

# Pengaturan Putaran *Engine* Saat Kecepatan *Idle* Berdasarkan Suhu Udara Masuk Berbasis Metode *Fuzzy* pada Motor Bensin

Intanto Oktavian, M. Aziz Muslim, Goegoes Dwi Nusantoro

**Abstract**—Along with the development of automotive world technology was experiencing many changes and emerge various new innovations both in the mechanical and electrical parts. This study focused on engine rotation control adjusted based on intake air intake manifold temperature using KLF method. The design of KLF uses five Membership Functions (MF) with the Max-Min Inference method and the Center Of Area (COA) defuzzification method. The test results show that KLF is quite successfully used to maintain the desired set point with steady state error value of 1.07% and 1.35%.

**Index Terms**—WLAN, performance, opnet modeler academic edition

**Abstrak**— Seiring dengan berkembangnya Teknologi dunia otomotif pun mengalami banyak perubahan dan muncul berbagai inovasi baru baik di bagian mekanik maupun kelistrikkannya. Penelitian ini difokuskan pada pengendalian putaran engine yang disesuaikan berdasarkan temperature udara masuk *intake manifold* menggunakan metode KLF. Perancangan KLF menggunakan lima *Membership Function* (MF) dengan metode Inferensi *Max-Min* dan metode defuzzifikasi *Center Of Area* (COA). Hasil pengujian menunjukkan bahwa KLF cukup berhasil digunakan untuk menjaga *set point* sesuai yang diinginkan dengan nilai *error steady state* sebesar 1,07% dan 1,35%.

**Kata Kunci**— Kontrol Logika Fuzzy, *intake manifold*, durasi injeksi.

## I. PENDAHULUAN

PADA umumnya kendaraan bermotor beroperasi pada pagi hari, siang hari dan malam hari dengan cuaca atau temperatur udara yang tentunya berbeda-beda juga, dimana tekanan udara lebih rendah dari tekanan standard temperatur udara lebih tinggi dari temperatur udara standar begitupun sebaliknya, dengan demikian maka kinerja motor juga akan lebih rendah dari prestasi standar.[1]

Sistem bahan bakar tipe injeksi merupakan langkah inovasi yang sedang dikembangkan untuk diterapkan pada sepeda motor. Tipe injeksi sebenarnya sudah mulai

diterapkan pada sepeda motor dalam jumlah terbatas pada tahun 1980-an, dimulai dari sistem injeksi elektronik. Sistem injeksi mekanis disebut juga sistem injeksi kontinyu (K-Jetronic) karena injektor menyemprotkan secara terus menerus ke setiap saluran masuk (*intake manifold*).[2]

Pada umumnya sistem injeksi bahan bakar dikontrol secara elektronik atau yang kita kenal dengan Electronic Fuel Injection (EFI). Sistem ini dikontrol oleh *Engine Control Unit* (ECU), yaitu berupa chips yang terdiri dari mikroprosesor dan memory yang dipasang pada motor. ECU ini menerima input berupa sinyal-sinyal elektronik dari semua sensor dan memprosesnya untuk menentukan jumlah bahan bakar yang diperlukan dengan mengatur bukaan katup pada injector.

Penggunaan sensor suhu udara masuk (*intake manifold*) merupakan salah satu upaya untuk memberikan informasi tambahan pada injektor guna mensuplai bahan bakar yang sesuai dengan campuran ideal. Dikarenakan suhu udara masuk sangatlah berpengaruh terhadap durasi injeksi.

Oleh sebab itu perlu dirancang atau temperatur udara yang tentunya berbeda-beda juga, dimana tekanan udara lebih rendah dari tekanan standard temperatur udara lebih tinggi dari temperatur udara standar begitupun sebaliknya, dengan demikian maka kinerja motor juga akan lebih rendah dari prestasi standar.[1]

Sistem bahan bakar tipe injeksi merupakan langkah inovasi yang sedang dikembangkan untuk diterapkan pada sepeda motor. Tipe injeksi sebenarnya sudah mulai diterapkan pada sepeda motor dalam jumlah terbatas pada tahun 1980-an, dimulai dari sistem injeksi elektronik. Sistem injeksi mekanis disebut juga sistem injeksi kontinyu (K-Jetronic) karena injektor menyemprotkan secara terus menerus ke setiap saluran masuk (*intake manifold*).[2]

Pada umumnya sistem injeksi bahan bakar dikontrol secara elektronik atau yang kita kenal dengan Electronic Fuel Injection (EFI). Sistem ini dikontrol oleh *Engine Control Unit* (ECU), yaitu berupa chips yang terdiri dari mikroprosesor dan memory yang dipasang pada motor. ECU ini menerima input berupa sinyal-sinyal elektronik dari semua sensor dan memprosesnya untuk menentukan jumlah bahan bakar yang diperlukan dengan mengatur bukaan katup pada injector.

