



TUGAS AKHIR – VM 180629

**STUDI EKSPERIMEN PENGARUH VARIABEL
INJEKSI BAHAN BAKAR TERHADAP UNJUK
KERJA DAN EMISI GAS BUANG *ENGINE*
NOGOGENI EVO 3 BERBAHAN BAKAR ETANOL
E100**

**DIMAS KRISNA
NRP. 102115 000 000 12**

**Dosen Pembimbing :
Ir. Joko Sarsetiyanto, MT.
NIP. 19610602 198701 1 001**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019**



TUGAS AKHIR – VN 180629

**STUDI EKSPERIMEN PENGARUH VARIABEL INJEKSI
BAHAN BAKAR TERHADAP UNJUK KERJA DAN
EMISI GAS BUANG *ENGINE* NOGOGENI EVO 3
BERBAHAN BAKAR ETANOL E100**

**DIMAS KRISNA
NRP. 102115 000 000 12**

**Dosen Pembimbing :
Ir. Joko Sarsetiyanto, MT.
NIP. 19610602 198701 1 001**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019**



FINAL PROJECT – VN 180629

**EXPERIMENTAL STUDY OF THE EFFECT OF FUEL
INJECTION VARIABLES ON PERFORMANCE AND
EMISSION GAS OF NOGOGENI EVO 3 ENGINE BASED
ON ETHANOL E100 FUEL**

**DIMAS KRISNA
NRP. 102115 000 000 12**

**Conselor Lecturer:
Ir. Joko Sarsetiyanto, MT.
NIP. 19610602 198701 1 001**

**MECHANICAL INDUSTRI ENGINEERING DEPARTEMENT
FACULTY OF VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019**

LEMBAR PENGESAHAN

“STUDI EKSPERIMEN PENGARUH VARIABEL INJEKSI BAHAN BAKAR TERHADAP UNJUK KERJA DAN EMISI GAS BUANG *ENGINE* NOGOGENI EVO 3 BERBAHAN BAKAR ETANOL E100”

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Ahli Madya
pada
Bidang Studi Konversi Energi
Departemen Teknik Mesin Industri
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

DIMAS KRISNA
NRP. 102115 000 000 12

Mengetahui dan Menyetujui :
Dosen Pembimbing



STUDI EKSPERIMEN PENGARUH VARIABEL INJEKSI BAHAN BAKAR TERHADAP UNJUK KERJA DAN EMISI GAS BUANG *ENGINE* NOGOGENI EVO 3 BERBAHAN BAKAR ETANOL E100

Nama Mahasiswa : Dimas Krisna
NRP : 102115 000 000 12
Jurusan : Departemen Teknik Mesin Industri
FV - ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Joko Sarsetiyanto, MT

Abstrak

Semakin besarnya penggunaan bahan bakar fosil menyebabkan cadangan sumber daya tersebut semakin menipis. Perlu adanya energi alternatif sebagai pengganti sumber daya tersebut. Etanol merupakan salah satu energi alternatif yang bisa digunakan sebagai bahan bakar pengganti bahan bakar fosil. Etanol memiliki angka oktan yang tinggi namun nilai kalor yang rendah. Dari hasil pengujian di Laboratorium Lembaga Penelitian dan Pengembangan Masyarakat ITS didapatkan nilai LHV= 26950 kJ/kg dan massa jenis (ρ) = 794 kg/*m*³. Properti tersebut berbeda dengan properti bensin, sehingga mesin yang semula menggunakan bahan bakar bensin harus dimodifikasi agar bisa menggunakan bahan bakar etanol. Dengan demikian perlu adanya perubahan pada mesin, dengan cara meningkatkan rasio kompresi, memodifikasi sistem pemasukan bahan bakar, dan memodifikasi sistem pengapian.

Dalam tugas akhir ini penelitian berfokus pada modifikasi sistem penginjeksian bahan bakar. Penelitian dilakukan dengan menggunakan mesin Nogogeni Evo 3 (Motor bakar 4 langkah 1 silinder 125cc) dengan cara memperoleh laju massa injeksi bahan bakar yang tepat. Pengujian dilakukan menggunakan dyno test dan dilakukan dengan putaran engine 2500, 3500, 4500, 5500,

6500, 7500, 8500 rpm. Variasi dilakukan dengan penginjeksian bahan bakar pola 1, pola 2, pola 3, pola 4, dan pola 5. Dari pola 1 sampai pola 5 *setting* bahan bakar akan semakin kaya. Kemudian dilakukan pengujian unjuk kerja dan emisi gas buang.

Dari pengujian yang dilakukan rata-rata nilai unjuk kerja yang paling baik dengan efisiensi paling baik adalah pada variabel penginjeksian bahan bakar pola 1 dengan daya 6,629 HP dan dengan laju massa aliran bahan bakar paling kecil yaitu 1,363 kg/jam, dengan LHV didapat dari pengujian bahan bakar etanol 26950 kJ/kg akan didapatkan efisiensi yang paling tinggi yaitu 54,27 %. Sedangkan rata - rata efisiensi untuk pola 2 : 48,48%; pola 3 : 43,47%; pola 4 : 38,99%; dan pola 5 : 36,54%. Begitu pula analisa untuk gas buang yang dihasilkan paling ramah lingkungan dan paling ideal antara campuran bahan bakar dan udara adalah pada pola 1.

Kata kunci : Etanol, unjuk kerja, pola penginjeksian bahan bakar, gas buang.

EXPERIMENTAL STUDY OF THE EFFECT OF FUEL INJECTION VARIABLES ON PERFORMANCE AND EMISSION GAS OF NOGOGENI EVO 3 ENGINE BASED ON ETHANOL E100 FUEL

Student Name : Dimas Krisna
NRP : 102115 000 000 12
Departement : Departemen Teknik Mesin Industri
FV - ITS
Conselor Lecturer : Ir. Joko Sarsetiyanto, MT

Abstrak

Increasing use of fossil fuels causes the depletion of these resource reserves. There needs to be alternative energy as a substitute for these resources. Ethanol is an alternative energy that can be used as a substitute fuel for fossil fuels. Ethanol has a high octane number but a low calorific value. From the results of testing at the ITS Research and Community Development Laboratory, the value of LHV = 26950 kJ / kg and density (ρ) = 794 kg /. The property is different from gasoline properties, so the engine that originally used gasoline fuel must be modified in order to use ethanol fuel. Thus there is a need for changes in the engine, by increasing the compression ratio, modifying the fuel intake system, and modifying the ignition system.

In this final project the research focuses on modifying the fuel injection system. The study was carried out using the Nogogeni Evo 3 engine (125cc 1 stroke 4 stroke engine) by obtaining the right mass fuel injection rate. Tests are carried out using a dyno test and carried out with engine speed 2500, 3500, 4500, 5500, 6500, 7500, 8500 rpm. Variation is done by injecting pattern 1 fuel, pattern 2, pattern 3, pattern 4, and pattern 5. From

pattern 1 to pattern 5 the fuel setting will get richer. Then testing the performance and exhaust emissions.

From the tests carried out the best average performance value with the best efficiency is on pattern 1 fuel injection variables with a power of 6.629 HP and with the smallest mass flow rate of fuel that is 1.363 kg / hour, with LHV obtained from material testing ethanol fuel 26950 kj / kg will get the highest efficiency, which is 54.27%. While the average efficiency for pattern 2: 48.48%; pattern 3: 43.47%; pattern 4: 38.99%; and pattern 5: 36.54%. Likewise, the analysis for the resulting exhaust gas is the most environmentally friendly and the ideal between the mixture of fuel and air is in pattern 1.

Keywords: Ethanol, performance, fuel injection pattern, exhaust gas.

KATA PENGANTAR

Puji Syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas segala karunia dan kelancaran yang diberikan pada pengerjaan Tugas Akhir ini yang berjudul : Studi Eksperimen Pengaruh Variabel Injeksi Bahan Bakar Terhadap Unjuk Kerja dan Emisi Gas Buang pada Nogogeni Evo 3 Berbahan Bakar Etanol E100.

Penyelesaian Tugas Akhir ini merupakan syarat kelulusan akademis dan memperoleh gelar Ahli Madya dalam menempuh pendidikan Bidang Studi Konversi Energi di program Studi D3 Teknik Mesin, Departemen Teknik Mesin Industri, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Dalam terselesaikannya tugas akhir ini, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu secara moral maupun materi, yakni:

1. Bapak Ir. Joko Sarsetiyanto, MT. Selaku dosen wali selama masa perkuliahan, dosen pembimbing tugas akhir dan dosen pembimbing Tim Nogogeni ITS yang telah banyak memberikan bimbingan dan ilmu mengenai motor pembakaran dalam yang terkait dengan tugas akhir.
2. Bapak Dr. Ir. Heru Mirmanto, MT. Selaku Kepala Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS.
3. Bapak Ir. Suhariyanto, MT. Selaku Koordinator Tugas Akhir Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS.
4. Dana Lokal ITS yang telah mendanai penelitian ini sehingga penelitian ini berjalan dengan lancar.
5. Para Dosen Penguji selaku dosen yang memberikan kritik, saran, serta masukan yang sangat bermanfaat untuk penyempurnaan tugas akhir ini.
6. Seluruh Dosen dan Karyawan yang telah banyak membimbing penulis dalam menggali ilmu di Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS.

7. Bapak Didik Hermanto dan Ibu Krisnanik Sulistyowati, S.Pd selaku orang tua yang selalu memberikan restu, doa serta dukungan moral maupun materil untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
8. Candra Dita Mumpuni yang selalu membantu didalam menyelesaikan tugas akhir ini dan yang selalu memberikan motivasi, masukan dan saran.
9. Seluruh teman-teman Nogogeni ITS Team angkatan 2015 dan 2016, baik teknis maupun nonteknis.
10. Patner tugas akhir Abdul Aziz, A.Md; Ahmad Rofiqil, A.Md; Mohamad Sodiq, A.Md; Firly Irhamni, A.Md; Dhimas Adi P, A.Md.
11. Seluruh teman-teman Warga Angkatan 2015 yang selalu membantu dan memberikan semangat kepada penulis. Terima kasih atas segala kritik dan saran serta motivasi yang telah kalian berikan.
12. Semua pihak yang belum disebutkan di atas yang telah memberikan do'a, bantuan, dan dukungannya bagi penulis hingga tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik dan tepat waktu.

Penulis mengharapkan kritik dan saran demi kesempurnaan tugas akhir ini. Akhirnya, penulis berharap semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan di masa depan.

Surabaya, 2 Januari 2019

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
ABSTRAK.....	iv
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL.....	xvi

BAB I

PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan masalah	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Metode Penelitian.....	3
1.7 Sistematika Penulisan	4

BAB II

DASAR TEORI	7
2.1. Motor Bensin Empat Langkah (4 tak)	7
2.1.1 Prinsip Kerja	7
2.1.2 Konstruksi.....	10
2.2. Siklus Aktul Motor Bensin 4 Langkah	21
2.2.1 Langkah Hisap	23
2.2.2 Langkah kompresi.....	24
2.2.3 langkah Ekspansi	24
2.2.4 Langkah Buang.....	24
2.3. Bahan Bakar	24
2.4 Proses Pembakaran.....	26
2.4.1 Pembakaran Dalam SIE	27
2.5. Sistem Pengapian.....	28
2.6. Perbandingan Udara dan Bahan Bakar (AFR).....	30

2.7. Perhitungan Laju Aliran Massa	30
2.8. Unjuk Kerja	31
2.8.1 Performance Engine	31
2.8.2 Daya	31
2.8.3 Torsi	32
2.8.4 Tekanan Efektif Rata-rata (BMEP)	32
2.8.5 Pemakaian Bahan Bakar Spesifik (BSFC).....	33
2.8.6 Efisiensi Termis	33

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN	35
3.1. Penelitian	35
3.2. Tempat Penelitian	35
3.3. Instalasi Percobaan	35
3.4. Peralatan Percobaan	36
3.5. Alat Ukur	39
3.6. Bahan Bakar Uji.....	41
3.7. Prosedur Pengujian.....	42
3.8. Diagram Alir Pengujian.....	45

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN	47
4.1. Data Hasil Penelitian	47
4.2. Perhitungan	47
4.3. Analisa Hasil Pengujian <i>Engine</i> Nogogeni Evo 3 dengan variable pola penginjeksian bahan bakar	47
4.3.1. Perhitungan Unjuk Kerja <i>Engine</i> Nogogeni Evo 3	48
4.3.2. Perhitungan Laju Aliran Massa Bahan Bakar	50
4.3.3. Perhitungan Brake Spesific Fuel Comsuption.....	50
4.3.4. Perhitungan Brake Mean Effective Pressure.....	51
4.3.5. Perhitungan Torsi	51
4.3.6. Perhitungan Effisiensi	52
4.4. Grafik Unjuk Kerja <i>Engine</i> Nogogeni Evo 3 dengan Variable Pola Penginjeksian Bahan Bakar	58

4.5. Grafik Gas Buang <i>Engine</i> Nogogeni Evo 3 dengan Menggunakan Alat Ukur Stargas 898.....	63
---	----

BAB V

PENUTUP	67
5.1. Kesimpulan	67
5.2. Saran	67

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BIODATA PENULIS

(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Siklus 4 langkah	8
Gambar 2.2 Diagram P-V dari siklus ideal mesin bensin 4 langkah.....	9
Gambar 2.3 Kontruksi mesin bensin empat langkah	11
Gambar 2.4 Piston	12
Gambar 2.5 Mekanisme katup.....	13
Gambar 2.6 Sistem bahan bakar pada kendaraan EFI	14
Gambar 2.7 Kontruksi fuel pump	15
Gambar 2.8 Kontruksi injektor bahan bakar	16
Gambar 2.9 Penempatan injektor pada throttle body	17
Gambar 2.10 Komponen dan aliran bahan bakar pada sistem injeksi (EFI)	17
Gambar 2.11 Throttle body pada sistem EFI.....	20
Gambar 2.12 Busi	21
Gambar 2.13 Diagram P-V siklus aktual.....	22
Gambar 2.14 Siklus aktual 2 langkah dan 4 langkah.....	22
Gambar 2.15 Diagram P-V teoritis.....	27
Gambar 2.16 Saat pengapian dan tekanan pembakaran	28
Gambar 2.17 Titik pengapian yang tepat.....	29
Gambar 2.18 Air fuel ratio	35
Gambar 3.1 Skema instalasi percobaan sederhana	33
Gambar 3.2 Pengaplikasian instalasi percobaan sederhana	36
Gambar 3.3 Mobil Nogogeni Evo 3	37
Gambar 3.4 Ruang <i>Engine</i> Mobil Nogogeni Evo 3.....	37
Gambar 3.5 ECU <i>Programmable</i> Daytona.....	38
Gambar 3.6 Nilai Persentase <i>Supply</i> Bahan Bakar	38
Gambar 3.7 <i>Pressure Gauge</i>	39
Gambar 3.8 Buret	39
Gambar 3.9 Alat uji dyno test.....	39
Gambar 3.10 Stargas 898	40
Gambar 3.11 Stop watch	41
Gambar 3.12 Skema Pengujian Gas Buang.....	41
Gambar 3.13 Pengaplikasian Skema Pengujian	42
Gambar 3.14 Diagram Alir Pengujian.....	46

Gambar 4.1	Grafik daya (HP) yang dihasilkan terhadap putaran (Rpm) dengan variable Pola Penginjeksian bahan bakar etanol	58
Gambar 4.2	Grafik BMEP (KPa) terhadap putaran (Rpm) pada engine Nogogeni Evo 3 Blade 125 FI berbahan bakar etanol.....	59
Gambar 4.3	Grafik BSFC (Kg/Watt Jam) terhadap putaran (Rpm) pada engine Nogogeni Evo 3 Blade 125 FI berbahan bakar etanol.....	60
Gambar 4.4	Grafik Torsi (Nm) terhadap putaran (Rpm) pada engine Blade 125 FI berbahan bakar etanol	61
Gambar 4.5	Grafik Efisiensi (%) terhadap putaran (Rpm) pada engine Blade 125 FI berbahan bakae etanol.....	62
Gambar 4.6	Grafik Gas Buang HC (ppm vol) Terhadap Lamda (λ) pada engine Nogogeni Evo 3.....	63
Gambar 4.7	Grafik Gas Buang CO (% volume) terhadap lamda (λ) pada engine Nogogeni Evo 3.	64
Gambar 4.8	Grafik Gas Buang CO ₂ (% volume) terhadap lamda (λ) pada engine Nogogeni Evo 3	65
Gambar 4.9	Grafik Gas Buang O ₂ (% volume) terhadap lamda (λ) engine Nogogeni Evo 3.....	66

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Nilai propertis bahan bakar.....	42
Tabel 4.1	Perbedaan daya dan komsumsi bahan bakar etanol pada pola 1 selama 30 detik dengan variasi putaran	48
Tabel 4.2	Perbedaan daya dan komsumsi bahan bakar etanol pada pola 2 selama 30 detik dengan variasi putaran	48
Tabel 4.3	Perbedaan daya dan komsumsi bahan bakar etanol pada pola 3 selama 30 detik dengan variasi putaran	49
Tabel 4.4	Perbedaan daya dan komsumsi bahan bakar etanol pada pola 4 selama 30 detik dengan variasi putaran	49
Tabel 4.5	Perbedaan daya dan komsumsi bahan bakar etanol pada pola 5 selama 30 detik dengan variasi putaran	50
Tabel 4.6	Data hasil perhitungan unjuk kerja engine Nogogeni Evo 3 pada pola 1	53
Tabel 4.7	Data pengukuran gas buang pada variabel pola 1 menggunakan stargas 898.....	53
Tabel 4.8	Data hasil perhitungan unjuk kerja engine Nogogeni Evo 3 pada pola 2	54
Tabel 4.9	Data pengukuran gas buang pada variable pola 2 menggunakan stargas 898.....	54
Tabel 4.10	Data hasil perhitungan unjuk kerja engine Nogogeni Evo 3 pada pola 3	55
Tabel 4.11	Data pengukuran gas buang pada variabel pola 3 menggunakan stargas 898.....	55
Tabel 4.12	Data hasil perhitungan unjuk kerja engine Nogogeni Evo 3 pada pola 4	56
Tabel 4.13	Data pengukuran gas buang pada variabel pola 4 menggunakan stargas 898.....	56
Tabel 4.14	Data hasil perhitungan unjuk kerja engine Nogogeni Evo 3 pada pola 5	57

Tabel 4.15 Data pengukuran gas buang pada variabel pola 5 menggunakan stargas 898	57
--	----

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Ketergantungan akan energi fosil membuat Indonesia harus menghadapi persoalan dalam mencapai target pembangunan di bidang energi. Konsumsi energi fosil di dalam negeri masih tinggi, yaitu sebesar 96% (minyak bumi 48%, gas 18% dan batubara 30%) dan upaya untuk memaksimalkan pemanfaatan energi terbarukan belum dapat berjalan seperti yang telah direncanakan. Hal ini diperburuk dengan catatan statistik yang menunjukkan bahwa cadangan dan produksi bahan bakar minyak bumi (fosil) di Indonesia mengalami penurunan 10% setiap tahunnya sedangkan tingkat konsumsi rata-rata naik 6% per tahun.

