PENGARUH VARIASI *INJECTOR HOLE* TERHADAP TORSI, DAYA, DAN EMISI GAS BUANG YAMAHA AEROX 155 VVA

Skripsi

diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Pendidikan Program Studi Pendidikan Teknik Otomotif

Oleh

Azhar Permana Alam

NIM.5202414028

PENDIDIKAN TEKNIK OTOMOTIF

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

2019

UNNES

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama	:	Azhar Permana Alam
NIM	:	5202414028
Program Studi	:	Pendidikan Teknik Otomotif
Judul	:	PENGARUH VARIASI *INJECTOR HOLE* TERHADAP TORSI, DAYA, DAN EMISI GAS BUANG YAMAHA AEROX 155 VVA

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia ujian Skripsi Program Studi Pendidikan Teknik Otomotif Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Semarang, 25 April 2019

Dr. M. Burhan Rubai Wijaya, M.Pd.
NIP. 196302131988031001

PERNYATAAN KEASLIAN

PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi ini, adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (sarjana, magister, dan/atau doktor), baik di Universitas Negeri Semarang (UNNES) maupun di perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Pembimbing dan masukan Tim Penguji.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi ini.

Semarang, 14 MEI 2019
Yang membuat pernyataan,

Azhar Permana Alam
NIM. 5202414028

PENGESAHAN

Skripsi dengan judul "Pengaruh Variasi *Injector Hole* Terhadap Torsi, Daya, Dan Emisi Gas Buang Yamaha Aerox 155 VVA" telah dipertahankan di depan sidang Panitia Ujian Skripsi/TA Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang Pada tanggal ..15 Mei..... 2019.

Oleh

Nama	: Azhar Permana Alam
NIM	: 5202414028
Program Studi	: Pendidikan Teknik Otomotif

Panitia Ujian:

Ketua	Sekretaris
Rusiyanto, S.Pd., M.T. NIP. 197403211999031002	Dr. Dwi Widjanarko, S.Pd., S.T., M.T. NIP. 196901061994031003

Penguji I	Penguji II	Penguji III/ Pembimbing I
Drs. Winarno Dwi R., M.Pd NIP. 195210022018011308	Angga Septiyanto, S.Pd, MT. NIP. 1987091120150811004	Dr. M. Burhan Rubai W., M.Pd. NIP. 196302131988031001

Mengetahui,
Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang

Dr. Nur Qudus, M.T., IPM.
NIP. 196911301994031001

v

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

Motto:

"Jadilah manusia paling baik di sisi Allah. Jadilah manusia paling buruk dalam pandanganmu sendiri, dan jadilah manusia biasa dihadapan orang lain".

- Ali bin Abi Thalib

Persembahan:

1. Kakek tercinta Ngalimin, sebagai cambuk motivasi serta pedoman langkah demi langkah yang saya ambil dalam hidup.
2. Keluarga besar Ngalimin, Bapak Zulkarnaen dan Ibu Ariyanti, yang sudah memberi segala kemampuan untuk anaknya. Do'a, semangat, kasih sayang dan perjuangan yang sudah diberikan untuk anakmu.
3. Sahabat rasa keluarga yang senantiasa menemani dan memotivasi dari awal kuliah sampai dengan selesai: Setyo, Kiki, Faiz, Fariz, Agus, Zakky, Angga, Dayat, Andi, Sinta. Sekali lagi terimakasih.
4. Kontrakan Skeletons yang selalu membuat bahagia: Anwar, Kholis, Feri, Basir, Ote, Toto, Angga, Geri.
5. Bonbon & Mei, yang selalu menunggu pulang saat proses skripsi dikerjakan.

RINGKASAN

Alam, A.P. 2019. Pengaruh Variasi *Injector Hole* Terhadap Torsi, Daya, Dan Emisi Gas Buang Yamaha Aerox 155 VVA. Skripsi. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang. Dr. M. Burhan Rubai Wijaya, M.Pd.

Perkembangan bidang otomotif sangat pesat yang ditandai dengan meningkatnya jumlah kendaraan bermotor. Peningkatan jumlah kendaraan turut menyumbang sebagian besar polusi udara. Penelitian yang dilakukan ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan variasi *injector hole* terhadap torsi, daya, dan emisi gas buang Yamaha Aerox 155 VVA.

Metode penelitian menggunakan eksperimen dengan analisis deskriptif. Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain, *dynamometer, gas analyzer, tachometer, tool set,* bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah yamaha aerox 155 vva dengan variasi *injector hole* menggunakan bahan bakar pertamax. Pengujian torsi, daya, dan emisi gas buang pada setiap penggunaan variasi *injector hole* dilakukan sebanyak 3 (tiga) kali pada setiap putaran mesin. Hasil pengujian yang sudah dilakukan akan dihitung rata-rata setiap variasi putaran mesin.

Setelah dilakukan penelitian terhadap torsi, daya, dan emisi gas buang CO & HC terdapat pengaruh dilihat dari perbedaan hasil nilai torsi, daya, dan emisi gas buang mesin yang signifikan pada setiap pengujian. Torsi yang dihasilkan mesin yang menggunakan *injector hole 6* menghasilkan torsi maksimal pada putaran 3500 rpm sebesar 25,76 N.m. Mesin yang menggunakan *injector hole 6* menghasilkan daya maksimal pada putaran mesin 5000 rpm sebesar 13,4 HP. Nilai uji emisi gas CO terbaik pada mesin yang menggunakan *injector hole 6* sebesar 0,07%Vol, untuk emisi gas HC nilai uji emisi terbaik pada mesin yang menggunakan *injector r hole 6* sebesar 49 ppmVol. Pengujian pada setiap variasi *Injector hole* dilakukan sebanyak mungkin agar didapatkan hasil yang lebih akurat, perlu dilakukan penelitian yang lebih lanjut tentang variasi *injector hole* yang tepat digunakan untuk meningkatkan performa mesin dan menurunkan emisi gas CO dan HC pada gas buang mesin.

Kata kunci : *injector hole,* torsi, daya, gas buang

ABSTRACT

Alam, A.P. 2019. The Effect of *Injector Hole* Variations on Torque, Power, and Exhaust Emissions of Yamaha Aerox 155 VVA. Final Project. Mechanical Engineering Department, Faculty of Engineering, Universitas Negeri Semarang. Dr. M. Burhan Rubai Wijaya, M.Pd.

The rapid development of automotive sector is identified by the increasing number of motorized vehicles. The increasing number of vehicles contributes to the majority of air pollution. Thus, the aims of this research is to find out the effect of using injector r hole variations on torque, power, and exhaust emissions of Yamaha Aerox 155 VVA.

Descriptive analysis of the experimental research was used as the research method. The tools that were used in this study were dynamometer, gas analyzer, tachometer, tool set. Then, the material used in this study was Yamaha Aerox 155 VVA with the variety of Injector holes using Pertamax fuel. The calibration of torque, power, and exhaust emissions in each use of Injector hole variations was carried out 3 (three) times in each engine spin. The results of the test that have been carried out would be averagely calculated for each variation of engine spin.

After conducting research towards torque, power, and exhaust emissions of CO & HC, there were the influence seen from the significant differences in the value of torque, power, and engine exhaust emissions on each test. The torque produced by engine that used a 6- Injector hole had maximum torque at 3500 rpm spin in the amount of 25.76 N.m. The engines that used a 6-Injector hole produced maximum power at 5000 rpm engine spin in the amount of 13.4 HP. The best CO gas emission test value on engines that used a 6-Injector hole was 0.07% Vol, while for the best HC gas emissions test value on engines that used a 6- Injector hole was 49 ppmVol. The tests for each variation of the Injector hole were carried out as much as possible to make it more accurate. There should be further research concerning to the appropriate use of Injector hole variations to improve the engine performance and reduce CO and HC gas emissions in engine exhaust gasses.

Keywords: *injector hole, torque, power, exhaust gas*

PRAKATA

Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Proposal Skripsi yang berjudul "PENGARUH VARIASI *INJECTOR HOLE* TERHADAP TORSI, DAYA, DAN EMISI GAS BUANG YAMAHA AEROX 155 VVA". Skripsi ini disusun sebagai salah satu persyaratan meraih gelar Sarjana Pendidikan pada Program Studi S1 Pendidikan Teknik Otomotif Universitas Negeri Semarang. Shalawat dan salam disampaikan kepada Nabi Muhammad SAW, mudah-mudahan kita semua mendapatkan safaat di yaumil akhir nanti, Amin.

Penyelesaian karya tulis ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih serta penghargaan kepada:

1. Prof. Dr. Fathur Rochman, M.Hum, Rektor Universitas Negeri Semarang atas kesempatan yang diberikan kepada penulis untuk menempuh studi di Universitas Negeri Semarang.
2. Dr. Nur Qudus, M.T., Dekan Fakultas Teknik, Rusiyanto, S.Pd., M.T., Ketua Jurusan Teknik Mesin, Dr. Dwi Widjanarko, S.Pd., S.T., M.T., Koordinator Program Studi Pendidikan Teknik Otomotif atas fasilitas yang disediakan bagi mahasiswa.
3. Dr. M. Burhan Rubai Wijaya, M.Pd., Pembimbing yang penuh perhatian atas bimbingan dan disertai kemudahan menunjukkan sumber-sumber yang relevan dengan penulisan karya ini.

4. Semua dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang yang telah memberi bekal pengetahuan yang berharga.
5. Dyno Centre & Motorcyle Research Support, bengkel Mototech yang menjadi tempat penelitian performa mesin dalam penyusunan skripsi.
6. Lab. TUK, Balai Pengembangan Pendidikan Kejuruan (BP DIKJUR) Semarang yang menjadi tempat penelitian emisi gas buang dalam penyusunan skripsi.
7. Kedua orang tua yang telah membantu secara materiil dan rohani, yang tidak letihnya memberi semangat.
8. Rekan-rekan Pendidikan Teknik Otomotif angkatan 2014 dengan seluruh kebersamaan dan semangatnya.
9. Berbagai pihak yang telah memberi bantuan untuk karya tulis ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis berharap semoga Proposal Skripsi ini dapat selanjutnya diseminarkan dalam Seminar Proposal Skripsi dan dapat diterima untuk melakukan penelitian.

Semarang, 14 MEI 2019

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i
HALAMAN LOGO ii
PERSETUJUAN PEMBIMBING iii
PERNYATAAN KEASLIAN iv
PENGESAHAN v
MOTTO DAN PERSEMBAHAN vi
RINGKASAN vii
ABSTRACT viii
PRAKATA ix
DAFTAR ISI xi
DAFTAR TABEL xiv
DAFTAR GAMBAR xv
DAFTAR LAMPIRAN xvii
BAB I 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Identifikasi Masalah 5
1.3 Pembatasan Masalah 5
1.4 Rumusan Masalah 6
1.5 Tujuan 6
1.6 Manfaat 7
BAB II 8
2.1 Kajian Pustaka 8
2.2 Landasan Teori 10
2.2.1 Motor Bensin Empat Langkah (4 Tak) 10
2.2.2 Sistem Bahan Bakar Injeksi 11
2.2.3 Konstruksi Dasar Sistem Bahan Bakar Injeksi 12
a. Sistem Bahan Bakar 13
b. Sistem Kontrol Elektronik 15
2.2.4 Proses Pembakaran 16
2.2.5 Prestasi Mesin 16

a. Torsi (Torque) 18
b. Daya 20
2.2.6 Efisiensi Mesin 21
a. Efisiensi Mekanik 25
b. Efisiensi Volumetrik 25
2.2.7 Emisi Gas Buang 26
a. CO (Carbon Monoxide) 27
b. HC (Hidrocarbon) 29
2.2.8 Injektor 30
2.2.9 Dynamometer 34
2.3 Kerangka Pikir Penelitian 35
BAB III 37
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian 37
3.1.1 Waktu Penelitian 37
3.1.2 Tempat Penelitian 37
3.2 Desain Penelitian 37
3.3 Alat dan Bahan Penelitian 37
3.3.1 Alat Penelitian 37
3.3.2 Bahan Penelitian 39
3.3.3 Skema Peralatan Penelitian 40
3.4 Parameter Penelitian 41
3.4.1 Variabel Bebas 41
3.4.2 Variabel Terikat 41
3.4.3 Variabel Kontrol 41
3.5 Teknik Pengumpulan Data 42
3.5.1 Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian 42
3.5.2 Proses Penelitian 43
3.5.3 Data Penelitian 48
3.6 Teknik Analisis Data 50
BAB IV 51
4.1 Hasil Data 51
4.2 Analisis Data 54

