

KONTROL FUZI PADA WAKTU PENGAPIAN MOTOR OTTO (Fuzzy Logic Control for Spark Advance of Otto Engine)

Agus Sujono¹

Abstract: *The problem of detonation (knocking) in the internal combustion engines, especially in the Otto (petrol) engine, that makes some damages, low fuel economy and performance. The detonation can be caused by many things, such as: high compression ratio, low grade fuel, bad combustion chamber, low turbulence, large spark advance (timing). Governor and vacuum control Spark timing in the conventional ignition system. It is a reliable mechanism, cannot work properly at all conditions. Most of them make detonation occur at low speed and low endurance of the contact breaker. The last technology, electronic device with detonation sensor, replaces the conventional system.*

The fuzzy logic control can control the detonation by making correction of the spark advance (ignition timing) automatically in all conditions of speed and load (throttle). This control is an integration of conventional and electronic systems of microcontroller.

Key word: *fuzzy, logic, control, combustion, engine, Otto, ignition, spark, detonation.*

1. Pendahuluan

Motor bakar yang dikembangkan berdasarkan siklus Otto, 1876, dengan pembakaran didalam dan bahan bakar petroleum / premium / bensin serta menggunakan sistem pengapian dengan busi adalah merupakan jenis motor bakar yang paling banyak digunakan, namun efisiensi bahan bakar dan daya yang dihasilkan dengan peralatan yang kecil dan murah, masih terus dikembangkan. Daya motor dan efisiensi bahan bakar sangat dipengaruhi oleh kesempurnaan pembakaran, yang mana dipengaruhi oleh tekanan dan suhu. Sebab tekanan dan suhu yang semakin tinggi akan memberikan efisiensi daya yang tinggi pula.

Namun terdapat masalah yang cukup berat yaitu terjadinya detonasi (*knocking, ngiklik*) yang mengakibatkan mesin cepat rusak dan boros bahan bakar daya berkurang. Upaya menghilangkan detonasi ditempuh dengan berbagai cara, a.l.: menurunkan angka kompresi, mengganti bahan bakar yang lebih baik, menyempurnakan sistem karburasi, menyempurnakan ruang bakar dan mengatur waktu pengapian yang tepat. Hal yang terakhir ini merupakan upaya yang efektif untuk mengatasi detonasi.

Waktu pengapian yang tepat adalah yang sesuai dengan kondisi dan situasi saat operasinya, yaitu sesuai dengan putaran mesin, kualitas bahan bakar (nilai oktan), temperatur / suhu ruang bakar, tekanan dalam ruang bakar, besarnya perbandingan bahan bakar udara dalam ruang bakar. Gabungan faktor-faktor tersebut diperlukan pengaturan pengapian yang non-linier, yang sekarang ini dilakukan oleh peralatan mekanis dan tidak mampu melakukannya dengan baik.

Dengan latar belakang tersebut diatas, maka kali ini telah diteliti masalah pengaturan menggunakan logika fuzzy (kabur) untuk mengatur waktu pengapian pada motor bakar dengan bahan bakar bensin, yang dilaksanakan dengan peralatan elektronik dan dilengkapi dengan mikroprosesor.

2. Tinjauan teori

a. Fenomena Detonasi

Peristiwa terjadinya detonasi memberikan suatu fenomena (*phenomena*) yang cukup rumit dan sampai sekarang belum dapat diterangkan secara tuntas, namun dapat diterangkan berdasarkan tiga teori, yaitu: teori penyalaan sendiri (*auto-ignition*), teori

¹ Staf pengajar pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret

detonasi / ledakan (*detonation*) dan teori getaran nyala (*flame vibration*) (Ganti,1987).

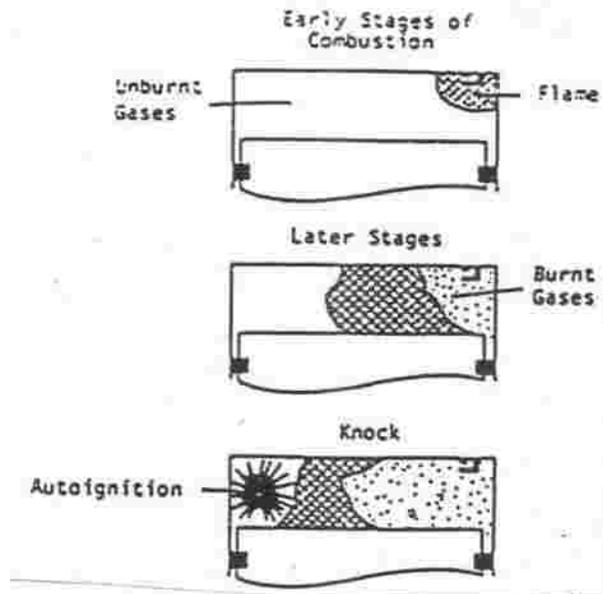
Teori penyalan dari suatu pembakaran campuran bahan bakar-udara, menyatakan bila campuran bahan bakar-udara telah mencapai kondisi suhu dan tekanan tertentu akan menyala, terbakar dengan sendirinya. Didalam peristiwa detonasi, seperti diutarakan oleh Ricardo (Ganti,1987), penyalan sendiri akan terjadi pada campuran bahan bakar-udara yang belum sempat terbakar didalam ruang bakar.

