



TUGAS AKHIR – TM141585

**STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH
MAPPING IGNITION TIMING TERHADAP
UNJUK KERJA DAN EMISI ENGINE SINJAI
650cc FI BERBAHAN BAKAR PERTALITE
DENGAN PENGGUNAAN ECU SUMI-IT.**

**Ahmad Gurnito
NRP 21 11 100 013**

**Dosen Pembimbing
Dr. Bambang Sudarmanta, ST, MT.**

**JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016**



FINAL PROJECT – TM141585

**EXPERIMENTAL STUDY OF IGNITION TIMING
MAPPING EFFECTS ON SINJAI 650CC FI ENGINE
PERFORMANCE AND EMISSION FUELED WITH
PERTALITE USING ECU SUMI-IT**

**Ahmad Gurnito
NRP 21 11 100 013**

**Academic Supervisor
Dr. Bambang Sudarmanta, ST, MT.**

**DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2016**

**STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH MAPPING
IGNITION TIMING TERHADAP UNJUK KERJA
DAN EMISI ENGINE SINJAI 650 CC BERBAHAN
BAKAR PERTALITE DENGAN PENGGUNAAN ECU
SUMI-IT**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Konversi Energi
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

AHMAD GURNITO

Nrp. 2111 100 013

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir

1. **Dr. Bambang Sudarmanta, ST, MT** (Pembimbing)
NIP. 197301161997021001
2. **Ary Bachtiar, ST., MT., Ph.D** (Penguji I)
NIP. 197105241997021001
3. **Dr. Wawan Aries Widodo, ST, MT** (Penguji II)
NIP. 197104051997021001
4. **Vivien Suphandani D, ST, ME, Ph.D.** (Penguji III)
NIP. 198105292003122001

**SURABAYA
JANUARI, 2016**

STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH MAPPING IGNITION TIMING TERHADAP UNJUK KERJA DAN EMISI ENGINE SINJAI 650cc FI BERBAHAN BAKAR PERTALITE DENGAN PENGGUNAAN ECU SUMI-IT

Nama Mahasiswa : Ahmad Gurnito
NRP : 2111100013
Jurusan : Teknik Mesin FTI – ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Bambang Sudarmanta, ST, MT.

Abstrak

Kualitas bahan bakar sangat berpengaruh terhadap hasil unjuk kerja engine, Hal ini berkaitan dengan kebijakan pemerintah untuk memasarkan bahan bakar varian PERTALITE dengan nilai RON 90 yang lebih tinggi dibanding bahan bakar varian PREMIUM RON 88,. Untuk itu, perlu dilakukan suatu penyesuaian (setting) untuk mengetahui perbedaan hasil unjuk kerja dan emisi gas buang dari penggunaan bahan bakar dengan properties yang berbeda tersebut, serta dibutuhkannya suatu pengembangan Engine Control Unit yang mampu diprogram sehingga variasi pembakaran dari sisi kontrol injeksi bahan bakar dan waktu pengapian dapat dilakukan. Penelitian ini difokuskan pada pemetaan ignition timing engine untuk mendapatkan titik pengapian optimal fungsi rpm .Dengan demikian, diharapkan terjadi peningkatan terhadap hasil unjuk kerja engine.

Penelitian diawali dengan modifikasi ECU SUMI-IT sebagai pusat kontrol yang menggunakan mikrokontroller AVR ATmega128L yang kompatibel dengan software VEMS, serta studi literatur mengenai bahan bakar PREMIUM dan PERTALITE, untuk kemudian dilakukan pengujian dengan penggunaan Premium pada kondisi standar sebagai kelompok kontrol dan penggunaan Peralite dengan variasi ignition timing sebagai kelompok uji dengan mengambil 5 variasi advance

ignition timing 10°, 13°,16°, 19°, dan 21° BTDC. Pengujian dilakukan menggunakan Eddy Current Dynamometer pada bukaan katup kupu-kupu penuh (Fully Open) untuk memperoleh daya maksimum pada tiap putaran mesin, dan pengaturan putaran mesin yang diinginkan dilakukan dengan mengatur besarnya beban. Pada setiap perubahan putaran mesin (1000, 1500, 2000, 2500, 3000, 3500, 4000, 4500 dan 5000 rpm) dilakukan pencatatan data yang meliputi torsi, waktu konsumsi bahan bakar tiap 25mL, serta data hasil uji emisi dari gas analyzer. Hasil setting terbaik akan disimpan kedalam logfile engine control unit.

Dari penelitian ini, didapatkan nilai AFR Peralite yang cenderung berada di atas Premium yang sesuai dengan analisa kalor laten penguapan, serta mapping ignition timing dengan kenaikan rata - rata torsi, daya, dan bmep sebesar 6.393 % relatif terhadap pengapian standar, efisiensi thermal mengalami kenaikan sebesar 5.409%, sfc mengalami penurunan rata-rata sebesar 1.97%, serta emisi CO dan uHC mengalami penurunan, masing masing sebesar 5.405% dan 7.443%.

Katakunci : Engine Control Unit, Injection Control, Ignition Timing, SINJAI, PERTALITE.

EXPERIMENTAL STUDY OF IGNITION TIMING MAPPING EFFECTS ON SINJAI 650CC FI ENGINE PERFORMANCE AND EMISSION FUELED WITH PERTALITE USING ECU SUMI-IT

Name : Ahmad Gurnito
NRP : 21 11 100 013
Department : Mechanical Engineering - ITS
Supervisor : Dr. Bambang Sudarmanta, ST, MT.

Abstract

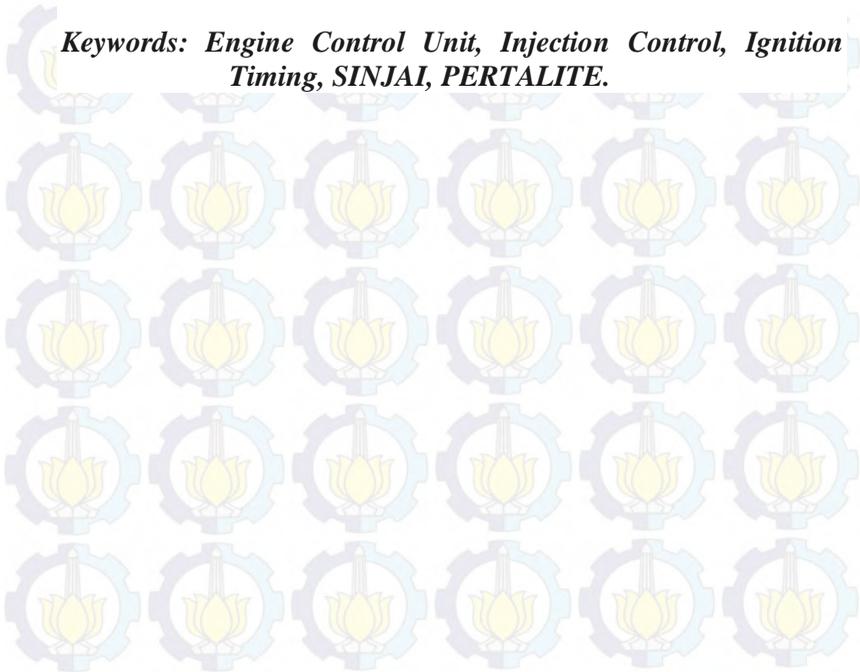
Fuel quality greatly affect the results of engine performance. It is related to the government's policy about RON 90 PERTALITE which has higher octane number than the RON 88 PREMIUM . Therefore, we need some adjustment (setting) to determine differences from these differ fuel properties in the results of engine performance and exhaust emissions. Furthermore, the needs of Engine Control Unit development which is able to be programmed so that the variation of the combustion on the control of fuel injection and the ignition timing side can be done. This study focused on engine ignition timing mapping to obtain the optimum ignition point based on rpm cranking. Thus, it is expected an increase on engine performance results.

The study begins with a modified ECU SUMI-IT as the central control using AVR ATmega128L microcontroller which is compatible with VEMS software, as well as the study of literature due to PREMIUM and PERTALITE, then be tested with Premium uses at standard conditions as a control group and Peralite uses with various ignition timing as the test group with 5 variations advance ignition timing(e.g 10 °, 13 °, 16 °, 19 °, and 21° BTDC respectively). This study is using an EddyCurrent dynamometer at fully opening condition butterfly valve (Fully Open) to obtain maximum power at any engine rpm, and setting of desired engine

speed is done by adjusting the size of the load. At each change of the engine rotation (1000, 1500, 2000, 2500, 3000, 3500, 4000, 4500 and 5000 rpm respectively) data will be recorded. It includes the torque, fuel consumption time per 25ml, either emission test data result from the gas analyzer. Best settings result will be saved into the logfile on engine control unit.

From this study, it was found that the AFR value of Peralite tend to be above Premium , this is an accordance with the analysis of latent heat of vaporization. Torque, Power, and BMEP are also increased because of ignition timing mapping on average value 6,393% relative to the ignition standards. Thermal efficiency have increased by 5.13 %. Sfc decreased by 1.97% , and the emissions of CO and UHC have decreased respectively at 5.405 % and 7.443 % .

Keywords: Engine Control Unit, Injection Control, Ignition Timing, SINJAI, PERTALITE.



KATA PENGANTAR

Ucapan Syukur Alhamdulillah Penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena atas limpahan hidayah, rahmat, rizki, dan ijin-Nya penyusunan tugas akhir ini dapat terselesaikan.

Penulis menyadari bahwa keberhasilan penyelesaian tugas akhir ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, baik langsung maupun tidak langsung. Untuk itu, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu penyelesaian tugas akhir ini, antara lain:

1. Ibunda Sumaryati dan Ayahanda Surip, yang dengan restunya membolehkan saya merantau ke Surabaya untuk menjalani perkuliahan di Teknik Mesin ITS.
2. Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, untuk beasiswa Bidik Misi selama masa perkuliahan ini.
3. Bapak Dr. Bambang Sudarmanta, ST, MT atas bimbingan dan kesabarannya dalam menghadapi punggawa punggawa laboratorium TPBB, serta pembelajaran mengenai kehidupan.
4. Bapak-Ibu penguji yang telah meluangkan waktunya, Bapak Dr. Wawan Aries Widodo, ST, MT. Bapak Ary Bachtiar K.P, ST, MT, Ph.D, serta Ibu Vivien Suphandani D, ST, ME, Ph.D.
5. Firman Iffah Darmawangsa, senior sekaligus mentor yang banyak memberikan warna dalam perkuliahan saya.
6. PTG, sahabat yang juga teman bernelangsa ria di tengah hiruk pikuk kehidupan kampus.
7. Tania Sylviana Darmawan, atas dukungan moril dan perhatiannya selama ini.
8. Segenap karyawan Teknik Mesin, Mbah No, Pak Karmonex , Pak Mul, Cak Mad, Cak Ghofur, Cak Bud, Cak To, Mbak Sri, dan semua karyawan yang belum bisa disebutkan.
9. Teman teman Dewan Penasehat LBMM yang selalu dapat direpotkan, BOS ITG, TJ, TITS, GAP, HASHFI,

GGOPELS, NBL, BOTOL , Mas Cay, Satpam, dan teman teman lain yang belum bisa disebutkan.

10. Mas James dan Mas Ridho, yang memperkenalkan Saya pada dunia mekatronika.
11. Bos Wawan dan Bos Rizki, tutor sekaligus spesialis kontrol Indonesia, semoga dapat memajukan dunia otomasi di Indonesia.
12. Semua pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu, Terimakasih atas semuanya.

Penulis menyadari adanya kekurangan dalam penyusunan tugas akhir ini, oleh karena itu saran dan masukan dari semua pihak sangat penulis harapkan. Penulis berharap semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat dan sumbangsih bagi perkembangan ilmu pengetahuan.

