

DETEKSI DETONASI MOTOR BAKAR OTTO/BENSIN DENGAN PENGAMATAN POLA GETARAN DAN PENENTUAN DERAJAT/WAKTU PENGAPIAN MENGGUNAKAN SISTEM KONTROL FUZI (*FUZZY CONTROL*) DAN METODE *ARTIFICIAL NEURALL NETWORK/ANN*

Agus Sujono¹

¹ Staf Pengajar - Jurusan Teknik Mesin - Fakultas Teknik UNS

Keywords :

Detonation
Ignition time
Engine vibration
Combustion
Petrol engine

Abstract :

Conventional systems for controlling ignition timing is already available, namely the governor and vacuum mechanisms, but this control is not optimal. When the ignition is set forward detonation will occur and when set back to be wasteful of fuel. So the conventional ignition system need to be equipped with electronic controls to provide a correction of a given ignition timing, to be precise. This correction is based on the respective engine characteristics map, which is then stored in the memory micro controller, to the calculation and correction in question. Calculations and correction system of decision making is based on the fuzzy logic control. With the ignition system combinations, providing the proper ignition timing, can be done without changing the manner of construction machinery, without changing the setting, can be installed easily and at any time can be enabled or disabled. This study gives good results. Detonation problems can be overcome and the engine performance in general be better, or more efficient. With the success of this research, the means have been found in new ignition systems in Otto motor (petrol engine), which is a combination of the ignition system, that the ignition system to be integrated with conventional control systems fuzzy logic control. Result analysis of the vibration frequency of producing the basic pattern of different machines with different between normal detonation conditions.

PENDAHULUAN

Pengatasan detonasi yang paling cepat dan tanpa merubah konstruksi mesin adalah dengan mengendalikn waktu pengapian yang tepat, yaitu sesuai dengan putaran dan beban mesin. Sistem pengapian yang tidak baik akan mengakibatkan pembakaran tidak sempurna dan menimbulkan panas serta getaran yang berlebihan, yang akhirnya akan mengurangi efisiensi dan keawetan mesin. Sedangkan sistem pengapian yang baik ditandai dengan kualitas pengapian yang baik dan waktu/saat pengapian yang tepat. Kualitas pengapian ditentukan oleh penyetelan. Seperti telah diketahui bahwa efisiensi optimal pemakaian bahan bakar saat operasional dapat dicapai pada daerah pengaturan waktu/saat pengapian dekat dengan daerah kritis, yaitu daerah dekat dengan daerah mulai detonasi. Maka pengaturan waktu/saat pengapian selalu diarahkan dekat dengan daerah kritis tersebut. Namun dengan demikian akan terjadi detonasi pada saat kondisi transisi, karena dari sifat mekanisme governor pengatur waktu/saat pengapian. Detonasi akan mengakibatkan ketukan, panas berlebihan dalam ruang bakar dan pemborosan bahan bakar. Oleh karena itu sistem governor perlu ditambah alat elektronis yang dapat mengkoreksi kekurangannya.

John J. Moskwa (1988) membahas model pengendalian motor bakar guna optimasi pemanfaatan energi agar perpindahan gigi transmisi lebih halus dengan torsi yang sesuai dan meminimalkan energi yang terbuang. Dalam pengendalian ini ditujukan pada katup gas (*throttle*), waktu/saat pengapian (*spark advance*) dan bahan bakar (*fuel*). Telah dibuat model dinamis non linier pada injeksi bahan bakar guna perancangan dan implementasi algoritma pengendalian mesin, terutama pada kondisi operasi dengan putaran tetap (*idle*). Pengaturan terhadap katup bahan bakar bersama dengan sudut pengapian sangat efektif digunakan untuk pengendalian torsi mesin. Di sini masalah pengaruh detonasi tidak dibahas.

Robert Todd Chang (1988) melakukan penelitian optimisasi geometri (bentuk-ukuran) silinder guna rneningkatkan efisiensi mesin dan unjuk kerjanya (*performance*). Diberikan di sini studi tentang model efisiensi *thermal* yang digabung dengan model efisiensi volumetris dan model efisiensi mekanis yang telah diperbaiki, dapat menentukan unjuk kerja, konsumsi bahan bakar sebagai fungsi dari kecepatan mesin, tekanan *manifold*, angka kompresi, perbandingan *bore/stroke*, dan volume langkah torak. Pengaruh waktu/saat pengapian tidak dibahas.