Pada peristiwa pembakaran normal terjadi bila semua bahan bakar akan terbakar hanya oleh karena rambatan nyala / api yang diawali oleh percikan api dari busi. Pada kondisi pembakaran tidak normal, bahan bakar terbakar tidak hanya oleh api dari busi, melainkan dapat terbakar dengan sendirinya tatkala suhu dan tekanan telah mencapai ambang kritis. Dengan demikian embrio api pembakar dapat terjadi tidak hanya dilokasi busi berada, namun disembarang tempat dan kapan saja, tidak menunggu rambatan api dari busi. Hal ini terjadi karena kecepatan rambatan nyala / api rendah, sedangkan kondisi campuran bahan bakar-udara yang belum terbakar telah mencapai kondisi kritis.

Teori detonasi diutarakan oleh Maxwell dan Wheeler (Ganti,1987), menyatakan bahwa : ledakan / detonasi didalam ruang bakar menyebabkan gelombang tekanan didalam gas yang sudah terbakar dan yang sedang terbakar, diikuti oleh gelombang kejut dari getaran nyala api yang membentur dinding ruang bakar. Menurut Midgley, juga Sokolik dan Voinov (Soelaiman,1992), kecepatan rambat nyala / api sekitar 10 sampai 20 m/detik pada saat pembakaran normal, sedang saat terjadi detonasi kecepatan ini mencapai sekitar 2200 m/detik. Detonasi ini akan menimbulkan gelombang tekanan dengan frekuensi 5 sampai 10 kHz (Heywood, 1988).

Teori getaran nyala / api diutarakan oleh Morgan (Ganti, 1987), yang menyatakan bahwa kecepatan rambat nyala api ada hubungannya dengan sifat frekuensi natural dari campuran gas dalam ruang bakar, yang

menghasilkan getaran tertentu, yang dipengaruhi oleh frekuensi natural ruang bakar, sehingga menimbulkan suara klik-klik.



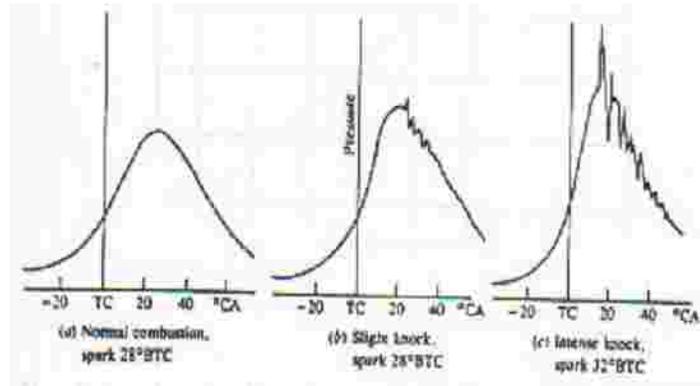
Gambar 1. Proses terjadinya detonasi (Ramos, 1989)

b. Pengaruh Waktu Pengapian

Pengaturan waktu pengapian yang tepat akan dapat mengatasi terjadinya detonasi dan dapat menghasilkan daya dan torsi yang optimal. Sehingga kontrol waktu pengapian dapat digunakan untuk kendali torsi dan daya yang dihasilkan mesin (John J. Moskwa, 1988, Robert Todd Chang, 1988, Dale Hariringan, 1988). Gambar berikut memaparkan pengaruh waktu pengapian terhadap prestasi mesin.(gambar 2)

c. Sistem pengapian

Sistem pengapian yang biasa digunakan adalah : sistem konvensional, sistem elektronik dan sistem dengan kondensor (CDI). Sistem pengapian konvensional adalah yang paling banyak digunakan dan merupakan teknologi yang paling tua dan handal, berprestasi baik pada putaran rendah, namun memberi pengaturan kurang optimal. Sistem elektronik akan meningkatkan umur sistem konvensional. Sistem CDI akan meningkatkan arus pengapian terutama pada putaran tinggi.