Surabaya, Januari 2016

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK	iii
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xv
BAB I PENDAHULUAN	
I.1. Latar Belakang	1
I.2. Perumusan Masalah	2
I.3. Batasan masalah	3
I.4. Tujuan Penelitian	4
I.5. Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Teori Dasar Motor Bensin	5
2.1.1. Siklus Kerja Motor Bensin Empat Langkah	5
2.1.2. Proses Pembakaran Motor Bensin	6
2.1.3. <i>Valve timing</i> Mesin 4 Langkah	7
2.2. Teori Sistem Injeksi Bahan Bakar	8
2.3. Waktu Pengapian	10
2.4. Sistem Kontrol Elektronik	11
2.5. Perancangan <i>Engine Control Unit</i>	12
2.5.1. <i>Interface PC Block Diagram</i>	16
2.5.2. <i>Ignition Block Diagram</i>	17
2.5.3. <i>Injection Block Diagram</i>	17
2.5.4. <i>TPS Block Diagram</i>	18
2.5.5. <i>O₂ Block Diagram</i>	19
2.6. Perbandingan Udara dan Bahan Bakar	19
2.6.1. Pembakaran Stoikiometri	19

2.6.2. Pembakaran non- Stoikiometri	21
2.7. Bahan Bakar	21
2.7.1. Bahan Bakar Bensin	21
2.7.2. Perbedaan karakteristik bensin RON 88 dan 90.....	24
2.8. Uji Performa Mesin Bensin	25
2.8.1. Torsi	25
2.8.2. Daya	25
2.8.3. Tekanan Efektif Rata- Rata.....	26
2.8.4. Konsumsi Bahan Bakar Spesifik.....	27
2.8.5. Efisiensi Thermal.....	27
2.9. Polusi Udara.....	28
2.9.1. <i>Unburned Hydro Carbon</i>	29
2.9.2. Karbon Monoksida	30
2.9.3. SO _x	31
2.9.4. NO _x	31
2.10. Penelitian Terdahulu	31
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1. Prosedur Penelitian	35
3.2. Perancangan <i>Engine Control Unit</i>	35
3.2.1. Komponen Rancangan.....	35
3.2.2. Flowchart Perancangan dan Pengujian	36
3.2.3. Prosedur Perancangan <i>Engine Control Unit</i>	37
3.3. Pengujian Unjuk Kerja Engine.....	40
3.3.1. Alat Uji.....	40
3.3.2. Prosedur Pengujian	44
BAB IV ANALISA DATA DAN PERHITUNGAN	
4.1. Pengaturan <i>Engine Control Unit</i>	49
4.1.1. Menu Utama	50
4.1.2. Menu Penyetelan Bahan Bakar	51
4.1.3. Menu Penyetelan Waktu Pengapian.....	53
4.2. Perhitungan.....	53
4.2.1. Perhitungan Torsi	54

4.2.2. Perhitungan Daya.....	54
4.2.3. Perhitungan Tekanan Efektif Rata- Rata.....	55
4.2.4. Perhitungan Konsumsi Bahan Bakar Spesifik.....	55
4.2.5. Perhitungan Efisiensi Thermal.....	56
4.3. Mapping Waktu Pengapian	57
4.3.1. Analisa <i>Air Fuel Ratio</i>	57
4.3.2. Analisa Torsi.....	58
4.3.2.1 <i>Mapping Ignition Timing</i>	61
4.3.3. Analisa Daya Efektif.....	62
4.3.4. Analisa Tekanan Efektif Rata- Rata.....	62
4.3.5. Analisa Konsumsi Bahan Bakar Spesifik.....	64
4.3.6. Analisa Efisiensi Thermal.....	65
4.4. Analisa Emisi Gas Buang	66
4.4.1. Analisa Gas Buang Karbon Monoksida	66
4.4.2. Analisa Gas Buang <i>Unburned Hydrocarbon</i> ..	68
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1. Kesimpulan.....	71
5.2. Saran.....	72
DAFTAR PUSTAKA	73
LAMPIRAN A	
LAMPIRAN B	
LAMPIRAN C	
LAMPIRAN D	
LAMPIRAN E	



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Siklus motor bensin 4 langkah	5
Gambar 2.2. Tahapan Pembakaran dalam <i>SIE</i>	6
Gambar 2.3. Siklus Otto Ideal.....	7
Gambar 2.4. Diagram mekanisme katup mesin 4 langkah	8
Gambar 2.5. Skema sistem injeksi secara umum	9
Gambar 2.6. Skema sistem pengapian secara umum.....	10
Gambar 2.7. Diagram Alir Engine Control Unit	13
Gambar 2.8. Komunikasi ECU dengan tuning software	14
Gambar 2.9. Skematik Engine Control Unit SUMI-IT.....	15
Gambar 2.10. Skematik Interface PC.....	16
Gambar 2.11. Skematik sistem pengapian ECU SUMI-IT.....	17
Gambar 2.12. Skematik sistem penginjeksian ECU SUMI-IT ..	17
Gambar 2.13 Skematik Throttle Position Sensor	18
Gambar 2.14. Skematik O ₂ Sensor ECU SUMI- IT	19
Gambar 2.15. (a) Mekanisme terbentuknya polutan (b) Emisi gas buang fungsi FAR.....	29
Gambar 2.16 Hasil penelitian Baris	32
Gambar 2.17 Hasil penelitian Nargis	34
Gambar 3.1 Flowchart perancangan dan pengujian	37
Gambar 3.2 Skematik Versatile Engine Management System .	38
Gambar 3.3 Bottom layer pada skema yang telah dimodifikasi	38
Gambar 3.4 Printed Circuit Board sebelum dietsa	39
Gambar 3.5 Printed Circuit Board setelah dietsa	39
Gambar 3.6 Rangkaian Elektronik <i>Engine Control Unit</i>	39
Gambar 3.7 Mikrocontroller ATMEGA 128 L	39
Gambar 3.8 Injektor.....	41
Gambar 3.9 Blower.....	41
Gambar 3.10 Eddy Current Dynamometer.....	41
Gambar 3.11 Stopwatch.....	42
Gambar 3.12 Tabung Ukur	42
Gambar 3.13 Strobotester	42
Gambar 3.14 <i>Exhaust Gas Analyzer</i>	42

Gambar 3.15 Thermocouple	43
Gambar 3.16 Sensor Sensor digunakan pada ECU	43
Gambar 3.17 Skema Pengujian.....	44
Gambar 4.1 Mode <i>Engine Set Up</i>	49
Gambar 4.2 Mode <i>Primary Trigger Setting</i>	50
Gambar 4.3 Menu Utama dari Vemstune.....	50
Gambar 4.4 VE Table	52
Gambar 4.5 Grafik Durasi Injeksi	52
Gambar 4.6 Menu Penyetelan Waktu Pengapian	53
Gambar 4.7 Grafik AFR fungsi rpm	57
Gambar 4.8 Grafik Torsi fungsi rpm.....	59
Gambar 4.9 Grafik Torsi Mapping fungsi rpm	62
Gambar 4.10 Grafik Daya Efektif fungsi rpm.....	63
Gambar 4.11 Grafik BMEP fungsi rpm	64
Gambar 4.12 Grafik SFC fungsi rpm	65
Gambar 4.13 Grafik Efisiensi Thermal fungsi rpm	65
Gambar 4.14 Grafik emisi CO fungsi rpm	67
Gambar 4.15 Grafik Emisi CO mapping fungsi rpm.....	67
Gambar 4.16 Grafik Emisi uHC fungsi rpm	68
Gambar 4.17 Grafik Emisi uHC mapping fungsi rpm.....	69

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Karakteristik Bahan Bakar	24
Tabel 2.2. Hasil Penelitian Yunas	33
Tabel 2.3. Hasil Penelitian Fahmi	33
Tabel 4.1. <i>Mapping ignition timing</i>	61
Tabel 4.2 Torsi mapping waktu pengapian	61



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertumbuhan populasi masyarakat Indonesia yang terus bertambah, berbanding lurus dengan peningkatan kebutuhan energi, terbukti dari jumlah konsumsi bahan bakar minyak di Indonesia yang mencapai 297 juta barrel pada tahun 2011 [1]. Khususnya pada bidang transportasi, dimana tingkat konsumsi bahan bakar bersubsidi untuk kebutuhan transportasi di Indonesia terbilang sangat tinggi. Oleh karena itu, PERTAMINA selaku Badan Usaha Milik Negara yang mengatur kondisi perminyakan di Indonesia melalui direktorat jendral perminyakan dan gas bumi, mengeluarkan salah satu kebijakan dengan memasarkan bahan bakar varian baru dengan RON 90 yang lebih tinggi dibanding Premium RON 88. Dengan perbedaan ini, diharapkan penggunaan bahan bakar bersubsidi varian Premium dapat ditekan serta merupakan langkah nyata untuk menggalakan penggunaan *clean fuel* di Indonesia, dikarenakan dengan perbedaan karakter dari kedua bahan bakar tersebut, sangat dimungkinkan terjadinya perbedaan terhadap hasil unjuk kerja dan emisi gas buang pada *internal combustion engine*.

Kualitas bahan bakar sangat berpengaruh terhadap hasil unjuk kerja serta emisi gas buang engine. Emisi gas buang seperti uHC, CO, NO_x, SO_x, dan partikulat yang dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar fosil mengakibatkan polusi lingkungan. Sedangkan emisi CO₂ merupakan faktor utama penyebab naiknya temperatur permukaan bumi yang dikenal dengan istilah pemanasan global. Berdasarkan hasil penelitian Departemen Perhubungan pada tahun 2007, emisi CO₂ yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar minyak untuk sektor transportasi mencapai 324 juta ton. Sejalan dengan pertumbuhan sektor transportasi di Indonesia hingga saat ini, maka jumlah emisi gas CO₂ dan gas buang lainnya tentu akan bertambah [2]. Salah satu upaya penanggulangan terhadap hal ini adalah dengan perlakuan

optimasi unjuk kerja *engine*. Optimasi unjuk kerja dapat membantu penghematan penggunaan bahan bakar serta mampu mengurangi emisi gas buang pada kendaraan bermotor.

Menurut Nargis dan Hossain [3], dalam penelitiannya yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh kecepatan *engine* dan *advance* sudut pengapian terhadap *engine* berbahan bakar *gasoline* dan *Compressed Natural Gas*. Dengan memajukan waktu pengapian hingga 20 derajat sebelum titik mati atas pada akhir langkah kompresi, dapat meningkatkan *Maximum Brake Power* baik untuk bahan bakar *Gasoline*, maupun bahan bakar *CNG*.

Ada beberapa cara pengondisian untuk memperoleh proses pembakaran yang sempurna, diantaranya adalah mengontrol waktu pengapian dan aliran bahan bakar masuk ke dalam mesin. Dengan mengatur waktu pengapian untuk setiap putaran mesin, maka optimasi waktu pembakaran dapat tercapai, baik pada kondisi idle maupun rpm tinggi. Selain itu, dengan penggunaan sistem injeksi bahan bakar, maka debit bahan bakar, debit udara masuk, serta volume bahan bakar yang digunakan untuk setiap siklus dapat diatur sesuai dengan kebutuhan mesin pada setiap putaran mesin yang diaktuasikan dengan penyesuaian waktu buka tutup injektor. Namun, pada penelitian ini difokuskan pada pemetaan *ignition timing engine* untuk mendapatkan titik pengapian optimal dari bahan bakar yang digunakan. Dengan demikian, diharapkan terjadi peningkatan terhadap hasil unjuk kerja *engine*.