Salah satu sumber energi yang dapat dijadikan alternatif sebagai pengganti bahan bakar adalah pada sepeda motor adalah Ethanol. Ethanol adalah bahan bakar terbarukan karena dapat diproduksi dari bahan nabati. Ethanol sebagai bahan bakar pada kendaraan bermotor memiliki beberapa keunggulan dibanding menggunakan bahan bakar fosil. Keunggulan tersebut diantaranya adalah angka oktan ethanol yang tinggi sehingga lebih tahan terhadap knocking, sehingga motor ethanol dapat beroperasi pada rasio kompresi yang lebih tinggi dengan efisiensi termal yang lebih baik. Selain itu, Ethanol sebagai bahan bakar kendaraan bermotor lebih ramah lingkungan karena mempunyai emisi yang jauh lebih rendah dibandingkan bahan bakar fosil.

Beberapa perubahan yang bisa dilakukan untuk pemakaian ethanol di kendaraan adalah dengan meningkatkan rasio kompresi di ruang bakar engine, memodifikasi sistem pemasukan bahan bakar, serta waktu pengapian. Ethanol memiliki nilai kalor sekitar 60% lebih rendah dan nilai *Research Octane Number* (RON) yang lebih tinggi dari bahan bakar bensin. Parameter ini mengharuskan adanya rasio kompresi yang lebih tinggi, dan memerlukan sinkronisasi antara waktu injeksi dan waktu pengapian. Untuk tujuan tersebut, maka dibutuhkan ECU

(*Electronic Control Unit*) yang bisa diprogram untuk menyesuaikan antara waktu injeksi dan pengapian.

Dalam penelitian berikut ini dilakukan pengujian pada nilai-nilai yang menjadi parameter unjuk kerja seperti tekanan efektif rata-rata, daya, torsi dan pemakaian bahan bakar spesifik dari *engine* Nogogeni Evo 3 menggunakan *engine* Blade 125 FI yang sudah dimodifikasi serta melakukan perhitungan laju aliran massa. Metode pengujian menggunakan uji dyno test terhadap performa engine empat langkah yang telah dimodifikasi menggunakan bahan bakar ethanol.

Pada tugas akhir ini akan dibahas unjuk kerja engine dan analisis gas buang *engine* Nogogeni Evo 3 yang telah dimodifikasi yang ditinjau berdasarkan performanya berupa tekanan efektif rata-rata, daya, torsi, bsfc laju aliran massa, analisa gas seperti kandungan HC, CO, CO₂, dan O₂.

1.2 Permasalahan

Dari uraian diatas, permasalahan yang muncul pada penelitian ini adalah :

Bagaimana unjuk kerja dan karakterisitik *engine* Nogogeni Evo 3 yang telah dimodifikasi dengan meningkatkan nilai rasio kompresi di ruang bakar dan sinkronasi antara waktu penginjeksian bahan bakar dan waktu pengapian.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui unjuk kerja *engine* Nogogeni Evo 3 yang telah dimodifikasi untuk bahan bakar etanol
2. Untuk mengetahui pengaruh pola penginjeksian bahan bakar terhadap unjuk kerja *engine* Nogogeni Evo 3 berbahan bakar etanol
3. Untuk mengetahui pengaruh pola penginjeksian bahan bakar terhadap gas buang *engine* Nogogeni Evo 3 berbahan bakar etanol.

1.4 Batasan Masalah

Agar permasalahan yang dibahas tidak terlalu meluas, maka diberikan batasan-batasan sebagai berikut :

1. Pengujian dilakukan pada *engine* Nogogeni Evo 3 yang telah dimodifikasi dengan spesifikasi 4 langkah 1 silinder, volume silinder 125 CC menggunakan variabel perbedaan *mapping* bahan bakar setiap rpm.
2. Bahan bakar yang digunakan adalah ethanol dengan RON > 120 yang diproduksi oleh PT. Energi Agro Nusantara.
3. Kondisi temperatur udara sekitar 30 °C, RH 75%.
4. Kondisi temperatur kerja engine 55 °C (CLT)
5. Data diambil pada putaran mesin 2500, 3500, 4500, 5500, 6500, 7500, 8500 rpm toleransi kurang lebih 50.
6. Tekanan injektor sebesar 5 bar
7. Data diambil dalam kondisi kendaraan diam pada dyno test.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi sumbangan bagi ilmu pengetahuan serta dapat memberi informasi dan inspirasi kepada masyarakat umum tentang keunggulan penggunaan bahan bakar ethanol yang lebih ramah lingkungan pada engine Honda Blade 125 FI yang digunakan pada Nogogeni Evo 3 setelah dimodifikasi ditinjau dari parameter unjuk kerjanya dan emisi gas buang.

1.6 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan penulis untuk mencapai tujuan penelitian dari Tugas Akhir ini adalah :

1. Studi Literatur

Dasar-dasar pengetahuan mengenai tema dari tugas akhir ini, dilakukan dengan observasi, konsultasi dengan dosen Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS, dan mencari referensi pada buku, makalah, jurnal-jurnal yang berhubungan dengan unjuk kerja *engine* berbahan bakar bensin yang telah dimodifikasi menjadi *engine* berbahan bakar etanol dengan tujuan mendapatkan acuan untuk analisa dan perhitungan unjuk kerja serta emisi gas buang.

2. Studi Laboratorium

Melakukan pengujian di Laboratorium Energi LPPM-ITS untuk mengetahui *properties* bahan bakar dan Laboratorium Motor Bakar Workshop Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS dengan peralatan mesin dan alat ukur yang telah tersedia untuk mendapatkan data-data yang diperlukan.

3. Analisa Data

Data-data *real* hasil pengujian dianalisis dengan tujuan mengetahui unjuk kerja dan karakteristik *engine* Nogogeni Evo 3 dengan bahan bakar etanol.

1.7 Sistematika Penulisan

Laporan tugas akhir ini disusun berdasarkan sistematika penulisan yang bersifat umum adalah sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini akan membahas mengenai latar belakang, permasalahan, tujuan penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan.

BAB II DASAR TEORI

Bab ini berisi teori-teori yang menunjang pelaksanaan penelitian, perhitungan dan pemecahan masalah yang telah diperoleh.

BAB III METODOLOGI

Bab ini menjelaskan metodologi dan diagram alir dari pengujian yang akan dilakukan dalam penelitian serta alat-alat yang dipergunakan dalam pelaksanaan pengujian.

BAB IV PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dijelaskan bagaimana unjuk kerja dengan variabel sudut penyalaan busi atau sudut pengapian. Dalam tahap ini juga dilakukan analisa berdasarkan data-data hasil pengujian yang meliputi :

a. Putaran mesin.

- b. Konsumsi bahan bakar yang ditunjukkan alat ukur dalam putaran tertentu.
- c. Tekanan bahan bakar yang masuk pada injektor.
- d. Temperatur kerja.
- e. Laju aliran massa bahan bakar.

Yang selanjutnya disajikan dalam perhitungan untuk memudahkan analisa.
berguna untuk analisa data yang telah diperoleh.

BAB V KESIMPULAN

Bab Kesimpulan menyatakan pernyataan akhir dari uraian dan penjelasan pada bab-bab sebelumnya

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Motor Bensin Empat Langkah (4 Tak)

Motor pembakaran dalam (*internal combustion engine*) empat langkah pertama kali ditemukan oleh pria asal Jerman yang bernama Nikolaus August Otto pada tahun 1876, oleh sebab siklus empat langkah pada motor pembakaran dalam dikenal sebagai siklus *Otto* (*Otto cycle*).

Motor pembakaran dalam adalah mesin kalor yang berfungsi untuk mengkonversikan energi kimia yang terkandung dalam bahan bakar menjadi energi mekanis dan prosesnya terjadi di dalam suatu ruang bakar yang tertutup. Energi kimia dalam bahan bakar terlebih dahulu diubah menjadi energi termal melalui proses pembakaran. Energi termal yang diproduksi akan menaikkan tekanan yang kemudian menggerakkan mekanisme mesin. Dalam proses pembakaran tersebut, bagian-bagian motor melakukan gerakan berulang yang dinamakan siklus. Setiap siklus yang terjadi dalam mesin terdiri dari beberapa urutan langkah kerja.

Siklus kerja motor pembakaran dalam dapat diklasifikasikan menjadi motor 2 langkah dan motor 4 langkah. Berdasarkan pembatasan masalah, peralatan uji yang digunakan adalah motor Otto berbahan bakar bensin (*spark ignition engine*) dengan sistem 4 langkah. Motor Otto merupakan motor pembakaran dalam karena motor Otto melakukan proses pembakaran gas dan udara di dalam silinder untuk melakukan kerja mekanis.

2.1.1 Prinsip Kerja

Motor bakar empat langkah adalah sebuah mesin dimana untuk menghasilkan sebuah tenaga memerlukan empat langkah naik-turun piston, dua kali putaran poros engkol (*crank shaft*), dan satu putaran noken as (*cam shaft*). Posisi tertinggi pada gerakan piston disebut titik mati atas (TMA) sedangkan yang terendah disebut titik mati bawah (TMB). Keempat langkah pada motor empat langkah adalah langkah hisap, langkah kompresi, langkah kerja (usaha) dan langkah

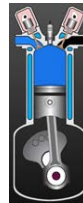
buang. Masing-masing membutuhkan. Beberapa kejadian berikut, membentuk siklus dalam motor bensin :

1. Mengisi silinder mesin dengan campuran udara dan bahan bakar yang telah mengalami pengabutan.
2. Penekanan pada silinder, dimana volume silinder yang sudah terisi campuran bahan bakar dan udara dimampatkan sehingga tekanan dan suhu menjadi naik.
3. Penyalaan oleh busi.
4. Pembakaran bahan bakar dan pengembangan gas panas.
5. Mengosongkan hasil pembakaran dari silinder.

Keempat kejadian ini terjadi berulang-ulang pada waktu mesin menyala. Jika masing-masing dari keempat kejadian ini memerlukan langkah torak yang terpisah, maka daurnya disebut daur empat langkah. Empat kejadian utama ditunjukkan secara skematis pada gambar 2.1 dibawah ini.



(a) Langkah Hisap



(b) Langkah Kompresi

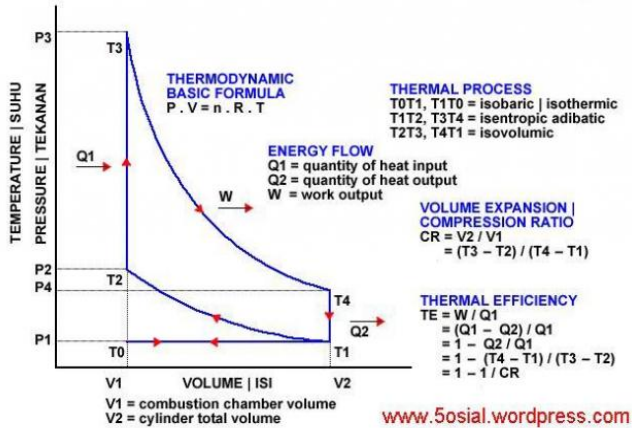


(c) Langkah Kerja



(d) Langkah Buang

Gambar 2.1. Siklus 4 langkah
(Sumber: <http://www.wikipedia.com/motorbakar>)



Gambar 2.2. Diagram P vs v dari siklus ideal mesin bensin 4 langkah

(sumber : <http://www.5osial.wordpress.com/siklus-diesel-p-v-siklus-otto-p-v.html>)

Proses (0-1): Langkah Hisap

Pada langkah hisap posisi katup hisap dalam keadaan terbuka, katup buang dalam keadaan menutup serta torak bergerak dari TMA (titik mati atas) menuju ke TMB (titik mati bawah). Akibatnya terjadi kevakuman di dalam silinder yang menyebabkan terisapnya campuran udara dan bahan bakar masuk ke dalam silinder.

Proses (1-2): Langkah Kompresi Isentropik

Setelah bahan bakar masuk ke dalam silinder torak masih bergerak dari TMA menuju ke TMB, katup hisap mulai menutup sehingga kedua katup dalam keadaan tertutup. Dengan demikian campuran udara dan bahan bakar tersebut dikompresi oleh tekanan torak ketika torak bergerak dari TMB menuju TMA.

Proses (2-3): Proses Pembakaran Pada Volume Konstan

Proses pembakaran terjadi sesaat sebelum torak mencapai TMA, busi memercikkan bunga api listrik pada ujung elektrodanya yang menyebabkan terbakarnya campuran udara dan bahan bakar. Akibat proses pembakaran, tekanan dan temperatur di ruang bakar naik lebih tinggi dan terjadi ledakan. Sesudah torak mencapai TMA energi yang dihasilkan segera diekspansikan oleh torak.

Proses (3-4): Langkah Ekspansi Isentropik

Ledakan yang terjadi di dalam silinder mengakibatkan tekanan meningkat dan mendorong torak menuju TMB. Pada langkah ini posisi katup hisap dan katup buang masih dalam keadaan tertutup. Selama proses ekspansi ini tekanan dan temperatur mulai turun sedikit demi sedikit dan berlangsung proses isentropik.

Proses (4-1): Proses Pembuangan Pada Volume Konstan

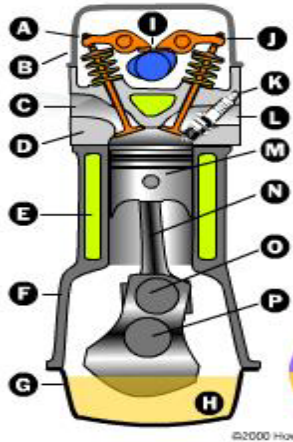
Proses pembuangan sejumlah gas pembakaran terjadi pada saat torak mencapai TMB. Pada langkah ini, posisi katup buang terbuka dan katup hisap tertutup. Pada proses ini berlangsung pada volume konstan.

Proses (1-0): Langkah Buang

Pada langkah buang posisi katup isap dalam keadaan menutup dan katup buang dalam keadaan terbuka sehingga gas bekas keluar dengan sendirinya. Torak bergerak dari TMB menuju ke TMA, mendorong gas sisa pembakaran yang selanjutnya keluar menuju saluran keluar (exhaust manifold).

2.1.2 Konstruksi

Motor bensin memiliki konstruksi dalam sistem pembakarannya. Konstruksi motor bensin empat langkah dapat dilihat pada gambar 2.3. dibawah ini.



Gambar 2.3. Konstruksi mesin bensin empat langkah
(sumber : <https://www.otomotifstudi.com/2018/03/memahami-prinsip-kerja-motor-4-tak.html>)

Keterangan :

- | | |
|---|----------------------------|
| A. Mekanisme intake valve, rocker arm, spring | I. Camshaft |
| B. Cover valve | J. Mekanisme exhaust valve |
| C. Saluran intake | K. Busi |
| D. Cylinder head | L. Saluran Exhaust |
| E. Saluran pendingin | M. Piston (Torak) |
| F. Blok engine | N. Batang Penghubung |
| G. Bak oli | O. Bearing Crankshaft |
| H. Penghisap oli | P. Crankshaft |

Beberapa komponen-komponen dalam motor bensin 4 tak adalah:

1. Torak (*Piston*)

Torak merupakan bagian mesin yang bersinggungan langsung dengan gas bertekanan dan bertemperatur tinggi, torak bergerak translasi dengan kecepatan tinggi. Torak pada mesin bensin empat tak dilengkapi dengan tiga ring torak. Ring pada bagian atas berfungsi agar gas pembakaran yang bertekanan tinggi tidak masuk kedalam ruang engkol (*crankcase*). Ring bagian bawah berfungsi sebagai pengontrol oli yang menempel pada dinding silinder.



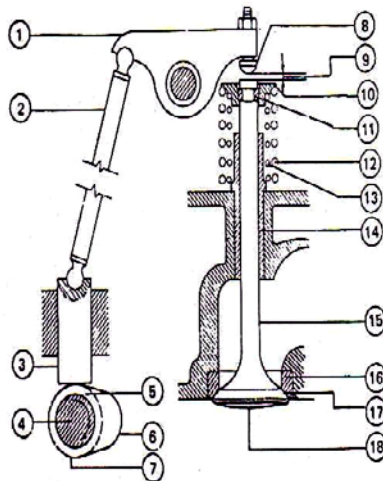
Gambar 2.4 piston

(sumber : <http://belangbela.blogspot.com/2012/02/komponen-komponen-motor-bakar-diesel.html>)

2. Katup (*Valve*)

Untuk mesin empat langkah pemasukan bahan bakar dan pembuangan gas sisa pembakaran dilakukan melalui katup masuk dan katup buang. Terbuka dan tertutupnya kedua katup tersebut diatur oleh perputaran poros kam atau poros hubungan. Untuk membedakan antara katup hisap dan katup buang dapat dilihat dari diameter katup. Diameter katup hisap lebih besar daripada katup buang. Ukuran katup hisap ini berfungsi untuk memperbanyak jumlah bahan bakar yang

masuk ke dalam ruang bakar. Pembukaan dan penutupan katup diatur melalui mekanisme yang ditunjukkan gambar dibawah ini.