George Vachtsevanos, Shehu S. Farinwata dan Dimitrios K. Piravolou, (1993) mendesain pengendalian fuzi untuk motor bakar yang beroperasi pada kecepatan tetap. Dengan tujuan agar motor bakar yang beroperasi pada kecepatan tetap dan mantap walau terjadi gangguan. Disini diberikan model matematis dari variabel keadaan (*state variable*) dari mesin tersebut dan model pengendalian *fuzzy*-nya. Pengendalian ini akan memberikan harga yang optimal dari besarnya terbukanya katup dan waktu/ saat pengapian yang tepat pada berbagai daerah operasi, agar didapat pengendalian yang baik. Pengaruh detonasi tidak dibahas.

Pierre Bidan, Serge Boverie dan Vincent Chaumcliac (1995) membahas solusi peningkatan pengendalian motor bakar, terutama pada saat transien yang dihasilkan oleh gerakan katup (*throttle*) dan injeksi bahan bakar secara elektronis. Hal ini dimaksudkan agar memberikan pengendalian perbandingan udara-bahan bakar yang baik sehingga akan meningkatkan efisiensi. Disini diberikan model dinamis dan masukan *manifold* untuk membuat sistem pengendalian kalang tertutup, dengan metode model *tracking*. Pengendalian udara masuk digabung dengan prediktor untuk kompensasi dari jeda/tunda (*delay*) prosedur injeksi. Pengaruh detonasi tidak dibahas.

Gopal Ganti (1987) melakukan studi tentang fenomena detonasi yang akan membatasi peningkatan unjuk kerja mesin Otto. Diawali dengan studi tentang kondisi campuran bahan bakar-udara sampai kondisi terbakar dengan sendirinya (*autoignition*) untuk memberi gambaran tentang proses pembakaran. Model matematik dari detonasi (*knock*) dibuat berdasar mekanisme percabangan berantai untuk memperkirakan kelambatan waktu pembakaran. Interaksi gelombang suara dengan pembakaran yang tidak ajeg menandakan pembakaran yang tidak stabil dan oleh karena itu menimbulkan detonasi. Selanjutnya diuji hubungan antara perubahan daya frekuensi natural ruang bakar dan kejadian detonasi. Model didasarkan pada fenomena relaksasi getaran untuk menghitung frekuensi dari ujung nyala. Model ini dikembangkan dengan asumsi bahwa gas yang berada dalam ruang bakar merupakan sistem massa dan pegas. Analisis dari spektrum frekuensi dari ionisasi nyala, memberikan gambaran untuk itu. Sehingga dapat dipelajari tentang hubungan ketidakstabilan akustik didalam ruang bakar dengan peristiwa detonasi pada mesin Otto.

Tubagus Ahmad Fauzi Soelaiman (1992) melakukan pengujian tentang metode baru guna mengukur detonasi (*knock*) pada kondisi banyak gangguan (*noisy*). Strategi pertama berdasar pada penurunan suhu gas buang saat terjadi detonasi, yang ternyata baik hanya pada kondisi detonasi berat (*runaway*). Strategi kedua digunakan akselerometer untuk sensor detonasi, dengan menghilangkan

gangguan (*noise*) secara memberikan pola sinyal dengan menggetarkan / menaik-turunkan waktu/saat pengapian. Metode ini baru akan memberikan hasil pada sejumlah putaran yang cukup besar, karena fluktuasi detonasinya. Strategi ketiga adalah dengan dasar pengukuran deviasi dan intensitas ketuk (*knock*), yang disebut sebagai metoda perbedaan intensitas ketuk (*Difference of Knocking Intensity*). Sebab standar deviasi sinyal ketuk dibandingkan dan lebih cepat daripada reratanya. Metode ini menggunakan harga absolut dari perbedaan intensitas ketuk dari dua siklus sebagai indikator. Dengan metoda ini perbandingan sinyal terhadap gangguan minimal dua kali, sekalipun pada kecepatan tinggi (4800 rpm) dan dalam percobaan mampu mempertahankan sudut pengapian dalam 5 derajat.

