F103C8T6 digunakan sebagai pengendali utama pada perangkat kontroler AFR. Masukan dari sensor yang bersifat analog akan masuk ke mikrokontroler setelah melewati pengkondisian sinyal terlebih dahulu sehingga menghasilkan sinyal tegangan dengan rentang 0-3,3V yang sesuai dengan spesifikasi mikrokontroler STM32F103C8T6. Pengkondisi sinyal digital digunakan untuk memisahkan rangkaian mikrokontroler dengan sensor digital yang memiliki tegangan kerja yang tidak sesuai dengan spesifikasi mikrokontroler STM32F103C8T6.

### 2.6 Perancangan Fuzzy Logic Controller

Perancangan *fuzzy logic controller* untuk kedua mode berkendara dilakukan secara terpisah. Data parameter yang digunakan untuk pengontrolan adalah durasi buka injektor, pembacaan sensor  $\lambda$ , dan kecepatan putaran mesin. Parameter kecepatan putaran mesin digunakan untuk menjaga kestabilan sepeda motor pada putaran mesin tinggi. Data durasi buka injektor standar pada sejumlah rentang putaran mesin ditunjukkan oleh Tabel 1.

Tabel 1. Data Parameter Kecepatan Putaran Mesin

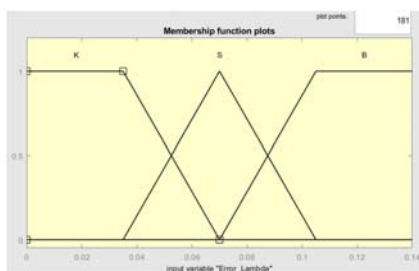
Putaran Mesin	Durasi Buka Injektor Standar
1400-1680	2500-2600 $\mu$ s
1700-2580	3000-3400 $\mu$ s
2650-3380	3500-3980 $\mu$ s
3500-4200	4100-5010 $\mu$ s
4300-6000	5100-6200 $\mu$ s
6000-7800	6050-7200 $\mu$ s
8500-9500	7200-8560 $\mu$ s

### 2.6.1 FLC Mode *Economic*

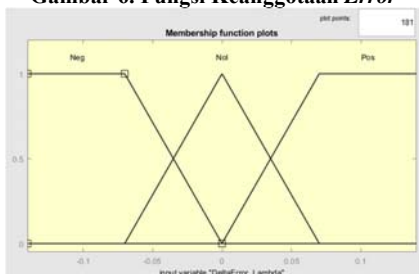
Setelah dilakukan pengambilan data parameter pada *setpoint* 0,14 V atau AFR dengan nilai 17,12 didapat rentang *error* dan  $\Delta error$ .

Parameter	Nilai
<i>Setpoint</i>	0,14 V
<i>Error</i> Maksimal	0,14
<i>Error</i> Minimal	0
$\Delta Error$ Maksimal	-0,14
$\Delta Error$ Minimal	0,14

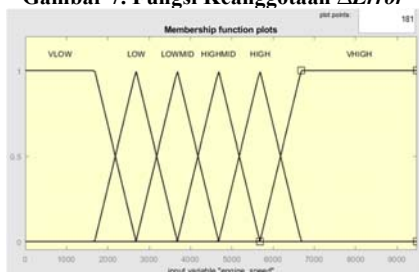
Berdasarkan data pada Tabel 1 dan Tabel 2, maka dapat dirancang fungsi keanggotaan untuk masukan FLC. Terdapat tiga masukan *crisp* yaitu *error*,  $\Delta error$  dan kecepatan putaran mesin. Pada masukan kecepatan putaran mesin terdapat 6 label sedangkan untuk masukan *error* dan  $\Delta error$  terdapat 3 label yang ditunjukkan oleh Gambar 6 sampai Gambar 8.



Gambar 6. Fungsi Keanggotaan *Error*



Gambar 7. Fungsi Keanggotaan  $\Delta Error$



Gambar 8. Fungsi Keanggotaan Putaran Mesin

Batasan fungsi keanggotaan *singleton* untuk keluaran FLC adalah nilai durasi buka injektor. Penentuan nilai durasi buka injektor untuk tiap fungsi keanggotaan *singleton*

dilakukan berdasarkan data hasil pengamatan pada Tabel 1. Terdapat 22 label fungsi keanggotaan *singleton* yang ditunjukkan oleh Tabel 3.

