

Desain dan Implementasi Kontroler Prediktif Logika *Fuzzy* untuk Pengaturan Injeksi Bahan Bakar *Ignition Engine*

Tri Wahyudi Puthut S¹⁾ Rusdhianto Effendie A.K. ²⁾

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111
email: ditto@elect-eng.its.ac.id

Abstrak—Perkembangan teknologi otomotif semakin pesat diantaranya terdapat Electrical Control Unit (ECU). ECU merupakan pusat kontrol mesin. ECU mendapat masukan/input dari sensor-sensor yang terdapat pada mesin kemudian mengolahnya dan memberi keluaran/output untuk waktu dan jumlah injeksi, saat proses pengapian. Pada paper ini akan membahas tentang desain kontrol prediktif Fuzzy yang diimplementasikan pada proses pengaturan injeksi. Pada proses pembakaran sempurna, perbandingan antara udara dengan konsumsi bahan bakar yaitu 14,7 : 1 atau dalam pembacaan sensor terukur 0.5V. Saat diimplementasikan ke plant, nilai lambda yang terukur berkisar antara 0.3 sampai 0.6 volt. Saat *starting* awal, respon dari kontrol ini terjadi *overshoot* karena injeksi yang diberikan berlebih.

Kata Kunci— ECU, Kontrol Prediktif Fuzzy, sensor lambda, pembakaran sempurna, waktu dan jumlah injeksi.

I. PENDAHULUAN

MESIN pembakaran busi merupakan salah satu jenis motor bakar yang paling efisien dan banyak digunakan pada sektor transportasi maupun penggunaan stasioner. Seiring dengan kemajuan teknologi khususnya di bidang otomotif, penelitian dan pengembangan terus dilakukan. Mulai dari pengembangan konstruksi mesin, *aerodinamis*, bahkan sampai pada bagian elektroniknya. Salah satu hasil pengembangan mesin pengapian busi ini adalah digunakannya sistem injeksi elektronik untuk mengatur banyak bahan bakar yang digunakan dan penggunaan *Engine Control Unit* (ECU) sebagai pengendali utamanya.

Secara umum, ada dua sistem penting yang mempengaruhi kinerja dan efisiensi mesin yaitu, sistem pengapian dan sistem injeksi bahan bakar. Sistem pengapian pada mesin pengapian busi dirancang untuk menentukan waktu pengapian atau waktu saat dipicunya proses pembakaran dalam silinder. Sistem injeksi bahan bakar merupakan sistem yang bertugas untuk mengatur banyak bahan bakar dan waktu penginjeksian yang digunakan oleh mesin.

Tujuan pengaturan sistem injeksi adalah untuk mengatur jumlah bensin yang harus masuk ke dalam silinder dengan cara mengatur waktu dan frekuensi penginjeksian bensin (*injection duration and frequency*). Bahan bakar diinjeksikan ke dalam mesin menggunakan injektor dengan waktu penginjeksian yang dikontrol secara elektronik. Injeksi bahan

bakar disesuaikan dengan jumlah udara yang masuk, sehingga campuran ideal antara bahan bakar dan udara akan terpenuhi sesuai dengan kondisi beban dan putaran mesin. Jumlah aliran/massa udara yang masuk ke dalam silinder melalui intake manifold diukur oleh sensor aliran udara (*air flow sensor*), kemudian informasikan ke ECU (*Engine Control Unit*). Selanjutnya ECU menentukan jumlah bahan bakar yang harus masuk ke dalam silinder mesin. Idealnya untuk setiap 14,7 gram udara masuk diinjeksikan 1 gram bahan bakar dan disesuaikan dengan kondisi panas mesin dan udara sekitar serta beban kendaraan. Jika perbandingan udara dan bahan bakar tidak ideal (tidak dikendalikan) menjadikan bensin boros pada campuran yang terlalu banyak bensin. Selain itu, pembakaran tidak sempurna, akibatnya emisi gas buang berlebihan dan tenaga tidak optimal karena energi kinetis yang dihasilkan pun tidak maksimal. Kerusakan mesin pada jangka pendek maupun jangka panjang lebih cepat terjadi[1].