4.2.1 Lambda bahan bakar & *Air Fuel Ratio* (AFR) Yamaha Aerox 155 VVA dengan variasi *injector hole* 54
a. Lambda bahan bakar Yamaha Aerox 155 VVA dengan variasi *injector hole* 54
b. *Air Fuel Ratio* (AFR) Yamaha Aerox 155 VVA dengan variasi *injector hole* 55
4.2.2 Torsi 57
a. Torsi mesin *Injector hole* 6 dengan torsi mesin *Injector hole* 10 .. 57
b. Torsi mesin *Injector hole* 6 dengan torsi mesin *Injector hole* 12 .. 58
4.2.3 Daya 59
a. Daya mesin *Injector hole* 6 dengan daya mesin *Injector hole* 10.. 59
b. Daya mesin *Injector hole* 6 dengan daya mesin *Injector hole* 12.. 61
4.2.4 Emisi Gas Buang CO 62
a. Emisi gas buang CO mesin *Injector hole* 6 dengan emisi gas buang CO mesin *Injector hole* 10..... 62
b. Emisi gas buang CO mesin *Injector hole* 6 dengan emisi gas buang CO mesin *Injector hole* 12..... 64
4.2.5 Emisi Gas Buang HC 66
a. Emisi gas buang HC mesin *Injector hole* 6 dengan emisi gas buang HC mesin *Injector hole* 10..... 66
b. Emisi gas buang HC mesin *Injector hole* 6 dengan emisi gas buang HC mesin *Injector hole* 12..... 67
4.3 Pembahasan 69
4.3.1 Torsi 69
4.3.2 Daya 73
4.3.3 Emisi Gas Buang CO 76
4.3.4 Emisi Gas Buang HC 79
4.4 Keterbatasan Penelitian 81
BAB V 83
5.1 Simpulan..... 83
5.2 Saran..... 85
DAFTAR PUSTAKA 86
DAFTAR LAMPIRAN..... 89

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan CO Motor Bensin dan Motor Diesel 28

Tabel 3.1 Lembar Pengambilan Data Torsi 48

Tabel 3.2 Lembar Pengambilan Data Daya 48

Tabel 3.3 Lembar Pengambilan Data CO 49

Tabel 3.4 Lembar Pengambilan Data HC 49

Tabel 4.1 Data Lambda Bahan Bakar Yamaha Aerox 155 VVA Dengan Variasi *Injector hole*..... 51

Tabel 4.2 Data *Air Fuel Ratio (AFR)* Yamaha Aerox 155 VVA Dengan Variasi *Injector hole*..... 51

Tabel 4.3 Data Torsi Mesin Yamaha Aerox 155 VVA Dengan Variasi *Injector hole* menggunakan *dynamometer*..... 52

Tabel 4.4 Data Daya mesin Yamaha Aerox 155 VVA Dengan Variasi *Injector hole* menggunakan *dynamometer*..... 52

Tabel 4.5 Data CO mesin Yamaha Aerox 155 VVA Dengan Variasi *Injector hole* menggunakan *gas analyzer* 53

Tabel 4.6 Data HC mesin Yamaha Aerox 155 VVA Dengan Variasi *Injector hole* menggunakan *gas analyzer* 53

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diagram *P-V* dari Siklus Ideal Motor Bakar Bensin 4-Langkah..... 11

Gambar 2.2 Keseimbangan Energi Pada Motor Bakar 17

Gambar 2.3 Ilustrasi Momen Putar..... 18

Gambar 2.4 Diagram P-Ɵ Teoritis..... 23

Gambar 2.5 Tahap Pembakaran Dalam Mesin SI 24

Gambar 2.6 Konstruksi *Injector* 31

Gambar 2.7 Konstruksi *Injector* 32

Gambar 2.8 Prinsip Dasar *Dynamometer*..... 35

Gambar 3.1 Skema Instalasi Pengujian Performa Dan Emisi Gas Buang 40

Gambar 3.2 Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian 42

Gambar 4.1 Lambda bahan bakar Yamaha Aerox 155 VVA dengan variasi *injector hole* 54

Gambar 4.2 *Air Fuel Ratio (AFR)* Yamaha Aerox 155 VVA dengan variasi *injector hole* 56

Gambar 4.3 Perbandingan torsi *Injector hole* 6 dengan *Injector hole* 10 hasil pengujian *dynamometer*..... 57

Gambar 4.4 Perbandingan torsi *Injector hole* 6 dengan *Injector hole* 12 hasil pengujian *dynamometer*..... 59

Gambar 4.5 Perbandingan daya *Injector hole* 6 dengan *Injector hole* 10 hasil pengujian *dynamometer*..... 60

Gambar 4.6 Perbandingan daya *Injector hole* 6 dengan *Injector hole* 12 hasil pengujian *dynamometer*..... 61

Gambar 4.7 Perbandingan emisi gas co *Injector hole* 6 dengan *Injector hole* 10 hasil pengujian *gas analyzer*..... 63

Gambar 4.8 Perbandingan emisi gas co *Injector hole* 6 dengan *Injector hole* 12 hasil pengujian *gas analyzer*..... 65

Gambar 4.9 Perbandingan emisi gas hc *Injector hole* 6 dengan *Injector hole* 10 hasil pengujian *gas analyzer*..... 66

Gambar 4.10 Perbandingan emisi gas hc *Injector hole* 6 dengan *Injector hole* 12 hasil pengujian *gas analyzer* 68

Gambar 4.11 Perbandingan torsi *Injector hole 6, Injector hole 10,* dan *Injector hole 12* hasil pengujian dynamometer 70

Gambar 4.12 Perbandingan daya *Injector hole 6, Injector hole 10,* dan *Injector hole 12* hasil pengujian *dynamomoeter* 74

Gambar 4.13 Perbandingan emisi gas CO *Injector hole 6, Injector hole 10,* dan *Injector hole 12* hasil pengujian *gas analyzer* 77

Gambar 4.14 Perbandingan emisi gas HC *Injector hole 6, Injector hole 10,* dan *Injector hole 12* hasil pengujian *gas analyzer* 80

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Surat Usulan Topik Skripsi 89

Lampiran 2. Surat Usulan Pembimbing 90

Lampiran 3. Surat Persetujuan Seminar Proposal 91

Lampiran 4. Surat Tugas Penguji Seminar Proposal 92

Lampiran 5. Berita Acara Seminar Proposal 93

Lampiran 6. Lembar Pernyataan Selesai Revisi Proposal 94

Lampiran 7. Surat Izin Penelitian Emisi Gas Buang 95

Lampiran 8. Surat Izin Penelitian *Dynotest* 96

Lampiran 9. Surat Selesai Penelitian Emisi Gas Buang 97

Lampiran 10. Hasil Pengujian *Dynotest* mesin *Injector hole 6* ke- 1 98

Lampiran 11. Hasil Pengujian *Dynotest* mesin *Injector hole 6* ke- 2 99

Lampiran 12. Hasil Pengujian *Dynotest* mesin *Injector hole 6* ke- 3 100

Lampiran 13. Hasil Pengujian *Dynotest* mesin *Injector hole 10* ke- 1 101

Lampiran 14. Hasil Pengujian *Dynotest* mesin *Injector hole 10* ke- 2 102

Lampiran 15. Hasil Pengujian *Dynotest* mesin *Injector hole 10* ke- 3 103

Lampiran 16. Hasil Pengujian *Dynotest* mesin *Injector hole 12* ke- 1 104

Lampiran 17. Hasil Pengujian *Dynotest* mesin *Injector hole 12* ke- 2 105

Lampiran 18. Hasil Pengujian *Dynotest* mesin *Injector hole 12* ke- 3 106

Lampiran 19. Hasil Pengujian Emisi Gas Buang Mesin *Injector hole 6* pada 1500 rpm..... 107

Lampiran 20. Hasil Pengujian Emisi Gas Buang Mesin *Injector hole 6* pada 2000 rpm..... 108

Lampiran 21. Hasil Pengujian Emisi Gas Buang Mesin *Injector hole 6* pada 2500 rpm..... 109

Lampiran 22. Hasil Pengujian Emisi Gas Buang Mesin *Injector hole 6* pada 3000 rpm..... 110

Lampiran 23. Hasil Pengujian Emisi Gas Buang Mesin *Injector hole 10* pada 1500 rpm..... 111

Lampiran 24. Hasil Pengujian Emisi Gas Buang Mesin *Injector hole 1o* pada 2000 rpm..... 112

Lampiran 25. Hasil Pengujian Emisi Gas Buang Mesin *Injector hole* 10 pada 2500 rpm..... 113

Lampiran 26. Hasil Pengujian Emisi Gas Buang Mesin *Injector hole 10* pada 3000 rpm..... 114

Lampiran 27. Hasil Pengujian Emisi Gas Buang Mesin *Injector hole 12* pada 1500 rpm..... 115

Lampiran 28. Hasil Pengujian Emisi Gas Buang Mesin *Injector hole 12* pada 2000 rpm..... 116

Lampiran 29. Hasil Pengujian Emisi Gas Buang Mesin *Injector hole 12* pada 2500 rpm..... 117

Lampiran 30. Hasil Pengujian Emisi Gas Buang Mesin *Injector hole 12* pada 3000 rpm..... 118

Lampiran 31. Pengujian Performa Mesin Pada Alat Dynotest 119

Lampiran 32. Pengujian Performa Mesin Pada Alat Dynotest 120

Lampiran 33. Pengujian Emisi Gas Buang CO dan HC Menggunakan *Gas Analyzer* *121*

Lampiran 34. Pengujian Emisi Gas Buang CO dan HC Menggunakan *Gas Analyzer* *122*

Lampiran 35. Bahan Penelitian *(Injector hole 4, Injector hole 6, Injector hole 10, Injector hole 12)*..... 123

Lampiran 36. Hasil Pengujian Lambda Bahan Bakar Yamaha Aerox 155 VVA dengan Variasi *Injector Hole 6* 124

Lampiran 37. Hasil Pengujian Lambda Bahan Bakar Yamaha Aerox 155 VVA dengan Variasi *Injector Hole 10* 125

Lampiran 38. Hasil Pengujian Lambda Bahan Bakar Yamaha Aerox 155 VVA dengan Variasi *Injector Hole 12* 126

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penggunaan kendaraan hampir disemua negara tidak lagi dapat dibatasi. Ha1 ini disebabkan karena meningkatnya kebutuhan masyarakat terhadap kendaraan untuk memudahkan transportasi dalam berpergian. Kendaraan yang sering dijumpai terutama di negara kita Indonesia pada umumnya yaitu sepeda motor. Faktor pendapatan ekonomi yang semakin meningkat juga menjadi salah satu faktor pendukung melonjaknya jumlah kendaraan. Selain itu, kemudahan untuk membeli atau mendapatkan sebuah kendaraan semakin dipermudah pada saat ini.

Sepeda motor yang paling banyak digunakan saat ini dan diminati masyarakat Indonesia pada umumnya ialah sepeda motor 4 tak. Jenis sepeda motor di Indonesia ada 3 jenis yaitu bebek, *sport*, dan *matic*. Ketiga jenis motor tersebut memiliki kelebihan dan kekurangannya masing-masing. Hal yang membedakan dari sepeda motor *matic* yaitu kurang responsifnya performa mesin saat melaju maupun saat akselerasi dibandingkang denga sepeda motor jenis bebek atau *sport* dengan volume langkah mesin yang sama. Melihat beragamnya kendaraan saat ini, banyak perusahan otomotif berinovasi dalam pembuataan teknologi untuk meningkatkan kualitas performa mesin dan mengurangi dampak negatif dari penggunaan mesin kendaraan. Peningkatan kendaraan ramah lingkungan mulai diterapkan pada kendaraan alat transportasi. Selain ramah lingkungan, juga dikembangkan teknologi kendaraan dengan konsumsi bahan bakar yang hemat guna memperoleh daya yang optimal.

Meningkatnya jumlah kendaraan sepeda motor memberi dampak positif bagi kegiatan manusia ternyata di sisi lain memberikan dampak negatif bagi lingkungan. Arifin dan Sukoco (2009: 31), mengungkapkan bahwa sebagian besar polusi udara (70%) disebabkan oleh kegiatan transportasi. Peningkatan jumlah sepeda motor sebagai sarana transportasi ini berarti turut menyumbang sebagian besar polusi udara yang menyebabkan kerusakan lingkungan (pencemaran udara) akibat emisi gas buang yang ditimbulkan. Proses pembakaran yang terjadi di dalam ruang bakar selain menghasilkan daya dan torsi juga menghasilkan emisi gas buang. Pembakaran yang sempurna akan membuat emisi gas buang lebih baik, namun jika pembakaran tidak sempurna akan mengakibatkan beberapa campuran udara dan bahan bakar terbuang keluar sehingga emisi gas buang menjadi buruk. Proses pembakaran dengan *air fuel ratio (afr)* yang tidak ideal membumenghasilkan nilai performa mesin maupun emisi gas buang menjadi lebih buruk. Gas hasil pembakaran di dalam ruang bakar pada sepeda motor menghasilkan gas yang tidak beracun seperti N_2 (Nitrogen), CO_2 (Carbon Dioksida) dan H_2O (Uap Air). Serta menghasilkan gas beracun seperti NOx, HC dan CO. (Arifin dan Sukoco, 2009: 34).