Gambar 2.5 Mekanisme katup
(Arismunandar, 2002:12)

Keterangan:

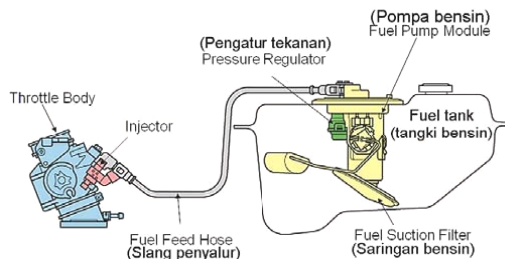
- | | |
|----------------------------------|------------------------------------|
| 1. Mekanisme <i>intake</i> valve | 10. Mekanisme <i>exhaust</i> valve |
| 2. <i>Cover valve</i> | 11. Busi |
| 3. Saluran <i>intake</i> | 12. Saluran <i>Exhaust</i> |
| 4. <i>Cylinder head</i> | 13. <i>Piston</i> (Torak) |
| 5. Saluran pendingin | 14. Batang Penghubung |
| 6. Blok engine | 15. <i>Bearing Crankshaft</i> |
| 7. Bak oli | 16. <i>Crankshaft</i> |
| 8. Penghisap oli | 17. Bidang rapat katup |
| 9. <i>Camshaft</i> | 18. Kepala katup |

3. Kontruksi Dasar Sistem EFI (*Electronic Fuel Injection*)

Istilah sistem injeksi bahan bakar (EFI) dapat digambarkan sebagai suatu sistem yang menyalurkan bahan bakarnya dengan menggunakan pompa pada tekanan tertentu untuk mencampurnya dengan udara yang masuk ke ruang bakar. Pada sistem EFI dengan motor berbahan bakar bensin, pada umumnya proses penginjeksian bahan bakar terjadi di bagian ujung *intake manifold*, masuk sebelum *inlet valve* (katup/klep masuk). Pada saat *inlet valve* terbuka, yaitu pada langkah hisap, udara yang masuk ke ruang bakar sudah bercampur dengan bahan bakar. Secara ideal, sistem EFI harus dapat mensuplai sejumlah bahan bakar yang disemprotkan agar dapat bercampur dengan udara dalam perbandingan campuran yang tepat sesuai kondisi putaran dan beban mesin, kondisi suhu kerja mesin dan suhu atmosfer saat itu. Sistem harus dapat mensuplai jumlah bahan bakar yang bervariasi, agar perubahan kondisi operasi kerja mesin tersebut dapat dicapai dengan unjuk kerja mesin yang tetap optimal. Secara umum, konstruksi sistem EFI dapat dibagi menjadi tiga bagian/sistem utama, yaitu;

a. Sistem Bahan bakar

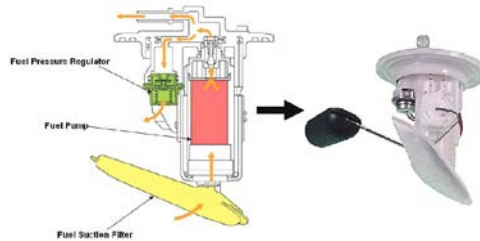
Komponen-komponen yang digunakan untuk menyalurkan bahan bakar ke mesin terdiri dari tangki bahan bakar, pompa bahan bakar (*fuel pump*), saringan bahan bakar (*fuel filter*), pipa/slang penyalur (pembagi), pengatur tekanan bahan bakar (*fuel pressure regulator*), dan injektor/penyemprot bahan bakar. Sistem bahan bakar ini berfungsi untuk menyimpan, membersihkan, menyalurkan dan menyemprotkan /menginjeksikan bahan bakar.



Gambar 2.6 Gambar sistem bahan bakar pada kendaraan EFI
(Sumber: www.teknik-otomotif.com)

Adapun fungsi masing-masing komponen pada sistem bahan bakar tersebut adalah sebagai berikut:

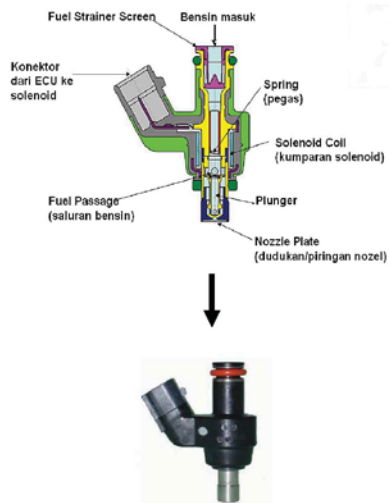
- 1) *Fuel suction filter*
untuk menyaring kotoran agar tidak terisap pompa bahan bakar.
- 2) *Fuel pump module*
untuk memompa dan mengalirkan bahan bakar dari tangki bahan bakar ke injektor. Penyaluran bahan bakarnya harus lebih banyak dibandingkan dengan kebutuhan mesin supaya tekanan dalam sistem bahan bakar bisa dipertahankan setiap waktu walaupun kondisi mesin berubah-ubah.



Gambar 2.7 Gambar Kontruksi fuel pump
(Sumber: www.teknik-otomotif.com)

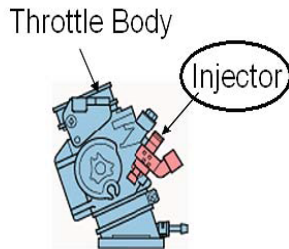
- 3) *Fuel pressure regulator*
untuk mengatur tekanan bahan bakar di dalam sistem aliran bahan bakar agar tetap/konstan.
- 4) *Fuel feed hose*
adalah slang untuk mengalirkan bahan bakar dari tangki menuju injektor. Slang dirancang harus tahan tekanan bahan bakar akibat dipompa dengan tekanan minimal sebesar tekanan yang dihasilkan oleh pompa.
- 5) *Fuel Injector*

untuk menyemprotkan bahan bakar ke saluran masuk (intake manifold) sebelum, biasanya sebelum katup masuk, namun ada juga yang ke *throttle body*. Volume penyemprotan disesuaikan oleh waktu pembukaan nozel/injektor. Lama dan banyaknya penyemprotan diatur oleh ECM (*Electronic/Engine Control Module*) atau ECU (*Electronic Control Unit*).

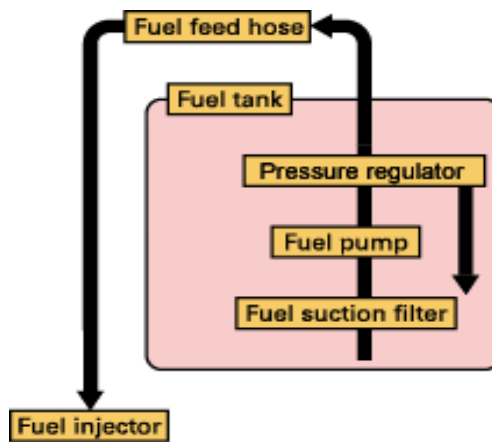


Gambar 2.8 Gambar Kontruksi injektor bahan bakar
(Sumber: www.teknik-otomotif.com)

Terjadinya penyemprotan pada injektor adalah pada saat ECU memberikan tegangan listrik ke solenoid coil injektor. Dengan pemberian tegangan listrik tersebut solenoid coil akan menjadi magnet sehingga mampu menarik plunger dan mengangkat needle valve (katup jarum) dari dudukannya, sehingga saluran bahan bakar yang sudah bertekanan akan memancar keluar dari injektor.



Gambar 2.9 Penempatan injektor pada throttle body



Gambar 2.10 Komponen & Aliran Bahan Bakar pada Sistem EFI Sepeda Motor

(Sumber: www.teknik-otomotif.com)

b. Sistem Kontrol Elektronik

Komponen sistem kontrol elektronik terdiri dari beberapa sensor (pengindra), seperti MAP (*Manifold Absolute Pressure*) sensor, TP (*Throttle Position*) sensor, IAT (*Intake Air Temperature*) sensor, *bank angle sensor*, EOT (*Engine Oil Temperature*) sensor, dan sensor-sensor lainnya. Pada sistem ini juga terdapat ECU (*Electronic Control Unit*) atau ECM dan komponen-komponen

tambahan seperti alternator (magnet) dan regulator/rectifier yang mensuplai dan mengatur tegangan listrik ke ECU, baterai dan komponen lain. Pada sistem ini juga terdapat DLC (*Data Link Connector*) yaitu semacam soket dihubungkan dengan engine analyzer untuk mencari sumber kerusakan komponen.

Secara garis besar fungsi dari masing-masing komponen sistem kontrol elektronik antara lain sebagai berikut;

1) ECU/ECM

ECU menerima dan menghitung seluruh informasi/data yang diterima dari masing-masing sinyal sensor yang ada dalam mesin. Informasi yang diperoleh dari sensor antara lain berupa informasi tentang suhu udara, suhu oli mesin, suhu air pendingin, tekanan atau jumlah udara masuk, posisi katup throttle/katup gas, putaran mesin, posisi poros engkol, dan informasi yang lainnya. Pada umumnya sensor bekerja pada tegangan antara 0 volt sampai 5 volt. Selanjutnya ECU/ECM menggunakan informasi-informasi yang telah diolah tadi untuk menghitung dan menentukan saat (timing) dan lamanya injektor bekerja/menyemprotkan bahan bakar dengan mengirimkan signal berupa tegangan listrik ke aktuator-aktuator. Pada beberapa mesin yang sudah lebih sempurna, disamping mengontrol injektor, ECU/ECM juga bisa mengontrol sistem pengapian.

2) MAP (*Manifold absolute pressure*)

Merupakan sensor memberikan sinyal ke ECU berupa informasi (deteksi) tekanan udara yang masuk ke intake manifold. Selain tipe MAP sensor, pendeteksian udara yang masuk ke intake manifold bisa dalam bentuk jumlah maupun berat udara. Jika jumlah udara yang dideteksi, sensornya dinamakan air flow meter, sedangkan jika berat udara yang dideteksi, sensornya dinamakan air mass sensor.

3) IAT (*Engine air temperature*)

Merupakan sensor memberikan sinyal ke ECU berupa informasi (deteksi) tentang suhu udara yang masuk ke intake manifold. Tegangan referensi/suplai 5 Volt dari ECU selanjutnya akan berubah menjadi tegangan sinyal yang nilainya dipengaruhi oleh suhu udara masuk.

4) TP (*Throttle Position*)

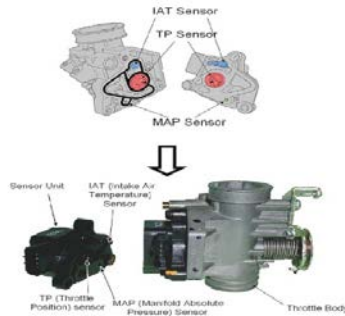
Merupakan sensor memberikan sinyal ke ECU berupa informasi (deteksi) tentang posisi katup throttle/katup gas. Generasi yang lebih baru dari sensor ini tidak hanya terdiri dari kontak-kontak yang mendeteksi posisi idel/langsam dan posisi beban penuh, akan tetapi sudah merupakan potensiometer (*variable resistor*) dan dapat memberikan sinyal ke ECU pada setiap keadaan beban mesin. Konstruksi generasi terakhir dari sensor posisi katup gas sudah full elektronis, karena yang menggerakkan katup gas adalah elektromesin yang dikendalikan oleh ECU tanpa kabel gas yang terhubung dengan pedal gas. Generasi terbaru ini memungkinkan pengontrolan emisi/gas buang lebih bersih karena pedal gas yang digerakkan hanyalah memberikan sinyal tegangan ke ECU dan pembukaan serta penutupan katup gas juga dilakukan oleh ECU secara elektronis.

5) *Engine oil temperature*

Merupakan sensor memberikan sinyal ke ECU berupa informasi (deteksi) tentang suhu oli mesin.

c. Sistem Induksi Udara

Sistem Induksi Udara berfungsi mengatur dan mengukur aliran udara yang masuk ke dalam silinder. Komponen-komponen sistem induksi udara (EFI tipe D) terdiri dari : Saringan udara, *Throttle body* (yang didalamnya terdapat : *Manifold Absolute Pressure* (MAP) Sensor, *Throttle Position* (THP) Sensor, *Intake Air Temperature* (IAT) Sensor), dan *Intake Manifold*.



Gambar 2.11 Throttle body pada sistem EFI sepeda motor
(Sumber: www.teknik-otomotif.com)

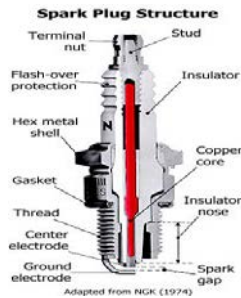
4. Busi

Busi adalah suatu suku cadang yang dipasang pada mesin pembakaran dalam dengan ujung elektroda pada ruang bakar. Busi dipasang untuk memercikkan bunga api sehingga bahan bakar dan udara yang telah tercampur dan terkompresi oleh piston bisa terbakar. Percikan busi berupa percikan elektrik. Pada bagian tengah busi terdapat elektroda yang dihubungkan dengan kabel ke koil pengapian (*ignition coil*) di luar busi, dan dengan ground pada bagian bawah busi, membentuk suatu celah percikan di dalam silinder. Busi tersambung ke tegangan yang besarnya ribuan Volt yang dihasilkan oleh koil pengapian (*ignition coil*). Tegangan listrik dari koil pengapian menghasilkan beda tegangan antara elektroda di bagian tengah busi dengan yang di bagian samping. Arus tidak dapat mengalir karena bensin dan udara yang ada di celah merupakan isolator, namun semakin besar beda tegangan, struktur gas di antara kedua elektroda tersebut berubah. Pada saat tegangan melebihi kekuatan dielektrik dari pada gas yang ada, gas-gas tersebut mengalami proses ionisasi dan yang tadinya bersifat insulator, berubah menjadi konduktor. Setelah itu terjadi arus elektron dapat mengakibatkan suhu di celah percikan busi naik drastis, sampai 60.000 K. Suhu yang sangat tinggi ini membuat gas yang terionisasi untuk memuai dengan cepat dan menjadi ledakan.

Rata-rata panas yang dihasilkan ditentukan oleh :

- Panjang hidung insulator
- Volume gas disekitar hidung insulator
- Material dan konstruksi dari pusat elektrode dan porselin insulator

Sekarang sebagai fungsi aktualnya sebagai pemicu pembakaran yang mengirim percikan bunga api melalui rotor, menuju cap, turun pada kawat dan kemudian percikan tersebut melompat pada celah busi. Inti dari busi diciptakan untuk membakar campuran udara–bahan bakar pada ruang bakar. Waktu yang tepat pada percikan ini tidak hanya terpusat pada gambaran diatas tetapi kita harus mempunyai *heat range* dan gap yang benar.

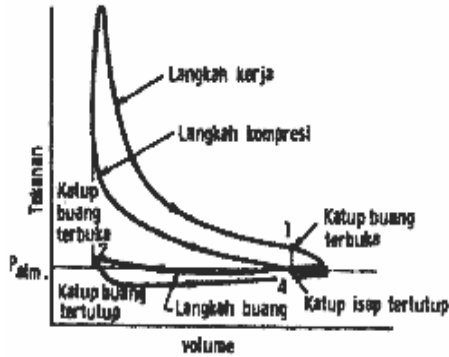


Gambar 2.12. Busi

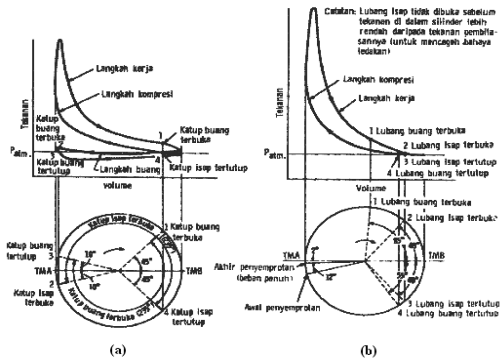
(Sumber : <http://laksito-minggir.blogspot.com/2015/12/fungsi-busi-pada-mesin-otomotif.html>)

2.2 Siklus Aktual Motor Bensin 4 langkah

Dalam siklus ideal masing-masing langkah dimulai dan di akhiri tepat di titik matinya (TMA & TMB), ini berarti tiap satu langkah ekuivalen dengan setengah poros engkol (180° sudut engkol). Dalam siklus actual permulaan maupun akhir tiap langkah bukan pada titik matinya. [1]



Gambar 2.13 Diagram P-V Siklus Actual



Gambar 2.14 Siklus Aktual 2 langkah dan 4 langkah (Arismunandar, 2002:12)

2.2.1 Langkah Hisap

Pembukaan katup hisap pada langkah hisap dimulai sekitar 10 derajat sudut engkol sebelum piston mencapai TMA sehingga tepat ketika piston memulai langkah hisap katup masuk sudah terbuka penuh. Sedangkan penutupan dilakukan setelah piston melewati TMB.

2.2.2 Langkah Kompresi

Langkah kompresi dimulai ketika TMB sampai piston mencapai TMA, namun kenaikan tekanan maksimum dicapai setelah melewati TMA.

2.2.3 Langkah Ekspansi

Proses pemanfaatan tenaga gas yang berlangsung pada langkah ekspansi ini dalam kenyataan lebih pendek dari idealnya, karena sudah harus berakhir sebelum piston mencapai TMB.

2.2.4 Langkah Pembuangan

Dalam kenyataan proses pembuangan gas hasil pembakaran berlangsung dalam dua periode. Periode pertama dimulai ketika piston masih melakukan kerja ekspansi tetapi katub buang sudah mulai dibuka, keluarnya gas pada periode ini disebabkan tekanan gas didalam silinder diakhir langkah kerja masih lebih tinggi dari tekanan diluar silinder, periode ini disebut proses blow down.

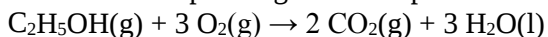
Periode kedua dilakukan dengan dorongan piston yang dimulai dari TMB sampai beberapa derajat sesudah piston melewati TMA.

2.3 Bahan Bakar Etanol

Etanol merupakan bahan bakar yang dapat digunakan pada kendaraan dan etanol dapat menggantikan *gasoline* atau bensin sebagai bahan bakar yang umumnya digunakan pada kendaraan. Etanol yang sering juga disebut etil alkohol yang memiliki rumus kimia C_2H_5OH bersifat cair pada temperatur kamar. Etanol dapat dibuat dari proses pemasakan fermentasi dan distilasi. Beberapa jenis tanaman seperti tebu, jagung, singkong atau tanaman lain yang kandungan karbohidratnya tinggi dapat dijadikan bahan pembuatan bahan bakar etanol. Bahkan dalam beberapa penelitian ternyata etanol juga dapat

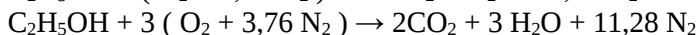
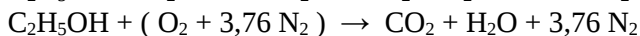
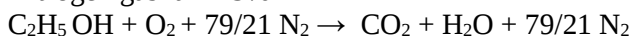
dibuat dari selulosa atau limbah pertanian (biomassa). Sehingga etanol memiliki potensi yang tinggi sebagai pengganti gasoline atau bensin.