Gambar 2. Pengaruh waktu pengapian terhadap detonasi (Heywood, 8

Gambar sistem tersebut seperti dibawah ini (gambar 3).

d. Kontrol Waktu Pengapian

Dalam sistem konvensional pengendalian waktu pengapian dilakukan dengan mekanisme vakum dari manipol dan governor pada platina, sehingga dengan pengaturan ini waktu pengapian dapat disesuaikan dengan kondisi operasi. Bila kecepatan putar mesin rendah akan memberikan sudut pengapian yang kecil, dan pada putaran besar sudut pengapiannya juga besar. Gambar sistem tersebut seperti berikut (gambar 4)

e. Kontrol Waktu Pengapian Sistem Logika Fuzi

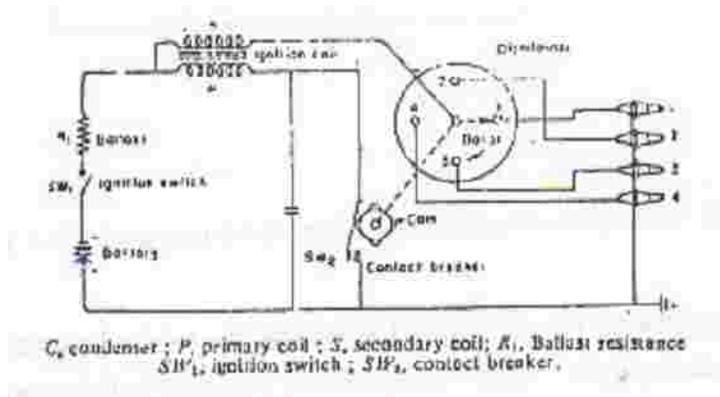
Sistem kontrol waktu pengapian yang

sistem kontrol menggunakan kombinasi / gabungan antara sistem konvensional dan elektronis, gambar sebagai berikut : (gambar 5)

Kalkulasi koreksi atas waktu pengapian dilakukan oleh kontroler mikro, dengan menggunakan program berdasar logika fuzi (logika kabur), untuk berbagai kondisi dari putaran dan beban mesin atau berupa besarnya katup karburator terbuka. Gambar urutan kerja dari peralatan ini sebagai berikut (gambar 6)

f. Struktur Kontrol Logika Fuzi

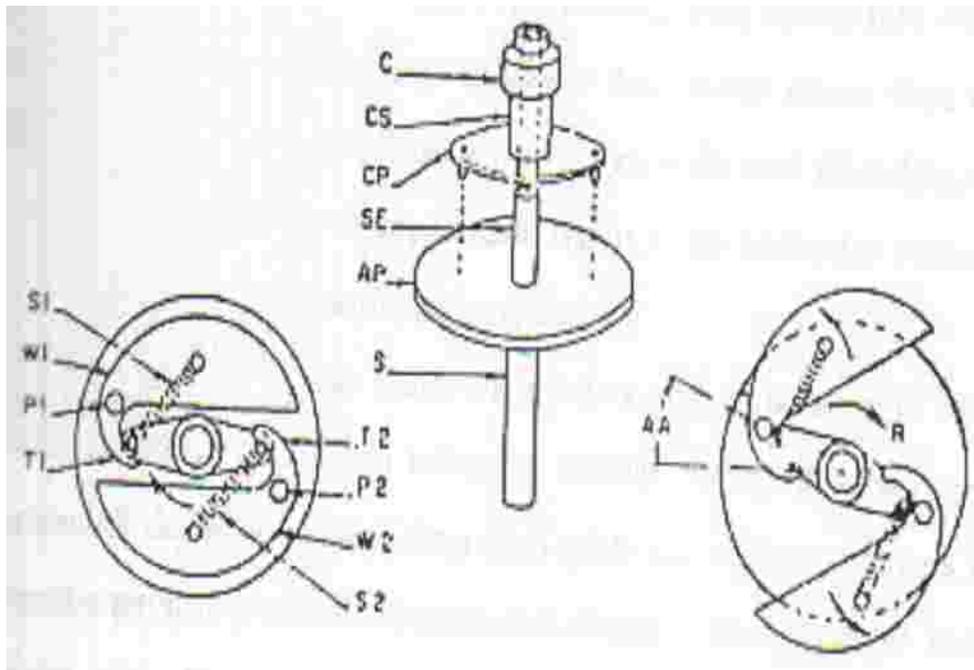
Mekanisme kontrol ini bertitik tolak dari kenyataan dan pengetahuan riil yang ada untuk membuat pengendalian yang dikehendaki. Analisa sistem digunakan sebagai pendekatan awal dengan berbagai asumsi untuk



Gambar 3. Sistem pengapian konvensional (Mathur dan

dikembangkan dalam penelitian kali ini, dibuat berdasar karakteristik mesin yang optimal, dan

mempermudah analisa. Namun karena realita yang ada adalah kompleks dan tidak linier, yang



Gambar 4. Sistem kontrol waktu pengapian konvensional (Mathur dan Sharma, 1980)

dalam sistem analisisnya sangat sukar, dengan logika fuzzy hal ini dapat diatasi. Mekanisme pengendalian dengan logika fuzzy adalah sebagai berikut : (gambar 7)