1.2. Perumusan Masalah

Engine Sinjai 650 *Fuel Injection* yang dimiliki laboratorium Teknik Pembakaran dan Bahan Bakar sebenarnya dirancang untuk penggunaan bahan bakar Premium. Sedangkan pada penelitian ini, bahan bakar yang digunakan adalah Pertalite yang memiliki *Research Octane Number* lebih tinggi dibanding Premium. Akibat perbedaan tersebut, waktu pengapian optimum dari kedua jenis bahan bakar yang dibutuhkan *engine* juga

berbeda. Untuk itu, dilakukan proses *mapping ignition timing* untuk meningkatkan hasil unjuk kerja dari *engine* Sinjai 650 FI pada kondisi $\lambda = 1$. Dengan demikian, maka dapat ditentukan beberapa perumusan masalah, antara lain :

1. Bagaimana pengaruh penggunaan bahan bakar Peralite relatif terhadap Premium kondisi standar.
2. Bagaimana pengaruh *mapping* derajat pengapian terhadap hasil unjuk kerja dan gas buang *engine* SINJAI 650cc berbahan bakar PERTALITE.

1.3 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini permasalahan dibatasi pada :

1. Engine yang digunakan adalah SINJAI 650 kondisi standar.
2. Parameter diubah : sudut pengapian 10° , 13° , 16° , 19° , dan 21° BTDC pada akhir langkah kompresi.
3. Bahan bakar menggunakan Pertamina PERTALITE RON 90, dengan Premium sebagai pembanding (data kontrol) yang diproduksi oleh Pertamina dengan spesifikasi bahan bakar sesuai dengan keputusan Dirjen Migas No. 3674 K/24/DJM/2006 17 Maret 2006 dan No. 313.K/10 / DJM. T/ 2013 .
4. Injeksi bahan bakar dilakukan dengan target $\lambda = 1$
5. Pengujian unjuk kerja mesin menggunakan *Eddy Current dynamometer* dengan metode *Fully Open Throttle* di Laboratorium Teknik Pembakaran dan Bahan Bakar, Teknik Mesin ITS.
6. Putaran *engine* dianalisa pada putaran 1000 hingga 5000 rpm dengan interval tiap 500 rpm.
7. Pengujian dilakukan pada temperatur ruangan (25°C).
8. Data keluaran diharapkan terdiri dari daya, torsi, bmep, sfc, efisiensi thermal, dan hasil uji emisi.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari tugas akhir ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh penggunaan bahan bakar Pertalite pada hasil unjuk kerja engine SINJAI 650cc kondisi standar.
2. Mengetahui *ignition timing* yang optimal untuk bahan bakar Pertalite.
3. Membandingkan hasil unjuk kerja engine SINJAI 650cc berbahan bakar Premium dan Pertalite.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan mampu memberikan sumbangsih terhadap perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, khususnya dalam optimasi unjuk kerja *engine*, serta menjadi perspektif bagi masyarakat mengenai penggunaan bahan bakar Pertalite di Indonesia.

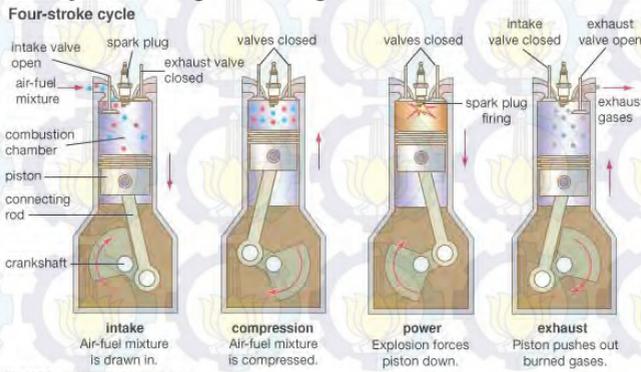
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Teori Dasar Motor Bensin

2.1.1 Siklus Kerja Motor Bensin Empat Langkah

Motor bensin empat langkah, merupakan jenis motor dengan proses konversi energi tak langsung, dimana energi kimia dari bahan bakar diubah melalui proses pembakaran di dalam suatu silinder tertutup ruang bakar menjadi energi thermis untuk kemudian diubah menjadi energi mekanis gerak translasi piston. Satu siklus operasi diselesaikan dalam empat langkah dari piston. Setiap langkah menempuh 180° sehingga dalam satu siklus menjadi 720° [4]. Dari gambar 2.1 dibawah ini, siklus motor bensin empat langkah meliputi langkah hisap, langkah kompresi, langkah kerja, dan langkah buang.



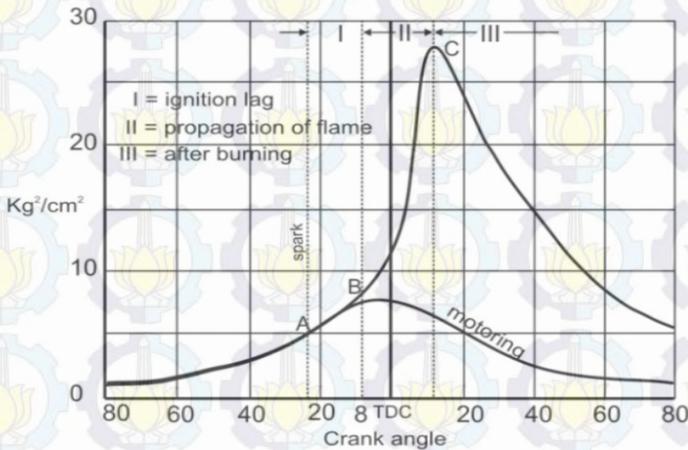
Gambar 2.1 Siklus motor bensin 4 langkah[4].

Keseluruhan proses di atas dapat terjadi apabila memenuhi beberapa kondisi berikut ini, yakni :

1. Cukup tersedianya campuran bahan bakar-udara yang dapat terbakar.
2. Tersedia pemantik bunga api yang mampu membakar campuran bahan bakar – udara.
3. Adanya rambatan nyala api yang cukup stabil sehingga mampu membakar campuran bahan bakar – udara.

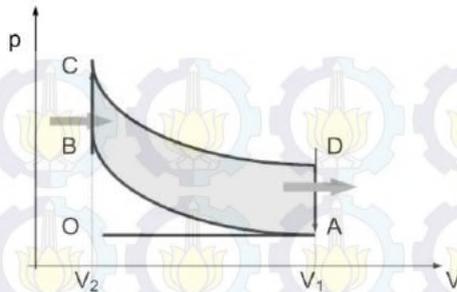
2.1.2 Proses Pembakaran Motor Bensin Empat Langkah

Menurut Kawano [5], pembakaran yang terjadi didalam ruang bakar pada motor bensin terdiri dari beberapa tahapan seperti pada diagram dibawah ini.



Gambar 2.2 Tahapan pembakaran dalam SIE [5].

Tahap pertama, disebut *ignition lag* merupakan fase persiapan yang mana terjadi pertumbuhan dan perkembangan dari inti api. Tahapan ini tergantung sepenuhnya pada sifat alami bahan bakar, seperti, temperatur, tekanan, sifat gas buang, dan laju percepatan oksidasi dalam ruang bakar. *Ignition lag* terjadi dari A-B pada saat kompresi berlangsung sehingga garis A-B disebut garis kompresi. Tahap kedua disebut *propagation of flame* dimana terjadi perubahan temperatur, tekanan, dan sifat bahan bakar akibat oksidasi. Perubahan tekanan terjadi disepanjang garis pembakaran (B-C). Pada grafik diatas, titik C menunjukkan selesainya perjalanan api. Namun, pembebasan panas dari bahan bakar masih berlangsung meskipun tidak memberikan kenaikan tekanan di dalam silinder dikarenakan pada saat itu sudah terjadi proses ekspansi. Oleh karena itu, tahapan ini dikenal dengan istilah pembakaran lanjut (*after burning*).



Gambar 2.3 Siklus Otto ideal

Proses termodinamika yang terjadi pada mesin bensin adalah siklus Otto.

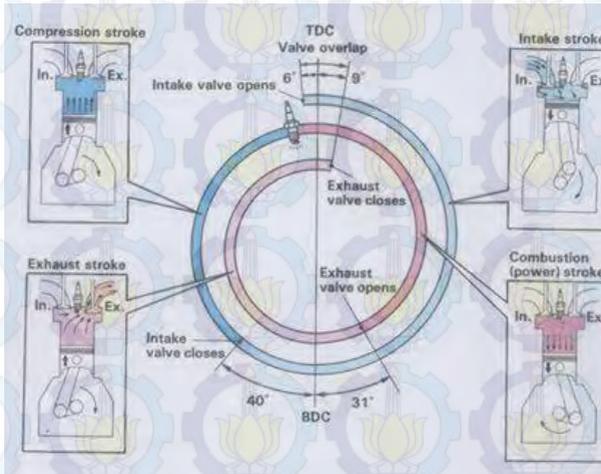
- Proses O-A, bahan bakar dihisap masuk ke dalam silinder volume berubah dari V_2 menjadi V_1 .
- Proses A-B, gas dikompresi dari V_1 ke V_2 tekanan naik dari P_A menjadi P_B .
- Proses B-C, terjadi proses pembakaran (dari percikan api busi). Pada proses ini volume dijaga konstan, sehingga tekanan dan temperature naik.
- Proses C-D, gas berekspansi secara adiabatik, melakukan kerja.
- Proses D-A, kalor dilepas dan tekanan turun pada volume konstan.
- Proses A-O, akhir proses gas sisa dikeluarkan.

2.1.3 Valve Timing Mesin 4 Langkah

Waktu pembukaan dan penutupan katup pada siklus ideal yaitu pada saat piston berada tepat di TDC ataupun di BDC. Namun hal tersebut tidak mungkin terjadi dikarenakan beberapa faktor berikut :

1. Faktor Mekanikal , dimana proses buka tutup katup dilakukan dengan mekanisme *cam*, buka tutup katup harus dilakukan secara perlahan untuk menghindari keausan dan suara bising, dengan alasan tersebut proses buka tutup katup tidak boleh mendadak.

2. Faktor dinamik, selain masalah mekanikal proses buka tutup katup, pengaruh adanya aliran dinamik gas yang terjadi pada kedua katup.[6]



Gambar 2.4 Diagram mekanisme katup mesin 4 langkah [6]

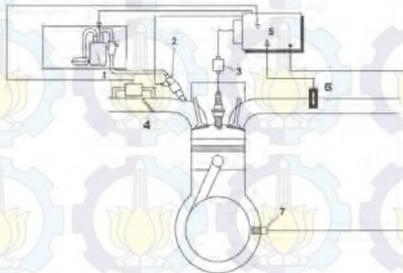
Pada penelitian ini bahan bakar diinjeksikan sesaat sebelum *intake valve open* dengan target $\lambda = 1$ fungsi rpm.

2.2 Teori Sistem Injeksi Bahan Bakar

Sistem injeksi atau EFI (*Electronic Fuel Injection*) adalah sistem yang digunakan sebagai pengganti sistem karburator, dimana pada sistem injeksi ini volume bahan bakar dan waktu penyemprotan dilakukan secara elektris. Sistem EFI kadang disebut juga dengan EGI (*Electronic Gasoline Injection*), EPI (*Electronic Petrol Injection*), atau PGM-FI (*Programmed Fuel Injection*). Penggantian sistem ini dimaksudkan untuk mencapai peningkatan unjuk kerja mesin, pemakaian bahan bakar yang ekonomis, dan menghasilkan kandungan emisi gas buang yang rendah sehingga lebih ramah lingkungan [7].

Secara umum konstruksi sistem EFI dapat dibagi menjadi tiga bagian, yaitu :

1. Sistem bahan bakar (*fuel system*), berfungsi untuk menyimpan, menyaring, menyalurkan , dan menginjeksikan bahan bakar ke ruang bakar
2. Sistem kontrol elektronik (*electronic control system*), komponen sistem kontrol elektronik terdiri dari beberapa sensor antara lain: *Throttle Position Sensor* (TPS), *MAP* (*Manifold Absolute Pressure*) sensor, *IAT* (*Intake Air Temperature*) sensor, *Engine Cooling Temperature* (ECT) Sensor, *RPM sensor* (*Inductive Magnetic Reluctor*), dan sensor-sensor lainnya. Semua sensor sensor tersebut akan mengirimkan data ke ECU untuk diproses.
3. Sistem induksi atau sistem pemasukan udara (*air induction system*), sistem ini berfungsi untuk menyalurkan sejumlah udara yang diperlukan untuk pembakaran dalam ruang bakar

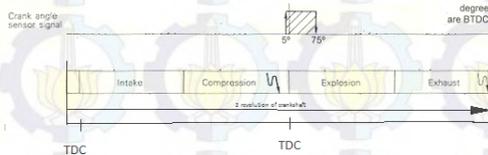


Gambar 2.5 Skema sistem injeksi secara umum[7].