Pembakaran di dalam motor adalah hal yang sangat menentukan besarnya tenaga yang dihasilkan sepeda motor dengan suplainya sejumlah bahan bakar ke dalam silinder motor tersebut. Hal ini disebabkan karena dengan pembakaran inilah tenaga motor dihasilkan. Kesempurnaan pembakaran diantaranya berkaitan dengan kualitas bahan bakar itu sendiri. Kualitas bahan bakar dapat diurutkan berdasarkan nilai oktan bahan bakar. Nilai oktan yang semakin rendah memungkinkan bahan bakar mudah berdetonasi *(knocking)*. Bahan bakar yang mudah berdetonasi *(knocking)* akan menurunkan performa motor, karena mengalami kerugian daya

yang disebabkan oleh bahan bakar yang terbakar terlebih dahulu sebelum waktunya dan menjadikan konsumsi bahan bakar menjadi lebih boros karena mengalami pembakaran yang tidak sempurna. Jika pembakaran tidak sempurna, maka konsumsi bahan bakar menjadi lebih banyak dan performa mesin yang dihasilkan kurang optimal. Sedangkan semakin tinggi nilai oktan memungkinkan bahan bakar untuk tidak berdetonasi sehingga pembakaran bisa bekerja dengan efisien.

Nilai performa mesin yang dihasilkan oleh motor *matic* lebih rendah apabila dibandingkan dengan motor bebek maupun *sport* pada kondisi volume silinder yang sama. Peningkatan peforma motor dapat dilakukan dengan memperbesar perbandingan kompresi, pencampuran bahan bakar yang tepat, dan memperbaiki efisiensi volumetriknya. Memperbesar perbandingan kompresi akan meningkatkan angka kompresi dan tekanan pembakaran. Besarnya perbandingan kompresi pada motor bensin tidak boleh terlalu tinggi untuk menghindari terjadinya detonasi. Secara kimia dibutuhkan rasio udara dan bahan bakar yang tepat untuk berlangsungnya pembakaran yang sempurna (Kristanto, 2015: 123). Pembakaran yang sempurna dapat terjadi bila perbandingan antara campuran bahan bakar dan udara masih dalam batas yang ditentukan menurut kondisi tertentu. Pembakaran sempurna membutuhkan campuran udara dan bahan bakar yang ideal, yaitu 14,7 : 1 (Soenarta dan Furuhama, 1985: 21). Perbandingan campuran udara dan bahan bakar yang ideal ini disebut rasio stoikiometri.

Sistem bahan bakar tipe karburator pada saat ini dianggap kurang efisien, karena perbandingan campuran bahan bakar dan udara yang kurang akurat, sehingga berdampak pada emisi gas buang yang besar, oleh karena itu seiring dengan perkembangan teknologi sistem bahan bakar ini mulai berganti dengan

sistem bahan bakar injeksi atau lebih dikenal dengan istilah EFI *(Electronic Fuel Injection)*. Dalam sistem kerjanya sistem EFI dikontrol secara elektronik agar didapat campuran bahan bakar & udara yang selalu sesuai dengan kebutuhan mesin, sehingga menghasilkan daya yang optimal dan lebih ramah lingkungan. Pada kendaraan – kendaraan yang menggunakan sistem EFI jumlah pengabutan bahan bakar yang disemburkan oleh *injector* sangat berpengaruh terhadap efisiensi serta emisinya, jumlah bahan bakar yang dikeluarkan oleh *injector* dalam satuan cc/menit *(injector flow rate)* tentu akan mempunyai efek terhadap efisiensi dan emisi pada mesin. Jika campuran udara dan bahan bakar ideal maka pembakaran di dalam ruang bakar dapat terjadi secara sempurna, sehingga menghasilkan performa mesin yang lebih optimal.

Besar daya dan kinerja yang dapat diperoleh motor tergantung pada jumlah maksimum udara di dalam silinder sepanjang tiap siklus (Kristanto, 2015: 28). Semakin banyak jumlah udara berarti akan semakin banyak jumlah bahan bakar yang terbakar dan efisiensi volumetris motor meningkat. Jumlah campuran udara dan bahan bakar dapat ditingkatkan dengan memperbesar lintasan aliran campuran udara dan bahan bakar itu sendiri.

Banyak penelitian dilakukan untuk meningkatkan performa sepeda motor injeksi. Salah satu cara adalah dengan menambahkan alat-alat tambahan tanpa harus merubah konstruksi mesin yang sudah ada ataupun mengganti beberapa komponen mesin itu sendiri sesuai kebutuhan. Atas dasar uraian permasalahan tersebut penilitian akan dilakukan dengan judul “Pengaruh Variasi *Injector hole* Terhadap Torsi, Daya, Dan Emisi Gas Buang Yamaha Aerox 155 VVA”.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan uraian permasalahan di atas, maka dapat diidentifikasikan beberapa permasalahan, diantaranya:

1. Masyarakat cenderung lebih memilih menggunakan sepeda motor *matic* dibandingkan dengan menggunakan sepeda motor jenis lainnya.
2. Penggunaan kendaraan bermotor menciptakan gas buang yang berakibat pada tingginya angka polusi dan pencemaran udara yang ada di Indonesia.
3. Pembakaran yang kurang sempurna menghasilkan kandungan emisi gas buang yang buruk.
4. Emisi gas buang pada umumnya terdiri dari gas yang tidak beracun seperti N_2 (Nitrogen), CO_2 (Carbon Dioksida) dan H_2O (Uap Air). Serta menghasilkan gas beracun seperti NOx, HC dan CO.
5. Salah satu kekurangan sepeda motor *matic* yaitu kurang responsif.
6. *Air Fuel Ratio (AFR)* menjadi faktor nilai performa mesin dan emisi gas buang pada sepeda motor injeksi.
7. Torsi sepeda motor *matic* lebih kecil dibanding sepeda motor jenis bebek maupun sport dengan kapasitas mesin yang sama.
8. Menaikkan performa mesin motor seringkali merubah secara permanen konstruksi dari mesin itu sendiri.

1.3 Pembatasan Masalah

Berdasarkan uraian tersebut, dijelaskan bahwa penggunaan variasi *injector hole* pada sepeda motor injeksi akan terdapat perbedaan pada daya, torsi dan emisi gas buang. Agar penelitian ini tidak menyimpang dari permasalahan yang diteliti, maka permasalahan akan dibatasi:

1. Parameter performa yang diteliti adalah torsi, daya dan emisi gas buang mesin dengan variasi *injector r hole* yang digunakan.
2. Variasi *injector hole* yang digunakan adalah: *Hole* 6, *Hole* 10 dan *Hole* 12.
3. Pengujian emisi gas buang hanya mengukur nilai kandungan karbon monoksida (CO) dan hidrokarbon (HC).
4. Putaran mesin yang dikondisikan dalam pengujian emisi gas buang dimulai dari 1500 rpm, 2000 rpm, 2500 rpm dan 3000 rpm.
5. Bahan bakar yang digunakan adalah jenis Pertamax. Dengan *octane number* 92.

1.4 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, penulis merumuskan beberapa masalah yaitu:

1. Adakah pengaruh penggunaan variasi *injector hole* terhadap torsi mesin Yamaha Aerox 155 VVA?
2. Adakah pengaruh penggunaan variasi *injector hole* terhadap daya mesin Yamaha Aerox 155 VVA?
3. Adakah pengaruh penggunaan variasi *injector hole* terhadap emisi gas buang Yamaha Aerox 155 VVA?

1.5 Tujuan

Tujuan yang hendak dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh penggunaan variasi *injector hole* terhadap torsi mesin Yamaha Aerox 155 VVA.
2. Mengetahui pengaruh penggunaan variasi *injector hole* terhadap daya mesin Yamaha Aerox 155 VVA.

3. Mengetahui pengaruh penggunaan variasi *injector hole* terhadap emisi gas buang Yamaha Aerox 155 VVA.

1.6 Manfaat

Manfaat dari penelitian mengenai Pengaruh Variasi *Injector hole* Terhadap Torsi, Daya, Dan Emisi Gas Buang Yamaha Aerox 155 VVA adalah:

1. Manfaat teoritis, penelitian ini memberikan manfaat antara lain:
   a. Dapat dijadikan sebagai referensi peneliti lain untuk melakukan penelitian selanjutnya.
   b. Dapat memberikan informasi kepada masyarakat luas terutama pengguna kendaraan bermotor tentang pengaruh penggunaan Pengaruh Variasi *Injector Hole* Terhadap Torsi, Daya, Dan Emisi Gas Buang Yamaha Aerox 155 VVA.
2. Manfaat praktis, penelitian ini memberikan manfaat antara lain:
   a. Pemilihan variasi *injector hole* yang sesuai akan meningkatkan daya dan torsi sepeda motor injeksi.
   b. Pemilihan variasi *injector hole* yang sesuai akan menurunkan kadar emisi gas buang sepeda motor injeksi.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Kajian Pustaka

Sebagai pemikiran dasar, penulis melihat dan melakukan penelitian awal terhadap pustaka yang ada berupa hasil penelitian sebelumnya yaitu berupa jurnal dan skripsi yang berhubungan dengan penelitian yang penulis lakukan. Beberapa penelitian yang telah dilakukan oleh para peneliti sebelumnya dengan bahan yang sama ataupun berbeda yang dapat dijadikan acuan dalam penelitian ini.

Penelitian yang dilakukan oleh Ismanto (2012) pada variasi tekanan injektor terhadap *performance* (Torsi dan Daya) motor Diesel. Hasil penelitian didapatkan nilai torsi tertinggi pada tekanan 18 Mpa pada putaran 1980 rpm sebesar 9,81 Nm. Nilai torsi terendah terjadi pada tekanan 16 Mpa pada putaran 1250 rpm sebesar 3,92 Nm. Pada tekanan 13 MPa putaran 1000-1750 rpm, terjadi kenaikan nilai daya akan tetapi saat putaran 1960 dayanya. Pada tekanan 16 MPa putaran 1000-1500 rpm, dayanya naik kemudian saat putaran *max* 1970 rpm dayanya masih bisa naik. Pada tekanan 18 MPa putaran 1000-1500 rpm, dayanya naik dan pada tekanan ini hanya untuk mencari rpm.

Penelitian yang dilakukan oleh Tristianto, dkk. (2016) dengan judul Pengaruh Penggunaan *Injector* Vixion Dan Ecu Racing Pada Sepeda Motor Yamaha Mio J Terhadap Daya Motor didapatkan hasil adanya pengaruh terhadap daya, akan tetapi tidak begitu besar pengaruhnya. Pada penggunaan *Injector* Vixion rata-rata daya pada rpm 1750 adalah 2,97 hp, rpm 3500 adalah 6,60 hp, rpm 5000 adalah 6,38 hp dengan torsi 0,94 Kgf-m. Sedangkan rata-rata daya *standart* pada

rpm 1750 adalah 2,74 hp, rpm 3500 adalah 6,01 hp, rpm 5000 adalah 6,48 hp dengan torsi 0,80 Kgf-m sehingga daya mesin lebih besar menggunakan *Injector* Vixion pada saat putaran mesin rendah ke putaran sedang saja.

Penelitian yang dilakukan oleh Ashari, dkk. (2016) dengan judul Pengaruh Variasi Tekanan Injektor Dan Putaran Terhadap Performa Dan Gas Buang Pada Motor Diesel bahwa dari hasil penelitian dan berdasarkan hipotesa terbukti bahwa adanya pengaruh tekanan injektor dan putaran terhadap peningkatan performa dan penurunan gas buang pada motor diesel. Pada tekanan injektor 130 bar menghasilkan performa mesin yang paling baik dengan daya efektif sebesar 40,4 kW pada putaran 2500 rpm, dan torsi sebesar 16,8 kg.m pada putaran 1500 rpm. Sedangkan konsumsi bahan bakar SFC dan ESFC yang paling rendah pada tekanan 110 bar, hal ini dapat dimaklumi karena performa mesin yang lebih rendah dibandingkan dengan tekanan 120 dan 130 bar. Sedangkan penurunan kadar asap atau *opacity smoke* paling rendah pada tekanan 130 bar dengan kadar kepekatan asap sebesar 17 % pada putaran 1500 rpm.

Penelitian yang telah dilakukan tersebut, relevansinya dengan penelitian ini adalah variasi yang dilakukan di beberapa komponen injektor pada akhirnya akan mengubah besaran tekanan dari injektor itu sendiri sehingga dari tekanan *injector* yang berubah akan mempengaruhi performa mesin kendaraan. Maka dari itu penelitian akan dilakukan pada Yamaha Aerox 155 VVA sebagai bahan uji untuk mengetahui pengaruh variasi lubang *(hole)* injektor terhadap torsi, daya dan emisi gas buang motor.