Penelitian-penelitian di atas telah dilakukan percobaan bahwa : pengaturan waktu/saat pengapian banyak mempengaruhi torsi yang keluar dari mesin. Fenomena detonasi membatasi peningkatan unjuk kerja mesin. Pendeteksian detonasi dapat dilakukan dengan metoda ionisasi, penurunan suhu gas buang dan dengan akselerometer. Penelitian yang terakhir di atas mirip dengan penelitian yang akan dilakukan, namun banyak perbedaan juga. Penelitian di atas pada dasarnya adalah mengukur intensitas detonasi dan bila terjadi akan memberikan sinyal untuk mengatur waktu/saat pengapian. Penelitian yang akan dilakukan adalah berdasarkan pemetaan daerah kritis terhadap terjadinya detonasi, dan waktu/saat pengapian diatur jangan sampai melewati daerah kritis ini. Kelebihan dan kekurangan masing-masing metode ada dalam keduanya. Namun sementara dapat diungkapkan secara global bahwa sistem yang akan diteliti akan lebih mudah untuk diterapkan dan lebih

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan secara eksperimental di laboratorium, pembuatan peralatan sistem pengapian *fuzzy control*. Penelitian secara eksperimental di laboratorium untuk mendapatkan data-data pengamatan pola getaran dan pengujian sistem pengapian. Pembuatan program/*software* dengan menggunakan ANN bertujuan untuk menentukan derajat pengapian yang diperlukan secara cepat.

Aktivitas yang diperlukan adalah membuat peta karakteristik mesin yang memuat daerah kritis waktu pengapian sebelum terjadi detonasi dan merupakan daerah operasi yang optimal, yaitu yang menghasilkan tenaga yang maksimal dan irit bahan bakar, tanpa adanya detonasi. Peta karakteristik ini dibuat dengan mengubah-ubah waktu/sudut pengapian pada kondisi putaran dan beban tertentu. Berdasarkan data tersebut mikrokontroler bersama peralatan elektronis lainnya dirancang, diprogram dan dipasang pada mesin guna memberikan koreksi waktu pengapian yang tepat, sesuai putaran, dan beban. Penelitian dilakukan terhadap mesin yang

stasioner, dipasang didalam laboratorium, kapasitas 1500 cc, dengan sistem karburator, sistem pengapian konvensional dan bahan bakar premium.

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. *engine* 4 silinder
- b. *engine test bed*
- c. sistem bahan bakar
- d. sistem pendingin
- e. sistem pengapian elektronik
- f. sistem pengapian *fuzzy control*
- g. *dwell meter*

Pada Gambar 1 memperlihatkan alat pengujian uji beserta perlengkapannya. Gambar 2 memperlihatkan diagram kontak pemasangan kontroler pada mesin. Kontroler mikro tidak langsung mengaktifkan arus koil, tetapi diberikan peralatan elektronik, yang disebut *electronic driver*. Tujuan pemasangan alat ini adalah arus yang digunakan kecil dan platina lebih tahan.

Langkah-langkah yang diperlukan dalam penelitian detonasi adalah:

1. setel waktu pengapian normal.
2. tentukan besar katub karburator terbuka.
3. pilih daerah putaran tertentu, dengan mengatur besar beban.
4. ubah waktu pengapian secara bertahap, dari kondisi terlalu mundur sampai terlalu maju.
5. dalam posisi katub karburator yang tetap, catat besar beban, putaran dan kondisi detonasi.
6. ulangi No. 4 dan 5, sampai terdengar mulai terjadi detonasi dengan cara mendengarkannya.
7. ulangi lagi dari No. 1 pada posisi katub karburator yang lain.
8. catat juga data mesin dan kondisi lingkungan, sebagai pelengkap data.