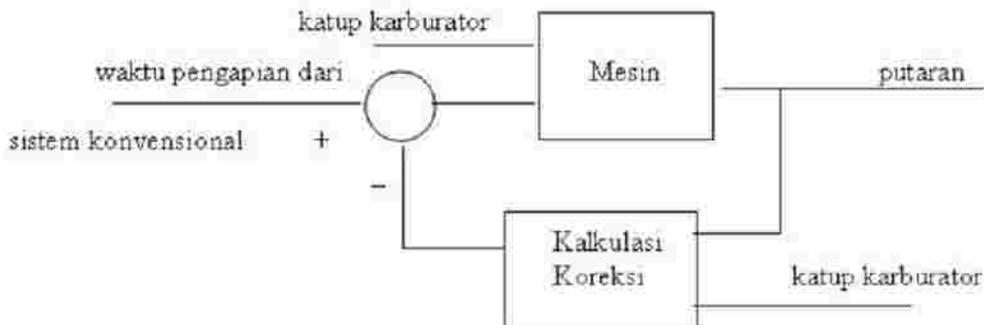
Konstruksi basis aturan adalah kumpulan dari aturan dasar kontrol fuzzy / kabur dan kebijakan dari pakarnya. Untuk sistem MISO, aturan kontrol fuzzy / kabur diberikan sebagai berikut :

Aturan 1 : IF x_1 adalah A_{11} AND ... AND x_m adalah A_{1m} THEN y adalah B_1
 Aturan 2 : IF x_1 adalah A_{21} AND ... AND x_m adalah A_{2m} THEN y adalah B_2

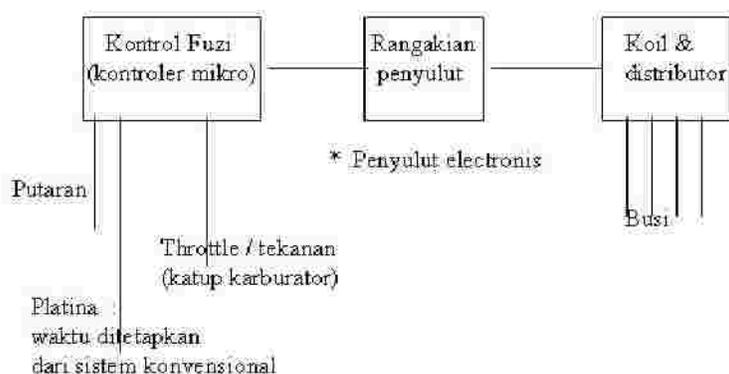
Aturan n : IF x_1 adalah A_{n1} AND ... AND x_m adalah A_{nm} THEN y adalah B_n

dimana :

- x_j adalah variabel input dari sistem, seperti error, derivatif error dsb.
- A_{ij} adalah himpunan fuzzy x_j , seperti PB, PM, PS, ZE, NS dsb.
- y adalah variabel output sistem, seperti arus pada motor DC dsb.
- B_i adalah himpunan fuzzy dari y , seperti PB,PS,NS dsb.



Gambar 5. Sistem kontrol kombinasi dengan logika fuzzy



Gambar 6. Rangkaian kerja sistem pengapian sistem fuzi

AND adalah operator fuzi.

$$I = 1,2, \dots, n ; j = 1,2, \dots, m$$

Teknik Penalaran yang banyak digunakan dalam industri FLC sekarang adalah :

metoda MAX - MIN dan MAX - DOT , sbb. :

Aturan 1: IF x adl. A_1 AND y adl. B_1 THEN z adl. C_1 sebagai premis 1

Aturan 2: IF x adl. A_2 AND y adl. B_2 THEN z adl. C_2 sebagai premis 2

Input adalah x_0 dan y_0 .

$$\alpha_1 = \mu_{A_1}(x_0) \wedge \mu_{B_1}(y_0)$$

$$\alpha_2 = \mu_{A_2}(x_0) \wedge \mu_{B_2}(y_0)$$

Penalaran fuzi MAX - MIN :

$$\mu_c(w) = (\alpha_1 \wedge \mu_{C_1}(w)) \vee (\alpha_2 \wedge \mu_{C_2}(w))$$

Penalaran fuzi MAX - DOT :

$$\mu_c(w) = (\alpha_1 * \mu_{C_1}(w)) \vee (\alpha_2 * \mu_{C_2}(w))$$

Bila aturan dasar :

Premis 1 : Bila x adalah A dan y adalah B, maka z adalah C

Premis 2 : x adalah A' dan y adalah B'

Kesimpulan : z adalah C'

dimana C' merupakan komposisi dari relasi fuzi dari A,B,C.