Oleh sebab itu, perlu dirancang suatu sistem pengendali yang mampu menyesuaikan waktu dan frekuensi injeksi dengan kondisi kecepatan putar mesin[2]. Salah satu cara untuk menerapkannya adalah dengan menggunakan sistem elektronik yang mampu diprogram dan algoritma kontroler dapat ditanamkan ke dalam sistem tersebut, sehingga meningkatkan efisiensi penggunaan bahan bakar (*fuel efficiency*), kinerja mesin lebih maksimal (*optimal engine performance*), memperpanjang umur/*lifetime* dan daya tahan mesin (*durability*), serta emisi gas buang lebih rendah (*low emission*).

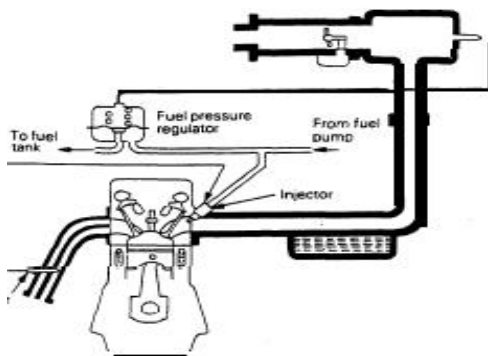
II. DASAR TEORI

A. Sistem Injeksi Bahan Bakar Elektronik (*Electronic Fuel Injection (EFI)*) [3]

Sistem injeksi bahan bakar pada mesin adalah sistem bagian utama dari mesin yang berfungsi untuk mengatur banyak bahan bakar yang digunakan untuk proses pembakaran di dalam ruang bakar. Sistem injeksi merupakan hasil pengembangan dari sistem sebelumnya yaitu, sistem karburator. Pada sistem ini bahan bakar diubah menjadi bentuk kabut oleh *nozzle* injektor, agar mudah menyebar ke seluruh ruang bakar dan mempermudah proses pembakaran.

Bahan bakar dari tangki harus dipompa agar bisa mengalir ke injektor dan memiliki tekanan yang cukup untuk menyemprotkan bahan bakar. Pada pipa saluran bahan bakar sebelum masuk ke injektor terdapat komponen yang mengatur besar tekanan bahan bakar, yaitu yang disebut dengan *Fuel*

Pressure Regulator. Deskripsi dari komponen-komponen dalam sistem injeksi disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Komponen dalam Sistem Injeksi Bahan Bakar

Jumlah bahan bakar yang disemprotkan oleh injektor tergantung pada durasi injektor tersebut diaktifkan. Ketika injektor diaktifkan, solenoid yang ada di dalam injektor akan menarik katup injektor, sehingga bahan bakar bertekanan akan mengalir melalui celah sempit pada ujung injektor.

Injektor mampu bekerja sebagai penyemprot bahan bakar karena didalamnya terdapat solenoid yang memiliki armature yang dapat bergerak naik turun jika ada tegangan yang diberikan. Gerakan *armature* ini mengakibatkan katup jarum dari injektor *needle valve* membuka dan menutup, sehingga jika ada bahan bakar bertekanan didalamnya bisa tersemprotkan.

B. Komposisi Campuran Bahan Bakar dan Udara

Pada kondisi beroperasi, *spark-ignition engine* membutuhkan campuran antara bahan bakar dan udara yang direpresentasikan dengan rasio perbandingan jumlah bahan bakar dengan udara yang tercampur (*Air to Fuel Ratio/ AFR*). Perbandingan ideal dari udara dan bahan bakar untuk satu kali proses pembakaran adalah 14,7:1 yang berarti bahan bakar sebanyak 1 g berbanding dengan udara sebanyak 14,7 g dan disebut sebagai AFR stokiometrik.