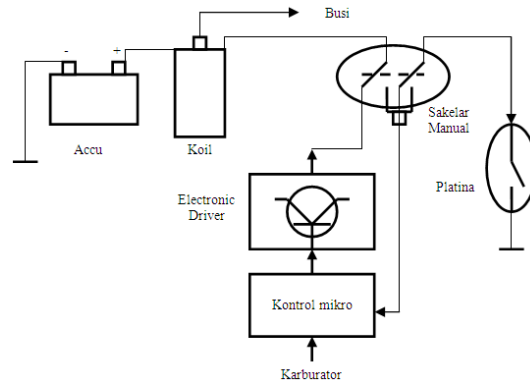
(a)



(b)

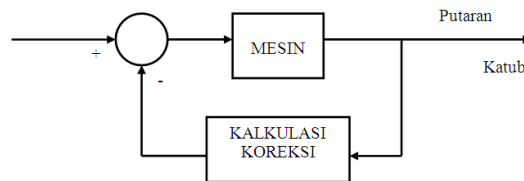
(c)

Gambar 1. *Engine test bed*
(a) *Dynamometer dan engine*, (b) *Control room*, (c) *aquisition data*



Gambar 2. Diagram kontak pemasangan kontroler pada mesin

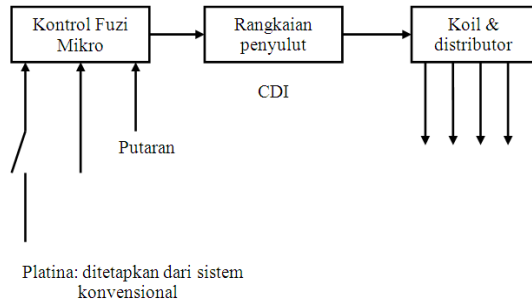
Sistem kontrol waktu pengapian yang akan dikembangkan dalam penelitian menggunakan mikrokontroler guna menyimpan peta/tabel kondisi dekat/sebelum terjadi detonasi dan untuk menentukan kapan pengapian harus dilakukan. Peta kontrol waktu pengapian untuk mesin tertentu dibuat terlebih dahulu dalam percobaan/pengujian. Peta dibuat dalam karakteristik mesin optimal. Sistem kontrol menggunakan gabungan sistem konvensional dan elektronis (Gambar 3). Sebagai dasar utama adalah sistem konvensional sedang sistem elektronis sebagai koreksi.



Gambar 3. Sistem kombinasi

Kalkulasi koreksi atas waktu pengapian dilakukan oleh kontroler dengan menggunakan program dasar logika fuzi (logika kabur) agar ketidaklinearan data waktu pengapian untuk berbagai kondisi operasi mesin. Dalam Gambar 4. diperlihatkan diagram kotak dari urutan kerja peralatan yang akan diaplikasikan.

Kalkulasi koreksi atas waktu pengapian dilakukan oleh kontroler dengan menggunakan program dasar logika fuzi (logika kabur) agar ketidaklinearan data waktu pengapian untuk berbagai kondisi operasi mesin. Dalam Gambar 4 diperlihatkan diagram kotak dari urutan kerja peralatan yang akan diaplikasikan.

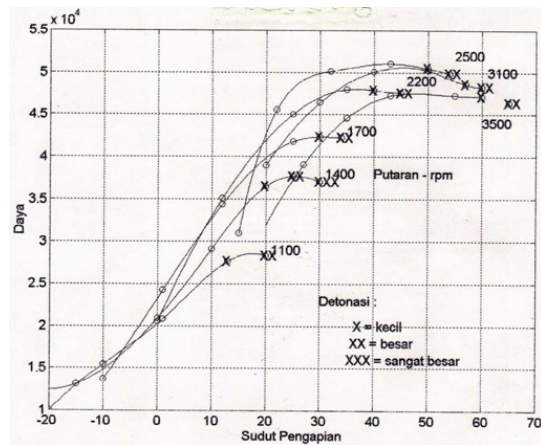


Platina: ditetapkan dari sistem konvensional

Gambar 4. Rangkaian kerja sistem pengapian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gaya disini adalah gaya puntir poros dengan lengan sesuai ukuran yang ada pada mesin, torsi adalah sama dengan gaya kali lengannya. Daya disini bukan daya absolutnya, namun adalah daya relatif sebanding dengan torsi kali putaran atau sebanding dengan gaya kali putaran. Karakteristik mesin dapat digambarkan dengan program MATLAB pada Gambar 5 sebagai berikut :