Label	Nilai
VHIGHEC	7000
VLONG3	6100
LONG3	5700
MEDL3	5300
MED3	4900
MEDS3	4600
SH3	4300
VSH3	3900
VLONG2	4400
LONG2	4100
MEDL2	3800
MED2	3500
MEDS2	3200
SH2	2900
VSH2	2600
VLONG1	2400
LONG1	2370
MEDL1	2335
MED1	2300
MEDS1	2270
SH1	2235
VSH1	2200

Derajat keanggotaan keluaran pewaktuan injektor dicari dengan membandingkan derajat keanggotaan dari masukan *error*,  $\Delta error$ , dan kecepatan putaran mesin. Kemudian nilai yang diambil adalah nilai minimal dari label pada ketiga masukan tersebut.

	$\Delta Error$					
	Neg	Nol	Pos			
Error	K	SH1	VSH1	SH1	Engine Speed	
	S	MED1	MEDS1	MED1		Vlow
	B	MEDL1	MED1	MEDL1		
	K	SH2	VSH2	SH2		
	S	MED2	MEDS2	MED2		Low
	B	MEDL2	MED2	MEDL2		
	K	MEDS2	SH2	MEDS2		
	S	MED2	MEDS2	MED2		Lowmid
	B	MEDL2	MED2	MEDL2		
	K	MED3	MEDS3	MED3		
	S	MEDL3	MED3	MEDL3		Highmid
	B	LONG3	MEDL3	MEDL3		
	K	MEDL3	MED3	MEDL3		
	S	LONG3	MEDL3	MEDL3		High
	B	VLONG3	LONG3	VLONG3		
	K	VHIGHEC	VHIGHEC	VHIGHEC		
	S	VHIGHEC	VHIGHEC	VHIGHEC		Vhigh
	B	VHIGHEC	VHIGHEC	VHIGHEC		

Gambar 9. Basis Aturan Mode *Economic*

Jumlah kombinasi yang dihasilkan untuk perancangan aturan pada mode *economic* adalah 54 aturan yang ditunjukkan oleh Gambar 9.

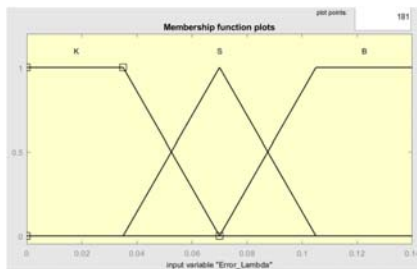
2.6.2 FLC Mode Sport

Setelah dilakukan pengambilan data parameter pada setpoint 2,62 V atau AFR dengan nilai 12,87 didapat rentang error dan Δerror.

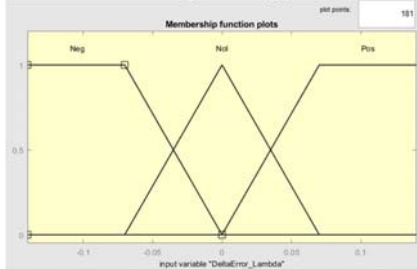
**Tabel 4. Rentang Error dan ΔError**

Hasil Pengambilan Data Error dan ΔError Mode Sport	
Setpoint	2.62 V
Error Maksimal	1.62
Error Minimal	0
ΔError Maksimal	-1.09
ΔError Minimal	1.1

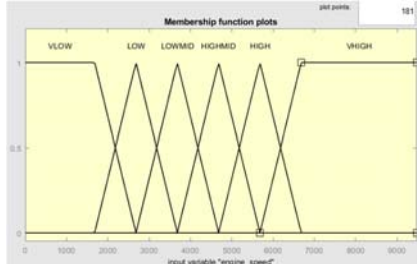
Berdasarkan data pada Tabel 1 dan Tabel 4, maka dapat dirancang fungsi keanggotaan untuk masukan FLC. Terdapat tiga masukan crisp yaitu error, Δerror dan kecepatan putaran mesin. Pada masukan kecepatan putaran mesin terdapat 6 label sedangkan untuk masukan error dan Δerror terdapat 3 label yang ditunjukkan pada Gambar 10 sampai Gambar 12.