Nilai AFR yang ideal menggambarkan titik keseimbangan terbaik antara daya mesin dengan bahan bakar yang dikeluarkan. Nilai AFR yang lebih besar dari 14,7 : 1 disebut campuran miskin, yang berarti udara lebih banyak daripada kondisi ideal, sehingga daya mesin berkurang dan bahan bakar lebih irit. Nilai AFR yang lebih kecil dari 14,7 : 1 disebut campuran kaya, yang berarti bahan bakar lebih banyak dikeluarkan, namun daya mesin meningkat. AFR kondisi aktual yang terjadi di ruang pembakaran dibagi dengan AFR stokiometrik diperoleh harga AFR relatif yang disebut *Lambda* (λ).

Faktor *lambda* tersebut akan dikonversi ke dalam satuan tegangan seperti yang ditunjukkan tabel 1

Tabel 1 Konversi faktor *lambda* terhadap tegangan

Lambda Factor	Lambda output voltage at 600°C	Exhaust CO	Engine output torque	Observations
0.8	0.95V	7.0%	98.9%	Max power = lambda 0.86
0.85	0.92V	5.2%	99.9%	
0.9	0.88V	3.7%	99.5%	
0.95	0.8V	2.3%	98.7%	
1.00	0.2V	0.9%	96.6%	
1.05	0.08V	0.28%	93.2%	Best fuel economy
1.1	0.068V	0.25%	89.0%	
1.15	0.058V	0.24%	82.0%	
1.2	0.05V	0.24%	74.0%	
1.25+	The mixture will not ignite... Misfiring..			
These numbers are for reference and, will have small deviations, depending on different lambda sensors and engine operating conditions				

C. Plant Mesin [4]

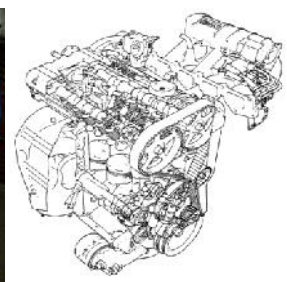
Mesin Mitsubishi 4G63 merupakan salah satu jenis mesin pengapian busi 4 langkah yang sudah memiliki teknologi kontrol elektronik. Berikut adalah spesifikasi dari mesin Mitsubishi 4G63:

Volume silinder	: 1997 cc
Jumlah silinder	: 4 buah
Camshaft	: DOHC (Double Overhead Camshaft) 16 Valve
Sistem Injeksi	: ECI multi
Sistem Pengapian	: DLI (Distributorless Ignition)

Pada Gambar 2. dapat dilihat wujud dari mesin Mitsubishi 4G63. Mesin ini diproduksi pada tahun 1991 dan digunakan pada mobil Mitsubishi Eterna.



(i)



(ii)

Gambar 2. (i) *Plant* Mesin Mitsubishi 4G63; (ii) Tampilan bagian dalam Mesin Mitsubishi 4G63

D. Engine Control Unit (ECU)

Engine Control Unit (ECU) merupakan elemen kontrol elektronik utama pada mesin pengapian busi. Penentuan banyak bahan bakar yang digunakan, waktu pengapian dan parameter-parameter lain yang mempengaruhi kinerja mesin dilakukan pada elemen ini, sehingga tanpa adanya aksi dari ECU mesin tidak akan mampu beroperasi seperti sebagaimana mestinya. Masukan dari sensor-sensor yang terdapat pada mesin diolah dan dikalkulasi di dalam ECU, sehingga mampu memberikan aksi kontrol langsung pada aktuator. Pengolahan sinyal masukan hingga memberikan nilai keluaran dilakukan dengan algoritma tertentu yang ditanamkan pada mikrokontroler.