Gambar 5. Karakteristik mesin pada katup = 40 %

Pengolahan data koreksi sudut pengapian menggunakan program MATLAB, dengan menerapkan logika fuzi. Fungsi keanggotaan yang digunakan adalah: besar bukaan katub karburator, putaran mesin dan sudut pengapian sehingga didapat fungsi keanggotaan dan aturan fuzi. Relasi antara sudut katub karburator dengan putaran mesin ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Relasi antara sudut katub karburator dengan putaran mesin

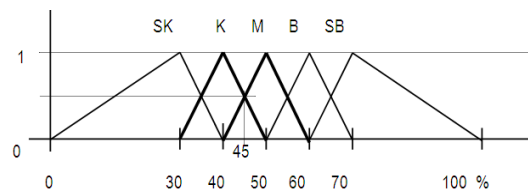
		Sudut katup karburator (°)				
		SK	K	M	B	SB
Putaran mesin (rpm)	SK	M	B	SB	B	M
	K	N	K	B	M	K
	M	N	SK	M	K	SK
	B	N	N	SK	N	N
	SB	N	N	N	N	N

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

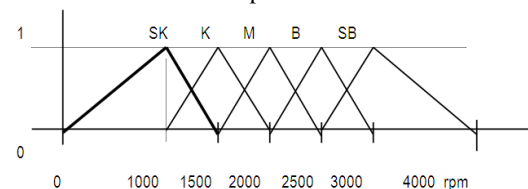
Untuk sudut karburator (°) dalam %, dibagi menjadi: SK= 20%, K=40%, M=60%, B=80% dan SB=100%. Putaran mesin dalam rpm, dibagi menjadi: N=500rpm, SK=1000rpm, K=1500rpm, M=2000rpm, B=2500rpm dan SB=3000rpm. Sudut atau waktu pengapian dalam derajat dibagi menjadi: N=0°, SK=1°, K=3°, M=5°, B=7°, dan SB=9°.

Sedang aturan fuzi yang digunakan adalah:

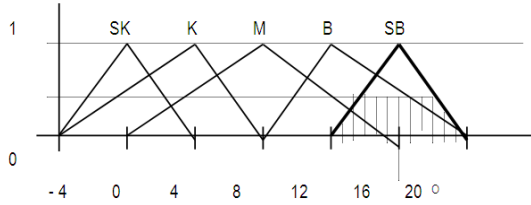
- Aturan 1: bila sudut karburator adalah SK dan putaran adalah SK maka sudut pengapian adalah M
- Aturan 2: bila sudut karburator adalah K dan putaran adalah SK maka sudut pengapian adalah B
- Aturan 3: bila sudut karburator adalah M dan putaran adalah SK maka sudut pengapian adalah SB
- Aturan 4: bila sudut karburator adalah B dan putaran adalah SK maka sudut pengapian adalah B
- Aturan 5: bila sudut karburator adalah SB dan putaran adalah SK maka sudut pengapian adalah M
- Aturan 6: bila sudut karburator adalah SK dan putaran adalah K maka sudut pengapian adalah N
- Aturan 7: bila sudut karburator adalah K dan putaran adalah K maka sudut pengapian adalah K
- Aturan 8: bila sudut karburator adalah M dan putaran adalah K maka sudut pengapian adalah B



Gambar 6. Fungsi keanggotaan katup hasil eksperimen



Gambar 7. Fungsi keanggotaan putaran hasil eksperimen

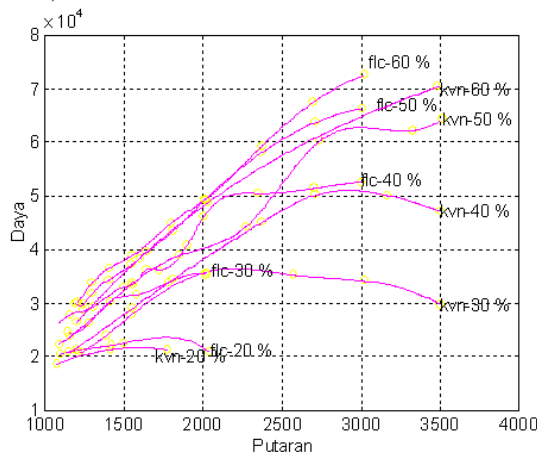


Gambar 8. Fungsi keanggotaan koreksi sudut pengapian, hasil eksperimen

Penyelesaian selanjutnya adalah sebagai berikut:
Bila katup terbuka 45 % dan putaran 1000 rpm, maka :