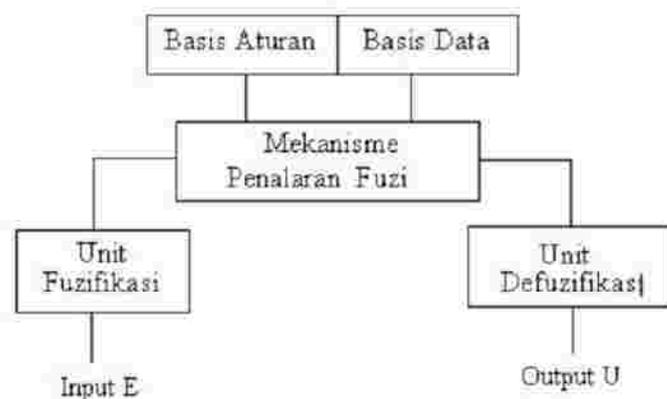
atau dapat ditulis sbagai berikut :

Premis 1 : $R(A \times B ; C)$

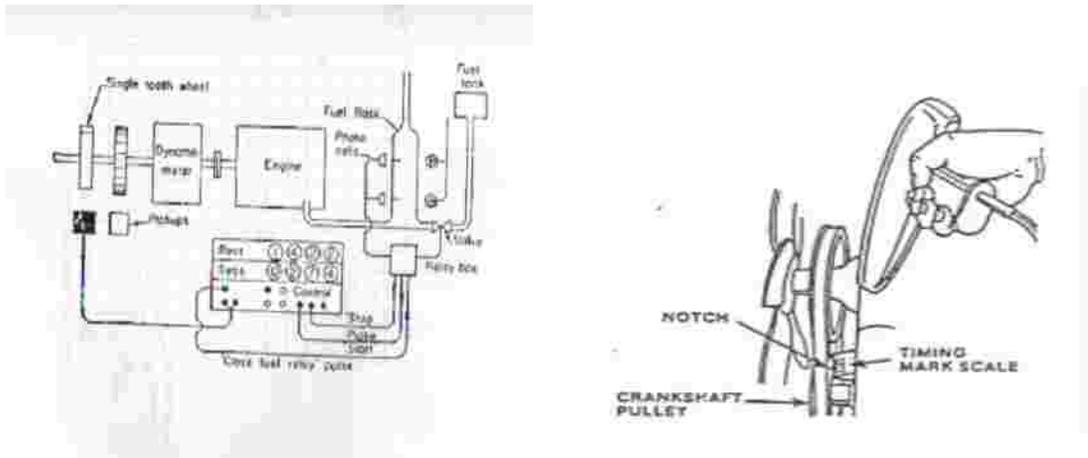
Premis 2 : $A' \times B'$

Kesimpulan : $C' = (A' \times B') \circ R(A \times B ; C)$

Dimana : $\mu_{C'}(z) = \vee \{ [\mu_{A'}(x) \wedge \mu_{B'}(y)] \wedge [\mu_A(x) \wedge \mu_B(y)] \wedge \mu_C(z) \}$



Gambar 7. Struktur Dasar FLC (Fuzzy Logic Control)
(Yan, dkk., 1994)



Gambar 8. Perlengkapan penelitian dan cara pengukuran waktu pengapian

$$x=X$$

$$y=Y$$

$$\text{atau : } C' = (A' \circ R(A;C)) \cap (B' \circ R(B;C))$$

Selanjutnya bila premis mempunyai bentuk seperti dibawah ini , maka kesimpulannya adalah sbb.:

Premis 1 : $R(A_1 \times B_1 ; C_1)$ Else

Premis 2 : $R(A_2 \times B_2 ; C_2)$ Else

Premis 3 : $R(A_3 \times B_3 ; C_3)$ Else

Premis n : $R(A_n \times B_n ; C_n)$

$$n+1 \quad A' \times B'$$

 Kesimpulan : $C' = (A' \times B') \circ [R(A_1 \times B_1 ; C_1) \cup R(A_2 \times B_2 ; C_2) \cup$

$$R(A_3 \times B_3 ; C_3) \cup \dots R(A_n \times B_n ; C_n)]$$

Dalam penelitian kali ini, A adalah sudut katup karburator, B adalah putaran mesin dan C adalah koreksi waktu pengapian. Maka fungsi keanggotaan masing-masing dapat dirancang selanjutnya.

g. Kontroler Mikro

Kontroler mikro digunakan untuk membuat kalkulasi fuzzy dan pengaturan otomatis sesuai yang diperlukan, tipe kontroler yang digunakan adalah Intel 8031, keluarga 8051.

2. Metoda Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada laboratorium motor bakar, yang meneliti kemampuan motor bakar dengan pengendalian waktu peyalan konvensional dan bila menggunakan pengendalian waktu pengapian dengan metoda logika fuzzy. Pertama, diteliti karakteristik mesin yang ada, menyangkut prestasi mesin.

Tabel 1. Relasi antara sudut katup karburator dengan putaran mesin :
 Sudut katup karburator : θ (beban mesin)

		SK	K	M	B	SB
n :	SK	M	B	SB	B	M
Pu-	K	N	K	B	M	K
tar-	M	N	SK	M	K	SK
an-	B	N	N	SK	N	N
rpm	SB	N	N	N	N	N

N = nol SK = sangat kecil K = kecil
 M = menengah B = besar SB = sangat besar

Kedua, diteliti karakteristik mesin dalam hubungannya dengan terjadinya detonasi. Ketiga, diteliti karakteristik mesin setelah dipasang kontrol fuzi, merupakan sistem pengapian kombinasi yang sedang dikembangkan dalam penelitian ini.