1. Pompa bahan bakar/ Fuel Pump
2. Fuel injector
3. Ignition coil
4. Throttle body
5. ECU
6. Oksigen sensor
7. Crank position sensor

Sistem EFI dirancang untuk melakukan injeksi bahan bakar yang jumlah dan waktunya ditentukan berdasarkan informasi dari sensor-sensor. Pengaturan perbandingan bahan bakar dan udara sangat penting dilakukan agar mesin bisa tetap bekerja dengan sempurna pada berbagai kondisi kerja. Disamping itu lama penginjeksian bahan bakar juga tergantung pada jumlah udara yang masuk ruang bakar dan posisi katup gas pada throttle body. Posisi katup pada throttle body akan dideteksi oleh sensor posisi katup gas (TP) sensor dan jumlah udara yang masuk akan dideteksi oleh sensor tekanan udara (MAP sensor). Berdasarkan informasi dari sensor-sensor tersebut, ECU akan memberikan tegangan listrik kepada injektor untuk menyempotkan bahan bakar. Semakin besar udara yang masuk dan bukaan katup gas yang dideteksi oleh kedua sensor tersebut, maka semakin lama pula penginjeksian bahan bakar keruang bakar yang dilakukan oleh injektor. Begitu juga sebaliknya, semakin kecil udara yang masuk dan terdeteksi maka semakin pendek waktu penginjeksian bahan bakar yang dilakukan oleh injektor. Hal ini bertujuan untuk pengondisian terjadinya perbandingan campuran bahan bakar dan udara yang tepat (mendekati perbandingan campuran teoritis atau ideal).

2.3. Waktu Pengapian



Gambar 2.6 Skema sistem pengapian secara umum

Pembakaran di dalam silinder kendaraan akan menentukan besarnya daya dan emisi dari gas hasil pembakaran tersebut. Pada motor bensin, penyalaan campuran bahan bakar dan udara yang ada di dalam silinder dilakukan

oleh sistem pengapian, yaitu dengan adanya loncatan bunga api pada busi. Terjadinya loncatan api ini sekitar beberapa derajat sebelum TMA (titik mati atas) piston.

Untuk memperoleh daya yang maksimal, saat pengapian ini harus tepat, bila pengapian terlalu cepat, maka gas sisa yang belum terbakar, terpengaruh oleh pembakaran yang masih berlangsung dan pemampatan yang masih berjalan, akan terbakar sendiri. Hal ini akan menjadikan kerugian. Sedangkan bila pengapian terlambat, daya yang dihasilkan akan berkurang.

Selain itu, waktu pengapian harus diatur sesuai dengan angka oktan dari bahan bakar yang digunakan. Berubahnya angka oktan dari bahan bakar harus selalu diikuti dengan penyetelan waktu pengapian. Rekomendasi pabrik kendaraan biasanya mensyaratkan penggunaan bensin tanpa timbal untuk mesin EFI. Hal ini menyebabkan waktu pengapian bisa tidak tepat, karena titik bakar dari bensin tidak sesuai dengan ketentuan. Oleh karena itu, waktu pengapian yang tepat sangat diperlukan untuk optimalisasi kerja mesin. Pada *engine* SINJAI 650cc FI, waktu pengapian standard terjadi pada 12° BTDC pada *low rpm* dan 15° BTDC pada *high rpm* ($> 3000 rpm$).

2.4 Engine Control Unit

Sistem ini terdiri dari beberapa sensor, seperti *throttle position sensor*, *intake air temperature sensor*, *coolant temperature sensor* dan *lambda sensor*, pada sistem ini terdapat *engine control unit* yang mengatur *injection control* dan *ignition timing*. Sistem kontrol ini terdiri dari beberapa sensor, yang mendeteksi kondisi mesin, untuk kemudian mengkalkulasi volume injeksi (lamanya injeksi) sesuai dengan signal-signal (data) dari sensor-sensor yang mengontrol injeksi bahan bakar, serta mengatur waktu pengapian

Sensor-sensor ini mendeteksi volume udara masuk, temperatur udara, percepatan, penurunan kecepatan, dan gas sisa pembakaran. Sensor-sensor tersebut mengirimkan signal ke ECU. Kemudian ECU menentukan lamanya injeksi yang tepat dan

mengirimkan signal ke injektor. Injektor menginjeksikan bahan bakar ke *intake manifold* sesuai dengan signal ini. volume injeksi tergantung dari lamanya signal dari ECU. Selain itu, ECU juga mengatur waktu pengapian berdasarkan putaran mesin.

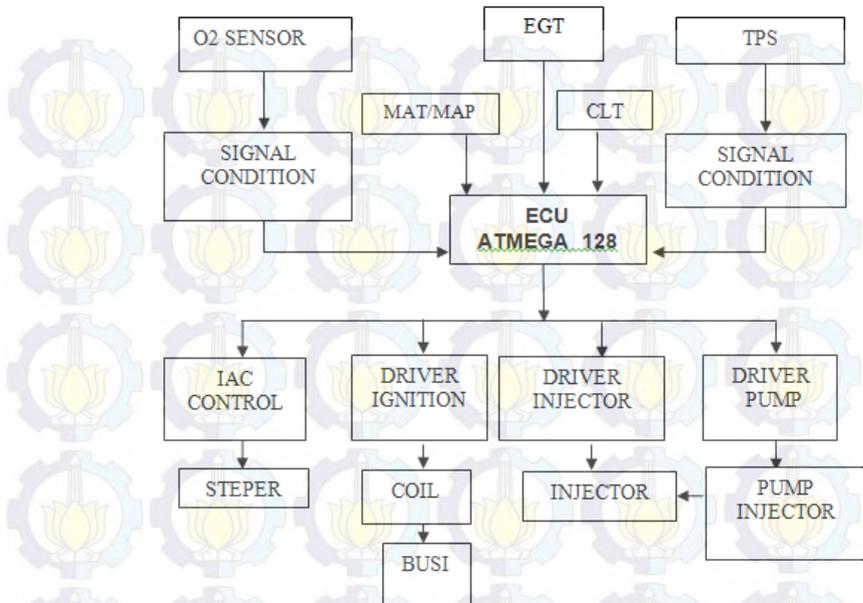
2.5 Perancangan Engine Control Unit

Secara garis besar, alur kerja dari sebuah ECU terbagi ke dalam tiga langkah utama:

1. **Input** – Pengambilan data lingkungan sekitar kendaraan oleh sensor-sensor yang terpasang dalam kendaraan.
2. **Proses** – Analisa dan kalkulasi data input oleh mikrokomputer yang mana hasil kalkulasi akan menjadi dasar pengambilan keputusan dalam kondisi operasional mesin.
3. **Output** – Keluaran dari hasil proses berupa perintah kepada bagian tertentu mesin untuk melakukan sesuatu, sesuai hasil dari kalkulasi pada langkah sebelumnya.

ECU dibentuk oleh banyak komponen yang berbeda-beda, tergantung kepada fitur yang dimiliki oleh ECU tersebut. Setiap manufaktur membangun ECU dengan cara yang berbeda-beda, sehingga detail dari komponen ECU akan berbeda dari satu manufaktur ke manufaktur lain. Secara garis besar dapat dilihat pada diagram alur ECU berikut ini .

Diagram Alir ECU



Gambar 2.7 Diagram Alir Engine Control Unit

Keterangan :

- TPS : Throttle Position Sensor
- EGT : Exhaust Gas Temperature
- CLT : Coolent Temperature
- MAT: Manifold Air Temperature
- IAT : Intake Air Temperature

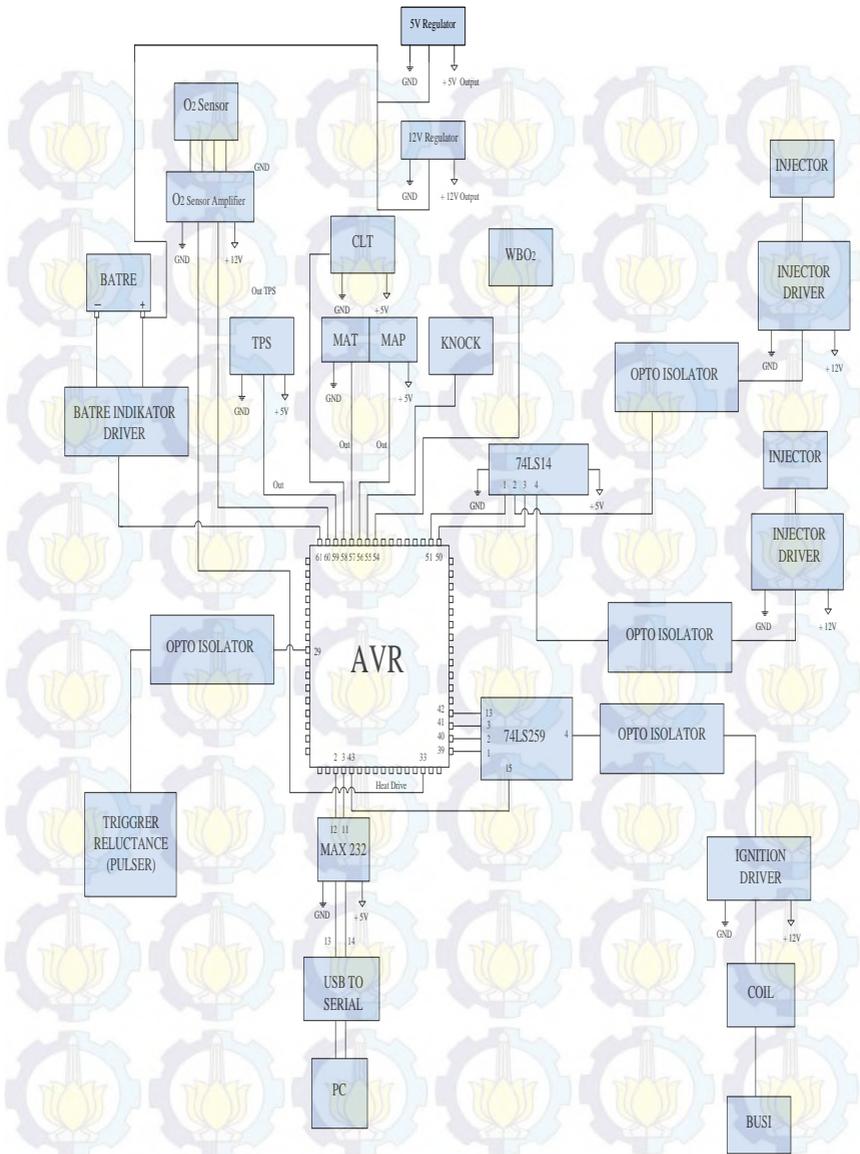
Kelebihan:

1. Programmable :
 - Waktu Injeksi
 - Waktu Pengapian
 - Konsumsi bahan bakar
 - Monitoring kondisi operasional engine (putaran, suhu, kecepatan)

2. Menggunakan tuning software *Versatile Engine Management System (VEMS)* yang bersifat *opensource*.
3. Hasil *setting* bisa disimpan dan dipanggil kembali dalam bentuk *log file*.



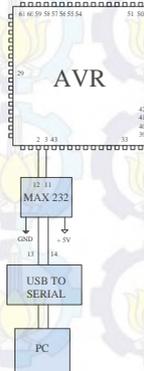
Gambar 2.8 Komunikasi ECU SUMI-IT dengan tuning software VEMS.