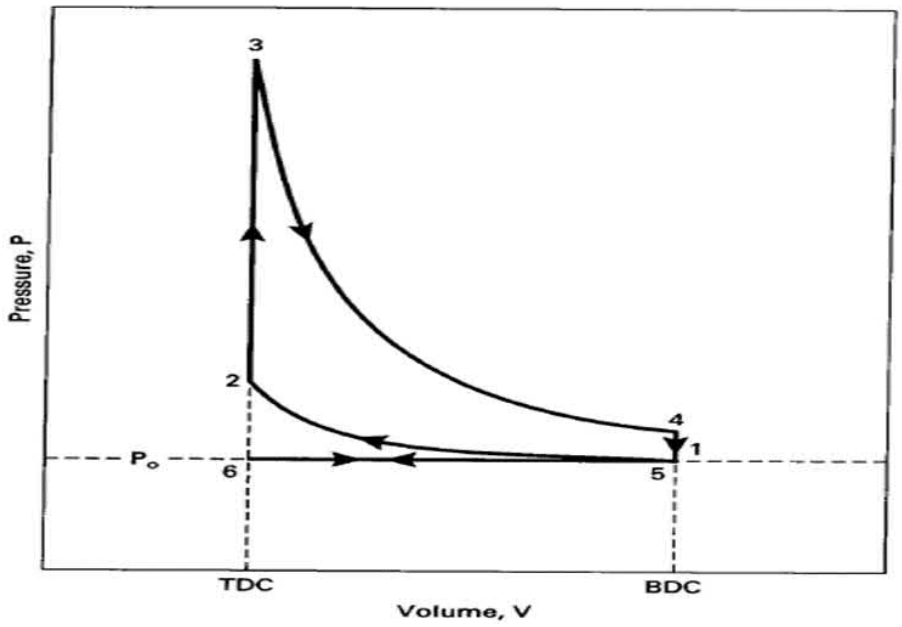
2.2 Landasan Teori

Untuk mendukung penelitian ini, maka perlu dikemukakan teori-teori yang berkaitan dengan permasalahan dan ruang lingkup pembahasan sebagai landasan pada penelitian ini.

2.2.1 Motor Bensin Empat Langkah (4 Tak)

Agar motor dapat bekerja, perlu terjadi pembakaran pada silinder. Untuk dapat terjadinya proses pembakaran ini, motor memerlukan udara, bahan bakar, kompresi, penyalaan. (Suhadi, dkk. 1983: 15). Penyalaan ini menggunakan busi sebagai sumber api. Setelah campuran udara dan bahan bakar mencapai kompresi tertentu dan dengan tekanan dan temperatur tertentu maka busi dinyalakan sehingga terjadi reaksi pembakaran dan menghasilkan tenaga untuk mendorong torak ke posisi semula.

Suhadi, dkk. (1983: 17) menjelaskan untuk setiap siklus, pada motor 4 langkah terdapat 4 langkah torak, yaitu 2 langkah naik dan 2 langkah turun. Akibatnya selama siklus itu berlangsung, poros engkol akan berputar 2 kali. Motor bensin 4 langkah (4 Tak) mempunyai perawatan yang lebih sulit dibandingkan dengan motor bensin 2 langkah (2 Tak) karena mempunyai komponen mesin yang lebih rumit. Langkah kerja dari motor 4 langkah dapat dijelaskan melalui siklus ideal dari siklus udara volume konstan yaitu:



Gambar 2.1 Diagram *P-V* dari Siklus Ideal Motor Bakar Bensin 4-Langkah
Sumber: Pulkrabek, W. W, (1997: 73)

2.2.2 Sistem Bahan Bakar Injeksi Sepeda Motor

Sistem bahan bakar injeksi atau *Electronic Fuel Injection* merupakan langkah inovasi yang dikembangkan untuk diterapkan pada kendaraan bermotor saat ini. Sistem bahan bakar EFI dimaksudkan agar dapat meningkatkan kinerja mesin supaya *power* yang dihasilkan lebih baik, akselerasi yang lebih responsif stabil pada setiap putaran mesin, pemakaian bahan bakar yang lebih efisien dan menghasilkan emisi gas buang yang lebih rendah sehingga lebih ramah lingkungan.

Sistem injeksi bahan bakar merupakan sistem bahan bakar yang proses pengabutan bahan bakarnya dengan metode diinjeksikan atau disemprotkan, hal ini berbeda dengan sistem karburator dimana pada sistem karburator proses pengabutan bahan bakar diakibatkan oleh hisapan akibat penurunan tekanan pada venturi karburator (Solikhin, 2011: 1).

Secara ideal, sistem bahan bakar injeksi (EFI) harus dapat menyuplai bahan bakar yang disemprotkan dari injektor agar dapat dengan mudah bercampur dengan

udara dan menghasilkan campuran yang homogen dalam perbandingan campuran yang tepat sesuai dengan putaran dan beban mesin, kebutuhan mesin, dan kondisi antara suhu mesin dengan suhu atmosfir saat itu. Pembakaran yang sempurna dapat terjadi bila perbandingan antara campuran bahan bakar dan udara masih dalam batas yang ditentukan menurut kondisi tertentu (Soenarta dan Furuhama, 1985: 21). Perbandingan campuran udara dan bahan bakar ideal pada motor bensin adalah 14,7:1 untuk memperoleh pembakaran yang sempurna pada ruang bakar. Perbandingan campuran udara dan bahan bakar jika diperlukan tenaga yang maksimum adalah berkisar antara (12-13):1, dengan pengertian bahwa campuran lebih gemuk dari campuran teoritis untuk melakukan pembakaran secara ideal.

Perbandingan udara dan bahan bakar atau AFR *(Air Fuel Ratio)* yang ideal disebut juga dengan perbandingan *stoichiometric* yang mana perbandingannya adalah 14,7 gr udara dengan 1 gr bahan bakar. Campuran yang dikenal sebagai perbandingan udara dan bahan bakar mempunyai kontribusi yang sangat besar terhadap hasil pembakaran. Campuran ini harus berada pada daerah perbandingan yang sesuai yaitu sejumlah 14,7 kg udara membutuhkan udara sejumlah 1 kg bensin. (Sutiman, 2005: 15).

Perbandingan udara dan bahan bakar tersebut bergantung dari temperatur dan kondisi kerja mesin. Perbandingan campuran saat menghidupkan mesin berbeda dengan perbandingan campuran saat putaran idling, saat putaran lambat, maupun saat putaran dipercepat.

2.2.3 Konstruksi Dasar Sistem Bahan Bakar Injeksi

Secara umum sistem injeksi kontrol elektronik dikelompokkan menjadi dua, yaitu L jetronik dan D jetronik (Solikhin, 2011: 5). Mengenai pengelompokkan

sistem injeksi kontrol elektronik, bahwa pada sistem bahan bakar injeksi kontrol elektronik tipe L Jetronik menggunakan ECU *(Electronic Control Unit)* sebagai pengontrol injeksi bahan bakar berdasarkan jumlah aliran udara yang masuk ke dalam silinder yang terukur atau terdeteksi oleh sensor *Air Flow Meter*. Sedangkan pengontrol injeksi bahan bakar berdasarkan tekanan udara yang masuk ke dalam silinder yang terdeteksi oleh sensor MAP *(Manifold Absolute Pressure)*.

Dengan semakin lengkapnya komponen pendukung seperti sensor dan *actuator* dari sistem EFI tersebut, maka pengkoreksian campuran udara dan bahan bakar dalam sistem EFI tersebut akan semakin baik sehingga *output* kerja mesin yang dikeluarkan menjadi lebih optimal.

Konstruksi sistem EFI dapat dibagi menjadi tiga bagian/sistem utama yaitu: sistem bahan bakar *(fuel system)*, sistem induksi pemasukan udara *(air induction system)*, dan sistem kontrol elektronik *(electronic control system)* (Solikhin, 2011 : 11). Ketiga sistem ini sangat berperan penting dalam sistem EFI untuk menghasilkan pemakaian bahan bakar yang efisien, emisi yang rendah dan kerja mesin yang optimal. Ketiga sistem tersebut apabila diperinci sebagai berikut:

a. Sistem Bahan Bakar

Sistem bahan bakar EFI *(Electonic Fuel Injection)* merupakan sistem yang berfungsi untuk menampung bahan bakar, menyuplai bahan bakar pada tekanan tinggi, mengatur tekanan bahan bakar, sehingga siap diinjeksikan. (Solikhin, 2011: 11)

Komponen-komponen yang digunakan pada sistem bahan bakar ini diantaranya adalah tangki bahan bakar *(fuel tank)*, pompa bahan bakar *(fuel pump)*, saringan bahan bakar *(fuel suction filter)*, pipa bahan bakar *(fuel feed*

hose), regulator tekanan *(pressure regulator)* dan injektor. Solikhin (2011: 12) menjelaskan, fungsi dari masing-masing komponen sistem bahan bakar tersebut adalah sebagai berikut:

1. Tangki bahan bakar *(fuel tank)* berfungsi sebagai tempat penampungan sementara bahan bakar yang dibutuhkan oleh mesin. (Solikhin, 2011: 12)
2. Pompa bahan bakar *(fuel pump)* berfungsi untuk memompa dan mengalirkan bahan bakar dari tangki bahan bakar menuju injektor bertekanan tinggi. Jumlah bahan bakar yang disalurkan menuju ke injektor harus lebih banyak dibandingkan dengan kebutuhan mesin, hal ini bertujuan agar tekanan dalam sistem bahan bakar dapat selalu dipertahankan meskipun kondisi mesin berubah-ubah. (Solikhin, 2011: 12)
3. Saringan bahan bakar *(fuel suction filter)* berfungsi untuk menyaring kotoran yang mungkin terkandung dalam bahan bakar, karena kotoran tersebut dapat menyumbat injektor. (Solikhin, 2011: 12)
4. Regulator tekanan *(pressure regulator)* berfungsi mengatur tekanan bahan bakar di dalam sistem aliran bahan bakar agar selalu konstan pada tekanan tertentu. Apabila tekanan bahan bakar yang dipompa melebihi batas tekanan, maka regulator tekanan akan mengembalikan bahan bakar tersebut menuju tangki bahan bakar. (Solikhin, 2011: 12)
5. Pipa bahan bakar *(fuel feed hose)* berfungsi untuk mengalirkan bahan bakar yang telah dipompa oleh pompa bahan bakar dari tangki bahan bakar menuju ke injektor. *Fuel feed hose* dirancang harus tahan terhadap

tekanan dari bahan bakar yang memiliki tekanan cukup besar akibat dipompa oleh pompa bahan bakar. (Solikhin, 2011: 12)

6. Injektor berfungsi untuk mengabutkan campuran udara dan bahan bakar lalu menyemprotkan ke saluran masuk *(intake manifold)*, pada umumnya sebelum katup masuk. Jumlah bahan bakar yang diinjeksikan tergantung dari tekanan bahan bakar, besarnya lubang pada injektor dan lamanya injektor tersebut membuka. Setiap injektor yang digunakan pada mesin injeksi sepeda motor memiliki konstruksi yang tidak selalu sama. (Solikhin, 2011: 12)

b. Sistem Kontrol Elektronik

Sutiman (2005: 6) menjelaskan, Sistem kontrol elektronik terdiri dari sensor dan aktuator yang berfungsi untuk menyajikan dan memberikan daya mesin yang optimal melalui sistem kerja yang akurat yang disesuaikan untuk menghasilkan emisi gas buang yang seminimal mungkin, penggunaan bahan bakar yang efisien, menghasilkan pengendaraan yang optimal untuk semua kondisi mesin.

Sensor berfungsi untuk mendeteksi kondisi kendaraan yang dibutuhkan ECU untuk menentukan jumlah injeksi bahan bakar dan saat pengapian. Terdapat banyak sensor yang digunakan oleh mesin EFI (Solikhin, 2011: 33). Sistem kontrol elektronik terdiri dari beberapa komponen yang bekerja untuk mendeteksi kondisi mesin, diantaranya adalah sensor IAT *(Intake Air Temperature)*, sensor MAP *(Manifold Absolute Pressure)*, TPS *(Throttle Positionsensor)*, EOT *(Engine Oil Temperature)*, CKP *(Crankshaft Position)*, *bank angle sensor*, O_2 *(Oxygen Sensor)* dan sensor-sensor lainnya.

Sistem kontrol elektronik terdapat ECU *(Electronic Control Unit)* yang merupakan pusat dari sistem motor itu sendiri yang mengatur output yang difungsikan oleh aktuator. Sutiman (2005: 6) menjelaskan bahwa, pengontrolan mesin yang dilakukan secara elektronik terdiri atas peralatan-peralatan sensor yang secara terus menerus memantau kondisi kerja mesin.