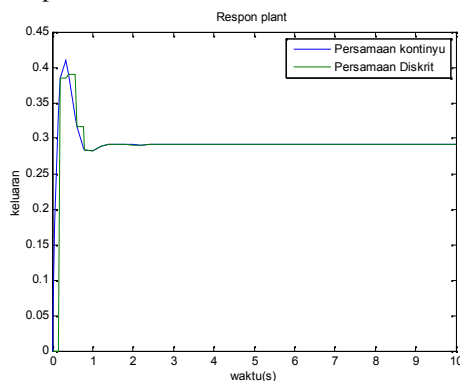
III. PERANCANGAN SISTEM KONTROL

A. Identifikasi Sistem

Identifikasi sistem dilakukan saat kondisi mesin pada kondisi *idle* dengan mengubah variasi sinyal masukan. Pada percobaan ini, terdapat tiga variasi sinyal masukan yaitu lebar pulsa injeksi, titik mati pengapian, dan bukaan stepper. Sistem dikondisikan menjadi sistem loop terbuka dan tanpa ada kontroler yang digunakan. Langkah percobaannya yaitu dengan membuat konstan dua variasi sinyal masukan dan merubah salah satu sinyal masukan. Respon keluaran dari sistem selanjutnya direkam datanya dan digunakan sebagai acuan untuk melakukan pemodelan sistem. Identifikasi sistem yang dilakukan untuk mencari parameter-parameter *plant engine* dilakukan sebanyak sepuluh kali pengambilan data.

B. Pemodelan Sistem

Dari data hasil identifikasi antara masukan dan keluaran menghasilkan model plant dalam bentuk diskrit. Bentuk model yang diperoleh kemudian diubah kedalam bentuk kontinyu. Berikut merupakan salah satu respon plant yang telah di plot.



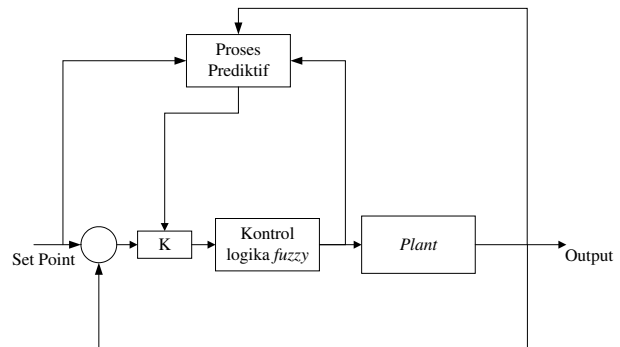
Gambar3. Perbandingan Respon Persamaan Diskrit dan Kontinyu

C. Perancangan Kontroler

Terdapat dua hal dalam merancang kontroler prediktif logika *fuzzy*. Yaitu merancang model prediktif kontroler dan kontrol logika *fuzzy*.

1) Perancangan Kontrol Prediktif [5]

Perancangan kontrol prediktif pada tugas akhir ini bertujuan untuk memprediksi aksi dari sinyal kontrol untuk aksi selanjutnya. Perancangan kontroler prediktif akan ditunjukkan seperti diagram blok pada Gambar4 seperti berikut:



Gambar4. Diagram blok kontrol prediktif logika *fuzzy*

Pada proses prediktif pada diagram blok di atas, transfer function yang diperoleh dari pemodelan sistem akan dirubah ke dalam bentuk diskrit.

Pada proses prediktif, terdapat model referensi Y_{ref} yang merupakan keluaran yang diharapkan. Maka terdapat selisih $E(k)$ atau *error* model antara keluaran referensi Y_{ref} dan keluaran model diskrit dari plant $Y(k)$.

$$E(k) = Y_{ref} - Y(k) \quad (1)$$

$$Em(k) = E(k) \quad (2)$$

karena respon yang diharapkan orde 1 maka

$$Ym(s) = \frac{1}{\tau s + 1} x Y_{ref}(s) \quad (3)$$

$$Em(s) = Y_{ref}(s) - Ym(s) \quad (4)$$

$$Em(s) = (1 - \frac{1}{\tau s + 1}) x Y_{ref} \quad (5)$$

$$Em(s) = \frac{\tau s}{\tau s + 1} x Y_{ref}(s) \quad (6)$$

$$\tau \frac{d}{dt} Em(s) + Em(s) = \tau \frac{d}{dt} Y_{ref}(s) \quad (7)$$

karena $Y_{ref} = \text{konstan}$, maka $\frac{d}{dt} Y_{ref} = 0$

maka;