Etanol memiliki bilangan oktan 120. Bilangan oktan adalah angka yang menunjukkan seberapa besar tekanan yang bisa diberikan sebelum bensin terbakar secara spontan. Di dalam mesin pada saat langkah kompresi, campuran udara dan bensin (dalam bentuk gas) dikompresikan piston sampai dengan volume yang terkecil dan kemudian dibakar oleh percikan api yang dihasilkan busi. Karena besarnya tekanan ini, campuran udara dan bensin juga bisa terbakar secara spontan sebelum percikan api dari busi keluar. Jika campuran gas ini terbakar karena tekanan yang tinggi (dan bukan karena percikan api dari busi), maka akan terjadi *knocking* atau ketukan di dalam mesin. Knocking ini akan menyebabkan mesin cepat rusak, sehingga sebisa mungkin harus kita hindari. Etanol sebagai bahan bakar juga memiliki hasil gas buang yang sama dengan bahan bakar lain. Hal ini dapat dilihat dari reaksi kimia pembakaran etanol. Untuk mendapatkan gas buang yang ideal maka diperlukan campuran bahan bakar dan udara yang sesuai. Hasil pembakaran yang ideal akan menghasilkan karbon dioksida dan air. Pembakaran etanol akan menghasilkan karbon dioksida dan air seperti digambarkan pada rumus dibawah ini:



Udara 21%

Nitrogen gas lain 79%



$$\text{Bahan bakar} = \text{C} = 12 \times 2 + \text{H} = 1 \times 6 + \text{O} = 16$$

$$\text{Udara} = 3 (\text{O} = 16.2 + 3,76 (\text{N}=14.2))$$

$$\frac{\text{Udara}}{\text{Bahan bakar}} = \frac{24 + 6 + 16}{3(32 + 105,28)}$$

$$\frac{\text{Udara}}{\text{Bahan bakar}} = \frac{46}{411,84}$$

$$\frac{\text{Udara}}{\text{Bahan bakar}} = \frac{1}{8,95}$$

Jadi perbandingan udara dan bahan bakar ideal adalah 1 bahan bakar dan 8.95 udara. Perhitungan perbandingan di atas disebut perhitungan perbandingan ideal atau perbandingan *Stoichiometric*.

2.4 Proses Pembakaran

Proses pembakaran adalah terbakarnya kombinasi kimia antara hidrogen dan karbon pada bahan bakar dengan oksigen dalam udara dengan waktu yang relatif singkat dan menghasilkan energi dalam bentuk panas. Pembakaran dalam *Spark Ignition Engine* (SIE) dimulai oleh adanya percikan bunga api listrik yang ditimbulkan oleh busi yang kemudian membakar campuran udara bahan bakar yang mudah terbakar yang disuplai dan dicampur oleh karburator maupun injektor sehingga terjadi ledakan yang sangat hebat dalam ruang bakar pada motor tersebut. Kombinasi yang diperlukan untuk pembakaran adalah sebagai berikut :

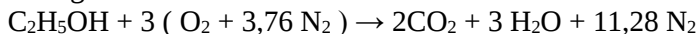
a. Adanya campuran udara-bahan bakar yang dapat terbakar. Pada mesin bensin, pencampuran udara-bahan bakar terjadi pada karburator.

b. Pembakaran pada mesin bensin terjadi karena adanya pengapian dari loncatan bunga api listrik pada kedua elektroda busi.

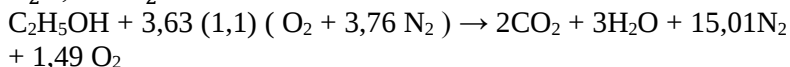
c. Stabilisasi dan penyebaran api dalam ruang bakar.

Dari proses pembakaran tersebut akan menghasilkan emisi gas buang dari sisa proses pembakaran di ruang bakar. Proses pembakaran menghasilkan gas buang baik pembakaran sempurna maupun pembakaran tidak sempurna. Permbakaran sempurna merupakan pembakaran antara bahan bakar atau

senyawa hidrokarbon dengan udara (O_2 , N_2) dan menghasilkan produk CO_2 , H_2O , dan N_2 sedangkan pembakaran tidak sempurna akan menghasilkan produk O_2 , CO , NO_x , SO_x . Produk pembakaran yang tidak sempurna akan menyebabkan polusi udara yang sangat berbahaya bagi kelangsungan makhluk hidup, polusi tersebut dapat menyebabkan hujan asam dan juga pemanasan global.



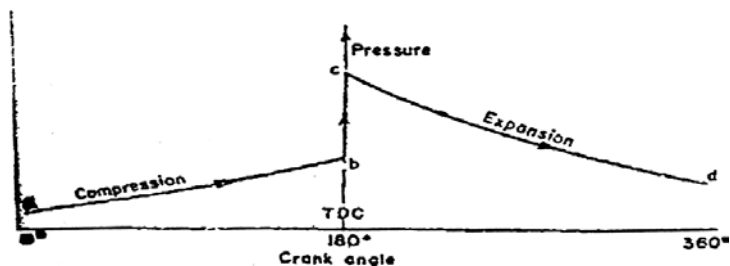
Reaksi diatas merupakan reaksi pembakaran sempurna antara bahan bakar etanol dengan udara yang menghasilkan produk CO_2 , H_2O , dan N_2 .



Reaksi diatas merupakan reaksi pembakaran tidak sempurna antara metana dengan bahan bakar dengan 110% theoritical air yang menghasilkan produk O_2 .

2.4.1 Pembakaran Dalam SIE

Ada tiga tahapan yang terjadi dalam proses pembakaran pada SIE (spark ignition engine) mulai dari awal sampai akhir pembakaran, yaitu:



Gambar 2.15 Diagram P – V teoritis
(Arismunandar, 2002:12)

Tahap I : *Ignition Lag* (fase persiapan) yaitu membesar dan berkembangnya inti api serta merambatnya inti api tersebut dalam campuran udara–bahan bakar terkompresi

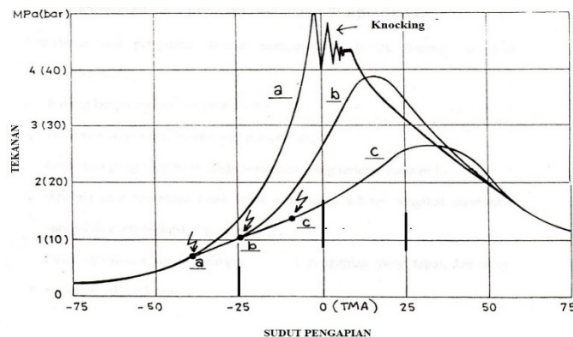
dalam ruang bakar. Proses ini merupakan proses kimia yang tergantung pada tekanan dan temperatur, koefisien temperatur bahan bakar yaitu hubungan temperatur dan laju percepatan oksidasi/pembakaran. [1]

Tahap II : *Propagation of Flame* yaitu dimana api mulai merambat dan menyebar ke seluruh ruang bakar. Proses mekanis banyak mempengaruhi proses ini. Proses ini dianggap berjalan baik apabila api dengan cepat merambat sehingga tidak ada campuran bahan bakar yang tidak terbakar. Dengan begitu akan terjadi pembakaran yang sempurna. (B – C) [1]

Tahap III : *After Burning*, setelah terjadi reasosiasi pada proses pembakaran maka berikutnya akan terjadi diasosiasi ada gas-gas hasil pembakaran. Setelah titik C. [1]

2.5 Sistem Pengapian

Sistem pengapian berfungsi untuk menghasilkan percikan bunga api listrik (voltage arc) yang kuat untuk membakar campuran udara dan bahan bakar di dalam ruang bakar. Selain kuat, ada satu hal lagi yang wajib dimiliki adalah ketepatan waktu untuk membakar sehingga memperoleh daya pembakaran yang optimal. Ketepatan waktu inilah yang kemudian dikenal sebagai ignition timing. Dengan demikian dapat dipersepsikan bahwa sistem pengapian merupakan penjamin sebuah motor bensin agar dapat melakukan siklus pembakaran dengan baik. [3]



Gambar 2.16. Saat pengapian dan tekanan pembakaran

a. Titik a

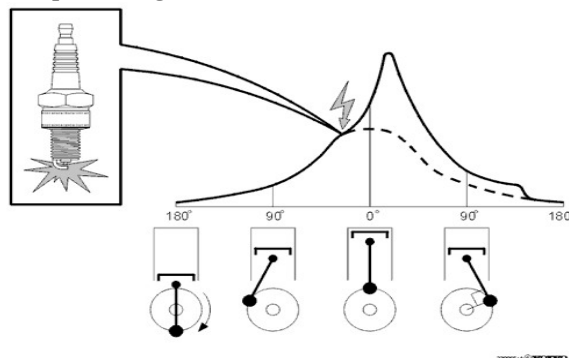
Pada pengapian tersebut merupakan pengapian maju, pengapian maju dapat menyebabkan knocking. Knocking merupakan proses pembakaran yang tidak tepat dimana proses pencampuran bahan bakar dan udara belum setara namun sudah terjadi penyulutan dari bunga api pada busi. Sehingga tekanan yang terjadi pada proses kompresi belum tepat namun sudah terjadi pembakaran atau ledakan, akibatnya akan timbul suara ketukan dari ruang bakar. Akibat knocking tersebut akan menyebabkan unjuk kerja dari suatu mesin tidak optimal.

b. Titik b

Pada pengapian tersebut terjadi pengapian yang tepat. Dimana campuran udara dan bahan bakar sudah homogen, tekanan piston sudah optimum dan juga titik pengapian yang tepat akan menyebabkan kinerja mesin optimum.

c. Titik c

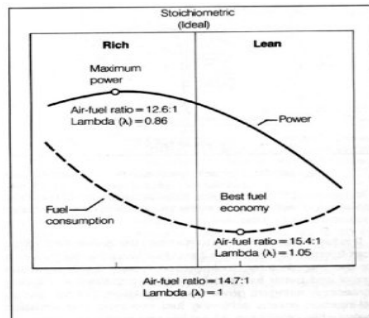
Pada pengapian tersebut terjadi pengapian yang mundur. Dimana campuran bahan bakar sudah mengalami homogen namun tekanan pada ruang bakar kurang tepat jika terlalu mundur. Hal tersebut akan berakibat kinerja mesin akan turun dan juga efisiensi mesin akan menurun akibat dari energi tekan di ruang bakar tidak dapat di manfaatkan menjadi energi rotasi pada poros engkol.



Gambar 2.17. titik pengapian yang tepat

2.6 Perbandingan Udara-Bahan Bakar (AFR)

Didalam pembakaran, terjadi dalam batasan perbandingan udara-bahan bakar tertentu, yang disebut "*Ignition Limits*". Campuran yang kelebihan bahan bakar dinamakan campuran kaya dan campuran yang kelebihan oksigen dinamakan campuran miskin. Campuran yang mendekati homogen dari bahan bakar dan udara dipersiapkan oleh injektor dan intake valve throttle body pada sistem EFI. Bila campurannya lebih kaya atau lebih miskin, maka berkuranglah nilai untuk terbakar sendiri.



Gambar 2.18 Air Fuel Ratio

(Sumber : Arismunandar, Wiranto, 2002)

2.7 Perhitungan Laju Aliran Massa

Laju aliran massa sebuah pada suatu mesin diperlukan untuk mengetahui unjuk kerja (*performance*) suatu mesin. Laju aliran massa di peroleh dari menghitung habisnya sebuah bahan bakar berdasarkan waktu tertentu. Untuk mengetahui laju aliran massa menggunakan persamaan:

$$\dot{m} = \frac{V \text{ (mL)} \times \rho \text{ bahan bakar} \times 3600}{T \text{ (s)} \times 1000000}$$

Keterangan:

- V : volume bahan bakar (mL)
- ρ : massa jenis bahan bakar (kg/m³)
- T : waktu konsumsi bahan bakar pada V tertentu (s)

- $\dot{m}$: laju aliran massa (kg/jam)

2.8 Unjuk Kerja

2.8.1 *Performance Engine*

Performance atau unjuk kerja suatu mesin tergantung pada energi yang dihasilkan dari campuran bahan bakar yang diterima oleh mesin serta efisiensi termal dari mesin tersebut (kemampuan mesin untuk mengubah energi dari campuran bahan bakar menjadi kerja output dari mesin). Dari kondisi diatas menunjukkan ada dua metode umum untuk meningkatkan *performance* atau unjuk kerja dari suatu mesin, yaitu :

1. Meningkatkan energi input

Meningkatkan energi input dari bahan bakar ini dapat dilakukan dengan cara memperbesar pasokan bahan bakar dengan udara yang masuk kedalam ruang bakar, menggunakan bahan bakar yang mempunyai nilai kalor yang lebih tinggi atau dengan menambahkan zat aditif ke dalam bahan bakar sehingga proses pembakaran yang terjadi lebih sempurna.

2. Meningkatkan efisiensi *thermal* dari mesin (η_{th})

Efisiensi *thermal* dari mesin adalah perbandingan antara daya mesin yang dihasilkan dengan energi yang dibangkitkan dari campuran bahan bakar. Meningkatkan efisiensi *thermal* dari mesin pada mesin otto dapat dilakukan antara lain dengan cara menaikkan rasio kompresi.

2.8.2 *Daya*

Pada motor bakar torak, daya yang berguna ialah daya yang terjadi pada poros. Karena poros itulah yang menggerakkan beban motor. Daya poros itu sendiri dibangkitkan oleh daya indikator yang merupakan daya hasil pembakaran yang menggerakkan piston. Sebagian besar daya indikator yang dihasilkan dari hasil pembakaran bahan bakar

di gunakan untuk mengatasi gerak mekanik pada peralatan mesin itu sendiri, misalnya kerugian karena gesekan antara dinding silinder dengan ring piston, poros dengan bantalan sehingga daya poros yang dihasilkan dari proses pembakaran didapatkan dari alat uji yaitu dyno test. Didalam *dyno test* sudah terdapat *Brake Horse Power* (BHP) dalam setiap rpm yang telah terbaca.

2.8.3 Torsi (T)

Poros yang bergerak dengan kecepatan tertentu, akan menghasilkan momen torsi atau momen puntir, waktu berputarnya dan torsi sendiri adalah kemampuan mesin untuk menghasilkan kerja:

$$T = \frac{BHP}{\omega}$$

Keterangan:

$$\omega = \frac{2 \pi n}{60} \left(\frac{rad}{sec} \right)$$

$$T = \text{Torsi (N.m)}$$

$$\text{BHP} = \text{Daya poros (watt)}$$

$$n = \text{Kecepatan putaran mesin (rpm)}$$

2.8.4 Tekanan Efektif Rata – Rata (BMEP)

Tekanan efektif rata-rata pengamat dari motor, (*Break Mean Effective Pressure*) didefinisikan sebagai tekanan efektif rata-rata teoritis yang bekerja sepanjang volume langkah piston sehingga menghasilkan daya yang besarnya sama dengan daya efektif pengamatan.

$$\text{BMEP} = \frac{BHP}{V \times n \times 2\pi \times a \times z}$$

Dimana :

$$\text{BMEP} = \text{Tekanan efektif rata-rata} \quad (\text{Pa})$$

n	= Putaran mesin	(rpm)
V _{sil}	= Volume silinder	(m ³)
z	= Jumlah silinder	
a	= 1 siklus (motor 2-langkah)	
	0,5 siklus (motor 4-langkah)	

2.8.5 Pemakaian Bahan Bakar Spesifik (BSFC)

Bsfc (*Brake Specific Fuel Consumption*) adalah banyak bahan bakar yang dibutuhkan oleh mesin untuk menghasilkan 1 HP selama 1 jam. Apabila dalam pengujian diperoleh data mengenai penggunaan bahan bakar, $\dot{m}$ (kg / jam) dan daya yang dihasilkan sebesar BHP (watt), maka besarnya pemakaian bahan bakar spesifik adalah :

$$BSFC = \frac{\dot{m}}{BHP}$$

Keterangan:

BSFC = Pemakaian bahan bakar spesifik ($\frac{kg}{watt.jam}$)

BHP = Daya poros (watt)

$\dot{m}$ = massa bahan bakar per waktu ($\frac{kg}{jam}$)

2.8.6 Efisiensi Termis (η_{th})

$$Effisiensi (\eta) = \frac{BHP \left(\frac{kJ}{jam} \right)}{\dot{m} \left(\frac{kg}{jam} \right) \times LHV \left(\frac{kJ}{kg} \right)} \times 100$$

Efisiensi termis adalah prosentase yang menyatakan besarnya pemanfaatan panas dari bahan bakar untuk dirubah menjadi daya efektif oleh motor pembakaran dalam. Secara teoritis dituliskan dalam persamaa

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III

METODOLOGI

3.1 Penelitian

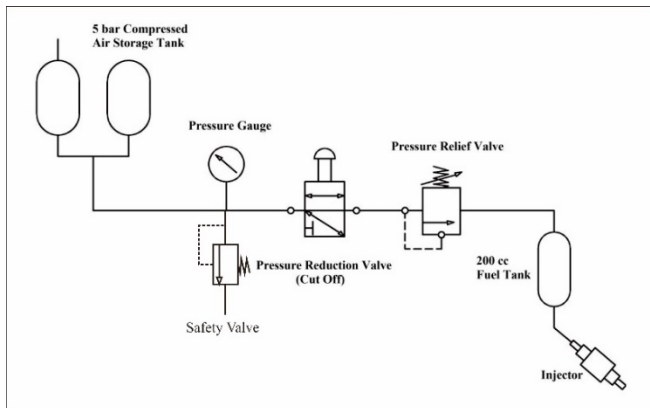
Tujuan penulisan tugas akhir ini adalah untuk mengetahui dan menerapkan *setting mapping* bahan bakar menggunakan ECU Daytona untuk mendukung unjuk kerja *engine* mobil Nogogeni Evo 3 yang telah dimodifikasi menggunakan bahan bakar ethanol.