Gambar 2.9 Skematik Engine Control Unit SUMI – IT

2.5.1 INTERFACE PC BLOCK DIAGRAM

Interface adalah istilah yang digunakan untuk pengantaraan. Pengantaraan yang dimaksudkan adalah terciptanya komunikasi antara perangkat keras (hardware) pada ECU terhadap tampilan sebuah aplikasi yang dapat dilihat dan diolah oleh manusia, dalam hal ini adalah tuning software Versatile Engine Management System.



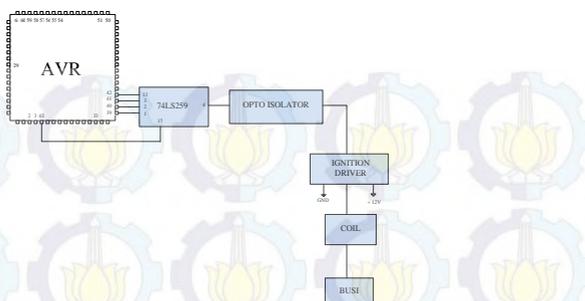
Gambar 2.10 Skematik interface PC

Keterangan :

- Max 232 adalah IC penguat signal komunikasi RS 232 agar signal komunikasi tidak terinterferensi oleh signal-signal lain, sehingga data yang diterima PC adalah signal yang valid setiap saat.
- USB to serial 2.0 yang dapat dikenali oleh semua PC dimasa ini.

2.5.2 IGNITION BLOCK DIAGRAM

Ignition system / sistem pengapian pada ECU SUMI-IT mengondisikan signal input dari *variable reluctance*(pulser) untuk kemudian diolah menggunakan *mapping* oleh *software VEMS*, sehingga memungkinkan waktu pengapian yang optimal untuk setiap putaran mesin.



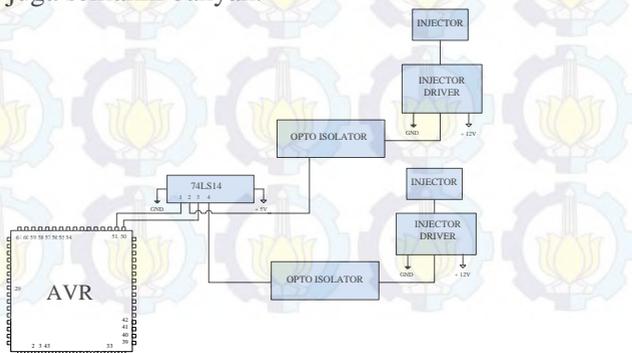
Gambar 2.11 Skematik sistem pengapian ECU SUMI-IT

Keterangan :

- 74LS259 adalah decoder 4 bit ke 8 bit yang berfungsi untuk menerjemahkan *signal* dari AVR ke signal ignition 1 – 8 silinder pengapian (Pada mesin ini signal ignition output yang digunakan hanya 1 signal ignition output).
- Opto isolator adalah isolator signal tegangan 5Volt ke 12Volt ignition driver.
- Ignition driver.

2.5.3 INJECTION BLOCK DIAGRAM

Injection System/ sistem Injeksi pada ECU SUMI-IT mengondisikan volume bahan bakar yang disemprotkan melalui injektor dengan variasi lama pembukaan solenoid yang terdapat pada injektor, semakin lama injektor terbuka, dengan tekanan yang sama oleh pompa bahan bakar, maka volume bahan bakar disemprotkan juga semakin banyak.

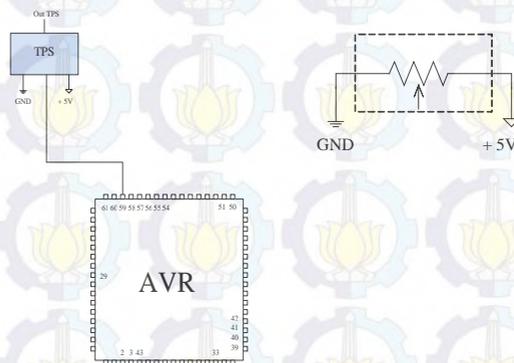


Gambar 2.12 Skematik sistem penginjeksian bahan bakar

Keterangan :

- 74LS14 adalah IC yang berfungsi sebagai submit trigger signal dari AVR dan juga berfungsi sebagai penguat signal driver injektor.
- Opto isolator untuk mengisolasi signal driver dari tegangan signal 5Volt ke tegangan driver 12Volt

2.5.4 SENSOR TPS BLOCK DIAGRAM

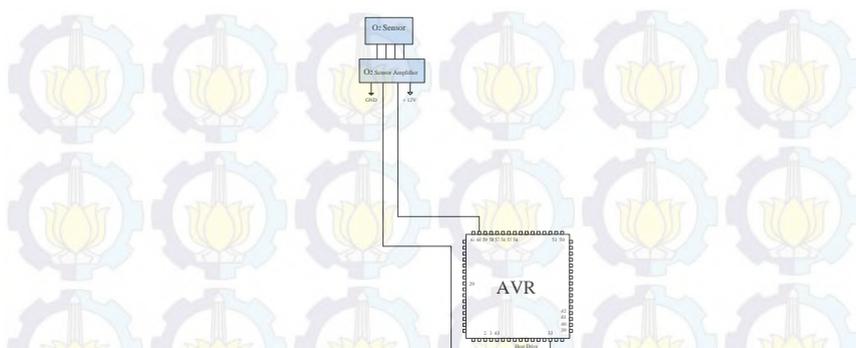


Gambar 2.13 Skematik Throttle Position Sensor ECU SUMI-IT.

Keterangan :

- Sensor TPS adalah sensor yang bekerja sebagai pembaca level throttle posisi level. Sensor ini berfungsi sebagai penanda seberapa besar pembukaan udara yang masuk pada manifold.
- Sensor ini bekerja pada tegangan 0-5 Volt, ketika intake manifold membuka 100% tegangan pada output TPS ± 5 Volt sedangkan pada pembukaan intake 0 % tegangan output TPS ± 0 Volt (Intake manifold tertutup penuh).

2.5.5 SENSOR O₂ BLOCK DIAGRAM



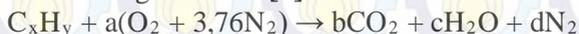
Gambar 2.14 Skematik O₂ Sensor ECU SUMI-IT.

- O₂ sensor terdiri dari - Signal λ
- Gnd
- Heater
- Signal λ pada type Narrow Band O₂ sensor, memiliki level tegangan output yang kecil (0-1V) sehingga dibutuhkan amplifier untuk menguatkan signal λ tersebut, sehingga dapat dibaca dengan akurat oleh ADC dari AVR.
- Sensor Amplifier terdiri dari Switch driver Heater O₂ sensor dan amplifier untuk penguat tegangan dari sensor λ .

2.6 Perbandingan Udara dan Bahan Bakar

2.6.1 Pembakaran Stoikiometri

Bahan bakar hidrokarbon akan dioksidasi secara menyeluruh menjadi karbon dioksida (CO₂) dan uap air (H₂O) jika tersedia pasokan oksigen dalam jumlah yang cukup. Kondisi pembakaran yang demikian disebut sebagai pembakaran stoikiometri dan persamaan reaksi kimia untuk pembakaran stoikiometri dari suatu bahan bakar hidrokarbon (C_xH_y) dengan udara dituliskan sebagai berikut [8]:



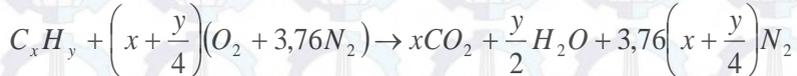
Kesetimbangan C : $x = b$

Kesetimbangan H : $y = 2c \rightarrow c = y/2$

Kesetimbangan O : $2a = 2b + c \rightarrow a = b + c/2 \rightarrow a = x + y/4$

KesetimbanganN : $2(3,76)a = 2d \rightarrow d = 3,76a \rightarrow d = 3,76 \left(x + \frac{y}{4}\right)$

Substitusi persamaan-persamaan kesetimbangan di atas ke dalam persamaan reaksi pembakaran C_xH_y menghasilkan persamaan sebagai berikut :



Jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mendapatkan pembakaran stoikiometri adalah :

$$m_{O_2} = \frac{m_{atom}O_2}{m_{mol}C_xH_y} \times \text{persentase } C_xH_y \text{ (kg/kg bahan bakar)}$$

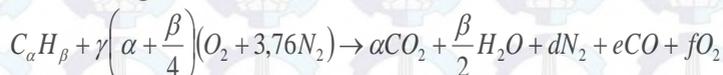
Stoikiometri massa yang didasarkan pada rasio udara dan bahan bakar (*air fuel ratio*) untuk bahan bakar hidrokarbon (C_xH_y) adalah sebagai berikut :

$$\left(\frac{A}{F}\right)_s = \frac{m_{air}}{m_{fuel}} = \frac{\left(\sum n_i \bar{M}_i\right)_{air}}{\left(\sum n_i \bar{M}_i\right)_{fuel}} = \frac{\left(x + \frac{y}{4}\right)\bar{M}_{O_2} + 3,76\left(x + \frac{y}{4}\right)\bar{M}_{N_2}}{x\bar{M}_C + y\bar{M}_H}$$

Pada bahan bakar bensin, udara yang dibutuhkan untuk membakar 1 kg bahan bakar adalah 14,7 kg yang kemudian disebut perbandingan campuran udara dan bahan bakar stoikiometri 14,7:1. Sedangkan pada bahan bakar gas (*Compressed Natural Gas*) perbandingan campuran udara dan bahan bakar stoikiometri adalah 17:1. Faktor udara eksek (excess-air factor) λ mengindikasikan seberapa jauh perbandingan udara dan bahan bakar aktual dengan perbandingan udara dan bahan bakar teoritis. $\lambda=1$ menunjukkan bahwa mesin berjalan dengan perbandingan udara dan bahan bakar stoikiometri. Jika $\lambda < 1$ menunjukkan mesin tersebut mengandung lebih banyak bahan bakar (campuran kaya), sedangkan jika $\lambda > 1$ (dibawah batasan $\lambda=1,6$) menunjukkan mesin tersebut mengalami kelebihan udara (campuran miskin).

2.6.2 Pembakaran *Non* Stoikiometri

Mekanisme pembakaran dituntut dapat berlangsung secara cepat sehingga sistem-sistem pembakaran dirancang dengan kondisi udara berlebih. Hal ini dimaksudkan untuk mengantisipasi kekurangan udara akibat tidak sempurnanya proses pencampuran antara udara dan bahan bakar. Pembakaran yang demikian disebut sebagai pembakaran *non* stoikiometri. Persamaan reaksi kimia untuk pembakaran *non* stoikiometri dituliskan sebagai berikut:



1. Pembakaran dengan komposisi campuran stoikiometri
Pada proses ini terjadi perpindahan panas yang maksimum dengan kehilangan panas yang minimum. Hasil pembakaran berupa CO₂, uap air, dan N₂.
2. Pembakaran dengan komposisi campuran miskin
Pada proses ini terjadi perpindahan panas yang maksimum tetapi diikuti dengan bertambahnya kehilangan panas karena udara berlebih. Hasil pembakaran berupa CO₂, uap air, O₂ dan N₂.
3. Pembakaran dengan komposisi campuran kaya
Pada proses ini terjadi perpindahan panas yang kurang maksimum karena ada bahan bakar yang belum terbakar. Hasil pembakaran berupa HC, CO, CO₂, H₂O, dan N₂. Sedangkan fraksi karbon terbentuk dari reaksi sekunder antara CO dan H₂O.