$$\frac{\tau Em(k+1) - Em(k)}{\Delta t} + Em(k) = 0 \quad (8)$$

$$\frac{\tau Em(k+1) - Em(k)}{\Delta t} = -Em(k) \quad (9)$$

$$Em(k+1) = -\frac{\Delta t}{\tau} Em(k) + Em(k) \quad (10)$$

$$Em(k+1) = (1 - \frac{\Delta t}{\tau}) Em(k) \quad (11)$$

untuk mencari selisih error yang diprediksi menggunakan rumus

$$E(k+1) = Y_{ref}(k) - Y(k+1) \quad (12)$$

jika $E(k+1) < Em(k+1)$ maka $K1 = K1 + \Delta K1$

dan jika $E(k+1) > Em(k+1)$ maka $K1 = K1 - \Delta K1$

Nilai K ini yang akan menjadi faktor pengali untuk logika fuzzy yang dipakai.

2) Perancangan Kontroler Logika Fuzzy

Prinsip perancangan fuzzy Look Up Table sebenarnya hampir sama dengan fuzzy biasa (statik). Bahkan penurunan aturan kontrol dari fuzzy Look Up Table berdasarkan atas tahap-tahap penurunan fuzzy.

Keunggulan kontroler fuzzy Look Up Table dari kontroler fuzzy adalah sinyal kontrol yang dihasilkan lebih cepat, karena sinyal kontrol telah tersedia dalam bentuk tabel, tanpa harus menjalankan proses fuzzy dalam beroperasi. Adanya alasan tersebut maka kontroler fuzzy Look Up Table lebih sederhana dan lebih mudah diimplementasikan pada sebuah minimum sistem (mikrokontroler). Ada beberapa langkah dalam merancang suatu kontroler fuzzy Look Up Table, yaitu sebagai berikut:

Langkah pertama dalam merancang kontroler fuzzy berbasis lookup table adalah menentukan variabel masukan dan variabel keluaran. Variabel masukan yang digunakan dalam perancangan ini berupa tegangan lambda dan tegangan MAP, sedangkan untuk variabel keluaran berupa lebar pulsa injeksi bahan bakar.

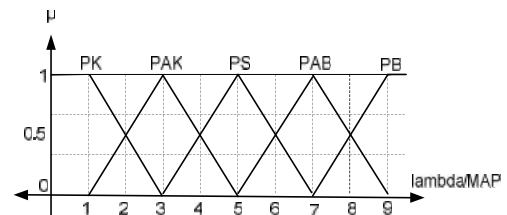
Langkah kedua adalah Menentukan fungsi keanggotaan bagi masukan dan keluaran, pada perancangan ini digunakan fungsi keanggotaan segitiga dengan 5 variabel linguistik yaitu : PK (Positif Kecil), PAK (Positif Agak Kecil), PS (Positif Sedang), PAB (Positif Agak Besar), PB (Positif Besar).

Langkah ketiga adalah menentukan level berdasarkan range variasi masukan, semakin banyak level maka semakin peka kontroler terhadap perubahan masukan. Tabel 2. Merupakan level lambda dan MAP dalam diskrit menggunakan 7 level.