Aturan 1: bila θ adl. K dan n adl. SK maka δ adl. SB
Aturan 2: bila θ adl. M dan n adl. SK maka δ adl. SB
Seperti terlihat dalam gambar gabungan luasan yang diarsir adalah berpusat di titik sudut pengapian 16 derajat.

Sistem pengapian konvensional dipadukan dengan sistem kontrol fuzi, seperti yang disebut sebagai sistem kombinasi ini, akan memberikan karakteristik yang baru pada mesin. Hasil percobaan berikut adalah prestasi mesin pada kondisi yang baru, diberikan tabel berikut :



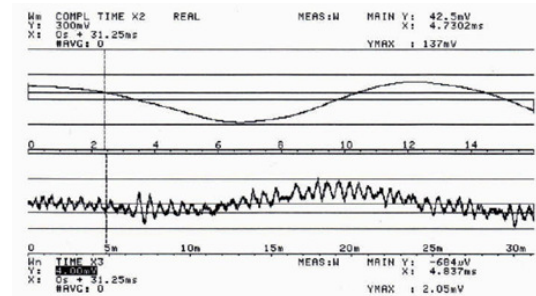
Gambar 9. Prestasi mesin dengan sistem pengapian konvensional (kvn) dan yang ditambah kontrol fuzi (flc)

Dari grafik di atas dapat disimpulkan bahwa : Sistem pengapian kombinasi, yaitu sistem pengapian konvensional yang dipadukan dengan kontrol fuzi dapat meningkatkan prestasi mesin, walaupun tidak di seluruh daerah operasi. Khususnya pada daerah putaran tinggi prestasi mesin sesudah dan sebelum dipasang kontrol fuzi adalah tidak berubah. Pada daerah operasi putaran rendah pada umumnya kontrol fuzi dapat meningkatkan prestasi mesin dan juga dapat menghilangkan detonasi.

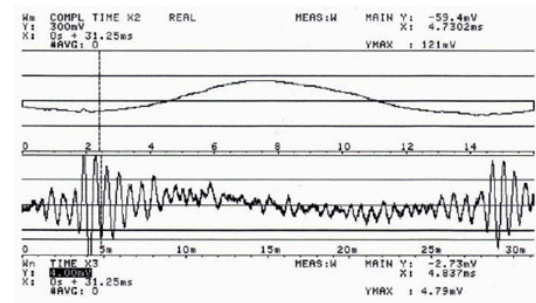
Dilain pihak kontrol fuzi pada waktu pengapian motor Otto ini masih terdapat kekurangan, yaitu bila karakteristik mesin berubah, karena usia ataupun karena bahan berubah ke tingkat yang lebih bawah.

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

Pola getaran dasar/normal (Gambar 10) sangat berbeda dengan pola getaran Detonasi (Gambar 11). Pola getaran yang ditunjukkan dengan intensitas getaran bertambah tinggi dan pola getaran dasar yang berbeda-beda, jika terjadi detonasi. Hasil analisa frekuensi menghasilkan pola dasar getaran mesin yang berbeda antara kondisi detonasi dengan normal.



Gambar 10. Pola getaran motor pada kondisi normal



Gambar 10. Pola getaran motor pada kondisi detonasi

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. 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. Pola getaran dasar/normal sangat berbeda dengan pola getaran detonasi. Pola getaran yang ditunjukkan

dengan intensitas getaran bertambah tinggi dan pola getaran dasar yang berbeda-beda, jika terjadi detonasi. Hasil analisa frekuensi menghasilkan pola dasar getaran mesin yang berbeda antara kondisi detonasi dengan normal.