2.7 Bahan Bakar

2.7.1 Bahan Bakar Bensin

Motor bensin dirancang dengan menggunakan bahan bakar *fossil fuel* yang diperoleh dari distilasi pendidihan minyak mentah (*crude oil*) pada suhu 30°C sampai 200°C. Hidrokarbon yang terdapat didalamnya antara lain *paraffin*, *naphthalene*, *olefin*, dan *aromatic* dengan jumlah karbon yang bervariasi mulai dari 12 sampai 18. Bahan bakar *gasoline* adalah fraksi petroleum yang paling ringan. Semua material yang mempunyai titik didih dibawah 200°C digolongkan sebagai bensin. Bensin sendiri adalah

campuran sejumlah hidrokarbon (lebih dari 40 macam hidrokarbon). Bensin mempunyai *specific gravity* antara 0.75-0.78, panas penguapan sebesar 305 kJ/ kg dan nilai LHV 44000 kJ / kg atau 32000 kJ/ l dan inilah yang biasanya digunakan pada *Spark Ignition Engine* [9].

Karakteristik yang umum untuk menilai kinerja bahan bakar mesin bensin antara lain:

1. Nilai Kalor

Nilai kalor merupakan suatu angka yang menyatakan jumlah energi panas maksimum yang dibebaskan oleh suatu bahan bakar melalui reaksi pembakaran sejumlah tertentu bahan bakar dengan oksigen atau udara. Nilai kalor dinyatakan dalam dua besaran, yakni, nilai kalor atas, NKA (jika air hasil pembakaran dalam fase cair) dan nilai kalor bawah, NKB (jika air hasil pembakaran dalam fase uap). Nilai kalor atas diuji dengan menggunakan *bomb calorimeter*. Sedangkan nilai kalor bawah dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$NKB = NKA - \left(\frac{m_{air}}{m_{sample}} \times LH \right)$$

2. Panas Penguapan Laten

Panas penguapan laten Peralite yang mengandung MTBE (82 Kcal/ kg) lebih besar dibanding premium (80 Kcal / kg). Keuntungannya adalah panas penguapan laten yang tinggi dapat mendinginkan udara masukan sehingga nilai densitas naik dan memungkinkan lebih banyak volume udara masukan. Hal tersebut membentuk campuran baha bakar-udara yang lebih *lean* sehingga mengurangi kadar CO gas buangnya sebaai hasil pembakaran yang lebih sempurna, serta mendinginkan temperature pembakaran sehingga menurunkan kecendrungan terjadinya *autoignition*.

3. Bilangan oktan

Sifat pembakaran bahan bakar biasanya diukur dengan angka oktan . Angka oktan merupakan ukuran kecendrungan bahanbakar bensin untuk mengalami karakteristik pembakaran (utamanya *knocking*) yang sama dengan campuran iso-oktana dan n-heptana. Makin tinggi angka oktan, maka makin berkurang kecenderunganya mengalami ketuka dan makin tinggi

kemampuannya untuk digunakan pada kompresi rasio yang lebih tinggi tanpa mengalami ketukan. Angka oktan riset (RON) memberi gambaran tentang kecenderungan bahan bakar untuk mengalami pembakaran tidak normal pada kondisi pengendaraan sedang, seperti pengendaraan di dalam kota. Sedangkan angka Oktan motor (MON) memberi gambaran mengenai kondisi operasi yang lebih berat, seperti pengendaraan di tol, tanjakan, dll.

4. Viskositas

Viskositas terkait dengan tahanan yang dimiliki fluida yang dialirkan dalam pipa kapiler terhadap gaya gravitasi, biasanya dinyatakan dalam waktu yang diperlukan untuk mengalir pada jarak tertentu. Jika viskositas semakin tinggi, maka tahanan untuk mengalir akan semakin tinggi sehingga atomisasi menjadi jelek. Sebaliknya jika viskositas rendah, maka potensi keausan pada saluran injeksi akan semakin cepat.

5. Titik Nyala

Titik nyala adalah suatu angka yang menyatakan temperatur terendah dari bahan bakar minyak atau gas dimana akan timbul penyalan api sesaat apabila pada permukaan minyak tersebut didekatkan pada nyala api. *Flash point* mengindikasikan tinggi rendahnya volatilitas dan kemampuan untuk terbakar dari suatu bahan bakar.

6. Titik Tuang (Pour Point)

Titik tuang adalah suatu angka yang menyatakan suhu terendah dari bahan bakar minyak sehingga minyak tersebut masih dapat mengalir karena gaya gravitasi. Titik tuang merupakan ukuran daya atau kemampuan bahan bakar pada temperatur rendah, yang berarti bahwa kendaraan dapat menyala pada temperatur rendah karena bahan bakar masih dapat mengalir.

7. Kestabilan kimia dan kebersihan bahan bakar

Kestabilan kimia bahan bakar sangat penting, karena berkaitan dengan kebersihan bahan bakar yang selanjutnya berpengaruh terhadap sistem pembakaran dan sistem saluran. Pada temperatur tinggi, bahan bakar sering terjadi polimer yang berupa endapan-endapan *gum* (getah) ini berpengaruh kurang baik terhadap sistem saluran misalnya pada katup-katup dan saluran bahan bakar.

Bahan bakar yang mengalami perubahan kimia, menyebabkan gangguan pada proses pembakaran. Pada bahan bakar juga sering terdapat saluran/senyawa yang menyebabkan korosi, senyawa ini antara lain : senyawa belerang, nitrogen, oksigen, dan lain-lain.

8. Berat Jenis

Berat jenis adalah suatu angka yang menyatakan perbandingan berat dari bahan bakar minyak pada temperatur tertentu terhadap air pada volume dan temperatur yang sama. Penggunaan specific gravity adalah untuk mengukur berat/massa minyak bila volumenya telah diketahui. Bahan bakar minyak umumnya mempunyai specific gravity antara 0,74 dan 0,96 dengan kata lain bahan bakar minyak lebih ringan daripada air. Di Amerika, *specific gravity* umumnya dinyatakan dengan satuan yang lain yaitu API Gravity (American Petroleum Institute Gravity) dengan cara perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$SG \text{ terhadap air} = \text{Densitas bahan bakar} / \text{Densitas}_{\text{air}}$$

$$^{\circ}\text{API gravity} = (141.5 / \text{Specific gravity pada } 60^{\circ}\text{F}) - 131.5$$

2.7.2 Perbedaan karakteristik bensin RON 88 dan 90

Tabel 2.1 Karakteristik bahan bakar Premium RON 88 dan Peralite RON90 [9]

Properties	Premium	Peralite
Specific gravity	0.744	0.77
Heat of vaporization (kJ/kg)	335	343
Laminar burning velocity (m/s) pada $\lambda=1$	0.5	0.5
Lower heating value (MJ/kg)	44.12	43.84
Research Octane Number	88.00	90.00

Dengan perbedaan yang ditunjukkan oleh data sekunder tersebut dan menghubungkannya dengan tahapan unjuk kerja mesin maka dapat diperkirakan bahwa pemetaan ignition timing yang optimum untuk setiap bahan bakar akan berpengaruh pada hasil unjuk kerja *engine*.

2.8 Uji Performa Mesin Bensin

Ada beberapa parameter yang digunakan untuk mengevaluasi unjuk kerja dari mesin bensin, antara lain:

2.8.1 Torsi

Kemampuan mesin dalam menghasilkan kerja ditunjukkan dengan nilai torsi yang dihasilkannya. Dan didalam keadaan sehari-hari torsi digunakan untuk akselerasi kendaraan untuk mendapatkan kecepatan tinggi. Torsi merupakan perkalian antara gaya tangensial dengan panjang lengan. Rumus untuk menghitung torsi pada engine adalah sebagai berikut :

$$\text{Torsi} = P \cdot R \text{ (N.m)} \quad (2.1)$$

dimana:

P = gaya tangensial (N)

R = panjang lengan dynamometer (m)

2.8.2 Daya (bhp)

Tujuan dari pengoperasian mesin adalah untuk menghasilkan daya atau *power*. Brake horse power merupakan daya yang dihasilkan dari poros output mesin yang dihitung berdasarkan laju kerja tiap satuan waktu. Nilai daya sebanding dengan gaya yang dihasilkan dan kecepatan linearnya, atau sebanding dengan torsi poros dan kecepatan sudutnya. Untuk menghitung daya motor digunakan perumusan :

$$\text{bhp} = \omega \cdot T = 2\pi \cdot n \cdot T \text{ (Watt)}$$

$$\text{bhp} = 2\pi \cdot n \cdot T \text{ (Watt)} / 1000 \text{ (kW)} \dots\dots\dots(2.2)$$

dimana :

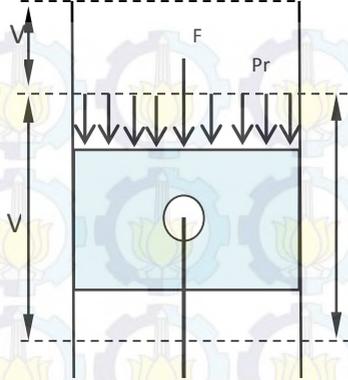
T = Torsi (N.m)

n = putaran poros dynamometer (rps)

2.8.3 Tekanan efektif rata-rata (BMEP)

Tekanan efektif rata-rata (*mean effective pressure*) didefinisikan sebagai tekanan tetap rata-rata teoritis yang bekerja sepanjang volume langkah piston sehingga menghasilkan daya. Jika tekanan efektif rata-rata dihitung berdasarkan pada bhp (*brake horse power*) maka disebut bmepp (*brake mean effective pressure*).

Gaya yang bekerja mendorong piston kebawah : $F = P_r \times A$



Kerja selama piston bergerak dari TMA ke TMB :
 $W = F \times L = (P_r \times A) \times L$
 Daya motor (Kerja persatuan waktu) :
 Jika poros engkol berputar n rps, maka dalam 1 sekon akan terjadi $\frac{n}{z}$ siklus kerja.

dimana $\frac{n}{z} \left(\frac{\text{siklus}}{\text{sekon}} \right)$; $z = 1$ (2 langkah), 2 (4 langkah)

Daya tiap silinder : $N = \frac{P_r \cdot A \cdot L \cdot n}{z}$

Daya motor sejumlah "i" silinder : $N = \frac{P_r \cdot A \cdot L \cdot n \cdot i}{z}$

Jika $N = \text{Watt}$ dan $P_r = \text{bmep}$, maka :

$\text{bmep} = (\text{bhp} \times z) / A \times L \times n \times i \dots\dots\dots(2.3)$

Dimana :

- bhp = daya motor (Watt)
- A = Luas penampang torak (m^2)
- L = Panjang langkah torak (m)
- i = Jumlah silinder
- n = Putaran mesin (rps)
- z = 1 (motor 2 langkah) atau 2 (motor 4 langkah)

2.8.4 Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (Specific Fuel Consumption)

Konsumsi Bahan Bakar Spesifik merupakan ukuran pemakaian bahan bakar oleh suatu engine yang diukur dalam satuan massa bahan bakar per satuan keluaran daya, atau juga

dapat didefinisikan sebagai laju aliran bahan bakar yang dipakai oleh motor untuk menghasilkan tenaga.