Melihat dari pernyataan tersebut, dapat dikatakan sistem kontrol elektronik ini sangatlah kompleks secara proses diagnosis dari setiap sensor-sensornya sebelum akhirnya data yang sudah diterima oleh ECU dikonversi menjadi sebuah hasil yaitu unjuk kerja mesin.

2.2.4 Proses Pembakaran

Soenarta dan Furuhama (1995: 8) menjelaskan bahwa proses pembakaran setiap macam bahan bakar selalu membutuhkan sejumlah udara tertentu agar bahan bakar tadi dapat terbakar sempurna. Ini dapat ditelusuri dari persamaan reaksi kimia pada pembakaran iso oktan (C_8H_{18}) :

$$C_8H_{18} + 12{,}5\ O_2 + 12{,}5\ (3{,}76)N_2 \rightarrow 8\ CO_2 + 9H_2O + 47\ N_2$$

Pembakaran diawali dengan loncatan bunga api dari busi pada akhir langkah kompresi. Loncatan bunga api terjadi sebelum torak mencapai titik mati atas (TMA) sewaktu langkah kompresi. Saat loncatan bunga api biasanya dinyatakan dalam derajat sudut engkol sebelum torak mencapai titik mati atas. (Soenarta dan Furuhama, 1995: 26).

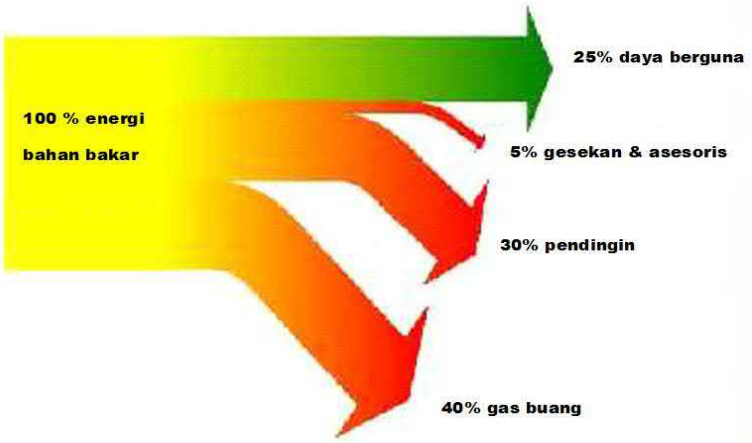
2.2.5 Prestasi Mesin

Salah satu faktor utama yang mempengaruhi kinerja traksi dari kendaraan adalah kemampuan dari tenaga penggerak kendaraan yaitu kemampuan mesin dari kendaraan. Kinerja dari mesin kendaraan umumnya ditunjukkan dalam 3 besaran

yaitu tenaga yang dapat dihasilkan, torsi yang dihasilkan, dan jumlah bahan bakar yang dikonsumsi (Sutantra, 2001: 166). Kemudian Pai, dkk (2013: 1) menjelaskan bahwa perubahan komposisi bahan bakar mempengaruhi kualitas kinerja kendaraan yang sepenuhnya tergantung pada kendaraan masing-masing. Hal tersebut tergantung pada desain mesin, jenis bahan bakar dan sistem kontrol, dan juga peralatan kontrol emisi.

Sutantra (2001: 31) menyatakan bahwa kendaraan untuk dapat bergerak maju ataupun mundur harus memiliki gaya dorong yang cukup melawan semua hambatan yang terjadi pada kendaraan. Gaya dorong dari suatu kendaraan terjadi pada roda penggerak kendaraan. Gaya dorong ini di tranformasikan dari torsi mesin kendaraan kepada roda penggerak melalui sistem penggerak yang terdiri dari kopling, transmisi, gigi diferensial, dan poros penggerak.

Proses perubahan energi dari mulai proses pembakaran sampai menghasilkan daya pada poros motor bakar melewati beberapa tahapan dan tidak mungkin perubahan energinya 100%. Kemampuan mesin motor bakar untuk merubah energi yang masuk yaitu bahan bakar sehingga menghasilkan daya berguna disebut kemampuan mesin atau prestasi mesin (Rahardjo, 2014: 23).

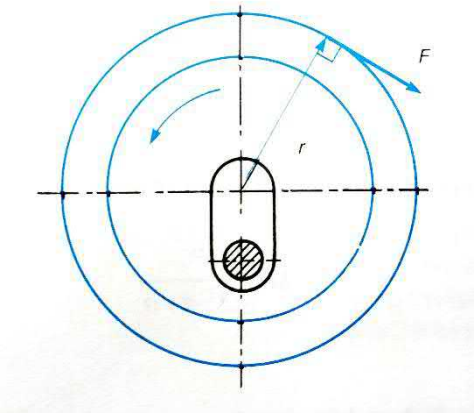


Gambar 2.2 Keseimbangan Energi Pada Motor Bakar
Sumber: Rahardjo, (2014:23)

Gambar 2.2 menunjukkan bahwa perubahan dari energi panas menjadi energi mekanis yang dihasilkan selama proses pembakaran pada motor bakar tidak dapat dimanfaatkan sepenuhnya. Dari 100% bahan bakar, daya yang dapat digunakan sebagai tenaga penggerak motor hanya sebesar 25% saja, sebagian lainya terbuang bersama gas buang, pendingin, dan gesekan yang terjadi selama proses atau siklus kerja motor bakar. Menurut Vong, dkk (2006: 2), tenaga mesin dan torsi mencerminkan kinerja dinamis mesin, biasanya data mesin dan torsi diperoleh melalui tes dinamometer.

a. Torsi (Torque)

Torsi adalah ukuran kemampuan mesin untuk melakukan kerja, jadi torsi adalah suatu energi. Besaran torsi adalah besaran turunan yang biasanya digunakan untuk menghitung energi yang dihasilkan dari benda yang berputar pada porosnya (Rahardjo, 2014: 23). Gaya tekan putar pada bagian yang berputar disebut torsi (Jama dan Wagino, 2008: 23).



Gambar 2.3 Ilustrasi Momen Putar
Sumber: Arends dan Berenschot, (1980 : 21)

Gambar 2.3 mengilustrasikan bahwa gaya *F* bekerja pada tuas sepanjang *r* meter yang diikatkan pada ujung poros engkol umpamanya pada roda penerus. Berdasarkan data tersebut, torsinya adalah:

$$M = F \cdot r \text{ (N.m)}$$

Dalam hal ini:

M = momen putar dalam N.m

F = gaya dalam *Newton*

r = jari-jari dalam meter (m)

Selanjutnya Heywood, (1988 : 46) menyatakan, jika torsi yang diberikan oleh mesin adalah T:

$$T = F \cdot b$$

Dalam rumus ini:

T = torsi benda berputar (N.m)

F = gaya sentrifugal dari benda yang berputar (N)

b = jarak *benda* ke pusat rotasi (m)

Nm merupakan kependekan dari Newton meter yang digunakan sebagai satuan ukur kecepatan torsi. 1 Nm (*Newton* Meter) adalah daya putar 1 *Newton* yang diterapkan pada jarak 1 meter dari poros. Menurut Rahardjo (2014:24), benda berputar terhadap porosnya, karena adanya torsi dan benda akan berhenti berputar apabila ada usaha melawan torsi dengan besar sama dengan arah yang berlawanan. Arends dan Berenschot (1980: 21 s.d 22) menyatakan,

Apabila gaya F berputar sekali mengelilingi lingkaran, maka telah dilakukan kerja sebesar:

$$2 \cdot \pi \cdot r$$

Besarnya kerja menjadi:

$$F \cdot 2 \cdot \pi \cdot r \text{ (N.m)}$$

Dalam hal ini:

F adalah gaya dalam *Newton*

r adalah jari-jari meter

Bila motor mempunyai n putaran tiap detik, maka kerja yang terjadi tiap detik adalah:

$$F \,.\, 2 \,.\, \pi \,.\, n \text{ (N.m)}$$

Mengingat bahwa kerja tiap detik disebut daya, maka dapat dikatakan sebagai berikut:

$$P = F \,.\, 2 \,.\, \pi \,.\, r \,.\, n \text{ (N.m/s atau } watt\text{)}$$

Karena $F \,.\, r.$ membentuk momen putar M dalam N.m, rumusnya menjadi:

$$P = 2 \,.\, \pi \,.\, n \,.\, M$$

Dalam rumus ini:

P = daya dalam *watt*
N = frekuensi putar dalam *hertz*
M = momen putar dalam N.m.

Bila yang diminta besarnya momen putar, pakailah rumus berikut:

$$M = \frac{P}{2 \,.\, \pi \,.\, n}$$

b. Daya

Daya motor adalah besarnya kerja motor tersebut selama waktu tertentu. Sebagai satuan daya dipilih *watt*. Biasanya satuan daya tadi ditetapkan dalam kilowatt (Arends dan Berenschot, 1980: 18).

Jumlah energi yang dihasilkan mesin setiap waktunya adalah yang disebut daya mesin (Rahardjo, 2014: 24). Daya pada sepeda motor dapat diukur dengan menggunakan alat dinamometer, sehingga untuk mengetahui daya poros dapat digunakan rumus:

$$P(kW) = 2\pi N(rev/s) \times T(N.m) \times 10^{-3}$$

Sumber: Heywood (1988: 46)

Dengan:

T = *Torque (N.m)*
N = *Number of revolution per second (rev/sec)*
P = *Power (kW)*

Daya yang dihasilkan motor dibedakan menjadi daya indikator dan daya efektif. Daya indikator merupakan sumber tenaga persatuan waktu operasi mesin untuk mengatasi semua beban mesin (Rahardjo, 2014: 25). Daya indikator sebagian digunakan untuk mengatasi gesekan mekanik dan menggerakkan komponen mesin yang lain. Jadi daya indikator merupakan daya yang dihasilkan sebelum terjadi kerugian gesekan mekanik di dalam mesin. Daya efektif merupakan daya yang digunakan sebagai penggerak, daya efektif inilah yang merupakan daya berguna karena untuk menggerakkan beban. Daya efektif (daya poros) dapat dirumuskan secara spesifik sebagai berikut:

$$N_e = N_i - \left(N_g + N_a\right) \qquad (HP)$$

Sumber: Rahardjo (2014: 25)

Dengan:
Ne = Daya efektif atau daya poros (HP)
Ni = Daya indikator (HP)
Ng = Kerugian daya gesek (HP)
Na = Kerugian daya asesoris (HP)

2.2.6 Efisiensi Mesin

Efisiensi mesin menggambarkan tingkat efektifitas mesin bekerja (Rahardjo, 2014: 25). Rasio kerja yang dihasilkan per siklus terhadap sejumlah energi bahan bakar yang disediakan per siklus yang dapat dilepas dalam proses pembakaran biasanya digunakan untuk menyatakan ukuran efisiensi motor (Kristanto, 2015: 27).

Mekanisme pembakaran sangat dipengaruhi oleh keadaan *intermedict* (pertengahan) dari keseluruhan proses pembakaran dimana atom-atom dari komponen yang dapat terbakar bereaksi dengan oksigen dan membentuk produk berupa gas. Menurut Kristanto, (2015: 61) pembakaran adalah reaksi kimia dimana

elemen tertentu dari bahan bakar bergabung dengan oksigen dan melepaskan sejumlah besar energi yang menyebabkan peningkatan suhu gas dalam pembakaran, oksigen merupakan komponen reaktif dari udara.

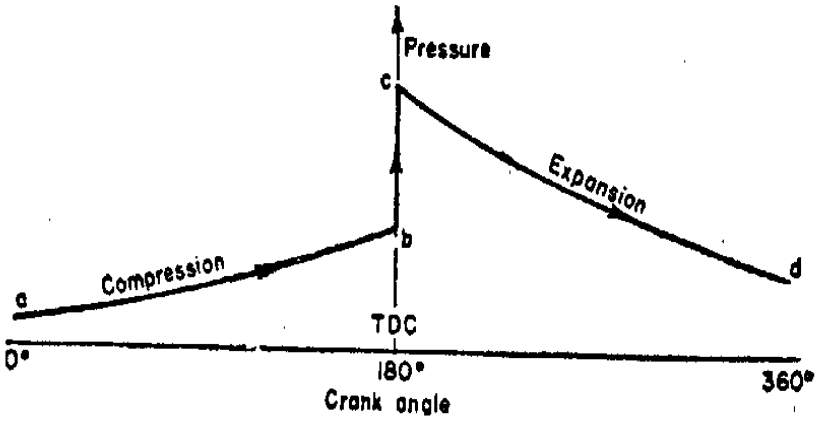
Pembakaran stoikiometri yaitu pembakaran sempurna, dimana proses pembakaran yang melalui reaksi kimia bahan bakar (hidrokarbon) dengan pengoksidasinya (udara dan oksigen) yang disebut reaktan yang mengalami proses kimia sambil melepaskan panas untuk membentuk produk pembakaran. Beberapa hal yang mempengaruhi kemampuan mesin, antara lain volume silinder, perbandingan kompresi, efisiensi volumetrik, pemasukan campuran udara dan bahan bakar dan efisiensi daya motor. Menurut Hidayat (2012 : 23), sedangkan faktor yang menentukan besarnya tenaga pada sebuah mesin ada tiga yaitu, pertama, efisiensi mesin adalah seberapa besar dorongan pada piston yang dihasilkan oleh gaya putaran roda penerus, kedua, efisiensi *thermal* (panas) yaitu seberapa banyak bahan bakar yang harus dibakar/dipanaskan dalam silinder untuk mendorong piston menuju TMB secara efisien, ketiga efisiensi volumetrik yaitu membuat saluran/ukuran yang tepat untuk memompa gas secara optimal.