3.2 Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Motor Pembakaran Dalam Workshop Departemen Teknik Mesin Industri, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Sukolilo Surabaya.

3.3 Instalasi Percobaan

Skema instalasi percobaan dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3.1. Skema instalasi percobaan sederhana

Instalasi percobaan yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.1. untuk instalasi udara bertekanan maksimal 5 bar yang tersimpan pada tabung bertekanan sudah melalui proses pengaturan pada pressure regulator sebesar 5 bar yang masuk ke injektor sebagai pengganti pompa bahan bakar.



*Gambar 3.2. Instalasi percobaan engine yang telah dimodifikasi
berbahan bakar ethanol.*

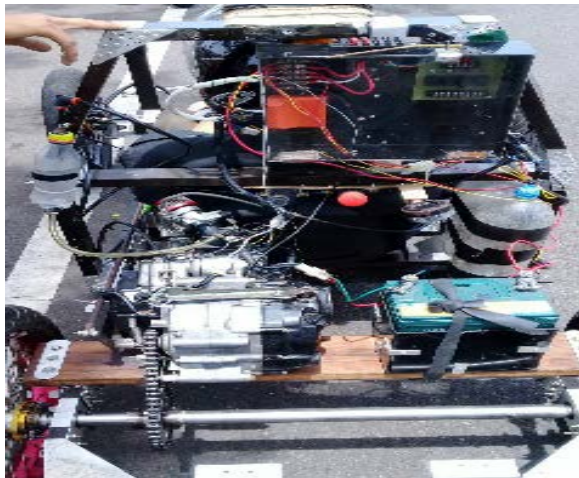
3.4 Peralatan Percobaan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Engine yang telah dimodifikasi :
 - a. Model : Blade 125 FI Modifikasi
 - b. Volume silinder : 124,89 cc
 - c. Kapasitas tangki bahan bakar : 200 ml
 - d. Kapasitas minyak pelumas : 0,8 Liter
 - e. Max Horse Power : 12, HP
 - f. Max Momen Puntir : 9,3 N/m
 - g. Sistem Pendingin : Fin
 - h. Rasio Kompresi : 14,8 : 1
 - i. Transmisi : Manual



Gambar 3.3. Mobil Nogogeni Evo 3



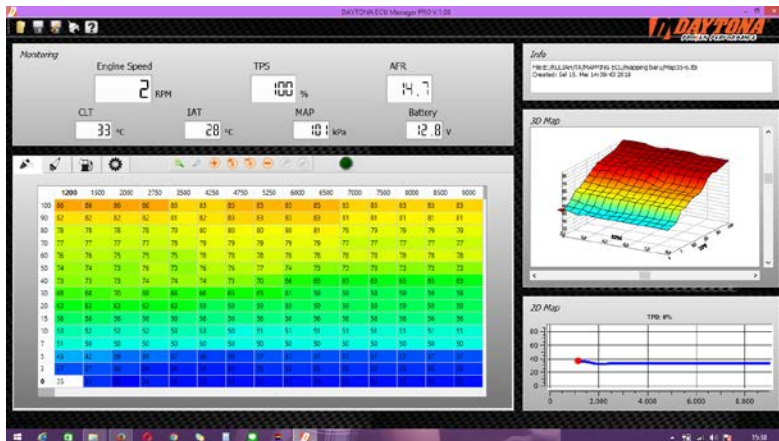
Gambar 3.4. Ruang Engine Mobil Nogogeni Evo 3

2. Engine Control Unit (ECU)

Engine Control Unit merupakan alat yang digunakan untuk mengatur *supply* bahan baka dan sudut pengapian agar dapat mendukung perfoma *engine* Mobil Nogogeni Evo 3.



Gambar 3.5 ECU programmable Daytona



Gambar 3.6 Nilai presentase supply bahan bakar.

Dari tabel *fuel* dapat mengatur debit bahan bakar yang diinjeksikan kedalam ruang bakar per menit waktu dan juga melakukan penambahan debit penginjeksian bahan bakar dalam bentuk presentase. Variabel yang dibuat adalah *setting* pola bahan bakar, yaitu pola 1, pola 2, pola 3, pola 4 dan pola 5. Dari pola 1 sampai pola 5 *disetting* semakin mengingkat volume bahan bakar yang disemprotkan oleh injektor. Pola 3 menjadi acuan utama untuk membuat pola yang lainnya, karena pola 3 merupakan pola

yang terbaik dalam hasil lomba KMHE 2017. Pola 2 merupakan pengurangan 6 nilai secara keseluruhan dari pola 3, begitu juga pola 1 adalah pengurangan 6 nilai dari Pola 2. Sedangkan untuk pola 4 merupakan penambahan 6 nilai secara keseluruhan dari pola 3, begitu juga pada pola 5 merupakan penambahan 6 nilai keseluruhan dari Pola 4.

3.5 Alat Ukur

Alat ukur yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Pressure Gauge

Pressure Gauge digunakan untuk mengetahui seberapa besar tekanan yang terdapat pada tabung bertekanan dengan kapasitas maksimal 5 bar.



Gambar 3.7. Pressure gauge

2. Buret

Buret berfungsi sebagai alat ukur konsumsi bahan bakar



Gambar 3.8. Buret

- Merk : Pyrex
- Kapasitas : 200 mL
- Akurasi : 0,2 mL

3. Dyno test

Dyno test sebagai metode pengujian untuk mengetahui performa yang dihasilkan pada engine.



Gambar 3.9. Alat uji dyno test

4. Star Gas 898

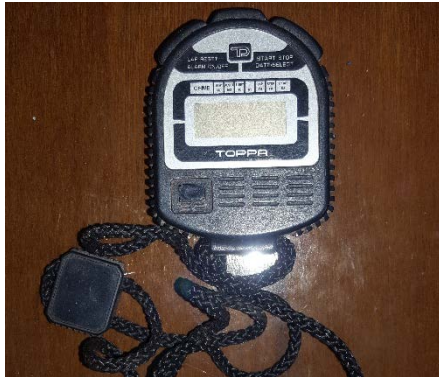
Alat ini sebagai gas analyser yaitu suatu peralatan instrumentasi yang digunakan untuk mengukur komposisi dan proporsi dari suatu campuran pada gas buang mesin.



Gambar 3.10. Stargas 898

5. Stop Watch

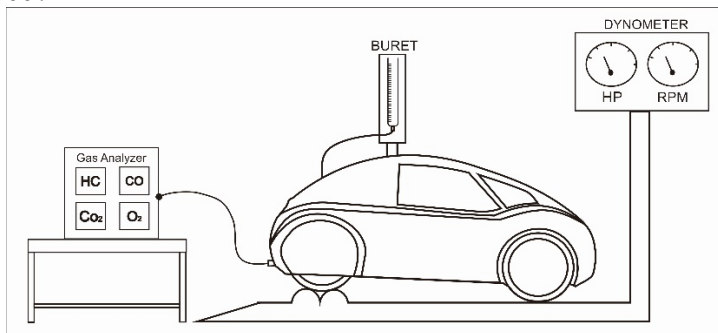
Sebagai alat untuk mengukur durasi waktu yang digunakan pada pengkonsumsian bahan bakar.



Gambar 3.11. Stop watch

3.6 Instalasi Percobaan

Instalasi pengujian percobaan dalam penelitian ini sebagai berikut :



Gambar 3.12. Skema Pengujian Gas Buang

Pada skema diatas Dynometer digunakan untuk mengukur unjuk kerja engine, daya poros, torsi, kecepatan yang dihasilkan engine. Gas analyzer digunakan mengukur emisi gas buang pada engine. Buret digunakan untuk mengukur komsumsi bahan bakar selama pengujian.



Gambar 3.13. Pengapilkasian skema pengujian

3.7 Bahan Bakar Uji

Bahan bakar pengujian yang digunakan dalam percobaan adalah ethanol E100. Di bawah ini adalah karakteristik bahan bakar yang digunakan dalam pengujian:

Tabel 3.1. Nilai properties bahan bakar

Pengujian	Nilai
LHV (Lower Heating Value) $(\frac{KJ}{Kg})$	26950
Density $\rho (\frac{kg}{m^3})$	794
RON (Research Octan Number)	>120

Karakteristik bahan bakar diatas diteliti di Laboratorium Energi yang dikelola langsung oleh Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) Institut Teknologi Sepuluh Nopember , Surabaya.

3.8 Prosedur Pengujian

Tahapan-tahapan pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Prosedur persiapan pengujian.
 - a. Periksa kerapatan baut pada part yang terdapat pada kendaraan dan bantalan mesin. Pengecekan kondisi tabung bahan bakar dan pastikan tekanan yang ada pada *reservoir* mencapai 5 bar, saluran bahan bakar dan udara bertekanan sebagai pengganti pompa bahan bakar pastikan berfungsi dengan baik.
 - b. Periksa sistem kelistrikan pada *engine*, pasang positif dan negatif pada accu, periksa konektifitas *ECU* pada setiap komponen baik aktuator maupun sensor.
 - c. Periksa sistem pelumasan pada mesin dan persiapkan ecu *programmable* Daytona yang sudah diinput sesuai dengan hasil terbaik atau yang ingin diujikan dengan Pola injeksi yang sesuai.
 - d. Mempersiapkan bahan bakar yang digunakan (ethanol). Isi tabung bahan bakar dengan bahan bakar kemudian tutup tabung dengan sambungan tabung udara bertekanan.
 - e. Periksa tekanan pada tabung, apabila kurang tambahkan sampai sebesar 5 bar, apabila lebih 5 bar safety valve akan berfungsi membuang tekanan yang berlebih tersebut. Kemudian atur pressure regulator dengan tekanan maksimal sebesar 5 bar.
 - f. Tekan pressure reduction valve (cut off) sehingga tekanan pada tabung *reservoir* dapat menyalurkan udara bertekanan ke bahan bakar sebagai pengganti pompa bahan bakar.
 - g. Serta persiapkan alat ukur pengujian yang digunakan seperti dyno test, stargas 898, buret, stopwatch. Periksa alat ukur apakah terhubung dengan baik dan bekerja dengan baik.
 - h. Persiapkan alat ukur dyno test dengan setting spesifikasi engine yang digunakan pada pengujian: jenis engine (PGMFI atau Carbulator), diameter roda, berat yang diuji baik berat engine, rangka, dan driver.
 - i. Jika semua prosedur persiapan telah dilakukan semua maka percobaan sudah dapat dilakukan.

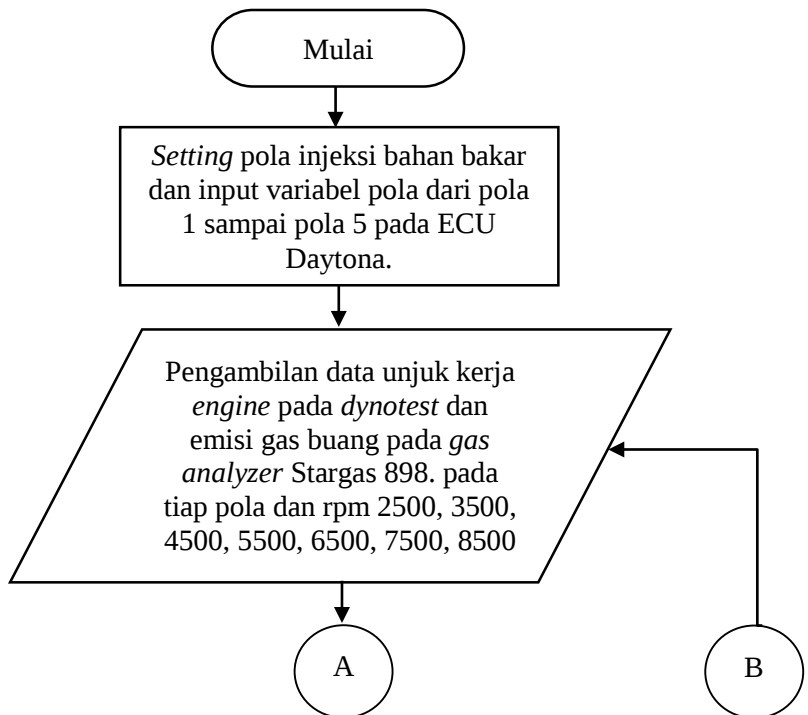
2. Prosedur pengujian.
 - a. Tekan kunci kontak dan nyalakan mesin. Tunggu 3 menit agar putaran engine stabil dan panas dengan ditandai stabilnya engine untuk pembukaan throttle kecil ke besar.
 - b. Pastikan temperatur pada CLT (55 °C) sama setiap pengambilan data dapat dilihat dari monitor pada ECU Daytona.
 - c. Setelah engine stabil dan temperatur engine mencapai yang diinginkan, letakan kendaraan pada alat dyno test dan pasang RPM meter dari alat dyno test ke kabel busi untuk pembacaan putaran *engine*.
 - d. Mulai untuk pengambilan data dari running dyno test dengan cara kendaraan pada gigi ke 4, dimulai dengan klik tombol start dengan rpm mulai 2000 sampai batas limiter kemudian tekan tombol save/stop untuk menyimpan data yang sudah terekam oleh alat dyno test.
 - e. Setelah dapat hasil dari dyno test selanjutnya ambil data analisa gas bersamaan dengan konsumsi bahan bakar dengan variasi rpm 2500, 4000, 5500, 7500, 8500
 - f. Tahan engine pada bukaan throttle rpm variasi pada gear ke 4 selama 30 detik diatas alat dyno test.
 - g. Pengambilan data gas analiser dan konsumsi bahan bakar harus bersamaan untuk mendapatkan data lebih aktual. Masukkan probe pada gas buang dan rekam data gas analyser dengan langsung mencetak data yang telah diambil.
 - h. Rilis tekanan yang ada pada tabung bahan bakar dengan cara memutar cut off ke arah CCW untuk menghentikan laju aliran udara bertekanan menuju tabung bahan bakar kemudian buka tabung bahan bakar kemudian ukur seberapa banyak konsumsi bahan bakar yang telah dikonsumsi selama 30 detik.
 - i. Untuk mendapatkan data–data yang valid dapat dilakukan pengulangan percobaan beberapa kali dengan variabel yang telah ditentukan.

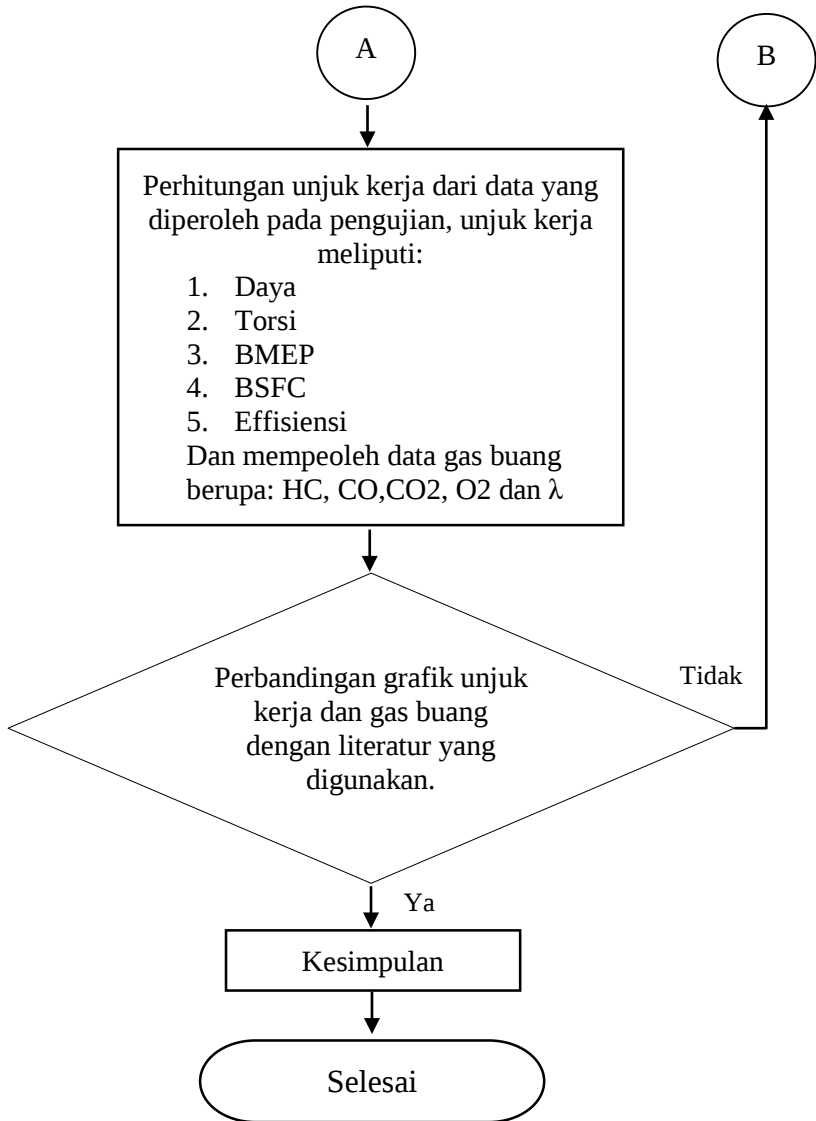
3. Prosedur setelah pengujian.
 - a. Lepaskan throttle gas secara perlahan hingga putaran idle stabil. Matikan mesin dengan menekan off pada kunci kontak.
 - b. Putar cut off ke arah CCW untuk menghentikan laju aliran udara bertekanan menuju tabung bahan bakar dan lepas ECU dan busi yang telah terpasang dan kosongkan isi tabung udara bertekanan.

Dengan diperolehnya semua data yang diperlukan, akan dilakukan perhitungan laju aliran massa, analisa gas buang dan unjuk kerja dari engine yang telah dimodifikasi.

3.8. Diagram Alir Pengujian

Urutan langkah yang akan dilakukan dalam penelitian ini dapat digambarkan dalam diagram alir sebagai berikut:





Gambar 3.14. diagram alir pengujian

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Penelitian

Setelah melakukan serangkaian pengujian unjuk kerja *engine* Blade 125 FI berbahan bakar etanol dengan *variable* pola injeksi bahan bakar dengan alat ukur uji *dyno test* dengan variasi putaran 2500, 3500, 4500, 5500, 6500, 7500, hingga pada putaran tinggi 8500 rpm maka data yang dapat diketahui yaitu Tekanan Efektif rata-rata, Daya, Torsi dan Bsfc. Selain itu juga dapat mengetahui laju aliran masa pada bahan bakar.