Besarnya *Specific Fuel Consumption* dapat dihitung dengan persamaan :

$$Sfc = \dot{m}_{bb} / bhp \dots\dots\dots(2.4)$$

dimana:

\dot{m}_{bb} = laju aliran massa bahan bakar , kg/s

bhp = daya motor, Watt

Pada pengujian standar, massa bahan bakar dapat dicari dengan menggunakan persamaan :

$$m_{bb} = \rho_{bensin} \cdot Volume \dots\dots\dots(2.5)$$

dimana:

$\rho_{bensin} = SG_{bensin} \cdot \rho_{H2O}$. (dalam kg /m³)

Volume = (m³)

2.8.5 Efisiensi Thermal

Effisiensi thermal adalah ukuran besarnya pemanfaatan energi panas dari bahan bakar untuk diubah menjadi daya efektif oleh motor .

$$\eta_{th} = \frac{Energi\ yang\ berguna}{Energi\ yang\ diberikan} \times 100\%$$

Jika masing-masing dibagi dengan waktu, t maka:

$$\eta_{th} = \frac{\frac{kerja}{waktu}}{\left(\frac{panas\ yang\ diberikan}{waktu} \right)} \times 100\%$$

dimana:

$kerja/waktu$ = daya (bhp)

$panas\ yang\ diberikan / waktu$ = nilai kalor \times massa bahan bakar

= $Q \times \dot{m}_{bb}$

sehingga,

$$\eta_{th} = \frac{bhp}{\dot{m}_{bb} \times Q} \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana :

sfc = konsumsi bahan bakar spesifik, $\left(\frac{kg}{Watt \cdot s}\right)$
 \dot{m}_{bb} = laju aliran massa bahan bakar, $\left(\frac{kg}{s}\right)$
 Q = nilai kalor bawah dari bensin yang dipakai, $\left(\frac{J}{kg}\right)$

untuk bahan bakar *engine* OTTO :

$$NKB = (16610 + 40 (^\circ API)) \cdot 0.55556 \dots \dots (kKal / kg)$$

$^\circ API$: Gravity adalah suatu bilangan yang menyatakan *density* dari suatu cairan.

Api gravity diukur pada temperatur minyak bumi 60°F. Harga API dapat dihitung sbb :

$$^\circ API = \frac{141.5}{SG} - 131.5 \dots \dots \dots (2.7)$$

Dimana : SG bahan bakar Premium = 0.744

SG bahan bakar Peralite = 0.77

2.9 Polusi Udara

Polusi udara adalah masuknya bahan-bahan pencemar kedalam udara sehingga mengakibatkan kualitas udara menurun dan tidak berfungsi sebagaimana mestinya (UUPH No.23/1997 pasal 1). Polutan primer adalah polutan dimana keberadaannya di udara langsung dari sumbernya. Contoh : partikulat, Sulfur Oksida (SO_x), Nitrogen Oksida (NO_x), Hidrokarbon (HC), dan Karbon Monoksida (CO). Sedangkan polutan sekunder adalah polutan primer yang bereaksi dengan komponen lain diudara, contohnya Ozon (O₃) dan *Peroksi Asetil Nitrat* (PAN) dimana keduanya terbentuk di atmosfer melalui proses hidrolisis, petrochemical atau oksidasi [10].

dinding silinder, pusat elektroda busi, dan *crevice* disekitar gasket silinder head.

2. Proses *flame quenching* pada dinding ruang bakar

Api akan padam ketika menyentuh dinding ruang bakar karena *heat loss (wall quenching)*, sehingga meninggalkan lapisan tipis yang terdiri dari campuran yang tidak terbakar dan terbakar sebagian.

3. Penyerapan uap bahan bakar kedalam lapisan oli pada dinding ruang bakar

Selama proses pengisian dan kompresi, uap bahan bakar diserap oleh oli pada dinding ruang bakar, selanjutnya melepaskannya kembali ke ruang bakar selama ekspansi dan pembuangan.

4. Pembakaran yang tidak sempurna

Terjadi ketika kualitas pembakaran jelek baik terbakar sebagian (*partial burning*) atau tidak terbakar sama sekali (*complete misfire*) akibat homogenitas, turbulensi, A/F dan *spark timing* yang tidak memadai. Saat tekanan silinder turun selama langkah ekspansi, temperatur *unburned mixture* didepan muka api menurun, menyebabkan laju pembakaran menurun. Karena temperatur *unburned* didepan muka api yang terlalu rendah maka menyebabkan api padam sehingga nilai HC akan naik.

2.9.2 Karbon Monoksida (CO)

Gas karbon monoksida merupakan gas yang tidak berwarna, tidak berbau pada suhu diatas titik didihnya dan mudah larut dalam air. Di industri, karbon monoksida dihasilkan dari proses oksidasi gas alam yaitu metana. Gas karbon monoksida merupakan komponen utama dalam udara tercemar, karena kereaktifan gas karbon monoksida terhadap hemoglobin dalam darah yang mengakibatkan darah kekurangan oksigen dan menyebabkan gangguan saraf pusat. Pembakaran yang normal pada motor bensin akan membakar semua hidrogen dan oksigen yang terkandung dalam campuran udara dan bahan bakar. Akan tetapi dalam pembakaran yang tidak normal, misalnya pembakaran yang kekurangan oksigen, akan mengakibatkan CO

yang berada didalam bahan bakar tidak terbakar dan keluar bersama-sama dengan gas buang. Karbon monoksida juga cenderung timbul pada temperatur pembakaran yang tinggi. Meskipun pada campuran miskin (mempunyai cukup oksigen) jika temperatur pembakaran terlalu tinggi, maka oksigen yang telah terbentuk dalam karbon dioksida bisa berdisosiasimembentuk karbon monoksida&oksigen.

2.9.3 SO_x

Belerang Oksida atau Sox yang terdapat pada minyak bumi terdiri atas gas SO₂ dan gas SO₃ yang keduanya memiliki sifat berbeda. Gas SO₂ berbau tajam dan tidak mudah terbakar, sedangkan gas SO₃ mudah beraksi dengan uap di udara untuk membentuk asam sulfa. Asam Sulfat ini bersifat sangat reaktif dan memiliki banyak dampak negatif di antaranya korosif, beracun, dan selalu mengikat oksigen untuk mencapai fasa kestabilan gasnya.

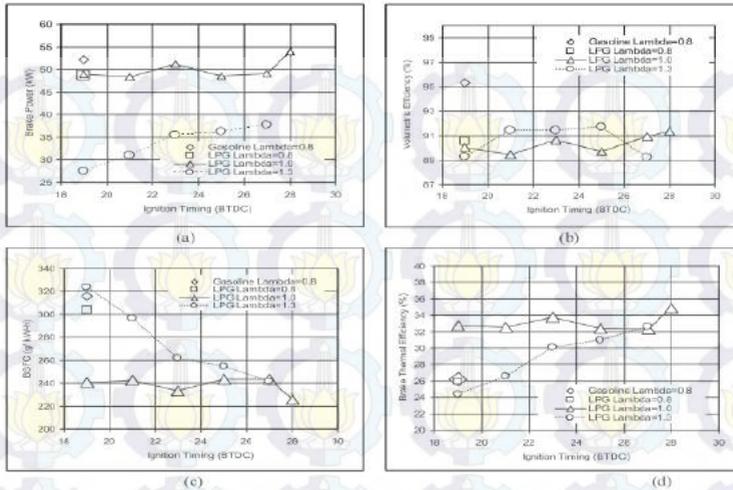
2.9.4 NO_x

Diantara berbagai jenis oksida nitrogen yang ada di udara, nitrogen dioksida (NO₂) merupakan gas yang paling beracun. Percobaan pada manusia menyatakan bahwa kadar NO₂ sebesar 250 µg/m³ dan 500 µg/m³ dapat mengganggu fungsi saluran pernafasan pada penderita asma dan orang sehat.

2.10 Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian terdahulu terkait penggunaan sistem injeksi pada internal combustion engine adalah sebagai berikut :

1. **Baris [11]**, dari Uludag University of Science and technology meneliti performa *gasoline engine* dengan mengatur sudut pengapian. Melalui variasi sudut pengapian mendapatkan perbandingan advance pengapian pada 18, 20, 22, 24, 26, 28 dan 30 BTDC. Penelitian dilakukan untuk variasi bahan bakar gasoline $\lambda = 0.8$, serta LPG dengan $\lambda = 0.8$, $\lambda = 1.0$, $\lambda = 1.3$. Pengujian dilakukan pada kondisi *Wide Open Throttle*. Dari pengujian yang dilakukan, terdapat kenaikan *Brake power*, *Volumetric efficiency* dan *thermal efficiency*, serta penurunan nilai *BSFC* relatif terhadap penggunaan gasoline $\lambda = 0.8$.



Gambar 2.16 Variasi (a) Brake power, (b) Volumetric efficiency, (c) BSFC, (d) Brake Thermal Efficiency

2. Yunas [12], dalam penelitiannya menambahkan aplikasi ECU IQutech-e pada mesin roadrace 130cc ini terjadi perbaikan unjuk kerja dibandingkan dengan menggunakan mesin dengan karburator. Dari penelitian ini , ECU iqueteche dapat berkerja dengan baik dalam kondisi sesuai karakteristik motor roadrace dan mendapatkan mapping pengapian serta air fuel ratio sehingga proses pembakaran berjalan dengan sempurna dan menghasilkan keluaran daya yang maksimal,effisiensi yang lebih baik dan menghasilkan gas emisi yang lebih rendah. Dimana angka perolehan torsi tertinggi sebesar 6.49lbf.ft,hp sebesar 6.82 hp,bmep sebesar 713 kpa,sfc sebesar 0.34 kg/hp.jam,dan effisiaensi sebesar 27,46%.

Tabel 2.2 unjuk kerja mesin roadrace130cc karburator vs IQutech-e, Yunas [12]

Unjuk kerja	Rpm	Karburator	IQutech-e	Kenaikan unjuk kerja
Torsi (lb.ft)	6500	5.746	6.49	0.744
Daya (hp)	6500	6.5	6.82	0.32
Bmep (kpa)	4500	658	713	55
Sfc (kg/hp.jam)	4000	0.44	0.34	0.1
η (%)	6500	20.1 (%)	27.46 (%)	7.45 (%)

3. **Fahmi [13]**, dalam penelitiannya yang membandingkan antara ECU standar Yamaha Vixion dengan ECU IQutech-e. Pengujian mesin Yamaha vixion dengan menggunakan ECU iquteche meningkatkan efisiensi sebesar 11,9%, peningkatan torsi 0,22 N.m, peningkatan daya 0,2 hp, peningkatan bmep 18,3 kpa, dan penurunan sfc 0,025 kg/hp.jam. Dari hasil pengujian ini maka dapat disimpulkan bahwa dengan proses *mapping* yang tepat dengan menggunakan ECU iquteche akan meningkatkan efisiensi lebih besar jika dibandingkan menggunakan ECU Standard.

Tabel 2.3 Unjuk kerja Yamaha vixion ECU standar vs IQutech-e, Fahmi[13].

Unjuk Kerja	Rpm	Karburator	IQutech-e	Kenaikan unjuk kerja
Torsi (lb.ft)	7000	11.79	12.01	0.22
Daya (hp)	7000	11.6	11.8	0.2
Bmep (kpa)	7000	1011.12	1029.42	18.3
Sfc (kg/hp.jam)	5500	0.13	0.105	0.025
η (%)	5500	50.2 (%)	62.1 (%)	11.9 (%)

4. **Nargis [3]**, dalam penelitiannya bertujuan untuk mengetahui pengaruh kecepatan *engine* dan *advance* sudut pengapian terhadap engine berbahan bakar gasoline dan *Compressed Natural Gas*. Penelitian dilakukan tanpa

memodifikasi konstruksi *engine*. Bahan bakar CNG dimasukan ke dalam *engine* dengan menggunakan *mixer*. Variasi sudut pengapian yang digunakan adalah 10, 15, 20 BTDC. Sedangkan variasi kecepatan *engine* mulai dari 2000 rpm hingga 2900 rpm dengan interval 100 rpm. Hasil dari penelitian tersebut adalah sebagai berikut. [3]

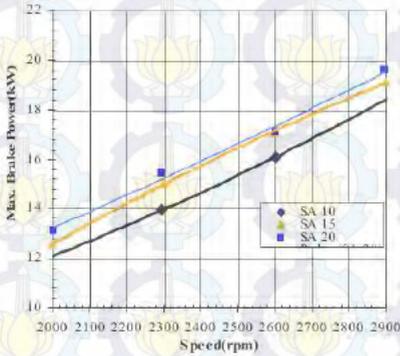


Fig 2. Maximum Brake power for NG

(a)