Tabel 2. Tabel Kuantisasi Masukan Kontroler

Tingkat Kuantisasi	Variasi Input Lambda (A_n)	Variasi Input MAP (B_n)
1	$A_n < 0.1$	$X_n \leq 1.5$
2	$0.1 \leq A_n < 0.2$	$1.5 < X_n \leq 2$
3	$0.2 \leq A_n < 0.3$	$2 < X_n \leq 2.5$
4	$0.3 \leq A_n < 0.4$	$2.5 < X_n \leq 3$
5	$0.4 \leq A_n < 0.5$	$3 < X_n \leq 3.5$
6	$0.5 \leq A_n < 0.6$	$3.5 < X_n \leq 4$
7	$0.6 \leq A_n < 0.7$	$4 < X_n \leq 4.5$
8	$0.7 \leq A_n < 0.8$	$4.5 < X_n \leq 5$
9	$0.8 \leq A_n$	$5 < X_n$

Langkah keempat adalah memperbarui kurva fungsi keanggotaan terhadap masukan kecepatan dan MAP berdasarkan level pada Tabel 2. Gambar 5. merupakan fungsi keanggotaan kecepatan dan MAP dengan 5 variabel linguistik terhadap level yang ditentukan.



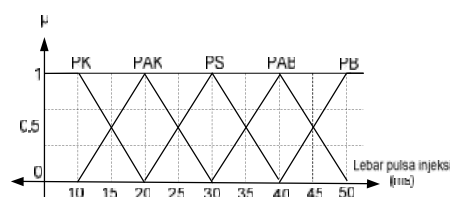
Gambar 5. Fungsi Keanggotaan Lambda dan MAP dengan 5 Variabel Linguistik

Langkah kelima adalah menentukan derajat keanggotaan dari variabel linguistik berdasarkan level pada tabel 2. Berdasarkan fungsi keanggotaan tipe segitiga dan trapezium pada Gambar 5, dapat ditentukan derajat keanggotaan dari masing-masing variabel masukan. Tabel 3 merupakan derajat keanggotaan dari variabel masukan lambda dan MAP setelah dikuantisasi.

Tabel 3. Derajat Keanggotaan Variabel Masukan Kecepatan/MAP Setelah dilevelkan

L	PK	PAK	PS	PAB	PB
1	1	0	0	0	0
2	0.5	0.5	0	0	0
3	0	1	0	0	0
4	0	0.5	0.5	0	0
5	0	0	1	0	0
6	0	0	0.5	0.5	0
7	0	0	0	1	0
8	0	0	0	0.5	0.5
9	0	0	0	0	1

Langkah keenam adalah menentukan fungsi keanggotaan untuk variabel keluaran. Variabel keluaran pada tugas akhir ini adalah lebar pulsa injeksi bahan bakar dalam ms. Gambar 6. merupakan fungsi keanggotaan lebar pulsa injeksi bahan bakar.



Gambar 6. Fungsi Keanggotaan Variabel Keluaran Berupa Lebar Pulsa Injeksi

Langkah ketujuh adalah membuat aturan dasar fuzzy yang digunakan untuk menentukan sinyal kontrol berupa lebar pulsa injeksi bahan bakar seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.3.

Tabel 4. Aturan Dasar *Fuzzy* [6]

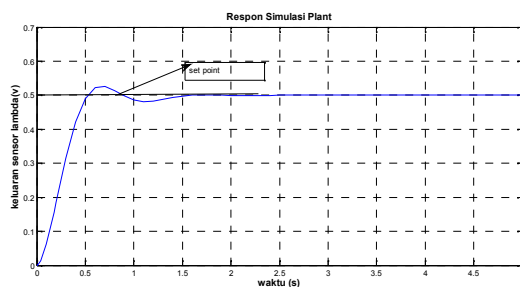
Teg Lambda Teg.MAP	PK	PAK	PS	PAB	PB
PK	PK	PK	PK	PAK	PS
PAK	PK	PAK	PAK	PS	PAB
PS	PK	PAK	PS	PAB	PB
PAB	PAK	PS	PAB	PAB	PB
PB	PS	PAB	PB	PB	PB

Langkah kedelapan adalah menentukan nilai keluaran berupa lebar pulsa injeksi bahan bakar dari proses *defuzzifikasi*. Proses *defuzzifikasi* pada tugas akhir ini menggunakan metode *center of area* (COA). Proses *defuzzifikasi* ini berdasarkan dari sinyal masukan berupa MAP dan lambda dalam bentuk level 1,2,3,..9.