Penggunaan sensor suhu udara masuk (*intake manifold*) merupakan salah satu upaya untuk

Intanto Oktavian, M. Aziz Muslim and Goegoes Dwi Nusantoro are with the Electrical Engineering Department of Brawijaya University, Malang, Indonesia (corresponding author provide phone 0341-554166; intanto.oktav@gmail.com)

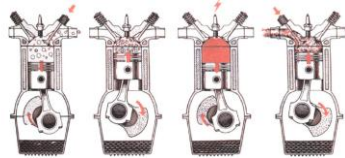
memberikan informasi tambahan pada injektor guna mensuplai bahan bakar yang sesuai dengan capuran ideal. Dikarenakan suhu udara masuk sangatlah berpengaruh terhadap durasi injeksi.

Oleh sebab itu perlu dirancang suatu perangkat sistem pengendali yang mampu mengatur waktu penginjeksian berdasarkan suhu udara masuk (*intake manifold*) menggunakan KLF (Kontrol Logika Fuzzy).

## II. DASAR TEORI

### A. Mesin 4-langkah

Mesin bakar yang dirancang oleh Nikolaus Otto tahun 1882, adalah dengan model mesin 4 tak. Piston menggunakan sebuah katup masukan (*intake*) dan keluaran (*exhaust*) untuk mengontrol aliran. Dua putaran crankshaft diperlukan untuk melengkapi sebuah siklus.



Gambar 1. Siklus pembakaran 4-langkah dasar (Sumber:www.motogokil.com)

Langkah hisap (*induction*), piston bergerak turun dari titik mati atas (TMA) menuju titik mati bawah (TMB). Katup masuk membuka dan katup buang menutup, akibat gerakan piston sejumlah gas bensin terhisap masuk ke dalam silinder/ruang bakar melalui saluran katup masuk. Langkah kompresi (*compression*), piston bergerak naik dari TMB menuju TMA, dimana saat itu baik katup masuk maupun katup keluar dalam kondisi tertutup. Akibat gerakan piston ini gas bensin dimampatkan sehingga suhunya naik. Langkah usaha (*combustion*), saat piston hampir mencapai TMA, busi menyala memercikkan bunga api, gas bensin yang sudah dimampatkan terbakar dan meledak menghasilkan daya dorong terhadap piston, sehingga piston bergerak dari TMA ke TMB. Langkah buang (*exhaust*), piston bergerak naik lagi dari TMB ke TMA, katup buang membuka. Gerakan piston ini mendorong gas sisa pembakaran keluar. Kemudian siklus dimulai lagi dari langkah hisap, empat langkah piston menurut urutan di atas disebut satu siklus mesin 4-langkah [3]

### B. Sensor Suhu LM35



Gambar 2. Sensor Suhu LM35

Sensor LM35 adalah sensor suhu presisi yang berbentuk IC, yang output tegangannya linier sebanding dengan temperature (skala Celcius). Dengan demikian LM35 memiliki keunggulan lebih dari sensor suhu linier yang dikalibrasi dalam Kelvin. LM35 tidak memerlukan kalibrasi eksternal untuk memberikan akurasi  $\pm 1/4^{\circ}\text{C}$  pada suhu ruangan dan  $\pm 3/4^{\circ}\text{C}$  untuk rentang suhu  $-55$  sampai  $150^{\circ}\text{C}$ , sedangkan LM35 memiliki

rating  $-40$  sampai  $110^{\circ}\text{C}$ . Sensor LM35 tersedia dalam bentuk hermetis T0-46 paket transistor, sedangkan LM35C, LM35A, LM35D juga tersedia dalam bentuk plastik T0-92 paket transistor.[4]

### C. Injektor

Injektor berfungsi menyemprotkan bensin menuju *engine* untuk dicampur dengan udara. Agar bensin mudah bercampur dengan udara maka bensin dikabutkan dengan halus sehingga mudah berubah menjadi uap. Injektor berfungsi sebagai actuator.