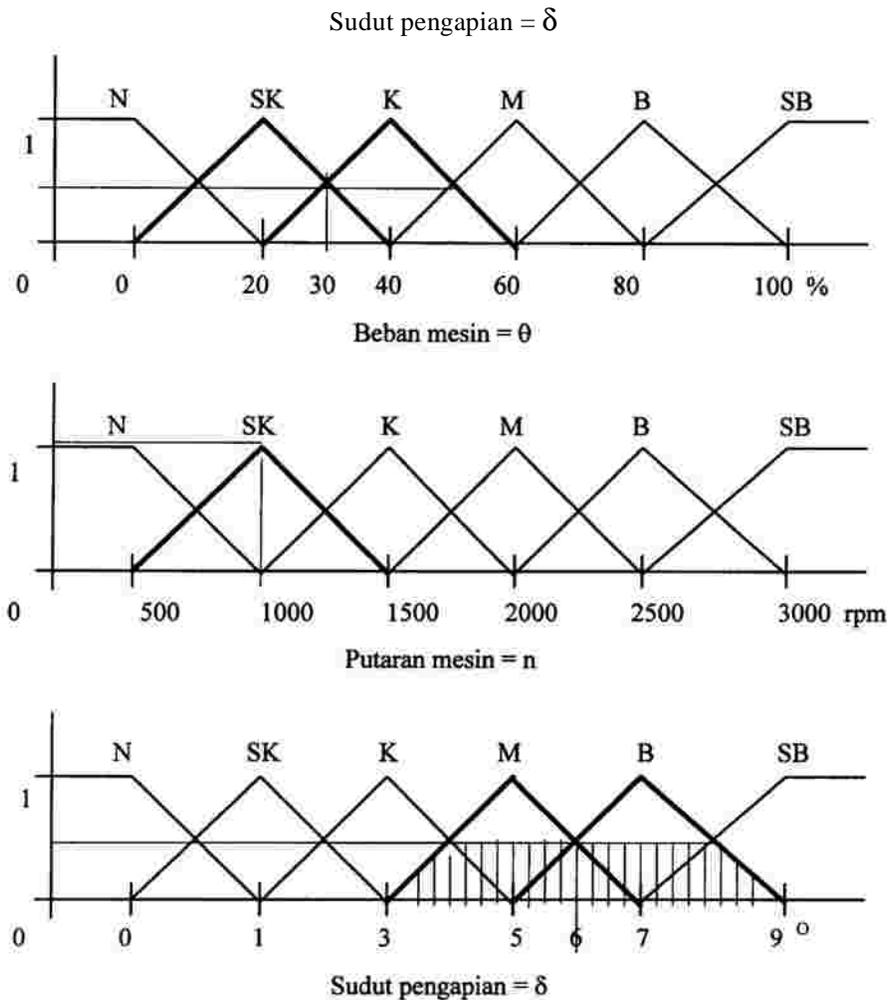
Perlengkapan pokoknya adalah : motor Otto (bensin), yang dilengkapi dengan dinamometer pengukur torsi, pengukur putaran, besar bukaan katup karborator dan pengukur waktu pengapian (timing light).

Relasi dari sudut karburator dan putaran mesin, menentukan besarnya koreksi dari waktu pengapian. Untuk pedoman awal, bahwasanya pada umumnya, detonasi lebih sering terjadi pada daerah putaran rendah dan beban besar atau pada saat akselerasi, maka

relasinya dapat ditentukan sebagai berikut : (tabel 1)

Dari tabel relasi ini dapat dibuat basis aturan fuzi sebagai berikut :

- Aturan 1 : bila θ adl. SK dan n adl. SK maka δ adl. M
- Aturan 2 : bila θ adl. K dan n adl. SK maka δ adl. B
- Aturan 3 : bila θ adl. M dan n adl. SK maka δ adl. SB
- Aturan 4 : bila θ adl. B dan n adl. SK maka δ adl. B
- Aturan 5 : bila θ adl. SB dan n adl. SK maka δ adl. M
- Aturan 6 : bila θ adl. SK dan n adl. K maka δ adl. N



Gambar 9. Solusi grafis logika fuzi

Aturan 7 : bila θ adl. K dan n adl. K maka δ adl. K
Aturan 8 : bila θ adl. M dan n adl. K maka δ adl. B
Aturan 9 : bila θ adl. B dan n adl. K maka δ adl. M
Aturan 10 : bila θ adl. SB dan n adl. K maka δ adl. K
..... dan seterusnya.