IV. SIMULASI DAN IMPLEMENTASI

A. Hasil Simulasi

Simulasi sistem dilakukan dengan menggunakan model *engine* yang merepresentasikan *plant* nyata. Keluaran sensor lambda plant tersebut diatur dengan menggunakan kontroler prediktif fuzzy. Berikut pada Gambar 7. yang merupakan respon dari simulasi engine menggunakan kontroler prediktif logika *fuzzy*.

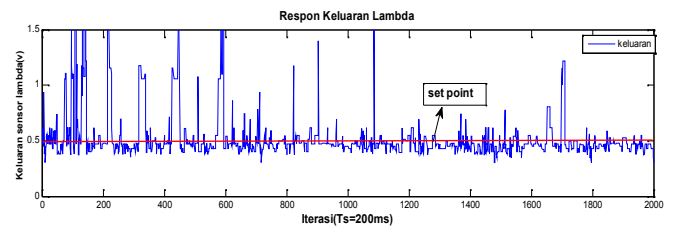


Gambar 7. Keluaran Hasil Simulasi

Pada simulasi tersebut masih terjadi overshoot di awal respon, namun tidak sebesar seperti plant tanpa kontroler. Hal ini disebabkan kontroler prediktif akan mereferensi keluaran dari *plant* seperti pada model referensi yang diinginkan. Respon kembali pada keadaan *steady state* pada detik ke 1.5s.

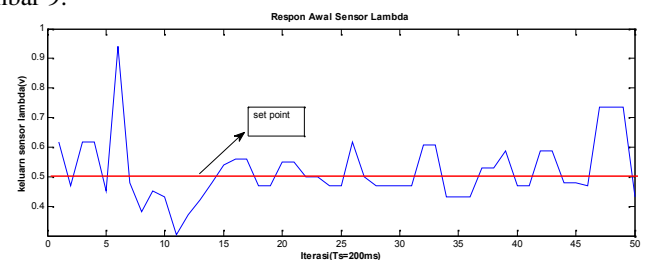
B. Hasil Implementasi

Implementasi dilakukan dengan gangguan dari bukaan motor stepper yang diputar secara manual. Pada pengujian ditampilkan respon dari sensor keluaran lambda. Berikut merupakan keluaran dari repon sensor lambda yang ditunjukkan Gambar 8.



Gambar 8. Respon Keluaran Sensor lambda

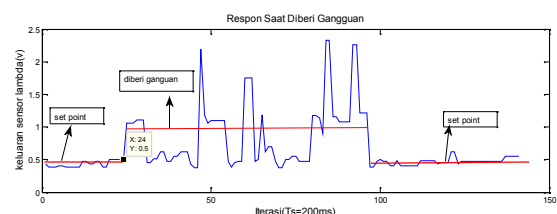
Pada gambar respons tersebut sering terjadi fluktuasi sehingga menyebabkan getaran pada mekanik. Keluaran dari sensor lambda dengan kontroler prediktif logika fuzzy pada penelitian berkisar rata - rata antara 0.3V sampai 0.6 volt. Respon awal saat plant pertama kali dihidupkan seperti Gambar 9.



Gambar 9. Respon Awal

Pada starting awal terjadi overshoot dan osilasi pada respon awal, hal ini seperti pada simulasi kontroler. Respon keluaran lambda berkisar antara 0.3 sampai 0.6 volt pada 3s.