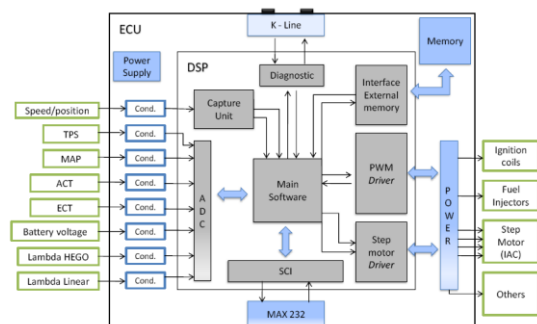


Gambar 3. Injektor yang Dipakai

Injektor pada sistem injeksi bekerja secara elektromagnetik. Kerja injektor dikontrol oleh ECU dengan sinyal negatif. Lebar pulsa sinyal dari ECU akan menentukan jumlah bahan bakar yang terkabutkan, semakin panjang pulsa semakin banyak bensin terkabutkan.

### D. Engine Control Unit (ECU)

Pengaturan dalam mesin bakar berarti mengatur bahan bakar dan asupan udara serta waktu pengapian untuk mencapai kinerja yang diinginkan dalam bentuk torsi atau daya keluaran. Sampai akhir 1960-an, mengendalikan output mesin torsi dan RPM itu dicapai melalui beberapa kombinasi dari sistem hidrolis. Kemudian pada 1968, sistem kontrol elektronik (*Engine Control System / ECS*) diperkenalkan oleh Volkswagen 1600 dengan menggunakan sebuah mikroprosesor untuk membentuk sistem injeksi [Long Xie, 2006].



Gambar 4. Blok diagram dasar ECU [5]

Sumber : www.motogokil.com

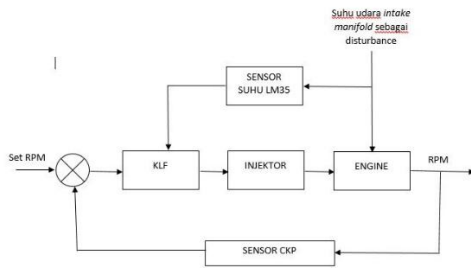
Perkembangan teknologi elektronika dan bertambahnya tingkat kesadaran dunia akan pentingnya tingkat kesadaran dunia akan pentingnya mengurangi polusi udara dan penghematan bahan bakar minyak menuntut sistem ECS yang lebih maju. Pada tahap ini mesin telah memiliki banyak parameter yang perlu diukur dan banyak alat pula yang perlu dikontrol, oleh karenanya membutuhkan suatu perangkat yang disebut

Main Control Unit (MCU). Selain dari itu terkadang MCU juga mengerjakan semua yang terkait dengan pengaturan sistem yang ada di kendaraan. Untuk versi sederhananya dari MCU biasanya disebut *Electronic Control Unit (ECU)* dengan tugas yang lebih sedikit, biasanya hanya mengatur sistem yang terkait dengan kinerja mesin.

III. PEMBUATAN ALAT DAN PERANCANGAN ALGORITMA

A. Diagram Balok

Gambar 5 adalah gambar diagram balok dari sistem yang telah dirancang.



Gambar 5. Diagram Balok Sistem

B. Perancangan KLF

Perancangan KLF terdiri dari fuzzifikasi, rule base, dan defuzzifikasi.

Membership function (MF) set RPM dan *error suhu*, serta keluaran durasi injeksi terdiri atas lima label, yaitu Negatif Besar (NB), Negatif Sedang (NS), Zero (Z), Positif Sedang (PS), Positif Besar (PB). Label masing-masing fungsi keanggotaan berjumlah lima dengan tujuan agar *rule* yang dihasilkan semakin banyak, karena semakin banyak aturan maka semakin banyak pula aksi kontrol yang akan dipilih.