3. Hasil dan pembahasan

Peneletian awal adalah mencari data karakteristik mesin, dalam kaitannya dengan torsi / daya keluaran dan terjadinya detonasi sebagai pengaruh dari besar katup karburator dan sudut / waktu pengapian. Data sudut pengapian dari sistim pengapian konvensional pada seting normal+1, dan data sudut pengapian batas detonasi dalam berbagai kondisi operasi, dibandingkan dan selisihnya adalah merupakan data koreksi waktu pengapian yang harus dilakukan. (Gambar 10)

Hasil eksperimen daya mesin, dengan menggunakan sistim pengapian konvensional dan yang menggunakan sistem pengapian kombinasi, sistem konvensional yang dipadukan dengan kontrol fuzi, seperti dalam gambar. Dari pelaksanaan percobaan, dengan menggunakan sistem pengapian kombinasi, dapat mengatasi terjadinya detonasi, yaitu sudah tidak terdengar lagi. Disamping itu bila daya dibandingkan, dengan sistim yang baru ini akan memberikan daya yang lebih besar, yang berarti pemakaian bahan bakar menjadi lebih efisien, seperti terlihat dalam gambar berikut (gambar 11)

Penelitian ini adalah membuat model / alat pengendalian / pengaturan / kontrol fuzi pada waktu / saat / sudut pengapian / penyalaan Motor Otto (motor bensin), agar dapat beroperasi secara optimal pada berbagai kondisi operasi, sehingga meningkatkan efisiensi pemakaian bahan bakar dan meningkatkan keawetan mesin akibat detonasi (knocking, ngklik).

Penelitian menggunakan Motor Otto, yang dilengkapi sistim karborator dan sistem pengapian konvensional (mekanis), untuk motor 4 langkah, 4 silinder, kapasitas sekitar 1500 - 2000 cc, bahan bakar premium, oktan

sekitar 89, sistem pendingin air dan dipasang stasioner di laboratorium.

Dengan menganggap bahwa kondisi mesin dan kondisi lingkungan adalah tetap, maka dapat dilakukan penelitian menyangkut karakteristik mesin, khususnya yang berhubungan dengan detonasi, yaitu putaran, besar katup (beban), sudut pengapian dan tingkat detonasinya. Data karakteristik mesin digunakan untuk menentukan kapan waktu yang tepat pada putaran dan katup tertentu, tidak terjadi detonasi. Maka bila sistem pengapian yang ada, pada suatu setelan tertentu, tidak memberikan waktu pengapian yang tepat, maka perlu dikoreksi.

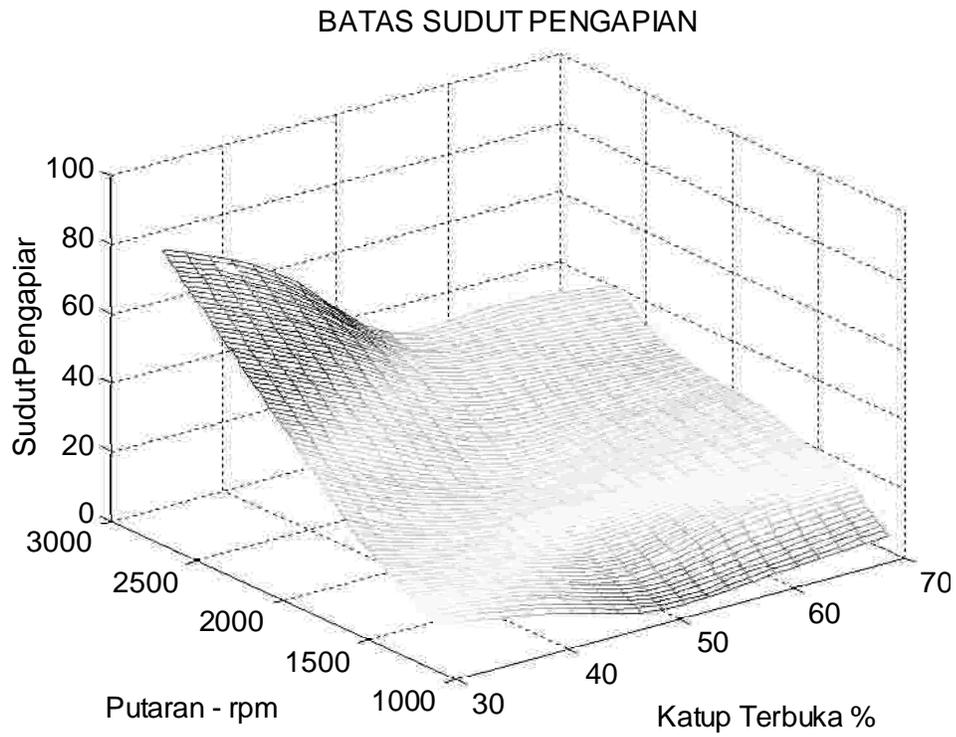
Koreksi waktu pengapian secara otomatis diberikan oleh kontroler mikro, yang perhitungannya menggunakan logika fuzi. Dengan demikian mesin akan mempunyai sistem pengapian konvensional dan dipadukan dengan kontrol fuzi, yang kemudian akan menghasilkan karakteristik yang baru, setelah dipasang kontrol ini. Percobaan dilakukan pada saat mesin dipasang kontrol dan tidak dipasang kontrol.