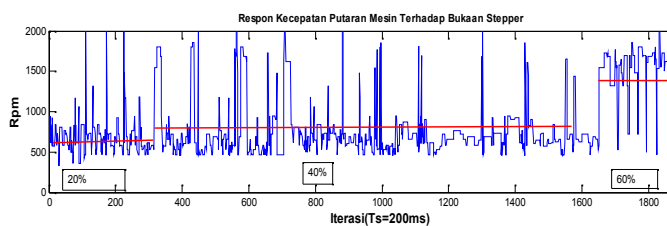
Pada saat diberi gangguan berupa perubahan nilai prosentase bukaan stepper menyebabkan nilai keluaran dari sensor berubah. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Respon Saat Diberi Gangguan

Saat diberi gangguan, keluaran dari sensor lambda cenderung berubah menjadi lebih besar karena jumlah dan durasi injeksi yang disemprotkan akan semakin banyak pula. Namun dengan adanya kontroler prediktif logika *fuzzy* akan merespon keluaran dari sensor lambda kemudian kontroler akan mempertahankan keluaran sensor lambda pada tegangan 0.5 volt. Dari kondisi terkena gangguan dan kembali ke posisi *steady state* diperlukan waktu 15s.

Akibat dari perubahan bukaan stepper, juga akan menyebabkan perubahan kecepatan putaran pada mesin. Pada Gambar 11. akan diperlihatkan perubahan kecepatan yang disebabkan oleh perubahan bukaan stepper.



Gambar 11. Respon Kecepatan Terhadap Bukaannya Stepper

V. KESIMPULAN DAN PENUTUP

Pengaturan injeksi menggunakan kontroler prediktif logika fuzzy menghasilkan keluaran dari sensor lambda diantara 0.3-0.6 volt. Pada saat starting awal mesin, respon dari plant mengalami overshoot dan osilasi, namun akan kembali ke kondisi mendekati steady pada detik ke 3s. Saat diberi gangguan, sistem dapat kembali ke kondisi *steady state* pada detik ke 15s. Respon ini lebih lama dibandingkan hasil simulasi yang kembali pada kondisi *steady state* pada detik ke 2s.

Perubahan bukaan stepper pada menyebabkan perubahan kecepatan pada putaran mesin. Saat bukaan stepper 20 %, kondisi mesin pada kondisi *idle speed* atau tanpa beban. Namun saat diperbesar bukaan stepper sampai 60%, putaran mesin bisa mencapai 1600 rpm.

Dari penelitian ini masih banyak terdapat kekurangan, karena faktor yang diutamakan pada penelitian ini yaitu output dari tegangan lambda. Oleh sebab itu diperlukan suatu sistem yang lebih kompleks sehingga dapat mengatur keluaran lambda yang stabil, selain itu kecepatan putar mesin juga terpenuhi. Selain itu performansi mesin juga dipengaruhi oleh waktu pengapian yang bisa menyesuaikan dengan kecepatan putar mesin dan dapat memprediksi kapan waktu yang tepat silinder diledakkan sehingga terjadi pembakaran yang sempurna.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis sampaikan terimakasih kepada Bapak dosen pembimbing, Bapak Rusdhianto Effendie, serta teman-teman bengkel yang senantiasa bersama-sama mengerjakan Tugas Akhir.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Zhai. Yu-Jia, Yu. Ding-Li, *Neural Network Model-Based Automotive Engine Air/Fuel Ratio Control And Robustness Evaluation*, Elsevier Engineering Applications of Artificial Intelligence, (2008).
- [2] S.H.Lee, R.J.Howlett, and S.D.Walters, *Engine Fuel Injection Control Using Fuzzy Logic*, In: *Intelligent Systems & Signal Processing Laboratories*, Engineering Research Centre, University of Brighton, Moulsecoomb, Brighton, (2004).
- [3] Toyota Motor Sales *Instruction Modules(Electrical, Engine Performance 1&2)*, Toyota Motor Sales USA. Inc.
- [4] Chrysler Corp, *Laser/Talon Technical Information Manual*. 1990.
- [5] Xianhua, Jiang Yuichi, Motai Xingquan Zhu, “*Predictive Fuzzy Logic Controller For Trajectory Tracking Of A Mobile Robot*”, Department of Computer Science University of Vermont, (2005).
- [6] Santoso, Ari dkk. *Experimen Awal: Pengaruh Membership Function Untuk Fuzzy Logic Control Terhadap Sudut Pengapian pada Sistem Pembakaran SIE (Spark Ignition Engine)*.