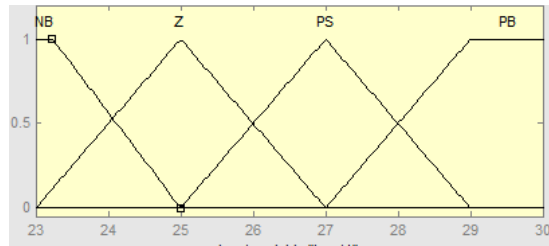
TABEL I  
PEMBAGIAN DURASI INJEKSI BERDASARKAN PUTARAN MESIN

RPM	Kecepatan	Durasi Injeksi
1500	Rendah	1,8-2,7 ms
2000		
2500		
3000		
3500		
4000	Menengah	2,8-3,8 ms
4500		
5000		
5500		
6000		
6500	Tinggi	3,9-4,5 ms
7000		
7500		
8000		
8500		

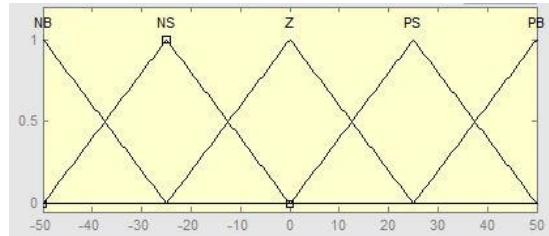
Gambar 6 menunjukkan MF input suhu yang telah dirancang. Input suhu ini didasarkan dari selisih suhu referensi dengan suhu ruangan. *Delta error* suhu tidak dirancang karena tidak mengontrol masukan suhu yang diinginkan sehingga tidak ada feedback kontrolnya.

Gambar 7 dan 8 berturut-turut menunjukkan MF (*Membership function*) masukan RPM, dan keluaran

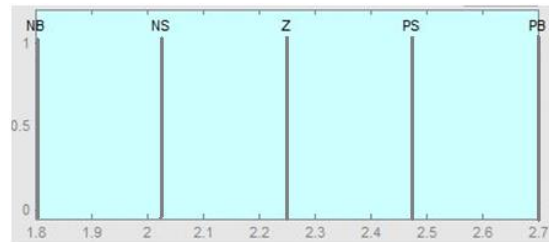
durasi injeksi untuk putaran mesin rendah.



Gambar 6. Membership function input suhu



Gambar 7. Membership function untuk RPM



Gambar 8. Membership function keluaran durasi injeksi putaran rendah

Penentuan *rule base* berfungsi untuk menghubungkan sinyal masukan dan sinyal keluaran berupa durasi injeksi. Berikut *rules* pada Tabel 2.

TABEL II  
RULE BASE FUZZY

<i>E</i> <i>DE</i>	NB	NS	Z	PS	PB
NB	PB	PB	PB	PS	Z
NS	PB	PS	PS	Z	NS
Z	PB	PS	Z	NS	NB
PS	PS	Z	NS	NS	NB
PB	Z	NS	NB	NB	NB

Defuzzifikasi merupakan proses untuk mengubah keluaran *fuzzy* menjadi keluaran *crisp*. Defuzzifikasi dilakukan untuk mendapatkan nilai aksi kontrol. Metode defuzzifikasi yang digunakan yaitu *Center Of Area*.

IV. PENGUJIAN DAN ANALISIS SISTEM

Pengujian ini meliputi pengujian sensor LM35, pengujian RPS sensor CKP, pengujian driver injector, pengujian detector injektor, dan pengujian keseluruhan sistem.

A. Pengujian Sensor LM35

Pengujian sensor bertujuan untuk mengetahui kemampuan sensor LM35 dalam membaca perubahan

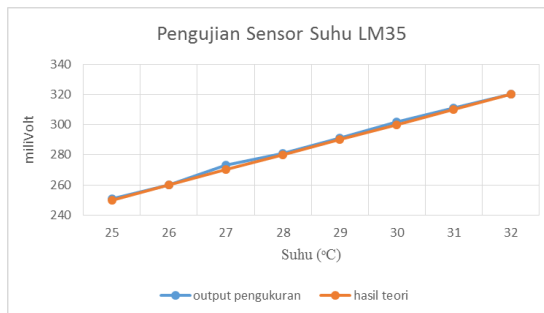
suhu..

Dari hasil Tabel 3, diketahui hasil pengukuran output LM35 tidak sesuai dengan ketentuan yang tercantum pada datasheet, dimana pada datasheet nilai tegangan keluaran sensor suhu LM35 adalah linear dan mempunyai resolusi 10mV/°C, namun tidak menutup kemungkinan karena kepekaan pengukuran LM35 yang linear dan selain itu LM35 mempunyai tingkat akurasi data sebesar 0.5% maka hasil yang didapat juga berkisar pada area tersebut.