Pembakaran yang tidak sempurna terjadi apabila bahan bakar terbakar terlebih dahulu sebelum saat yang ditentukan. Pembakaran tidak normal ini menimbulkan ledakan yang menghasilkan gelombang kejutan berupa suara ketukan (*knocking noise*) yang memungkinkan timbulnya gangguan pada proses pembakaran pada motor bensin.

Tahap pembakaran dalam motor bensin secara teoritis ditunjukkan dalam gambar 2.4 diagram pembakaran teoritis, tetapi proses aktualnya berbeda. Pudjanarsa dan Nursuhud (2008: 58) menyatakan, pembakaran dapat dibayangkan

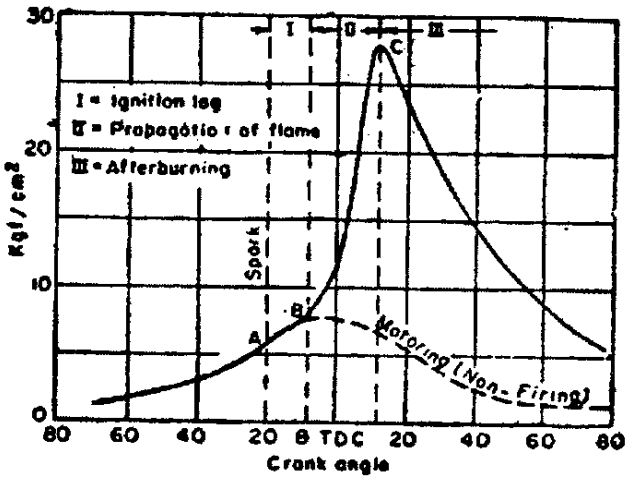
sebagai perkembangan dalam dua tahap. Tahap Pertama, pertumbuhan dan perkembangan dari penjalaran sendiri nukleus api, disebut kelambatan pembakaran atau fasa persiapan, kemudian menyebarnya api keseluruh ruang bakar seperti pada gambar 2.4 . Tahap yang kedua adalah mekanikal, murni dan sederhana. Titik awal tahap kedua adalah terjadinya kenaikan tekanan yang dapat dilihat pada diagram indikator, yaitu titik di mana garis pembakaran terpisah dari garis kompresi.

Pudjanarsa dan Nursuhud (2008: 58) menjelaskan, berdasarkan gambar tahap pembakaran mesin dalam SI, titik A menunjukkan penyalaan busi (28° sebelum TMA), titik B dimana kenaikan tekanan dapat dideteksi (8^0 sebelum TMA), dan C kenaikan tekanan tertinggi yang dapat dicapai. Dengan demikian AB mewakili tahap pertama dan BC tahap kedua. Meskipun titik C menandai selesainya perjalanan api, bukan berarti semua panas bahan bakar telah dibebaskan. Beberapa reaksi kimia yang umumnya disebut *after burning*, berlanjut pada langkah kompresi.



Gambar 2.4 Diagram P-Θ Teoritis

Sumber: Nursuhud dan Pudjanarsa, (2008 : 59)



Gambar 2.5 Tahap Pembakaran Dalam Mesin SI

Sumber: Pudjanarsa dan Nursuhud, (2008 : 59)

Menurut Kristanto (2015: 166) proses pembakaran pada motor bensin berlangsung dalam tiga fase atau periode, yaitu :

1) Periode penundaan
2) Periode tekanan dengan cepat
3) Periode setelah pembakaran.

Pertama, periode penundaan atau disebut juga periode pengapian dan pengembangan nyala api lebih awal. Periode ini merupakan fase pertama yang meliputi periode mulai dari saat percikan api tegangan tinggi lewat di antara elektroda busi (yang kemudian menyalakan uap udara-bahan bakar di sekitar elektroda) sampai saat mulai terbentuknya nyala api untuk melepaskan energi kalor fraksi uap bahan bakar yang terbakar. (Kristanto, 2015: 166)

Kedua, periode kenaikan tekanan dengan cepat periode ini dikenal sebagai periode perambatan nyala api, merupakan fase kedua yaitu waktu antara permulaan medan nyala api dan dimulainya kenaikan tekanan di atas tekanan kompresi normal

ke satu titik pada saat medan nyala api yang tidak nyata telah menyebar ke dinding silinder dan tekanan silinder telah mencapai nilai puncaknya. (Kristanto, 2015: 166)

Ketiga, periode setelah pembakaran atau penghentian pembakaran setelah medan nyala api mencapai dinding silinder, masih terdapat sekitar 25% muatan yang belum dengan sepenuhnya terbakar. Pada tahapan ini sisa oksigen di dalam muatan menjadi lebih sulit untuk bereaksi dengan uap bensin sedemikian hingga laju pembakaran melambat. Kondisi ini dikenal sebagai periode setelah pembakaran. (Kristanto, 2015: 166)

Konsep efisiensi kerja mesin dan kondisi efektifitas mesin dapat dipahami, sebagaimana yang disampaikan oleh Rahardjo (2015 : 25) bahwa perbandingan antar energi berguna dengan energi yang masuk secara alamiah tidak pernah mencapai 100%. Pada motor bakar ada beberapa definisi dari efisiensi yang menggambarkan kondisi efektifitas mesin bekerja, yaitu : (1) Efisiensi termal (2) Efisiensi termal *indicator* (3) Efisiensi termal efektif (4) Efisiensi mekanik.

a. Efisiensi Mekanik

Efisiensi mekanis adalah perbandingan antara daya poros dengan daya indikator (Rahardjo, 2014: 26). Efisiensi mekanik dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\boldsymbol{\eta_m = \frac{N_e}{N_i}}$$

Sumber: Rahardjo (2014: 26)

b. Efisiensi Volumetrik

Menurut Kristanto (2015: 28) Besarnya daya dan kinerja yang dapat diperoleh motor tergantung pada jumlah maksimum udara di dalam silinder sepanjang tiap siklus. Lebih banyak udara berarti lebih banyak bahan bakar yang

terbakar dan lebih banyak energi yang dapat dikonversikan ke keluaran daya. Menurut Kristanto (2015: 28) parameter yang digunakan untuk mengukur efektivitas suatu kerja proses hisap pada motor adalah efisiensi volumetrik. Efisiensi volumetrik dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\eta_v = \frac{m_{ud}}{\rho_{ud}\, x\, V_L}$$

$$\eta_v = \frac{n\, x\, \dot{m}_{ud}}{\rho_{ud}\, x\, V_L\, N}$$

Sumber: Kristanto (2015: 28)

Dimana :

m_{ud} = Massa udara masuk ke dalam motor (atau silinder) untuk satu siklus

$\dot{m}_{ud}$ = Aliran udara masuk ke dalam motor dalam keadaan stedi

ρ_{ud} = Kerapatan udara yang dievaluasi pada kondisi atmosfer

V_L = Volumen langkah

N = Kecepatan motor

n = Jumlah putaran per siklus

= 2 kali untuk motor empat langkah

2.2.7 Emisi Gas Buang

Emisi gas buang adalah polutan yang mengotori udara yang dihasilkan dari gas buang kendaraan bermotor dan sangat berbahaya bagi kesehatan manusia, hewan, dan tumbuhan. Emisi gas buang kendaraan bermotor merupakan polutan yang memberikan kontribusi terbesar bagi pencemaran udara (Sevrinanda dan Adiwibowo, 2014: 199). Gas buang terdiri dari gas yang tidak beracun seperti N_2 (nitrogen), O_2 (karbon dioksida) dan H_2O (uap air), sebagian lagi adalah gas buang

yang mempunyai efek beracun seperti NOx (nitrogen oksida), HC (hidrokarbon) dan CO (karbon monoksida). Menurut (Sharaf, 2013: 947) bahwa:

> Polutan berasal dari empat jenis sumber yaitu: (1) Sumber utama, dimana termasuk fasilitas seperti pabrik dan sumber pembangkit listrik. (2) Kendaraan, termasuk mobil, *truck* dan juga kendaraan kecil serta pesawat dan kendaraan lain yang bergerak dan melepaskan polutan ke udara. (3) Sumber *biogenic*, yang mencakup pohon dan vegetasi, gas alam dan aktivitas mikroba. (4) Daerah sumber daya yang terdiri dari sumber daya yang kecil seperti pembersih dan pengering dengan operasional yang kecil

Gas buang yang dikeluarkan oleh kendaraan bermotor secara garis besar tersusun dari 72% N_2, 18.1% CO_2, 8.2% H_2O, 1.2% Gas argon (gas mulia), 1.1% O_2, 1.1%. Gas beracun yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor berupa 0.13% NOx, 0.09% HC dan 0.9% CO (Arifin dan Sukoco, 2009: 34). Berdasarkan keterangan yang didapatkan dari penelitian yang dilakukan oleh Xu (2017: 1) bahwa, tidak meratanya aliran pada *intake manifold* akan menghasilkan torsi tidak stabil, getaran mesin dan meningkatnya emisi gas buang serta masalah-masalah lainnya.

a. CO (Carbon Monoxide)

Gas buang berupa CO mempunyai sifat berupa gas buang yang tidak berwarna, tidak berbau serta mudah larut dalam air. Banyaknya CO dari gas buang tergantung dari perbandingan bahan bakar dan udara (Arends dan Barendschot, 1980: 73). Sifat lain yang dimiliki oleh gas buang CO, jika diberikan api maka akan terbakar dengan mengeluarkan asap biru dan menjadi CO_2. *Carbon monoxide* umumnya berasal dari kendaraan saat keadaan *idle* sebagaimana yang dijelaskan oleh Arifin dan Sukoco (2009 : 38) bahwa, C*arbon monikside* (CO) berasal dari kendaraan bermotor 93%, *power* generator 7% terutama tempat sumbernya adalah

pada kendaraan disaat *idling*. Konsentrasi emisi CO mengalami peningkatan disebabkan karena oksigen yang masuk ke ruang bakar terbatas dan tidak mampu mengoksidasi CO menjadi CO_2, hal ini mengakibatkan campuran bahan bakar dan udara belum bercampur dengan baik dan kurang homogen, sehingga pada proses pembakarannya kurang sempurna dan emisi CO pada kondisi tersebut meningkat (Sevrinanda dan Adiwibowo, 2014: 202).

Akibat yang ditimbulkan oleh gas buang berupa karbon monoksida akan bercampur dengan *hemoglobin* yang terdapat pada darah manusia dan menjadi *carbon oxide hemoglobin* (COHb) mengakibatkan fungsi pengaliran oksigen dalam darah akan terhalang (Arifin dan Sukoco, 2009: 38). Kandungan karbon monoksida pada darah manusia hingga mencapai 5% (dalam udara CO 40 ppm) akan menimbulkan keracunan dalam darah. Motor bensin lebih banyak memproduksi gas buang karbon monoksida, karena motor Diesel selalu bekerja dengan udara lebih dan mengakibatkan terjadinya pembakaran yang sempurna.