Gambar 10. Fungsi Keanggotaan Error



Gambar 11. Fungsi Keanggotaan ΔError



Gambar 12. Fungsi Keanggotaan Putaran Mesin

Batasan fungsi keanggotaan singleton untuk keluaran FLC adalah nilai durasi buka injektor. Penentuan nilai durasi buka injektor untuk tiap fungsi keanggotaan singleton dilakukan berdasarkan data pada Tabel 1. Terdapat 22 label

fungsi keanggotaan singleton yang ditunjukkan oleh Tabel 5.

**Tabel 5. Fungsi Keanggotaan Singleton Sport**

Label	Nilai
VHIGHSP	8900
VLONG3	8100
LONG3	7600
MEDL3	7100
MED3	6600
MEDS3	6100
SH3	5600
VSH3	5100
VLONG2	6200
LONG2	5700
MEDL2	5200
MED2	4700
MEDS2	4200
SH2	3700
VSH2	3200
VLONG1	3100
LONG1	3070
MEDL1	3035
MED1	3000
MEDS1	2970
SH1	2935
VSH1	2900

Derajat keanggotaan keluaran pewaktuan injektor dicari dengan membandingkan derajat keanggotaan dari masukan error, Δerror, dan kecepatan putaran mesin. Kemudian nilai yang diambil adalah nilai minimal dari label pada ketiga masukan tersebut.

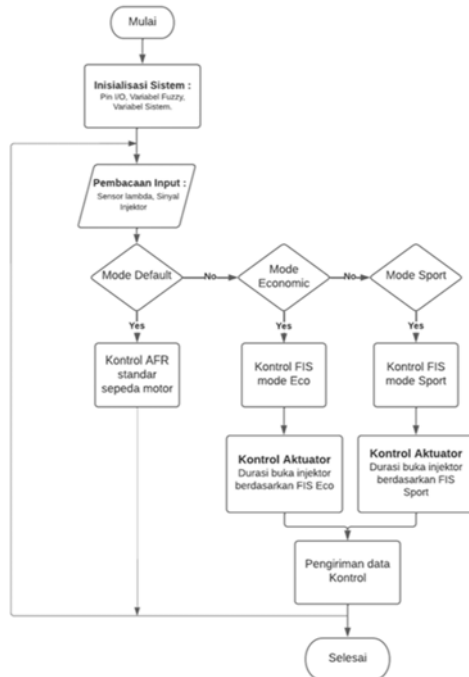
	ΔError			
	Neg	Nol	Pos	
K	SH1	VSH1	SH1	
S	MED1	MEDS1	MED1	<b>Ylow</b>
B	MEDL1	MED1	MEDL1	
K	SH2	VSH2	SH2	
S	MED2	MEDS2	MED2	<b>Low</b>
B	MEDL2	MED2	MEDL2	
K	MED2	MEDS2	MED2	
S	MEDL2	MED2	MEDL2	<b>Lowmid</b>
B	LONG2	MEDL2	LONG2	
K	MED3	MEDS3	MED3	
S	MEDL3	MED3	MEDL3	<b>Highmid</b>
B	VLONG3	MEDL3	LONG3	
K	MEDL3	MED3	MED3	
S	LONG3	MEDL3	MEDL3	<b>High</b>
B	VLONG3	LONG3	LONG3	
K	VHIGHSP	VHIGHSP	VHIGHSP	
S	VHIGHSP	VHIGHSP	VHIGHSP	<b>Vhigh</b>
B	VHIGHSP	VHIGHSP	VHIGHSP	

Gambar 13. Basis Aturan Mode Sport

Jumlah kombinasi yang dihasilkan untuk perancangan aturan pada mode sport adalah 54 aturan yang ditunjukkan oleh Gambar 13.

## 2.7 Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak pada penelitian ini meliputi pembacaan masukan, FLC untuk tiap mode berkendara, pengendalian aktuator, dan pembacaan data keluaran.



Gambar 14. Diagram Alir Perangkat Lunak

Diagram alir ditunjukkan oleh Gambar 14.

## 3. Hasil dan Pembahasan

Pengujian dilakukan dalam tiga kondisi yaitu stasioner, berjalan, dan *dyno test*. Pada tiap kondisi pengujian terdapat tiga variasi yaitu tanpa kontroler, dengan kontroler mode *economic*, dan dengan kontroler mode *sport*.