TABEL III  
NILAI ERROR PENGUJIAN SENSOR LM35

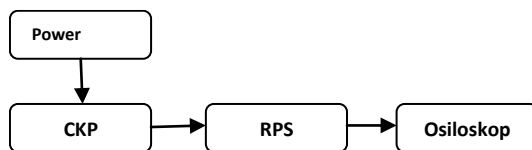
Sensor Suhu LM35 (°C)	Output Pengukuran LM35 (mV)	Hasil Teori (mV)	Nilai Error (%)
25	251	250	0.004
26	260	260	0
27	273	270	0.011
28	281	280	0.003
29	291	290	0.003
30	302	300	0.006
31	311	310	0.003
32	320	320	0

Grafik hubungan *output* pengukuran LM35 dengan hasil teori dapat dilihat dalam gambar 9.

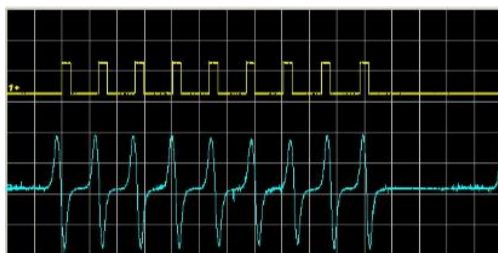


Gambar 9. Grafik hubungan suhu terhadap tegangan

**B. Pengujian Sensor CKP**



Gambar 10. Blok Pengujian RPS sensor CKP



Gambar 11. Hasil Pengujian Sinyal Input Output CKP

Pengujian sensor CKP dilakukan untuk mengetahui respon dan sinyal keluaran sensor terhadap pulsa input

yang berasal dari pulser serta hasil perhitungan perangkat lunak dalam menghitung RPM.

Setelah semua dirangkai seperti pada blok pengujian RPS sensor CKP seperti pada Gambar 10. dan program telah diunggah pada Atmega32, maka diperoleh hasil seperti pada Gambar 11.

Dari hasil tersebut, didapatkan sinyal input dan output dengan 9 pulsa sesuai dengan jumlah knock pada pulser sehingga dapat disimpulkan bahwa rangkaian pengkondisi sinyal sensor CKP telah sesuai dan dapat bekerja dengan baik.

**C. Pengujian Driver Injector**

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah rangkaian driver dapat berfungsi dengan baik untuk mengaktifkan tegangan injektor. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 4.

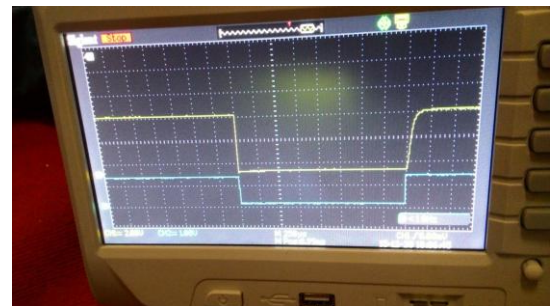
TABEL IV  
HASIL PENGUJIAN DRIVER INJEKTOR

No	Input (PortC.6 ATMEGA32)	Kondisi injektor	Volt
1	0 (GND)	ON (Spray)	11,4V
2	1 (5V/Vcc)	OFF (Diam)	0,3V

Berdasarkan data hasil pengujian yang ditunjukkan pada Tabel 4. saat input diberikan logika low (0), maka injektor aktif dan menyemprotkan bahan bakar. Sebaliknya, saat input high, injektor tetap off. Dengan demikian, maka pengujian driver injektor dinyatakan sesuai dengan perancangan.

**D. Pengujian Rangkaian Detector Injektor**

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui respon dan sinyal keluaran detector terhadap pulsa input yang berasal dari output injektor ECU. Hasil pengujian rangkaian detector dapat dilihat pada Gambar 12



Gambar 14. Hasil Pengujian Detector Injektor pada Oscilloscope

Berdasarkan data hasil pengujian, terjadi penyimpangan antara lebar pulsa input dan output. Berikut adalah contoh perhitungan data ke-12 :

$$\begin{aligned} \text{Error (ms)} &= |\text{Lebar pulsa output} - \text{Lebar pulsa input}| \\ &= |3.98 - 3.95| \\ &= 0,03 \text{ ms} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Error (\%)} &= \frac{\text{error}}{\text{Lebar pulsa input}} \times 100\% \\ &= \frac{0,03}{3.95} \times 100\% \\ &= 0.76\% \end{aligned}$$

Hasil *error* pengujian *detector injektor* secara

keseluruhan dapat dilihat pada Tabel 5.