4.2 Perhitungan

Untuk mempermudah analisa dan pengambilan kesimpulan dilakukan perhitungan-perhitungan data hasil pengujian unjuk kerja yang ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik. Beberapa data yang diperlukan untuk melakukan perhitungan adalah sebagai berikut :

1. Data engine :

- a. Jumlah silinder : 1
- b. Volume langkah : 124,89 cc
- c. Siklus : 4 langkah, $a = \frac{1}{2}$

2. Karakteristik bahan bakar :

a. Etanol :

- 1) Lower Heating Value, LHV : $26950 \frac{kJ}{kg}$
 - 2) ρ bahan bakar : 794 $\frac{kg}{m^3}$
- } (Lampiran 1)

3. Temperatur kerja engine : 55 C (CLT)

4.3 Analisa Hasil Pengujian *Engine* Blade 125 FI Berbahan Bakar Etanol dengan *Variable* Pola Injeksi Bahan Bakar

Pengujian unjuk kerja *engine* Blade 125 FI berbahan bakar etanol dengan variasi pola penginjeksian bahan bakar memberikan suatu hasil performa mesin dengan metode pembebanan dengan variasi putaran menggunakan alat *dyno test*.

Data pengukuran untuk mendapatkan laju aliran massa pada bahan bakar dari pengujian adalah dengan menentukan waktu konsumsi bahan bakar selama 30 detik dengan menghitung konsumsi bahan bakar. Hal tersebut dilakukan pada alat uji *dyno test* dengan variasi putaran 2500, 3500, 4500, 5500, 6500, 7500 dan 8500 rpm dan setiap *variable* pola penginjeksian bahan bakar. Dari hasil pengujian diperoleh data sebagai berikut:

4.3.1 Perhitungan Unjuk Kerja Engine Blade 125 FI Berbahan Bakar Etanol

Tabel 4.1. Perbedaan daya dan konsumsi bahan bakar etanol pada pola 1 selama 30 detik terhadap variasi putaran.

No.	Injektor (%)	RPM	Power (HP)	Konsumsi (ml)
1	27	2500	2,781877	4,2
2	38	3500	4,088868	6,8
3	38	4500	5,262337	9,4
4	44	5500	6,684849	13
5	47	6500	7,811523	15,2
6	50	7500	9,090979	21,8
7	52	8500	10,680568	30

Tabel 4.2. Perbedaan daya dan konsumsi bahan bakar etanol pada pola 2 selama 30 detik terhadap variasi putaran.

No.	Injektor (%)	RPM	Power (HP)	Konsumsi (ml)
1	34	2500	2,800201	5,2
2	38	3500	4,072147	7,6
3	50	4500	5,344092	12,6

4	56	5500	6,495548	14,2
5	59	6500	7,768511	18
6	62	7500	9,041473	20,2
7	65	8500	10,314436	25,6

Tabel 4.3. Perbedaan daya dan konsumsi bahan bakar etanol pada pola 3 selama 30 detik terhadap variasi putaran.

No.	Injektor (%)	RPM	Power (HP)	Konsumsi (ml)
1	45	2500	2,69174	5
2	61	3500	3,96753	10,4
3	62	4500	5,24333	10,4
4	65	5500	6,44278	16
5	65	6500	7,74443	21,4
6	68	7500	9,03077	24,2
7	70	8500	10,31711	30,2

Tabel 4.4. Perbedaan daya dan konsumsi bahan bakar etanol pada pola 4 selama 30 detik terhadap variasi putaran.

No.	Injektor (%)	RPM	Power (HP)	Konsumsi (ml)
1	62	2500	2,75449	6
2	70	3500	3,99889	10,6
3	71	4500	5,21313	13,6
4	71	5500	6,49087	19
5	71	6500	7,75434	22,2
6	74	7500	9,01056	25
7	78	8500	10,52576	31,6

Tabel 4.5. Perbedaan daya dan konsumsi bahan bakar etanol pada pola 5 selama 30 detik terhadap variasi putaran.

No.	Injektor (%)	RPM	Power (HP)	Konsumsi (ml)
1	70	2500	2,62130	7
2	76	3500	3,97353	11,4
3	77	4500	5,32576	13,8
4	79	5500	6,60551	18,6
5	77	6500	7,93371	20,8
6	80	7500	9,23482	30,8
7	84	8500	10,56935	27,8

4.3.2 Perhitungan Laju Aliran Massa Bahan Bakar

Contoh : Perhitungan pada *engine* Blade 125 FI berbahan bakar etanol dengan putaran mesin 8500 rpm pada data 1.

Diketahui :

Konsumsi selama 30 detik : 30 ml

ρ bahan bakar : 792 $\frac{kg}{m^3}$

BHP : 10,680568 HP

Jawab :

$$\dot{m} = \frac{\text{waktu konsumsi } 30 \text{ s} \times \rho \text{ Etanol} \times 3600}{30 \text{ s} \times 1000000}$$

$$\dot{m} = \frac{30 \text{ ml} \times 792 \frac{kg}{m^3} \times 3600}{30 \text{ s} \times 1000000}$$

$$\dot{m} = 2,8512 \frac{kg}{jam}$$

4.3.3 Perhitungan BSFC (*Brake Specific Fuel Consumption*)

Diketahui :

$$\dot{m} \text{ Etanol} : 2,8512 \frac{\text{kg}}{\text{jam}}$$

$$\text{BHP} : 10,6805677 \text{ HP} \times 745,699872 = 7964,498003 \text{ (Watt)}$$

Jawab :

$$BSFC = \frac{\dot{m} \text{ Etanol}}{BHP}$$

$$BSFC = \frac{2,8512 \frac{\text{kg}}{\text{jam}}}{7964,498003 \text{ (Watt)}}$$

$$BSFC = 0,000357989 \frac{\text{kg}}{\text{watt} \cdot \text{jam}}$$

4.3.4 Perhitungan BMEP (*Brake Mean Effective Pressure*)

Diketahui :

$$\text{BHP} : 10,6805677 \text{ HP} \times 745,699872 = 7964,498003 \text{ (Watt)}$$

$$\text{Volume Silinder} = 0,0001248 \text{ m}^3$$

$$\text{Putaran engine} = 8500 \text{ rpm}$$

$$a \text{ (siklus motor 4-langkah)} = \frac{1}{2}$$

$$z = 1 \text{ silinder}$$

Jawab :

$$BMEP = \frac{\text{BHP (watt)} \times 60}{V \text{ silinder} \times \text{putaran (rpm)} \times a \times z}$$

$$BMEP = \frac{7964,498003 \text{ (Watt)} \times 60}{0,0001248 \text{ m}^3 \times 8500 \text{ rpm} \times \frac{1}{2} \times 1}$$

$$BMEP = 900961,492 \text{ Pa}$$

$$BMEP = 900,961 \text{ kPa}$$

4.3.5 Perhitungan Torsi

Diketahui :

$$\begin{aligned} \text{BHP} &: 10,6805677 \text{ HP} \times 745,699872 = 7964,498003 \text{ (Watt)} \\ \text{Putaran engine} &= 8500 \text{ rpm} \end{aligned}$$

Jawab :

$$\text{Torsi} = \frac{\text{BHP (watt)} \times 60}{\frac{44}{7} \times \text{putaran (rpm)}}$$

$$\text{Torsi} = \frac{7964,498003 \text{ (Watt)} \times 60}{\frac{44}{7} \times 8500 \text{ rpm}}$$

$$\text{Torsi} = 8,94408867 \text{ Nm}$$

4.3.6 Perhitungan Effisiensi

Diketahui :

$$\text{BHP} : 10,68056 \text{ HP} \times 2684,519717 = 28672,19471 \frac{\text{kJ}}{\text{jam}}$$

$$\dot{m} \text{ Etanol} : 2,8512 \left(\frac{\text{kg}}{\text{jam}} \right)$$

$$\text{LHV Etanol} : 26950 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Jawab :

$$\text{Effisiensi } (\eta) = \frac{\text{BHP} \left(\frac{\text{kJ}}{\text{jam}} \right)}{\dot{m} \left(\frac{\text{kg}}{\text{jam}} \right) \times \text{LHV} \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)} \times 100 \%$$

$$Effisiensi(\eta) = \frac{28672,19471 \frac{kJ}{jam}}{2,8512 \left(\frac{kg}{jam} \right) \times 26950 \left(\frac{kJ}{kg} \right)} \times 100 \%$$

$$Effisiensi (\eta) = 37,31423011 \%$$

Tabel 4.6. Data hasil perhitungan unjuk kerja *engine* Blade 125 FI Berbahan Bakar Etanol pada pola 1.

Injektor %	RPM	Power (HP)	BSFC (Kg/Watt h)	BMEP (Pa)	Torsi (Nm)	Efisiensi (%)
27	2500	2,781877	0,000167181	918322,8	9,116	69,421
38	3500	4,088868	0,000192213	923698,5	9,170	63,022
38	4500	5,262337	0,000210835	905409,8	8,988	58,675
44	5500	6,684849	0,000233201	926238,7	9,195	53,895
47	6500	7,811523	0,000235345	908024,5	9,014	53,863
50	7500	9,090979	0,000292128	909273,9	9,027	43,707
52	8500	10,680568	0,000344444	936390,5	9,296	37,314

Tabel 4.7. Data Pengukuran Gas Buang pada *Variable* Pola 1 Penginjeksian Bahan Bakar Menggunakan Stargas 898.

Injektor (%)	RPM	CO	CO2	HC	O2	λ
27	2500	0,951	4,310	442	13,29	2,525
38	3500	1,733	4,780	348	11,81	2,055
38	4500	3,162	5,480	288	9,48	1,545
44	5500	4,641	6,060	247	7,37	1,244
47	6500	3,598	6,180	194	8,03	1,371
50	7500	4,102	7,040	182	6,36	1,204
52	8500	2,775	8,100	153	6,05	1,252

Tabel 4.8. Data hasil perhitungan unjuk kerja *engine* Blade 125 FI Berbahan Bakar Etanol pada pola 2.

Injektor	RPM	Power (HP)	BSFC (Kg/Watt h)	BMEP (Pa)	Torsi (Nm)	Efisiensi (%)
34	2500	2,800201	0,000205808	923578,3	9,169	56,440
38	3500	4,072147	0,000215626	920272,8	9,136	56,158
50	4500	5,344092	0,000278601	918436,5	9,118	44,453
56	5500	6,495548	0,000261700	901560,0	8,950	47,943
59	6500	7,768511	0,000280162	903279,8	8,967	45,234
62	7500	9,041473	0,000272104	904540,9	8,980	46,913
65	8500	10,314436	0,000303951	905505,4	8,989	42,229

Tabel 4.9. Data Pengukuran Gas Buang pada *Variable* Pola 2 Penginjeksian Bahan Bakar Menggunakan Stargas 898.

Injektor (%)	RPM	CO	CO ₂	HC	O ₂	λ
34	2500	3,179	3,04	66	13,15	2,178
38	3500	4,83	3,05	126	11,65	1,676
50	4500	5,824	4,07	110	9,28	1,331
56	5500	6,256	4,72	177	7,88	1,186
59	6500	5,892	5,94	202	6,28	1,108
62	7500	5,437	6,05	256	6,62	1,146
65	8500	4,821	7,31	276	5,36	1,097

Tabel 4.10. Data hasil perhitungan unjuk kerja *engine* Blade 125 FI Berbahan Bakar Etanol pada pola 3.

Injekt-or	RPM	Power (HP)	BSFC (Kg/Watt h)	BMEP (Pa)	Torsi (Nm)	Efisiensi (%)
45	2500	2,69174	0,000204790	892469,4	8,860	56,424
61	3500	3,96753	0,000302103	898841,5	8,923	39,984
62	4500	5,24333	0,000234047	902381,6	8,958	52,842
65	5500	6,44278	0,000297141	894681,0	8,882	42,204
65	6500	7,74443	0,000334064	900623,4	8,941	37,929
68	7500	9,03077	0,000326355	903517,8	8,969	39,112
70	8500	10,31711	0,000358477	905731,1	8,991	35,806

Tabel 4.11. Data Pengukuran Gas Buang pada *Variable* Pola 3 Penginjeksian Bahan Bakar Menggunakan Stargas 898.

Injektor(&)	RPM	CO	CO2	HC	O2	λ
45	2500	3,039	2,69	120	13,81	2,352
61	3500	4,525	2,66	158	12,54	1,839
62	4500	5,527	3,66	150	10,2	1,422
65	5500	6,197	4,1	149	9,1	1,283
65	6500	6,2	5,41	152	7,07	1,139
68	7500	6,148	5,92	172	6,31	1,095
70	8500	4,94	7,17	187	5,48	1,103

Tabel 4.12. Data hasil perhitungan unjuk kerja *engine* Blade 125 FI Berbahan Bakar Etanol pada data 4.

Injektor %	RPM	Power (HP)	BSFC (Kg/Watt h)	BMEP (Pa)	Torsi (Nm)	Efisiensi (%)
62	2500	2,75449	0,000240890	910468,2	9,038	48,116
70	3500	3,99889	0,000305728	905264,3	8,987	39,540
71	4500	5,21313	0,000307703	897569,2	8,910	40,175
71	5500	6,49087	0,000350400	900949,6	8,944	35,806
71	6500	7,75434	0,000346133	901716,6	8,952	36,609
74	7500	9,01056	0,000337866	901585,5	8,950	37,776
78	8500	10,52576	0,000367945	923331,7	9,166	34,911

Tabel 4.13. Data Pengukuran Gas Buang pada *Variable* Pola 4 Penginjeksian Bahan Bakar Menggunakan Stargas 898.

Injektor(%)	RPM	CO	CO2	HC	O2	λ
62	2500	3,181	2,85	120	13,52	2,242
70	3500	3,953	2,44	458	13,45	2,028
71	4500	4,697	2,9	712	12,06	1,676
71	5500	5,45	3,42	840	10,54	1,413
71	6500	5,494	3,98	845	10,15	1,362
74	7500	4,077	3,09	138	12,49	1,88
78	8500	5,984	6,24	157	6,13	1,093

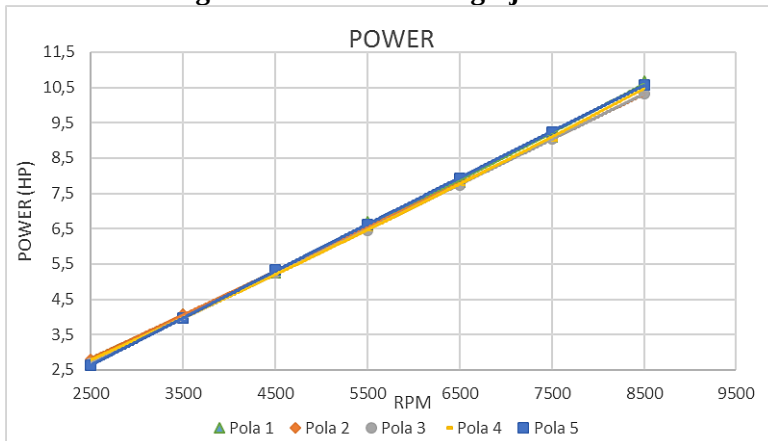
Tabel 4.14. Data hasil perhitungan unjuk kerja *engine* Blade 125 FI Berbahan Bakar Etanol pada data 5.

Injektor	RPM	Power (HP)	BSFC (Kg/Watt h)	BMEP (Pa)	Torsi (Nm)	Efisiensi (%)
70	2500	2,62130	0,000293347	872267,9	8,659	39,248
76	3500	3,97353	0,000330700	900069,5	8,935	36,532
77	4500	5,32576	0,000306108	915514,8	9,089	40,449
79	5500	6,60551	0,000337425	915895,8	9,092	37,222
77	6500	7,93371	0,000317341	921502,7	9,148	39,977
80	7500	9,23482	0,000406583	923025,1	9,163	31,425
84	8500	10,56935	0,000322415	927009,1	9,203	30,943

Tabel 4.15. Data Pengukuran Gas Buang pada *Variable* Pola 5 Penginjeksian Bahan Bakar Menggunakan Stargas 898.

Injektor(%)	RPM	CO	CO2	HC	O2	λ
70	2500	2,956	2,19	78	15,18	2,698
76	3500	3,279	1,65	211	15,33	2,709
77	4500	3,24	1,84	392	15,33	2,604
79	5500	3,548	2,03	561	14,7	2,325
77	6500	4,535	3,09	618	12,39	1,721
80	7500	4,654	3,3	644	11,74	1,63
84	8500	5,929	4,39	324	9,1	1,286

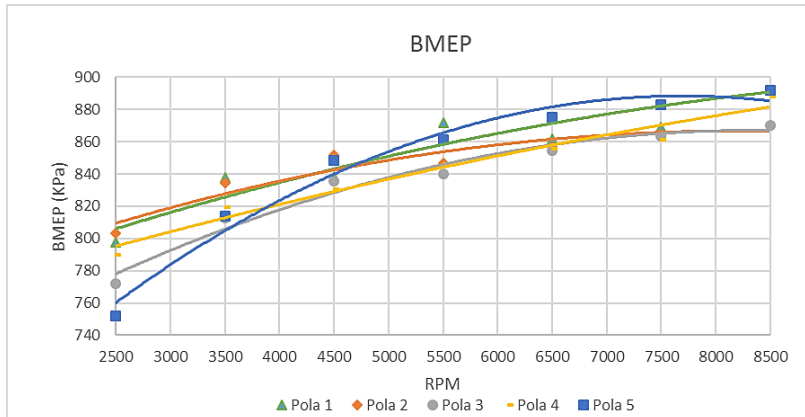
4.4 Grafik Unjuk Kerja *Engine* Blade 125 FI Berbahan Bakar Etanol dengan *Variable* Pola Penginjeksian Bahan Bakar.



Grafik 4.1. daya (HP) yang dihasilkan terhadap putaran (Rpm) dengan variable Pola Penginjeksian bahan bakar etanol.