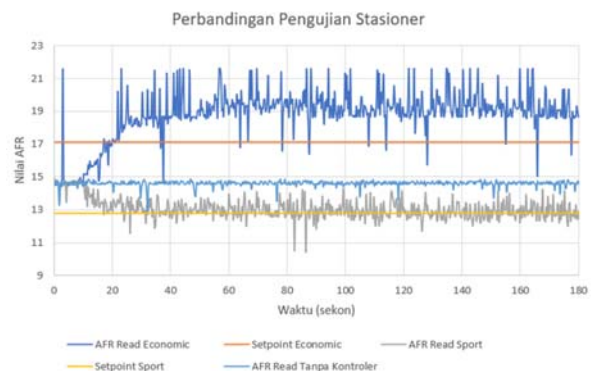
Tabel 6. Spesifikasi Sepeda Motor Pada Pengujian  
Spesifikasi HONDA Scoopy 110 Fi

<b>Tipe</b>	Skutik
<b>Mesin</b>	4 Langkah, SOHC 4 Valve
<b>Volume Silinder</b>	108cc
<b>Dimensi Mesin</b>	50mm bore x 55mm stroke
<b>Rasio Kompresi</b>	9.2 : 1
<b>Daya Maksimum</b>	6.27 kW (8.52 PS)/8000 rpm
<b>Torsi Maksimum</b>	8.56 N.m (0.89 kgf.m)/6500 rpm
<b>Transmisi</b>	Otomatis, <i>Continuous Variable Transmission</i> (CVT)
<b>Dimensi &amp; Berat Sepeda Motor</b>	1873 mm x 680 mm x 1074 mm, 94 Kg
<b>Kapasitas Tangki Bensin</b>	±3.3 Liter

Spesifikasi sepeda motor yang digunakan untuk pengujian ditunjukkan pada Tabel 6.

## 3.1 Pengujian Stasioner

Pengujian kondisi stasioner dilakukan pada saat sepeda motor dioperasikan pada kondisi stasioner (1400-1600 RPM). Durasi pengujian untuk tiap variasi adalah 180 detik dengan pengambilan data dilakukan tiap 0,3 detik. Data hasil pengujian berupa nilai AFR dan perbandingannya terhadap *setpoint*. Gambar 15 menunjukkan grafik perbandingan pengujian stasioner.



Gambar 15. Perbandingan Pengujian Stasioner

Pada variasi tanpa kontroler nilai AFR memiliki nilai rata-rata 14,34. Hal tersebut terjadi karena kebanyakan ECU standar dari produsen memiliki pengaturan standar yang bertujuan agar nilai AFR mencapai stoikiometri. Pada variasi mode berkendara *economic* nilai AFR memiliki rata-rata nilai 18,77 Grafik pembacaan AFR menunjukkan bahwa kontroler AFR mode *economic* tidak dapat mendekati *setpoint economic* sebesar 17,12 melainkan berada pada rentang 17,9-18,9. Hal tersebut dapat terjadi karena sensor *lambda* dengan jenis *narrowband* yang terpasang di sepeda motor tidak akurat pada *range* AFR yang terlalu lebar. Namun, kontroler AFR mode *economic* mampu mempertahankan nilai AFR pada kondisi *lean fuel*. Pada variasi mode berkendara *sport* nilai AFR memiliki rata-rata nilai 12,97 Grafik pembacaan menunjukkan bahwa kontroler AFR mode *sport* mampu mempertahankan nilai AFR secara konstan mendekati *setpoint sport* sebesar 12,87 dan berada pada kondisi *rich fuel*.

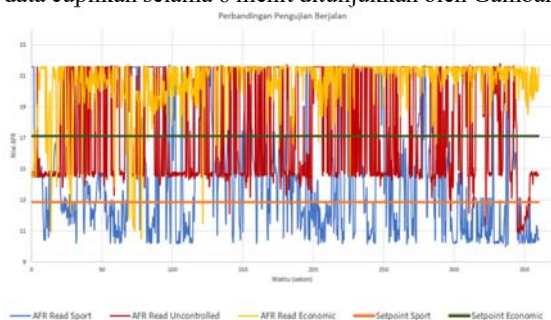
## 3.2 Pengujian Berjalan

Pengujian berjalan dilakukan dengan cara mengendarai sepeda motor dengan kondisi yang ditunjukkan oleh Tabel 7.