DAFTAR PUSTAKA

- _____, 1980, *Engine Research and Test Bed Operation Manual*, Tokyo Meter Co Ltd, Tokyo, Japan.
- Barnett, Richard H., 1995, *The 8501 Family of Microcontrollers*, Prentice Hall, New Jersey.
- Bidan, Piere, Boverie, Serge, Chaurmelic, Vincent., 1995, *Nonlinear Control of Spark Ignition Engine*, IEEE Control System Technology.
- Chang, Todd Robbert, 1988, *A Modelling Study of Influence of Spark Ignition Engine Parameters on Engine Thermal Efficiency and Performance*, Thesis MSc, MIT, Massachusetts, USA.
- Ettefagh, dkk, 2008, "Knock detection in spark ignition engines by vibration analysis of cylinder block : A parametric modeling approach", *Mechanical Systems and Signal Processing*, Vol. 22, pp. 1495–1514.
- Ganti, Gopal., 1987, *Knock Modelling in Spark Ignition Engine and Study on the Effect of Combustion Instability of Knock*, Desertasi PhD, Loughborough University of Technology.
- 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.
- Hudson, C., Gao, X., Stone R., 2001, "Knock Measurement For Fuel Evaluation In Spark Ignition Engines", *Fuel*, Vol. 80, pp. 395-407.
- Kim, Dae Eun and Park, Jae hong, 2007, "Application Of Adaptive Control To The Fluctuation Of Engine Speed At Idle", *Information Sciences*, Vol. 177, pp. 3341–3355.
- Kwang, Min Chun, 1980, Characterization of Knock And Prediction of Its Onset in Spark Ignition Engine, *Thesis*, Massachusetts Instituts of Thechnology.
- Lichty, Lester C., 1967, *Combustion Engine Process*, McGraw-Hill Inc, New York.
- Lim, M. K. & Low, S. C., 1990, "Using an Engine-Cylinder-Pressure-Damping Device to Reduce Small Spark-Ignition Engine Noise", *Applied Acoustics*, Vol. 29, pp. 109-115.
- Lu, dkk., 2009, "Detection Of Shock And Detonation Wave Propagation By Cross Correlation", *Mechanical Systems and Signal Processing*, Vol. 23, pp. 1098–1111.
- Mathur, ML and Sharma R.P., 1980, *A Course in Internal Combustion Engine*, Dhanpat Rai & Sons, New Delhi.
- Molinaro, F., Castanie, F., 1995, Signal Processing Pattern Classification Techniques To Improve Knock Detection In Spark Ignition Engines, *Mechanical Systems and Signal Processing*, Vol. 9 (1), pp. 51-62.
- Moskwa, John J., 1988, Automotive Engine Modelling for Real Time Control, *Desertasi PhD*, MIT, Massachusetts, USA.
- Othman, M. O., 1989, "Improving The Performance Of A Multi-Cylinder Engine By Spectrum Analyzer Feedback", *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 131 (1), pp. 1-11.
- Ramos, J I., 1989, *Internal Combustion Engine Modelling*, Hemisphere Publishing Corporation New York.
- Revier, B. M., 2006, Phenomena That Determine Knock Onset In Spark Ignited-Engine, *Thesis*, Massachusetts Instituts of Thechnology.
- Soeliman, Ahmad Fauzi., Tubagus ,1992, New Strategy for Detecting Knock in Spark Ignition Engine, *Desertasi PhD*, The University of Minesota.
- Taylor, C Fayet and Taylor, Edwards S., 1961, *The Internal Combustion Engine*, International Textbook Co, Stranton.
- Terano, Toshiro., Asai Kiyoji and Sugeno Michio, 1992, *Fuzzy System Theory and Its Application*, Academic Press Inc, San Diego, USA.
- Turns, Stephen R., 1996, *An Introduction to Combustion, Concepts and Application*, McGraw Hill Book Co, New York.
- Vachtsevanos, George, Farinwata, ShehuS., and Pirovolou, Dimitrios K., 1993, Fuzzy Logic Control of Automotive Engine, *IEEE Control System*, June.

Yan, Yun, Ryan, Mechael and Power, James, 1994,
Using Fuzzy Logic, Prentice Hall, London.

Zimmermann, H.J., 1994, *Fuzzy Set Theory and Its
Aplication*, Kluwer, Academic Publisher,
Buston, USA.