Dari tabel diatas diketahui bahwa nilai rata-rata kesalahan keseluruhan sebesar 1,38%. Kesalahan tersebut relatif sangat kecil sehingga dapat disimpulkan bahwa rangkaian *detector injector* tersebut dapat berjalan dengan baik.

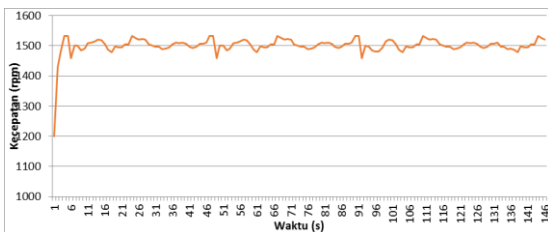
TABEL V  
HASIL KESALAHAN PENGUJIAN DETECTOR INJECTOR DENGAN VARIASI RPM

No	RPM	Lebar Pulsa (ms)		Kesalahan (%)
		Tinput	Toutput	
1	1500	2,02	2,05	1,4
2	2000	2,25	2,29	1,7
3	2500	2,44	2,48	1,6
4	3000	2,5	2,54	1,6
5	3500	2,6	2,64	1,53
6	4000	2,65	2,69	1,5
7	4500	2,69	2,73	1,4
8	5000	2,82	2,84	0,7
9	5500	3,3	3,41	3,3
10	6000	3,45	3,49	1,15
11	6500	3,76	3,79	0,79
12	7000	3,95	3,98	0,76
13	7500	4,48	4,52	0,89
14	8000	4,5	4,55	1,1
Rata-rata kesalahan				1,38

A. Pengujian Keseluruhan Sistem

Pengujian sistem keseluruhan ini menguji apakah parameter yang sudah ditentukan dapat diaplikasikan pada alat dan sudah sesuai setpoint yang diinginkan serta mengetahui hasil responnya.

- 1. Pengujian untuk set rpm 1500 dengan suhu 27°C



Gambar 15. Grafik respon output

Error Steady State ( $e_{ss}$ )

Saat keadaan *steady state* terjadi osilasi dengan nilai rpm tengah *steady state* ( $rpm_{\text{tengah steady state}}$ ) 1503,23 rpm dengan rpm mula-mula ( $rpm_{\text{mula-mula}}$ ) adalah 1200 rpm, serta rpm *setpoint* ( $rpm_{\text{setpoint}}$ ) adalah 1500 rpm, sehingga *error steady state* nya adalah:

$$e_{ss} (\%) = \left| \frac{(RPM_{\text{tengah steady state}}) - (RPM_{\text{setpoint}})}{(RPM_{\text{setpoint}}) - (RPM_{\text{mula-mula}})} \right| \times 100\%$$

$$= \left| \frac{1503,23 - 1500}{1500 - 1200} \right| \times 100\%$$

$$= 1,07\%$$

Ket:

- $e_{ss}$  : *Error Steady State*
- $RPM_{\text{tengah steady state}}$  : RPM rata-rata dari waktu ke-3 detik sampai dengan waktu ke-~ detik
- $RPM_{\text{mula-mula}}$  : RPM saat waktu pertama atau waktu ke-0 detik
- $RPM_{\text{setpoint}}$  : RPM yang diinginkan yaitu 1500 rpm

- 2. Pengujian untuk set rpm 1500 dengan suhu 23°C *Error Steady State* ( $e_{ss}$ )

Saat keadaan *steady state* terjadi osilasi dengan nilai rpm tengah *steady state* ( $rpm_{\text{tengah steady state}}$ ) 1504,06 rpm dengan rpm mula-mula ( $rpm_{\text{mula-mula}}$ ) adalah 1200 rpm, serta rpm *setpoint* ( $rpm_{\text{setpoint}}$ ) adalah 1500 rpm, sehingga *error steady state* nya adalah:

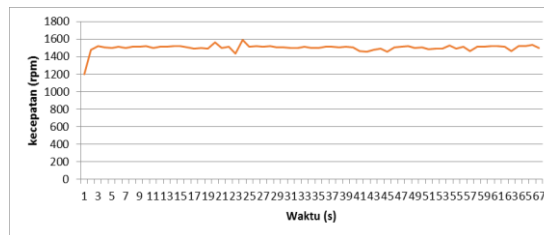
$$e_{ss} (\%) = \left| \frac{(RPM_{\text{tengah steady state}}) - (RPM_{\text{setpoint}})}{(RPM_{\text{setpoint}}) - (RPM_{\text{mula-mula}})} \right| \times 100\%$$

$$= \left| \frac{1504,06 - 1500}{1500 - 1200} \right| \times 100\%$$

$$= 1,35 \%$$

Ket:

- $e_{ss}$  : *Error Steady State*
- $RPM_{\text{tengah steady state}}$  : RPM rata-rata dari waktu ke-2 detik sampai dengan waktu ke-~ detik
- $RPM_{\text{mula-mula}}$  : RPM saat waktu pertama atau waktu ke-0 detik
- $RPM_{\text{setpoint}}$  : RPM yang diinginkan yaitu 1500 rpm



Gambar 16. Grafik Respon Output

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Desain dan implementasi Kontrol Logika *Fuzzy* sebagai pengendali durasi injeksi berdasarkan suhu udara masuk pada *intake manifold* menggunakan lima label MF untuk masukkan rpm dan *error* dan metode inferensi *Max-Min*, serta metode defuzzifikasi *Center Of Area* (COA) dapat mencapai nilai setpoint dengan suhu 27°C dengan *error steady state* sebesar 1,07% dan pada suhu 23°C dengan *error steady state* 1,35%.

B. Saran

Pada penelitian selanjutnya disarankan untuk pengembangan perhitungan dengan menambahkan gangguan berupa suhu udara pada *intake manifold* atau posisi bukaan *throttle* yang dibuka secara spontan. Dengan derajat posisi buka *throttle* secara spontan dapat menghasilkan udara masukan yang besar dan bisa mempengaruhi durasi penginjeksian dan proses KLF. Selain itu, perlu juga penggunaan kontroler lain selain KLF pada sistem pengaturan ini.

adalah data rate, jumlah stasiun dengan standar yang berbeda, dan fragmentasi paket. Performansi jaringan WLAN diamati berdasarkan parameter throughput, delay, dan data hilang (*data drop*). Ketiga parameter tersebut dapat ditingkatkan performansinya dengan cara meningkatkan data rate, mengurangi jumlah tipe stasiun 802.11b dalam satu jaringan 802.11g, dan pemakaian mekanisme fragmentasi frame.

REFERENSI

[1] Timu, Marselus Y., Suriansyah dan Farid, Akhmad. "Pengaruh Temperatur Udara Masuk Pada Karburator Terhadap Unjuk Kerja

- Mesin Sepeda Motor Honda GL MAX". Jurnal Mahasiswa Teknik Mesin Univ. Widyagama Malang.
- [2] AHM. *Buku Pedoman Reparasi Honda Supra X 125*. Jakarta: PT. Astra Honda Motor.
- [3] Muslim, Muhammad Aziz., Kurniawan, Dwi Fadila., Nusantoro, Goegoes Dwi. (2014). "Peningkatan Efisiensi Engine Melalui Penerapan Kecerdasan Buatan Pada *Engine Control Unit (ECU)*". Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi.
- [4] Ma'mun, Syukron. (2010) *Rancang Bangun Sistem Otomasi Lampu Dan Pendingin Ruangan*. Skripsi Fakultas Teknik Program Studi Teknik Elektro Univ. Indonesia Depok.
- [5] Hakim, M. Luqman., Santoso, Ari., Susila, Joko. (2011). *Perancangan Dan Implementasi Kontroller PID Untuk Pengaturan Waktu Injeksi Dan Waktu Pengapian Saat Kecepatan Stasioner Pada Spark Ignition Engine*. Proceeding Seminar Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro ITS, Surabaya.
- [6] Ogata, K. 1997. *Teknik Kontrol Otomatik*. Terjemahan : Edi Laksono Ir. Jakarta : Penerbit Erlangga.
- [7] Yan, J., Ryan, M., dan Power, J. 1992. *Using Fuzzy Logic*. New York : Pretience Hall.