Tabel 7. Kondisi Pengujian

Kondisi Pengujian	
Waktu Pengujian	09.00-23.00
Rute Pengujian	±26,6 km
Kecepatan Pengujian	0-50 Km/Jam
Bobot Pengendara	134 Kg (2 orang dengan barang bawaan)
Bahan Bakar	Pertamina Pertalite RON 90

Grafik perbandingan pengujian berjalan menggunakan data cuplikan selama 6 menit ditunjukkan oleh Gambar 16.



Gambar 16. Perbandingan Pengujian Berjalan

Pada variasi tanpa kontroler (merah), nilai AFR banyak berada pada rentang 14,9. Grafik variasi tanpa kontroler juga menunjukkan bahwa ECU standar sepeda motor selalu mengatur agar nilai AFR mendekati nilai stoikiometri (14,67). Pada variasi kontroler mode berkendara *economic*, nilai AFR lebih banyak berada pada rentang 16,3-17. Pada pengujian berjalan, kontroler AFR dengan mode berkendara *economic* mampu mempertahankan kondisi *lean fuel* secara konstan namun tidak dapat mendekati *setpoint economic*. Terdapat *error* yang besar pada pengujian berjalan dengan mode *economic*. Hal tersebut terjadi karena AFR yang terlalu kering menyebabkan mesin motor mengalami *knocking*. Pada variasi kontroler mode berkendara *sport*, nilai AFR banyak berada pada rentang 10,3-13 kontroler AFR mode *sport* paling banyak memiliki *error* namun kontroler tetap mampu mempertahankan kondisi *rich fuel* secara konstan.

Tabel 8. Perbandingan Konsumsi BBM

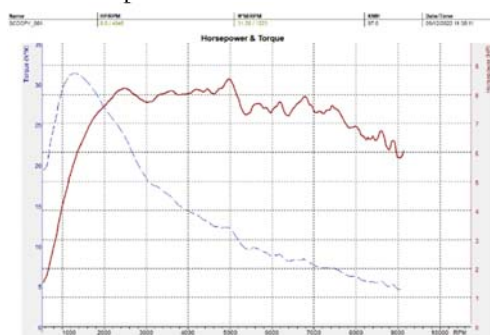
Tanpa Kontroler	Kontroler Mode <i>Economic</i>	Kontroler Mode <i>Sport</i>
19,15% (0,53 L)	13,78% (0,38 L)	25,97% (0,71 L)
<b>Penghematan</b>	<b>28,1% (0,15 L)</b>	<b>-35,61% (0,18 L)</b>

Perbandingan konsumsi bahan bakar pada tiap variasi ditunjukkan pada Tabel 8.

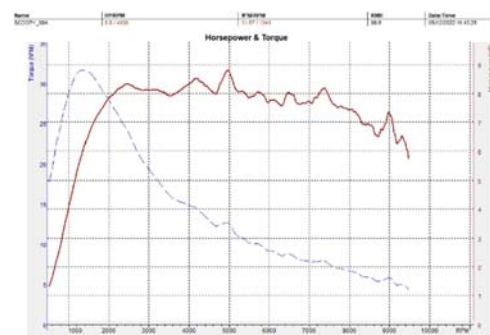
### 3.3 Pengujian *Dyno Test*

Pengujian *dyno test* dilakukan menggunakan *dynamometer* untuk mengukur tenaga mesin. Metode *dyno test* yang digunakan adalah dengan *chassis dyno* dimana sepeda

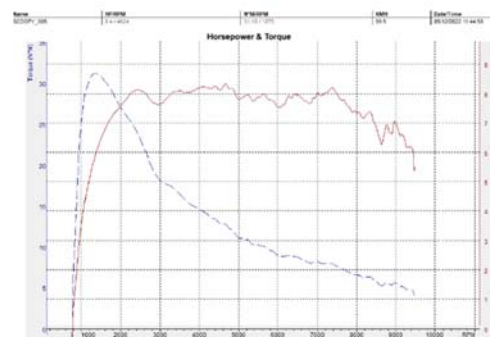
motor ditempatkan diatas sebuah *roller*. Grafik hasil pengujian *dyno test* pada tiap variasi ditunjukkan oleh Gambar 17 sampai Gambar 19.



Gambar 17. *Dyno Test* Tanpa Kontroler



Gambar 18. *Dyno Test* Kontroler Mode *Sport*



Gambar 19. *Dyno Test* Kontroler Mode *Economic*

Perbandingan tenaga dan torsi mesin sepeda motor pada tiap variasi ditunjukkan pada Tabel 9.