Dari grafik diatas menunjukkan hasil percobaan pada mesin *dynotest* yang menunjukkan nilai daya (HP) yang dipengaruhi oleh putaran mesin (RPM) dan pola penginjeksian bahan bakar yang akan mempengaruhi laju aliran masa pada tiap RPM di injektor dari *engine* Nogogeni Evo 3 Blade 125 FI yang menghasilkan tren grafik yang sama.

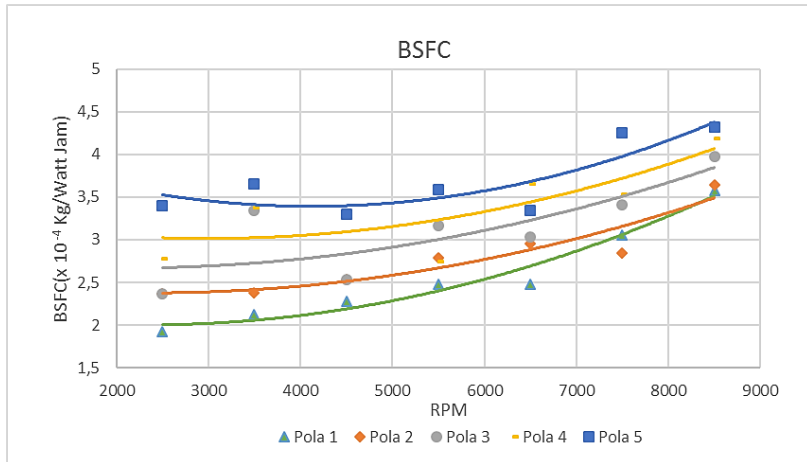
Nilai daya rata-rata di setiap rpm yang dihasilkan pada tiap pola penginjeksian bahan bakar menghasilkan data Pola 1: 6,629 HP; pada Pola 2 mengalami penurunan 1,22% yaitu menghasilkan 6,548 HP; pada Pola 3 mengalami penurunan lagi dari Pola 2 sebesar 0,87% menghasilkan 6,491 HP; pada Pola 4 mengalami peningkatan dari Pola 3 sebesar 0,68% menghasilkan 6,535 HP; dan Pola 5 mengalami peningkatan dari Pola 4 sebesar 1,13% menghasilkan 6,609 HP. Dari nilai rata-rata daya terbesar diperoleh oleh Pola 1.



Grafik 4.2. BMEP (KPa) terhadap putaran (Rpm) pada *engine* Nogogeni Evo 3 Blade 125 FI berbahan bakar etanol.

Dari grafik diatas menunjukkan nilai BMEP (*Brake Mean Effective Pressure*) yang dipengaruhi oleh putaran mesin (RPM) dan juga *mapping* injektor. BMEP adalah tekanan efektif rata-rata (*Brake Mean Effective Pressure*) yang diukur dengan menggunakan sebuah dynamometer dan BMEP menunjukkan besar nilai daya mesin pada tiap satuan volume silinder pada putaran tertentu yang dipengaruhi juga oleh daya poros dan juga spesifikasi *engine* seperti volume silinder, jumlah silinder, jumlah langkah sebuah *engine*.

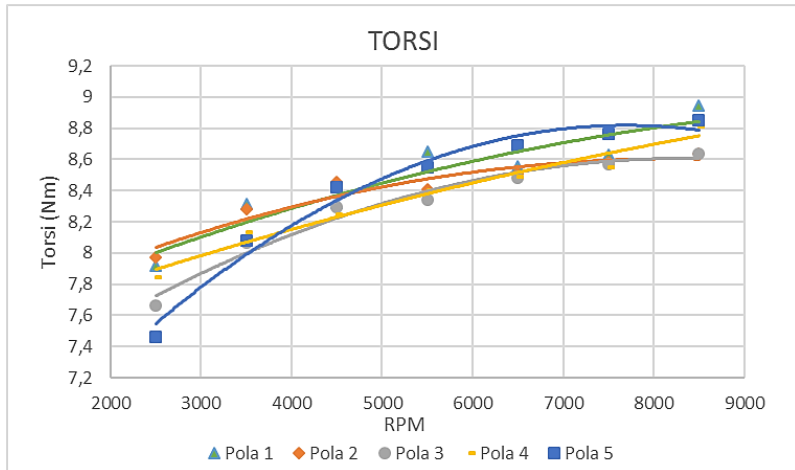
Nilai BMEP rata-rata di setiap rpm yang dihasilkan pada tiap pola penginjeksian bahan bakar menghasilkan Pola 1: 853,89 kPa; Pola 2 menghasilkan 846,73 kPa (penurunan 0,84%); Pola 3 menghasilkan 841,54 kPa (penurunan 1,33% dari Pola 2); Pola 4 menghasilkan 849,87 (peningkatan 0,73% dari Pola 3); dan Pola 5 menghasilkan 846,46 kPa (peningkatan 0,58% dari Pola 4). Dari data tersebut tekanan efektif rata-rata terbesar dihasilkan oleh Pola 1.



Grafik 4.3. BSFC (Kg/Watt Jam) terhadap putaran (Rpm) pada engine Nogoeni Evo 3 Blade 125 FI berbahan bakar etanol.

Dari grafik diatas menunjukan bahwa dalam 1 daya poros yang dihasilkan engine mempunyai tren grafik yang sama. BSFC (*Brake Specific Fuel Comsupton*) dipengaruhi oleh berapa mass flow rate bahan bakar yang dibutuhkan untuk mendapatkan daya poros yang diperlukan. Sehingga apabila mass flow rate bahan bakar kecil namun daya poros yang dihasilkan kecil maka nilai BSFC akan kecil nilainnya.

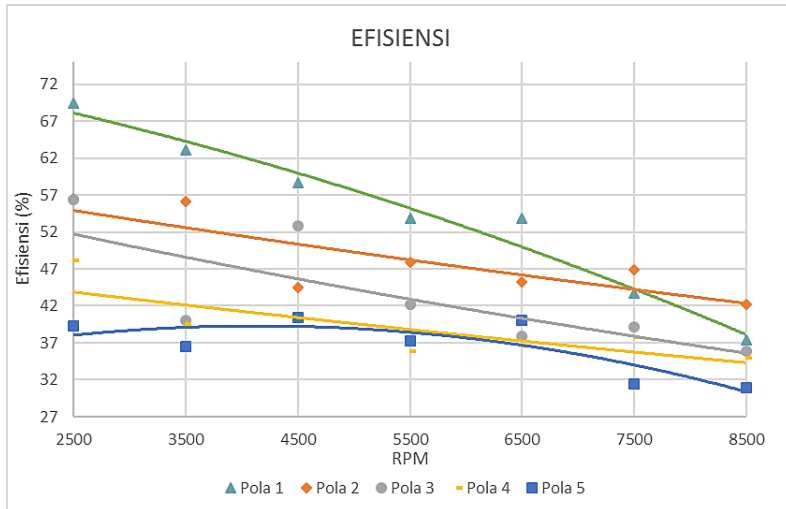
Nilai BSFC rata-rata di setiap rpm yang dihasilkan pada tiap pola penginjeksian bahan bakar menghasilkan Pola 1: 0,000256 kg/watt.jam; Pola 2 menghasilkan 0,000279 kg/watt.jam (peningkatan 8,85% dari Pola 1); Pola 3 menghasilkan 0,000315 kg/watt.jam (penurunan 13,17% dari Pola 2); Pola 4 menghasilkan 0,000436 kg/watt.jam (penurunan 9,75% dari Pola 3); dan Pola 5 menghasilkan 0,000369 kg/watt.jam (penurunan 6,77% dari Pola 4). Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa yang paling minim membutuhkanbahan bakar dalam menghasilkan 1 HP daya selama 1 jam dalah Pola 1.



Grafik 4.4. Torsi (Nm) terhadap putaran (Rpm) pada *engine* Blade 125 FI berbahan bakar etanol

Dari data grafik diatas menunjukkan nilai torsi dari setiap pola penginjeksian bahan bakar. Torsi dipengaruhi oleh daya yang dihasilkan oleh poros dan putaran *engine* (RPM). Semakin tinggi daya poros dan juga putaran *engine* maka akan semakin tinggi nilai torsi yang akan dicapai. Dari data diatas dapat dilihat bahwa grafik torsi yang dihasilkan memiliki tren grafik yang sama.

Nilai torsi rata-rata di setiap rpm dan variabel menghasilkan data sebagai berikut, Pola 1 menghasilkan 8,47 Nm, Pola 2 menghasilkan 8,41 Nm, Pola 3 menghasilkan 8,29 Nm, Pola 4 menghasilkan 8,35 Nm dan Pola 5 menghasilkan 8,4 Nm. Dari data diatas dapat ditarik kesimpulan bahwa pola 1 menghasilkan torsi yang paling besar.

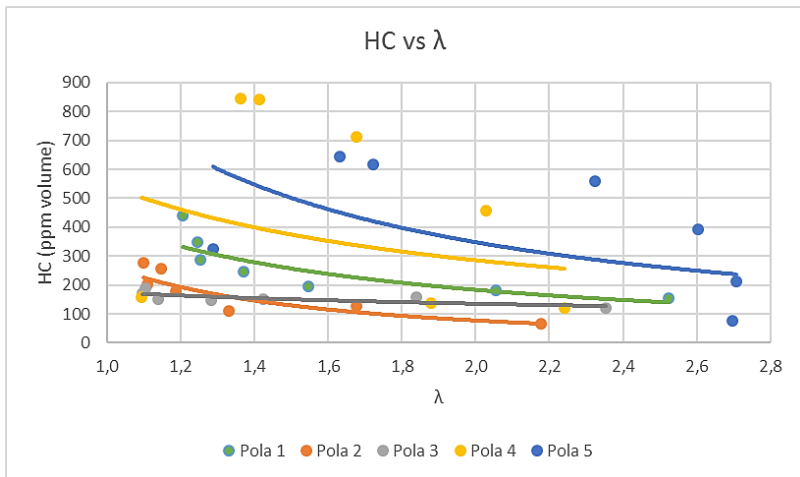


Grafik 4.5. Efisiensi (%) terhadap putaran (Rpm) pada *engine* Blade 125 FI berbahan bakar etanol

Dari grafik data diatas menunjukkan efisiensi yang dihitung berdasarkan daya poros yang dihasilkan *engine*, *mass flow rate* bahan bakar dan juga *lower heating value* bahan bakar. Semakin besar daya poros yang dihasilkan dengan *mass flow rate* yang rendah maka akan menghasilkan efisiensi yang tinggi. Kesimpulan dari grafik efisiensi, pola penginjeksian bahan bakar yang menghasilkan tren grafik yang sama.

Nilai efisiensi rata-rata di setiap rpm yang dihasilkan pada tiap pola penginjeksian bahan bakar menghasilkan Pola 1: 54,27%; Pola 2 menghasilkan 48,48% (mengalami penurunan 10,67%); Pola 3 menghasilkan 43,47% (penurunan 10,33% dari Pola 2); Pola 4 menghasilkan 38,99% (penurunan 10,31% dari Pola 4); dan Pola 5 menghasilkan 36,54% (penurunan 6,28% dari Pola 5). Dari data efisiensi terbaik adalah Pola 1.

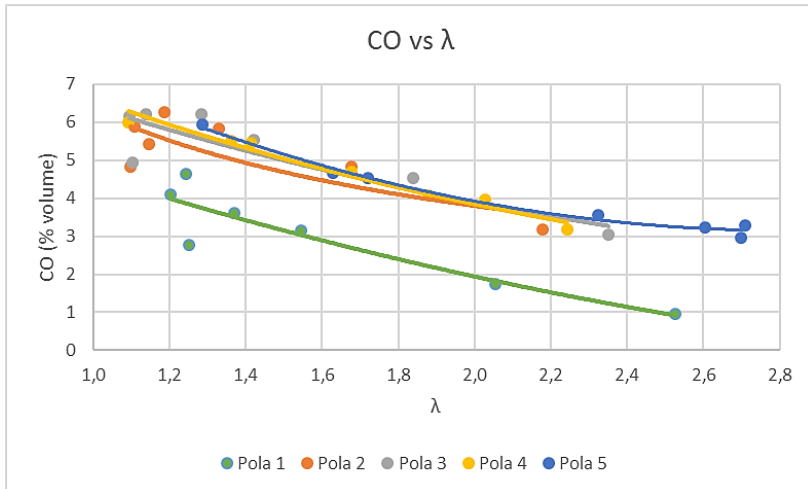
4.5 Grafik Gas Buang *Engine* Nogogeni Evo 3 dengan Menggunakan Alat Uji Stargas 898.



Grafik 4.6 Grafik Gas Buang HC (ppm vol) Terhadap Lamda (λ) pada *engine* Nogogeni Evo 3.

Kandungan gas buang (HC) disebabkan oleh sisa bahan bakar ethanol yang tidak terbakar dikarenakan campuran antara bahan bakar dan udara yang kurang homogen. Pada data yang ditunjukkan grafik HC fungsi lamda (λ) diatas memiliki tren garis yang sama. Menurut teori peningkatan lamda (λ) menunjukkan campuran bahan bakar dan udara yang miskin, bisa disimpulkan bahwa HC akan turun berbanding terbalik dengan lamda.

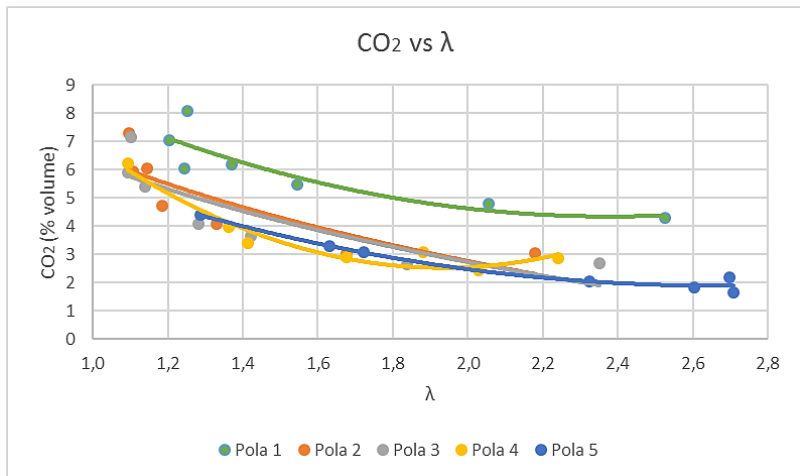
Hasil pengujian nilai emisi gas buang HC rata-rata di setiap variabel pola penginjeksian bahan bakar dan rpm menghasilkan Pola 1: 264,86 ppm vol; Pola 2 menghasilkan 173,29 ppm vol (penurunan 34,57%); Pola 3 menghasilkan 155,43 ppm vol (penurunan 10,31% dari Pola 2); Pola 4 menghasilkan 467,14 ppm vol (peningkatan 200,55% dari Pola 3); dan Pola 5 menghasilkan 404 ppm vol (penurunan 13,53% dari Pola 4). Dari data tersebut yang menghasilkan sisa gas buang HC paling sedikit adalah Pola 3.



Grafik 4.7. Grafik Gas Buang CO (% volume) terhadap lambda (λ) pada *engine* Nogogeni Evo 3.

Nilai CO pada gas buang dipengaruhi oleh pembakaran yang tidak sempurna, pembakaran yang tidak sempurna disebabkan oleh campuran bahan bakar dan udara yang terlalu kaya (kurangnya udara). Kandungan CO dalam gas sisa pembakaran dapat diminimalisir dengan mengurangi campuran bahan bakar, tetapi apabila terlalu miskin campuran bahan bakar dan udara dapat menyebabkan berkurangnya daya yang dihasilkan oleh *engine* dan dapat menyebabkan timbulnya sisa gas buang lainnya yaitu NOx. Jadi mendapatkan campuran bahan bakar dan udara yang ideal adalah yang terbaik untuk mendapatkan hasil yang paling efisien tanpa menghasilkan gas buang yang berbahaya bagi lingkungan.

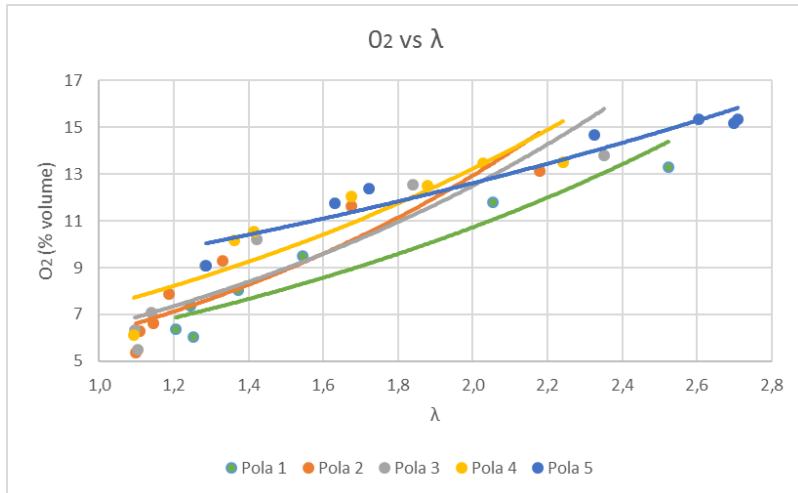
Hasil pengujian nilai emisi gas buang CO rata-rata di setiap variabel pola penginjeksian bahan bakar dan rpm menghasilkan Pola 1: 2,99%vol; Pola 2 menghasilkan 5,18%vol (peningkatan 72,88%); Pola 3 menghasilkan 5,23%vol (peningkatan 0,93% dari Pola 2), Pola 4 menghasilkan 4,69%vol (penurunan 10,23% dari Pola 3); dan Pola 5 menghasilkan 4,02%vol (penurunan 14,30% dari Pola 4). Dari variasi pola tersebut yang menghasilkan CO paling sedikit adalah Pola 1.



Grafik 4.8. Grafik Gas Buang CO_2 (% volume) terhadap lamda (λ) pada *engine* Nogogeni Evo 3.

Nilai kandungan CO_2 pada gas buang yang semakin tinggi maka bisa disimpulkan bahwa dalam proses pembakarannya baik karena campuran udara dan bahan bakar yang homogen dan dapat terbaik dengan baik. Sedangkan nilai penurunan CO_2 disebabkan oleh campuran bahan bakar dan udara yang tidak terbakar dengan sempurna. Pada grafik diatas mempunyai tren grafik yang sama antar lima pola penginjeksian bahan bakar yang disajikan, dan selisih perbedaan antar pola tidak begitu jauh nilainya.