Tabel 2.1 Perbandingan CO Motor Bensin dan Motor Diesel.
(Sumber: Arends , dan Barenschot, 1980: 73)

	Mesin bensin			Mesin diesel		
Gas buang	idle	Menengah	Tinggi	idle	Menengah	tinggi
CO	2-6 %	3-5,5 %	0,2-1,4 %	0,2 %	0,1 %	0,1 %

Karbon yang terkandung pada bensin yang terbakar dengan sempurna, akan terjadi reaksi kimia sebagai berikut (Arifin dan Sukoco., 2009 : 41) :

$$C + O_2 \rightarrow CO_2$$

Proses pembakaran yang sempurna, hasil yang didapatkan adalah CO_2. Arifin dan Sukoco (2009: 41) menjelaskan, apabila unsur-unsur *oxygen* (O_2) tidak cukup maka akan terjadi proses pembakaran yang tidak sempurna dan *carbon* dalam bahan bakar terbakar dalam suatu proses sebgai berikut:

$$C + {}^{1}/_{2}\, O_2 \rightarrow CO$$

Gas karbon monoksida yang dikeluarkan oleh mesin kendaraan banyak dipengaruhi oleh perbandingan campuran dan jumlah percampuran antara udara dan bahan bakar yang masuk ke dalam mesin (A/F), sehingga untuk mengurangi produksi karbon monoksida yang dihasilkan pada pembakaran suatu mesin maka diperlukan perbandingan campuran bahan bakar dan udara yang kurus *(exses air)*, namun disisi lain mengakibatkan NOx dan HC akan lebih mudah timbul dan keluaran mesin yang menjadi kurang (Arifin dan Sukoco, 2009: 41).

b. HC (Hidrocarbon)

Merupakan ikatan kimia dari *carbon* (C) dengan *hidrogen* (H). Penyebab timbulnya gas buang berupa *hidrocarbon* merupakan 57% berasal dari kendaraan bermotor dan 43% berasal dari penyulingan minyak dan generator *power*. Berdasarkan penjelasan Jayanti, dkk. (2014: 1) mengenai gas buang hidrokarbon bahwa:

> *Hidrocarbon* merupakan unsur senyawa bahan bakar bensin yang ada pada gas buang adalah dari senyawa bahan bakar yang tidak terbakar habis dalam proses pembakaran motor, diukur dalam satuan *ppm (part per million)*…Tidak terbakarnya bahan bakar secara sempurna, tidak terbakarnya minyak pelumas pada silinder, merupakan salah satu penyebab munculnya emisi HC.

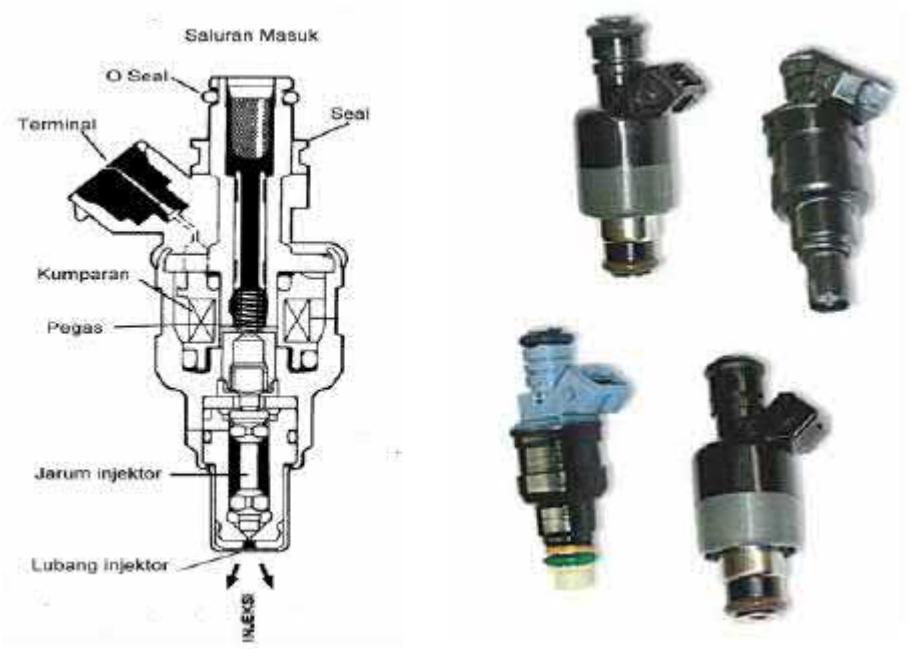
Akibat yang ditimbulkan jika kepekatan HC bertambah tinggi maka akan merusak sistem pernafasan manusia (tenggorokan) terutama yang beracun adalah benzena dan *tourene* (Arifin dan Sukoco, 2009: 38). Hidrokarbon aktif seperti

susunan *olefine* akan menyebabkan *photo chemical smoke,* dimana *smoke* adalah gas yang tersusun antara CO, HC, dan N_2 yang jika terkena mata akan terasa pedas. Gas buang berupa hidrokarbon yang berasal dari jenis *aromatic* dapat menimbulkan penyakit kanker. Penyebab timbulnya adalah: (1) Sekitar dinding ruang bakar yang bertemperatur rendah dimana temperatur tersebut tidak mampu melakukan pembakaran. (2) *Missfire* atau salah pengapian. (3) adanya *valve overlap* (kedua katup membuka bersamaan) dan merupakan proses pembilasan gas di dalam ruang bakar.

2.2.8 Injektor

Injeksi merupakan suatu metode pencampuran bahan bakar dengan udara pada kendaraan bermotor untuk menghasilkan pembakaran yang sempurna (Bakeri, dkk. 2012 (1) : 83). Injeksi membutuhkan perangkat bernama injektor yang berfungsi menyuplai campuran bahan bakar dengan udara. Sistem injeksi merupakan teknologi penerus sistem karburator pada kendaraan bermotor.

Mesin berteknologi EFI *injector* berfungsi sebagai penyemprot bahan bakar ke saluran masuk (intake manifold) biasanya sebelum katup masuk, namun ada juga yang ke *throttle body*. Volume penyemprotan disesuaikan oleh waktu pembukaan nozzle/injector. Lama dan banyaknya penyemprotan diatur oleh ECU *(Electronik Control Unit)*. (Tristianto, et.al. 2016 : 1)



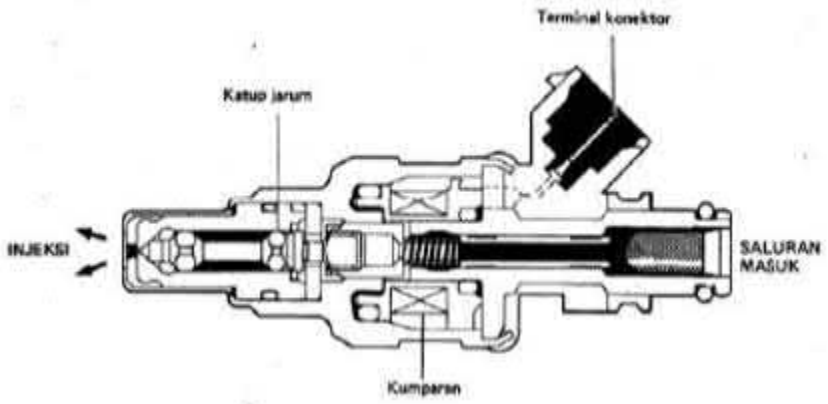
Gambar 2.6 Konstruksi *Injector*

Sumber : Solikhin (2011: 59)

Injektor berfungsi untuk menginjeksikan bahan bakar ke arah katup hisap, bahan bakar keluar dari injektor dalam bentuk kabut. Jumlah bahan bakar yang diinjeksikan tergantung dari tekanan bahan bakar, besar lubang injektor dan lama injektor membuka (Solikin, 2011: 20). Pembukaan injektor dilakukan secara *electromagnetic*, yaitu dengan mengalirkan listrik pada lilitan injektor, saat listrik mengalir ke lilitan maka lilitan menjadi magnet, dan magnet menarik katup jarum pada injektor, lubang injektor terbuka dan injektor menginjeksikan bahan bakar. Pengaturan kapan dan lama listrik dialirkan ke injektor dilakukan oleh ECU berdasarkan kondisi kerja mesin dari masukan sensor-sonsor yang ada.

Electronic Control Unit memiliki settingan dan kontrol yang sudah terstandar dari pabriknya. ECU ini dapat secara otomatis mengontrol besaran bahan bakar dan udara yang pas pada kondisi – kondisi cuaca tertentu. Pada motor injeksi terdapat sensor udara, sensor inilah yang nantinya membantu ECU dalam

mengkalkulasi AFR yang tepat sesuai dengan kebutuhan mesin dan udara sekitar mesin. Perbandingan antara udara dan bahan bakar adalah sebagai bentuk kebutuhan udara yang dikenal sebagai faktor lambda (λ) (Sutiman, 2005 : 7).



Gambar 2.7 Konstruksi *Injector*

Sumber : Solikhin (2011: 21)

Melihat dari beberapa teori yang sudah dipaparkan dapat ditarik kesimpulan bahwa kerja *injector* dalam menyuplai bahan bakar untuk disemprotkan menuju *intake manifold* merupakan kalkulasi perhitungan dari ECU yang mendapat informasi dari sensor-sensor sistem injeksi terutama sensor udara. Karena semakin banyak aliran udara yang masuk akan berbanding lurus dengan volume yang disemprotkan oleh *injector* melalui *Injector hole. Timing* pembukaan *nozzle* sudah diatur oleh ECU maka dari itu akan ada perbedaan volume untuk *Injector hole standart* dengan variasi *hole* yang lebih banyak. Semakin banyak jumlah *Injector hole* semakin meningkat volume bahan bakar yang disemprotkan pada satuan waktu (durasi penyemprotan *injector* 1,5 – 10 ms) dan kecepatan yang sama karena dipengaruhi juga oleh tekanan pompa bahan bakar yang berkisar antara 2,8 – 3,1 bar.

Perbedaan *Injector hole standart (hole 6)* dengan variasi diatasnya adalah pada jumlah bahan bakar atau *injector flow rate*. Untuk *Injector hole standart* Yamaha Aerox 155 VVA dengan 6 *hole* sebesar 125 cc/min, sedangkan untuk variasi *Injector hole* diatasnya sebesar 190 cc/min. Dengan kata lain volume bahan bakar akan meningkat apabila *Injector hole* bertambah. Bertambahnya volume bahan bakar yang masuk dapat membuat AFR pun berubah. Hubungannya terhadap emisi gas buang yaitu semakin kaya campuran udara dan bahan bakar maka CO akan meningkat.

Gas karbon monoksida yang dikeluarkan oleh mesin kendaraan banyak dipengaruhi oleh perbandingan campuran dan jumlah percampuran antara udara dan bahan bakar yang masuk ke dalam mesin (A/F), sehingga untuk mengurangi produksi karbon monoksida yang dihasilkan pada pembakaran suatu mesin maka diperlukan perbandingan campuran bahan bakar dan udara yang kurus *(exses air)*, namun disisi lain mengakibatkan NOx dan HC akan lebih mudah timbul dan keluaran mesin yang menjadi kurang. (Arifin dan Sukoco, 2009 : 41).

Sistem bahan bakar injeksi elektronik, bahan bakar disemprotkan melalui injektor dalam waktu tertentu di setiap langkah hisap ke masing-masing silinder. Dengan mengetahui Sfc dan W maka akan dapat dicari ukuran injektor, hal tersebut dapat dicari dengan rumus (Pamungkas, 2014: 41) :

$$mf = \frac{W \times Sfc}{n \times M}$$

Sumber : Pamungkas (2014: 41)

Dimana:

mf = Lambda bahan bakar (Kg/h)

W = Daya (hp)

Sfc = *Spesific Fuel Consumption* (Kg/Hp.Jam)

= 0,45 – 0,50 lbm/hph (mesin tanpa turbocharger)

n = Jumlah Injektor

M = *Duty Cycle Injector* (60%)

2.2.9 Dynamometer

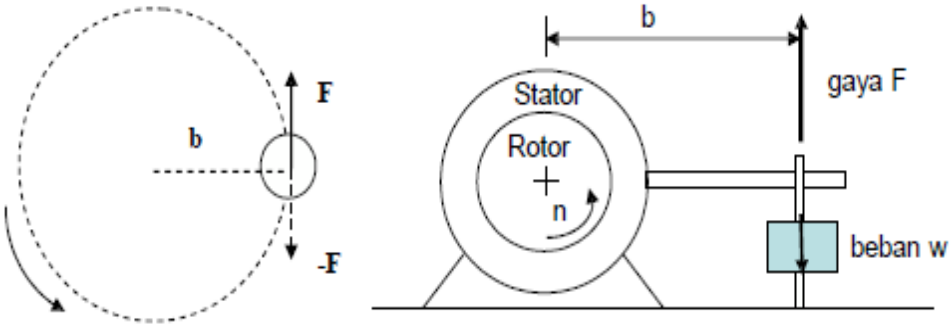
Dynamometer merupakan alat yang digunakan untuk mengukur torsi dan daya dari suatu mesin kendaraan bermotor. Prinsip kerja dari alat ini adalah dengan memberi beban yang berlawanan terhadap arah putaran mendekati 0 rpm (Rahardjo, 2014: 24).

Menurut Simmons, dkk (2015: 149 s.d 150) daya rotasi mekanis menghasilkan torsi dan kecepatan sudut, sehingga komponen dasar dinamometer adalah sensor torsi dan *tachometer.* Penambahan komponen motor meningkatkan kemampuan dinamometer dengan memungkinkannya untuk mendorong dan mengendalikan gerakan mekanis, baik sebagai beban dinamis atau sebagai penggerak utama.