Tabel 9. Perbandingan Tenaga Dan Torsi Mesin

Keterangan	Tenaga Mesin	Torsi Mesin
Tanpa Kontroler	8,5 HP	31,28 Nm
Kontroler Mode <i>Economic</i>	8,4 HP	31,10 Nm
Kontroler Mode <i>Sport</i>	8,8 HP	31,57 Nm

Kontroler AFR mode berkendara *sport* meningkatkan tenaga mesin sebesar 0,3 HP dan torsi mesin sebesar 0,29 Nm. Sedangkan pada penggunaan mode berkendara *economic* terjadi penurunan tenaga mesin sebesar 0,1 HP dan torsi mesin sebesar 0,18 Nm.

#### 4. Kesimpulan

Pada kondisi stasioner kontroler AFR mode *economic* tidak dapat mencapai *setpoint* secara tepat namun kontroler mampu mencapai nilai AFR terkontrol dibawah *setpoint* dan tetap berada dalam rentang *lean fuel*. Sedangkan kontroler AFR mode *sport* mampu mendekati *setpoint* secara konstan. Kemudian berdasarkan data hasil pengujian berjalan, kontroler AFR mode *economic* mampu melakukan penghematan konsumsi BBM mencapai 28,1% sedangkan kontroler AFR mode *sport* mengkonsumsi bahan bakar 35,61% lebih banyak. Hasil pengujian *dyno test* menunjukkan bahwa kontroler AFR mode *sport* mampu meningkatkan tenaga mesin mencapai 0,3 HP dan torsi mesin mencapai 0,29 Nm. Untuk pengembangan pada penelitian berikutnya, penggunaan sensor AFR jenis *wide band* dengan metode kontrol adaptif dapat meningkatkan kestabilan dan keandalan sistem.

#### Referensi

[1] T. Denton, *Automobile Mechanical and Electrical Systems*. 2011.  
 [2] J. Harbangan, E. Sinuraya, and S. Sudjadi, "Perancangan Prototipe Kontroler Air-To-Fuel Ratio Elektronik Berbasis Fuzzy Logic Untuk Penghematan Bahan Bakar Pada Mesin Sepeda Motor Sistem Injeksi," *Transient*, vol. 7, no. 2.

2018.  
 [3] Supriyono, I. Mawardi, and W. A. Siswanto, "The development of engine control module manipulator module based on arduino to increase power and torque of motorcycle engine," *Int. J. Adv. Trends Comput. Sci. Eng.*, vol. 8, no. 6, pp. 3135–3139, 2019.  
 [4] M. A. Reactor, A. Triwiyatno, and B. Setiyono, "Desain Kontrol Air to Fuel Ratio (AFR) Pada Model Spark Ignition Engine dengan Metode Hybrid Fuzzy PI," *Transient*, vol. 2, no. 2. pp. 169–175, 2013.  
 [5] T. J. Ross, *Fuzzy Logic With Engineering Applications*. 2010.  
 [6] S. K. Laksono, A. Triwiyatno, and Sumardi, "Pengaturan sudut fasa berbasis logika fuzzy untuk sistem pengaturan temperatur," pp. 1–11, 2011.  
 [7] F. Wahab, A. Sumardiono, A. R. Al Tahtawi, and A. F. A. Mulayari, "Desain dan Purwarupa Fuzzy Logic Control untuk Pengendalian Suhu Ruang," *J. Teknol. Rekayasa*, vol. 2, no. 1, p. 1, 2017.  
 [8] A. Triwiyatno, B. Setiyono, J. H. D. Panjaitan, A. Kurniahadi, and I. Setiawan, "Design of Air-Fuel Ratio Control Using Gain- Scheduled Fuzzy-PID for Small Scooter Engine," *7th Int. Conf. Inf. Technol. Comput. Electr. Eng. ICITACEE 2020 - Proc.*, pp. 47–51, 2020.  
 [9] B. Abbas Al-Himyari, A. Yasin, and H. Gitano, "Review of Air-Fuel Ratio Prediction and Control Methods," *Asian J. Appl. Sci.*, vol. 2, no. 4, pp. 471–478, 2014.  
 [10] Y. S. H. Najjar, A. A. W. H. Almardini, and A. J. A. Sawan, "Comparison of performance using wide-band versus narrow-band oxygen sensors in gasoline engines," *Case Stud. Therm. Eng.*, vol. 16, no. October, p. 100552, 2019.