Hasil pengujian nilai emisi gas buang CO_2 rata-rata di setiap variabel pola penginjeksian bahan bakar dan rpm menghasilkan Pola 1: 5,99%vol; Pola 2 menghasilkan 4,88%vol (penurunan 18,52%); Pola 3 menghasilkan 4,52%vol (penurunan 7,52% dari Pola 2); Pola 4 menghasilkan 3,56%vol (penurunan 3,56 dari Pola 3); dan Pola 5 menghasilkan 2,64%vol (penurunan 25,8% dari Pola 4). Dari data tersebut yang menghasilkan CO_2 yang paling tinggi karena sisa hasil pembakaran yang ideal adalah Pola 1.



Grafik 4.9. Grafik Gas Buang O_2 (% volume) terhadap lamda (λ) engine Nogogeni Evo 3.

Jika nilai kandungan gas O_2 pada gas buang sedikit maka proses pembakaran yang berlangsung bisa dikatakan baik. Karena terbukti dari sisa O_2 yang terbangun melalui langkah buang sedikit, berarti sebagian besar O_2 terbakar pada proses pembakaran bisa dikatakan campuran bahan bakar dan udara homogen.

Hasil pengujian nilai emisi gas buang O_2 rata-rata di setiap variabel pola penginjeksian bahan bakar dan rpm menghasilkan Pola 1: 8,91%vol; Pola 2 menghasilkan 8,6%vol (penurunan 3,48%); Pola 3 menghasilkan 9,22%vol (peningkatan 7,12% dari Pola 2); Pola 4 menghasilkan 11,19%vol (peningkatan 21,44% dari Pola 3); dan Pola 5 menghasilkan 13,4%vol (peningkatan 21,44% dari Pola 4). Dari variasi yang menghasilkan O_2 paling sedikit yang dapat menggambarkan campuran bahan bakar dan udara yang ideal adalah Pola 1.

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Dari hasil perhitungan dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari nilai rata-rata keseluruhan unjuk kerja yang meliputi daya, torsi, BMEP, BSFC dan efisiensi yang paling baik dihasilkan oleh Pola 1.
2. Hasil pengujian nilai emisi gas buang berdasarkan CO, HC, CO₂, O₂ dan Lamda (λ) yang paling baik adalah variabel penginjeksian bahan bakar Pola 1. Dari analisa perbandingan emisi gas buang yang dihasilkan dalam penelitian tugas akhir ini yang memakai bahan bakar etanol E100 lolos dari ambang batas emisi gas buang dalam Peraturan Menteri LH th 2006 no. 05.
3. Dari hasil pengujian dapat ditarik kesimpulan secara umum, penginjeksian bahan bakar Pola 1 memiliki unjuk kerja dan juga emisi gas buang yang paling baik diantara kelima pola yang sudah dibuat, hal ini bertolak belakang pada acuan utama untuk membuat variabel pola injeksi bahan bakar yang memakai pola 3 sebagai acuan. Tetapi pada lomba KMHE (Kontes Mobil Hemat Energi) memiliki karakteristik yang berbeda, mobil dituntut untuk memiliki akselerasi paling cepat mengingat kebutuhan cara bermain *stop and go*. Sedangkan pada Pola 1 dibawah 4000rpm masih menghasilkan torsi dan daya yang kecil sehingga pada lain waktu dapat disempurnakan lagi Pola 1, agar pola yang dibuat sesuai dengan kebutuhan lomba.

5.2 Saran

1. Perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai mesin modifikasi Nogogeni EVO 3 untuk memaksimalkan nilai efisiensi.
2. Perlu adanya alat penunjang untuk membantu pengambilan data konsumsi bahan bakar pada kendaraan dengan teknologi EFI.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Feibianto, Renno, 2016. **Studi Eksperimen Pengaruh Rasio Kompresi dan Durasi Penginjeksian Bahan Bakar Terhadap Unjuk Kerja dan Emisi Gas Buang Engine Honda CB150R Berbahan Bakar Bioetanol E100**, Fakultas Teknologi Industri. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Indonesia.
- [2] Arismunandar, Wiranto, 2002. **Penggerak Mula Motor Bakar Torak**, Institut Teknologi Bandung, Indonesia.
- [3] Ganesan, V., 2003. **Internal Combustion Engines, Second edition** : Tata McGraw-Hill Publishing Company, New Delhi, India.
- [4] Licthy, L.C, **Internal Combustion Engine**, Mc Graw Hill Kogakusfa Ltd, Tokyo, 1979, h 523-560.
- [5] Maleev, V.L, **Internal Combustion Engine**, Mc Graw Hill Kogakusha Ltd, Tokyo, 1954, h 410-559.
- [6] Jessa M, Anugra, 2017. **Perbandingan Unjuk Kerja Motor Bensin Empat Langkah Satu Silinder yang Menggunakan Bahan Bakar Condensate CNG dan Pertalite**, DIII Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [7] https://id.wikipedia.org/wiki/Putaran_empat-tak
- [8] <https://5osial.com/2010/06/21/efisiensi-termal-suatu-motor>
- [9] <https://www.otomotifstudi.com/2018/03/memahami-prinsip-kerja-motor-4-tak.html>

- [10] <https://www.teknik-otomotif.com/2016/08/sistem-bahan-bakar-efi-pada-sepseda.html>
- [11] <https://www.teknik-otomotif.com/2016/08/sistem-bahan-bakar-efi-pada-sepseda.html>

Lampiran 1

Hasil pengujian *properties* bahan bakar di LPPM-ITS



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
 LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT
 Gedung Pusat Riset, Lantai Lobby, Kampus ITS Sukolilo - Surabaya 60111
 Telp : 031 - 5953759, Fax : 031 - 5955793, PABX : 1404, 1405
<http://www.lppm.its.ac.id>

LAPORAN HASIL PENGUJIAN

Nama Pemilik : A. Rofiqil A'la
 Alamat Pemilik : Teknik Mesin ITS
 Nama Contoh : **Pertamax dan Ethanol** Tanggal Terima : 30 Apr 2018
 Deskripsi : Bentuk : Padat/Cair/Gas Tanggal Pengujian : 02 Mei 2018
 Contoh : Volume : - Tanggal Selesai :
 Kemasan : Botol Pengujian : 14 Mei 2018
 Kode Contoh : **EN-015** Jumlah Contoh : 02

Menyatakan bahwa contoh tersebut di atas telah diuji di Laboratorium Energi & Lingkungan – LPPM ITS.

No.	Nama Contoh	Jenis Uji	Hasil	Satuan	Metode Pengujian
1	Pertamax	Lower Heating Value	18.988	BTU/lb	ASTM D 240
		Densitas	0,741	gr/cm ³	Piknometer
		Angka Oktan	98,6	-	Oktan/Cetane Meter
2	Ethanol	Lower Heating Value	18.775	BTU/lb	ASTM D 240
		Densitas	0,792	gr/cm ³	Piknometer
		Angka Oktan	0,0	-	Oktan/Cetane Meter

Suhu : 20,3°C
 Humidity : 56%
 Analis : NRS,MBB,EVY

Catatan:

- Hasil pengujian hanya berlaku dari sampel yang diuji.
- Laboratorium tidak bertanggung jawab atas kerugian pada pihak ke tiga.
- Laporan hasil pengujian hanya diperbanyak secara utuh.

Manajer Puncak

Laboratorium Energi dan Lingkungan

Dr. Ir. Susianto, DEA
 NIP. 19620820 198903 1 004

Manajer Teknis

Vita Yuliana, S.Si
 NIP. 1990201822404

Lampiran 2

Tabel 1. Karakteristik Bahan Bakar *Gasoline* dan Bioetanol [4],[6],[7]

<i>Property</i>	<i>Gasoline</i>	<i>Bioethanol</i>
<i>Chemical formula</i>	C5-C11	C ₂ H ₅ OH
<i>Molar mass (g/mol)</i>	102.5	46.07
C (%wt)	86.5	52.2
H (%wt)	13.5	13.1
O (%wt)	0	34.7
<i>Density (kg/m³)</i>	740	794
<i>Research octane number (RON)</i>	92	109
<i>Flash point (°C)</i>	-40	13
<i>Boiling point at 1 bar (°C)</i>	25-215	79
<i>Lower heating value (MJ/kg)</i>	42.9	26.95
<i>Latent heat of vaporization (kJ/kg)</i>	289	854
<i>Stoichiometric ratio</i>	14.7	9
<i>Laminar flame speed (m/s), $\lambda=1$</i>	0.28	0.40

Lampiran 3

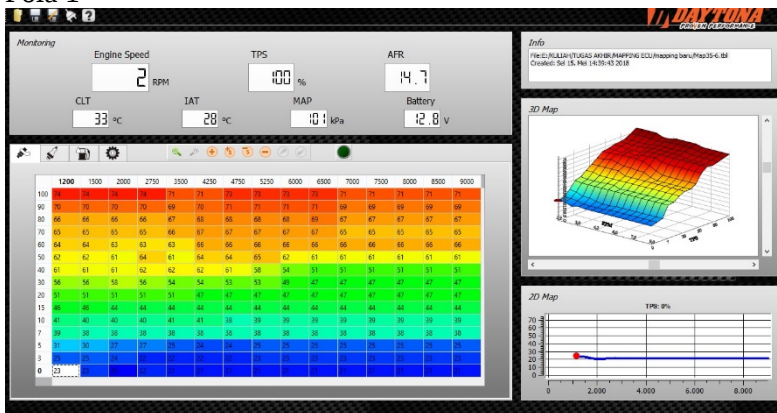
Proses pengambilan data menggunakan *dyno test* dan *gas analyzer* dengan *engine* diletakkan pada *chassis* sepeda motor



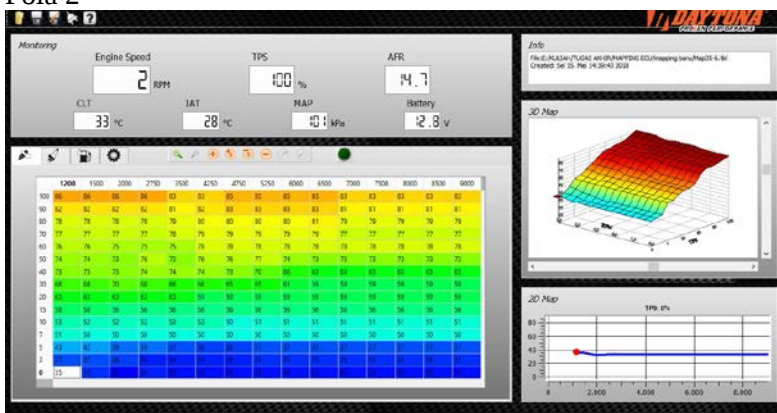
Lampiran 4

Pola Kolom Injektor dan *engine setup* pada Aplikasi Daytona ECU Manager Pro.

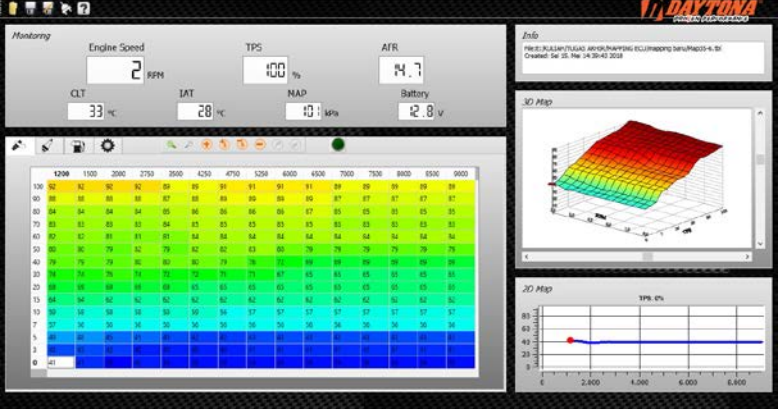
Pola 1



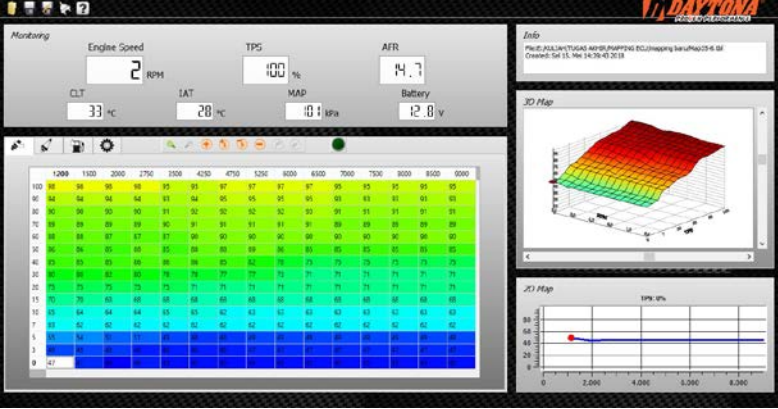
Pola 2



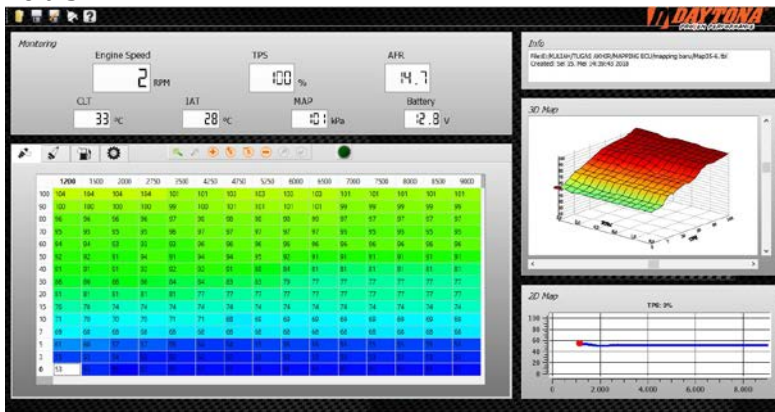
Pola 3



Pola 4



Pola 5



Engine Setup

The screenshot displays the Daytona Performance software interface, specifically the Engine Setup screen. The top section shows real-time engine data: Engine Speed at 2 RPM, TPS at 100%, AFR at 14.7, CLT at 33 °C, IAT at 28 °C, MAP at 101 kPa, and Battery at 12.8 V. Below this is a table of engine data points. The bottom section contains the Engine Setup configuration area, which includes fields for Engine Vol (cc), Flowrate (cc/min), Trigger Angle (deg), Max RPM, Prime Pulse (µs), Temp Fan On (°C), Temp Fan Off (°C), Injection Table Size, and Ignition Table Size. To the right of the Engine Setup area is the TPS Calibration section, which includes fields for Close (0) and Full Open (100), and buttons for Read and Set.

Lampiran 5 Peraturan Pemerintah LH th 2006 No.5 Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Lama.

A. KENDARAAN BERMOTOR KATEGORI L

Kategori	Tahun Pembuatan	Parameter		Metode uji
		CO (%)	HC (ppm)	
Sepeda motor 2 langkah	< 2010	4.5	12000	Idle
Sepeda motor 4 langkah	< 2010	5.5	2400	Idle
Sepeda motor (2 langkah dan 4 langkah)	≥ 2010	4.5	2000	Idle

B. KENDARAAN BERMOTOR KATEGORI M, N DAN O

Kategori	Tahun Pembuatan	Parameter			Metoda uji
		CO (%)	HC (ppm)	Opasitas (% HSU)*	
Berpenggerak motor bakar cetus api (bensin)	< 2007	4.5	1200		Idle
	≥ 2007	1.5	200		
Berpenggerak motor bakar penyalaaan kompresi (diesel)					Percepatan Bebas
- GVW ≤ 3.5 ton	< 2010			70	
	≥ 2010			40	
- GVW > 3.5 ton	< 2010			70	
	≥ 2010			50	

Catatan :

- Untuk kendaraan bermotor berpenggerak motor bakar cetus api kategori M, N dan O
- < 2007 : berlaku sampai dengan 31 Desember 2006
- ≥ 2007 : berlaku mulai tanggal 1 Januari 2007

Untuk kendaraan bermotor kategori L dan kendaraan bermotor berpenggerak motor bakar penyalaaan kompresi

- < 2010 : berlaku sampai dengan 31 Desember 2009
- ≥ 2010 : berlaku mulai tanggal 1 Januari 2010

* atau ekuivalen % bosch

Menteri Negara
Lingkungan Hidup,

ttd

Ir. Rachmat Witoelar

Salinan sesuai dengan aslinya
Deputi Bidang Penataan Lingkungan

ttd

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Kediri, 13 September 2018 dari pasangan Bapak Didik Hermanto dan Ibu Krisnanik Sulistyowati merupakan anak pertama dari 2 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu, SDN Tawang 1, SMPN 1 Wates, dan SMAN 2 Kota Kediri. Pada tahun 2015 Penulis diterima di Jurusan Diploma III Teknik Mesin FTI – ITS dan terdaftar sebagai mahasiswa dengan NRP 10211500000012.

Konversi Energi merupakan bidang studi yang dipilih penulis dan mengambil tugas akhir Mesin Pembakaran Dalam. Penulis pernah melakukan kerja praktek di PT. Yasa Wahana Tita Samudra (YWTS), Semarang. Selama menempuh pendidikan perguruan tinggi penulis telah mengikuti berbagai pelatihan antara lain LKMM Pra-TD FTI-ITS, PKTI (Pelatihan Karya Tulis Ilmiah), PJTD (Pelatihan Jurnalistik Tingkat Dasar). Organisasi yang pernah diikuti penulis, yaitu; magang staff *Engine and Drive Train* Basudewo ITS Team 2015 – 2016 dan staff *Engine and Drive Train* Nogogeni 2017-2018. Perlombaan yang pernah diikuti penulis adalah : KMHE (Kontes Mobil Hemat Energi) 2017 di Surabaya mendapatkan Juara 3 pada kategori urban ICE dengan membawa team Nogogeni, dan SEM (*Shell Eco Marathon*) 2018 di Singapore dengan membawa nama Nogogeni ITS Team mendapatkan juara 2 kategori Urban Listrik.