4. Kesimpulan

Kesimpulan akhir dari penelitian ini adalah bahwa : telah ditemukan sistem pengapian baru yang dapat mengatasi masalah detonasi. Sistem baru tersebut adalah : sistem pengapian konvensional yang dipadukan dengan kontrol fuzi. Dengan demikian dapat memberikan koreksi waktu pengapian yang tepat pada motor Otto, sehingga dapat menghilangkan detonasi dan meningkatkan prestasi mesin atau dengan kata lain bahwa : dengan kontrol ini dapat meningkatkan keawetan mesin dan efisiensi (irit bahan bakar).

5. Saran

Dilain fihak kontrol ini masih terdapat kekurangan / kelemahan, yaitu bila karakteristik mesin berubah, karena usia ataupun karena bahan berubah ke tingkat yang lebih bawah. Maka bila demikian, kontrol ini kurang dapat mengatasi seluruh permasalahan. Dengan kata lain, kontrol ini bersifat tidak adaptif, ataupun tidak pintar, tidak dapat menyesuaikan dirinya terhadap perubahan lingkungannya. Juga tidak akan begitu saja



Gambar 10. Sudut pengapian batas detonasi (kecil)

cocok kontrol ini bagi mesin yang lain merek ataupun tipenya, sebab karakteristik mesin tidak selalu sama dengan yang tercatat dalam memorinya. Bila akan digunakan untuk mesin

yang lain, maka perlu penyesuaian data karakteristik mesin yang bersangkutan.

Maka disarankan untuk penelitian selanjutnya

bahwa : kontrol ini perlu ditingkatkan agar dapat bersifat adaptif, lebih pintar, lebih dapat menyesuaikan diri terhadap perubahan mesin, lokasi maupun bahan bakar. Salah satu yang dapat disarankan agar memanfaatkan kontrol neuro fuzi yang adaptif (Neuro Fuzzy Adaptive Controller), guna pengembangan kontrol ini selanjutnya.

6. Daftar Pustaka

- Allen, Kevin, Boyer, 1986, *Nonlinear Control Methods for Automotive Engines*, thesis Msc., MIT, Massachusetts, USA.
- Bidan, Pierre, Boverie, Serge, Chaumerliac, Vincent, *Nonlinear Control of a Spark-Ignition Engine*, IEEE Control System Tecnology, Maret 1995.
- Chang, Todd, Robert, 1988, *A Modeling Study of the Influence of spark-Ignition Engine Parameters on Engine Thermal Efficiency and Performace*, thesis Msc., MIT, Massachusetts, USA.
- Erjavec, Jack and Scharff, Robert, 1996, *Automotive Technology, A Syatem Approach*, Delmar Publishers, Albany.
- Ganti, Gopal, 1987, *Knock Modeling in Spark Ignition Engines and Study of The Effect of Combustion Instability of Knock*, desertasi, PhD., Loughborough University of Tecnology.
- Harrigan, Dale, 1987, *Development of Nonlinear Algorithms for Engine Torque Control Using Throttle Angle and Spark Advance*, thesis Msc., MIT, Massachusetts, USA.
- Heywood, John, B., 1988, *Internal Combustion Engine Fundamental*, McGraw-Hill Book Company, New York.
- Kenzie, Mac, Scott, I., 1995, *The 8051 Microcontroller*, Prentice Hall, New Jersey.
- Mathur, M.L. and Sharma, R.P., 1980, *A Course in Internal Combustion Engine*, Dhanpat Rai & Sons, New Delhi.
- Moskwa, John, J., 1988, *Automotive Engine Modeling for Real Time Control*, desertasi PhD., MIT, Massachusetts, USA.
- Ramos, J.I., 1989, *Internal Combustion Engine Modeling*, Hemisphere Publishing Corporation, New York.
- Soelaiman, Ahmad Fauzi, Tubagus, 1992, *New Strategies for Detecting Knock in Spark Ignition Engines*, desertasi, PhD., The University of Minesota.
- Taylor, C., Fayetts and Taylor, Edward, S., 1961, *The Internal Combustion Engine*, International Textbook Co, Scranton.
- Turns, Stephen, R., 1996, *An Introduction to Combustion, Consept and Application*, McGraw-Hill Book Co., New York.
- Vachtsevanos, George, Farinwata, Shehu S., and Pirovolou, Dimitrios K., *Fuzzy Logic Control of an Automotive Engine*, IEEE Control System, Juni 1993.
- Yan, Yun, Ryan, Michael, and Power, James, 1994, *Using Fuzzy Logic*, Prentice Hall, London.