Dynamometer adalah alat yang digunakan untuk mengukur torsi mesin, sebagaimana yang disampaikan oleh Heywood (1988: 45 s.d. 46) sebagai berikut :

> Torsi mesin biasanya diukur dengan dinamometer. ' mesin dijepit pada *test bed* dan poros terhubung ke rotor dinamometer. Rotor digabungkan elektromagnetik, hidrolik, atau oleh gesekan mekanis ke stator, yang didukung dalam bantalan gesekan rendah. stator yang seimbang dengan stasioner rotor. Torsi diberikan pada stator dengan balik rotor diukur

dengan menyeimbangkan stator dengan bobot, mata air, atau cara *pneumatic*.



Gambar 2.8 Prinsip Dasar *Dynamometer*
Sumber : Rahardjo (2014:24)

2.3 Kerangka Pikir Penelitian

Performa motor dan emisi gas buang banyak dipengaruhi oleh berbagai faktor, salah satunya adalah proses pembakaran campuran antara udara dan bahan bakar di dalam ruang bakar. Proses pembakaran yang kurang sempurna akan mengakibatkan penurunan performa kendaraan dan konsumsi bahan bakar menjadi boros. Salah satunya adalah campuran antara udara dan bahan bakar yang tidak homogen, sehingga menyebabkan sebagian campuran udara dan bahan bakar tidak ikut terbakar dengan sempurna.

Proses pembakaran yang tidak sempurna akan mengakibatkan sisa campuran udara dan bahan bakar yang tidak terbakar untuk keluar ke udara luar bersama gas buang. Hal ini tentunya akan mempengaruhi konsentrasi gas beracun seperti Karbon monoksida (CO), Hidrogen monoksida (HC) dan Nitrogen oksida (NO) yang ada dalam gas buang kendaraan bermotor. Jika kandungan gas yang terdapat pada gas buang sisa pembakaran kendaraan bermotor melampaui ambang batas, maka dapat mencemari lingkungan.

Tanpa disadari semakin lama mesin digunakan dapat berpengaruh terhadap performa sepeda motor itu sendiri. Hal tersebut juga dipengaruhi dengan kinerja *injector*, pada mesin berteknologi EFI *injector* berfungsi sebagai penyemprot bahan bakar ke saluran masuk *(intake manifold)* biasanya sebelum katup masuk, namun ada juga yang ke *throttle body*. Volume penyemprotan disesuaikan oleh waktu pembukaan *nozzle injector*. Lama dan banyaknya penyemprotan diatur oleh ECU *(Electronik Control Unit).*

Lubang *injector* selalu disesuaikan dengan ukuran kapasitas mesin, semakin tinggi nilai kapasitas volume mesin semakin banyak juga jumlah *injector hole* yang terdapat pada *injector* tersebut. Dengan kata lain semakin banyaknya *injector hole* maka volume semprotan *injector* juga semakin meningkat dari ukuran standarnya. Maka diduga penggunaan variasi *Injector hole* akan berpengaruh terhadap torsi, daya, dan emisi gas buang sepeda motor *matic* Yamaha Aerox 155 VVA.

BAB V

PENUTUP

5.1 Simpulan

Berdasarkan data hasil penelitian, pembahasan dan analisis tentang pengaruh variasi *Injector hole* terhadap torsi, daya dan emisi gas buang yamaha aerox 155 vva, dapat disimpulkan bahwa:

1. Berdasarkan hasil pengujian, nilai torsi yang dihasilkan mesin dengan kondisi standar menggunakan *Injector hole 6* pada setiap kondisi putaran mesin yang diujikan lebih baik daripada mesin dengan variasi *Injector hole 10* dan *Injector hole 12.* Dengan nilai tertinggi sebesar 25,76 N.m pada putaran mesin 3500 rpm, sedangkan pada *Injector hole 10* torsi tertingi senilai 17,29 N.m pada putaran mesin 3500 rpm. Nilai torsi terendah didapat oleh *Injector hole 12* yaitu 2,42 N.m pada putaran 3500 rpm dan sesaat setelah putaran mesin meningkat diatas 4000 rpm kondisi mesin mati karena campuran udara dan bahan bakar terlalu kaya sehingga tidak adanya proses pembakaran di dalam ruang bakar yang diindikasikan melalui asap hitam yang keluar dari knalpot.
2. Berdasarkan hasil pengujian, nilai daya yang dihasilkan mesin dengan kondisi standar menggunakan *Injector hole 6* pada setiap kondisi putaran mesin yang diujikan lebih baik daripada mesin dengan variasi *Injector hole 10* dan *Injector hole 12.* Dengan nilai tertinggi sebesar 13,4 HP pada putaran mesin 5000 rpm, sedangkan pada *Injector hole 10* daya tertinggi senilai 11,4

HP pada putaran mesin 6500 rpm. Nilai daya terendah didapat oleh *Injector hole 12* yaitu 1,2 HP pada putaran 3500 rpm dan sesaat setelah putaran mesin meningkat diatas 4000 rpm kondisi mesin mati karena campuran udara dan bahan bakar terlalu kaya sehingga tidak adanya proses pembakaran di dalam ruang bakar yang diindikasikan melalui asap hitam yang keluar dari knalpot.

3. Emisi gas CO mesin yang menggunakan variasi *Injector hole 10* dan *Injector hole 12* mengalami kenaikan nilai emisi gas buang CO pada setiap variasi putaran mesin bila dibandingkan dengan kondisi mesin standar yang menggunakan *Injector hole 6*. Kandungan emisi gas buang CO paling rendah terdapat di *Injector hole 6* yaitu sebesar 0,07 %Vol pada putaran mesin 3000 rpm. Kenaikan kandungan emisi gas buang CO pada mesin yang menggunakan variasi *Injector hole 10* dan *Injector hole 12* diakibatkan oleh campuran udara dan bahan bakar yang semakin kaya karena jumlah *input* lubang bahan bakar yang semakin banyak pada ukuran luas penampang yang sama.
4. Emisi gas HC mesin yang menggunakan variasi *Injector hole 10* dan *Injector hole 12* mengalami kenaikan emisi gas buang HC pada setiap variasi putaran mesin bila dibandingkan dengan kondisi mesin standar yang menggunakan *Injector hole 6*. Kandungan emisi gas buang HC paling rendah terdapat di *Injector hole 6* yaitu sebesar 49 ppmVol pada putaran mesin 3000 rpm. Kenaikan kandungan emisi gas buang HC pada mesin yang menggunakan variasi *Injector hole 10* dan *Injector hole 12* diakibatkan oleh

campuran udara dan bahan bakar yang semakin kaya karena bahan bakar yang tidak terbakar dan keluar menjadi gas mentah serta *missing fire* yg diakibatkan oleh waktu pengapian yang tidak tepat.

5.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan yang telah diuraikan, saran yang dapat diberikan antara lain:

1. Penggunaan *Injector hole 6* yang merupakan standar pabrik Yamaha sudah sangat tepat sebagai komponen kebutuhan suplai bahan bakar pada motor Yamaha Aerox 155 VVA.
2. Penggantian variasi *Injector hole* seharusnya diikutsertakan dengan penggantian ECU *racing*, sehingga *mapping* waktu pengapian bisa menyesuaikan kebutuhan suplai bahan bakar yang masuk ke ruang bakar.
3. Penelitian yang sudah dilakukan dapat dikembangkan lagi dengan bentuk dan eksperimen *Injector hole* yang lain.

DAFTAR PUSTAKA

Arends, B. P. M dan H. Barenschot. 1980. *Benzine Motoren*. Vam-Voorschoten. Terjemahan Umar Sukrisno. 1980. *Motor Bensin*. Jakarta: Erlangga.

Arifin, Z. dan Sukoco. 2009. *Pengendalian Polusi Kendaraan*. Bandung. Alfabeta.

Ashari A, A. Wahab, E. Marlina. 2016. Pengaruh Variasi Tekanan Injektor , dan Putaran Terhadap Performa , dan Gas Buang Pada Motor. *Jurnal Teknik Mesin. 2(2):5*

Bakeri, M., A. Syarief, A. K. Samlawi. 2012. Analisa Gas Buang Mesin Berteknologi EFI Dengan Bahan Bakar Premium. *Jurnal Teknik.13: 1*

Heywood, J. B. 1988. *Internal Combustion Engine Fundamentals*. United States of America: McGraw-Hill

Hidayat, W. 2012. *Motor Bensin Modern.* Jakarta: PT Rineka Cipta.

Ismanto. 2012. Analisis Variasi Tekanan pada Injektor Terhadap Performance (Torsi , dan Daya) pada Motor Diesel. *Jurnal Teknik. 2/1: 25-31*

Jama, J. dan Wagino. 2008. *Teknik Sepeda Motor Jilid 1*. Jakarta: Departemen Pendidikan Nasional.

Jayanti, N. E., M. Hakam dan I. Santiasih 2014. *Emisi Gas Carbon Monooksida (Co) dan Hidrocarbon (Hc) Pada Rekayasa Jumlah Blade Turbo Ventilator Sepeda Motor Supra X 125 Tahun 2006*. Surabaya. Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.

Kementerian Negara Lingkungan Hidup. 2006. *Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 05 Tahun 2006 Tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Lama*. Jakarta: Kementerian Negara Lingkungan Hidup.

Kristanto, P. 2015.*Motor Bakar Torak.* Yogyakarta: ANDI.

Mrdja, P., V. Petrović, S. Dinic, dan M. Kitanović. 2014. Development Of Continuously Variable Intake Manifold For Formula Student Racing Engine. *International Congress Motor Vehicles & Motors. Vol. 042: 326-339.*

Pai, S., Tasneem, H. A., Rao, A., Shivaraju, N., dan Sreeprakash, B. 2013. Study of impact of ethanol blends on SI engine performance and emission. *Research & Technology in the Coming Decades (CRT 2013), National Conference on Challenges in.* IET. Ujire. India. (p.3.36(1)).

Pamungkas, S. 2014. Analisis Sistem Bahan Bakar Injeksi Pada Mesin Bensin Menggunakan Scaan Tools Dan Gas Analyzer. *Jurnal Teknik Mesin. Vol. 03.*

Pudjanarsa, A. dan Nursuhud, D. 2008. *Mesin konversi energi*. Yogyakarta: ANDI.

Pullkrabek, W. W. 1997. *Engineering Fundamentals Of The Internal Combustion Engine*. Universitas of Winconsin : New Jersey

Rahardjo, W. D. 2014. *Mesin Konversi Energi. Buku Ajar*. Jurusan Teknik Mesin UNNES: Semarang

Sevrinanda, F. dan Adiwibowo, P. H. 2014. Pengaruh Intake Manifold Modifikasi Dengan Variasi Sudut Kelengkungan Terhadap Emisi Gas Buang Pada Motor Empat Langkah. *Jurnal Teknik Mesin, 3(01), 198-205.*

Sharaf, J. 2013. Exhaust emissions and its control technology for an internal combustion engine. *International Journal of Engineering Research and Applications, 3(5).*

Simmons, A., Brekken, T. K. A., Lomonaco, P., dan Michelen, C. 2015. Creating a dynamometer for experimental validation of power take-off forces on a wave energy converter. *In Technologies for Sustainability (SusTech), 2015 IEEE Conference*.

Soenarta, N. dan Furuhama S. 1985. *Small Engine for Generale Use*. Terjemah. 1995. Motor Serba Guna. Cetakan Kedua. Jakarta: Pradnya Paramita.

Solikhin, M. 2011. *Diagnosis Sistem Injeksi Elektronik*. Yogyakarta: Skripta

Sugiharto, S. 2016. *Mata Pelajaran Kimia (Teknologi , dan Rekayasa) Sekolah Menengah Kejuruan (SMK)*. Jakarta: Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan.

Sugiyono. 2015. *Metode Penelitian Pendidikan*. Bandung: Alfabeta.

Suhadi, A. A., Y. Yumarta, I. Muslihat, Ruslani. 1983. *Otomotif* . Edisi Pertama. Surabaya : Guna widya.

Sutantra, I, N. 2001. *Teknologi Otomotif Teori, dan Aplikasinya*. Cetakan pertama. Surabaya: Guna Widya.

Sutiman. 2005. *Modul Sistem Kontrol Elektronik*. Jurusan Pendidikan Teknik Otomotif FT UNY.

Tristianto V., Paryono, Sumarli. 2016. Pengaruh Penggunaan Injektor Vixion , dan ECU Racing Pada Sepeda Motor Yamaha Mio J Terhadap Daya Motor. *Jurnal Teknik Mesin. 2(2): 9-10.*

Vong, C. M., Wong, P. K., & Li, Y. P. 2006. Prediction of Automotive Engine Power And Torque Using Least Squares Support Vector Machines And Bayesian Inference. *Engineering Applications of Artificial Intelligence Journal, 19(3).*

Xu, J. 2017. Flow Analysis of Engine Intake Manifold Based on Computational Fluid Dynamics. *in Journal of Physics*: *Conference Series. Vol.916, no. 1, p 012043).*