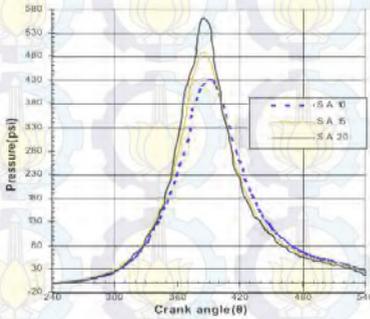


Fig 11. Cylinder Pressure variation for gasoline

(c)

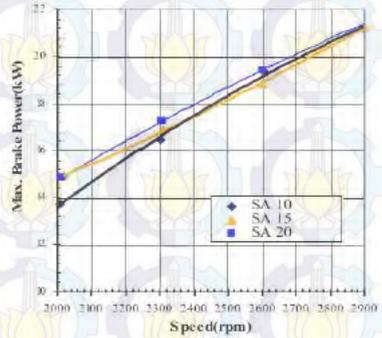


Fig 1. Maximum Brake power for Gasoline

(b)

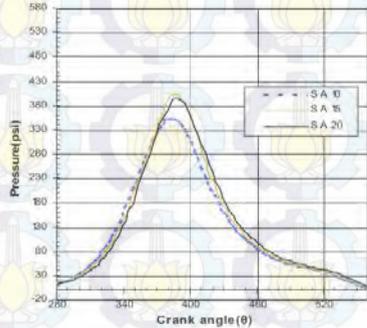


Fig 12. Cylinder Pressure variation for NG

(d)

Gambar 2.17 (a) Grafik brake power vs rpm (gasolin), (b) Grafik brake power vs rpm (CNG), (c) Grafik P-θ gasoline, (d) Grafik P-θ CNG

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan empat tahapan sebagai berikut:

- Tahap pertama adalah studi literatur tentang bahan bakar varian PERTALITE sesuai dengan data sekunder yang didapatkan dari laboratorium uji PERTAMINA, dan perkembangan sistem injeksi bahan bakar serta *advance timing* pengapian pada *engine* berbahan bakar bensin, serta melakukan analisa terhadap kelebihan dan kekurangannya dari sistem terdahulu.
- Tahap kedua adalah perancangan Electronic Control Unit hingga proses pembuatan dan perakitan di *engine* SINJAI.
- Tahap ketiga adalah proses pengujian untuk membandingkan hasil unjuk kerja penggunaan bahan bakar Peralite dan premium sebagai data kontrol. Pengujian dilakukan untuk mendapatkan data putaran, torsi, konsumsi bahan bakar spesifik, dan hasil uji emisi.
- Tahap keempat adalah proses pengujian yang disertai dengan pemetaan *advance ignition timing* dengan harapan didapatkan titik optimum pengapian untuk tiap bahan bakar fungsi rpm.

3.2 Perancangan ENGINE CONTROL UNIT (ECU)

3.2.1 Komponen Rancangan

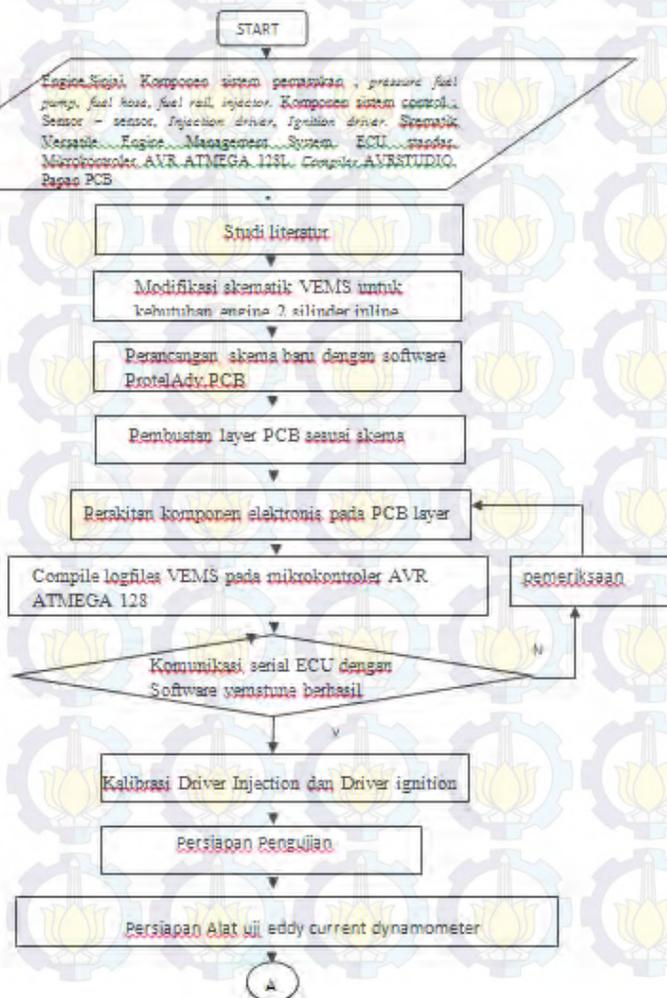
Adapun komponen-komponen yang di rancang adalah sebagai berikut:

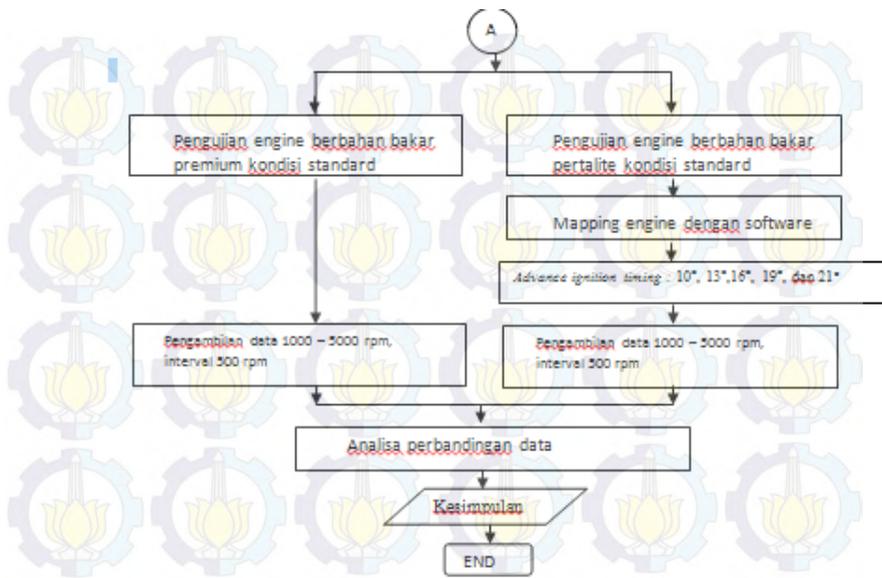
- *Skematik Rancangan ECU yang kompatibel dengan software Vemstune*
- *PCB (Printed Circuit Board)*
- *Pengapian sistem Capacitive Discharge Ignition Programmable*

Sedangkan komponen sistem pemasukan bahan bakar seperti, *fuel hose, common rail, high pressure pump* dan *injector*

merupakan komponen *after market* dengan spesifikasi *fuel system* mesin Toyota Kijang Innova.

3.2.2 Flowchart Perancangan dan Pengujian



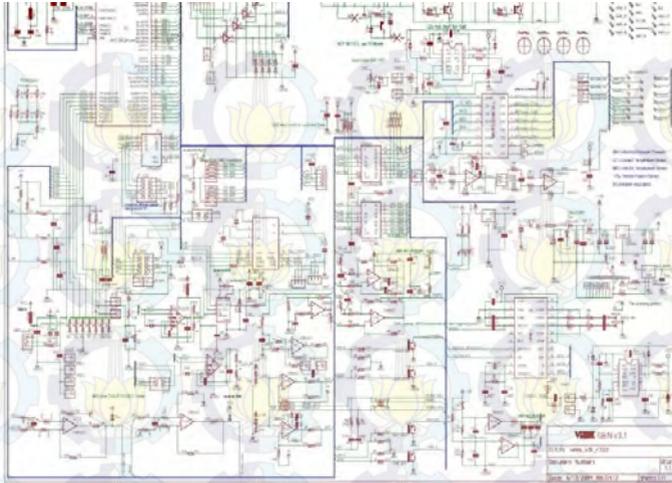


Gambar 3.1 Flowchart perancangan dan pengujian

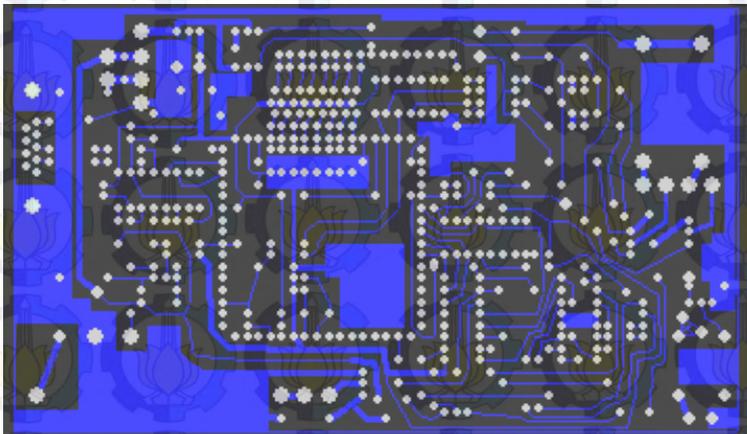
3.2.3 Prosedur Perancangan ENGINE CONTROL UNIT

- Modifikasi skematik *Versatile engine management system* untuk kebutuhan *engine* 2 silinder segaris.

Modifikasi ini dimaksudkan untuk menyederhanakan skematik atau pola yang dimiliki oleh VEMS yang memang didesain untuk kendaraan multi silinder sesuai dengan kebutuhan pengujian. Dengan meminimalisir skematik tersebut, maka skema baru yang dibuat diharapkan dapat lebih presisi karena memang dimaksudkan untuk kebutuhan mesin 2 silinder *in-line*.

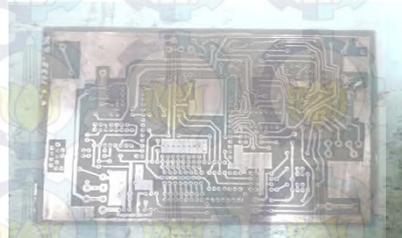


Gambar 3.2 Skematik Versatile Engine Management System



Gambar 3.3 Bottom layer pada skema yang telah dimodifikasi

- *Manufacturing* dan pengadaan komponen
Penerapan skematik pada *Printed Circuit Board*, pengerjaan ini dilakukan dengan metoda sablon sebelum dilakukan proses etsa menggunakan senyawa nital.



Gambar 3.4 Printed Circuit Board sebelum di etsa

Gambar 3.5 Printed Circuit Board setelah di etsa

- Perakitan komponen elektris
Seluruh komponen elektris penunjang *Engine Control Unit* termasuk mikrokontroler AVR ATMEGA 128L yang telah *dicompile* dengan software AVRSTUDIO di-*assembly* pada *PCB layer*.



Gambar 3.6 Rangkaian elektris Engine Control Unit

Gambar 3.7 Mikrocontroller AVR ATMEGA 128 L

3.3 Pengujian unjuk kerja engine

Pengujian dilakukan pada mesin bensin empat langkah dengan putaran mesin bervariasi (*variable speed*). Tempat pengujian dilakukan di Laboratorium Teknik Pembakaran dan Bahan Bakar Teknik Mesin-ITS, Surabaya. Untuk mendapatkan hasil penelitian yang baik, penelitian ini dibagi ke dalam 3 variabel :

1. Variabel Bebas : pengondisian *ignition timing*, bahan bakar.
2. Variabel Terikat : Torsi output, Daya output, bsfc, bmep, efisiensi thermal, emisi gas buang hasil pembakaran.
3. Variabel Kontrol : Engine LJ276MT-2 SINJAI, rpm pengujian, pembebanan, pelumasan,

3.3.1 Alat Uji

Peralatan uji yang digunakan dalam penelitian ini antara lain sebagai berikut :

1. Mesin bensin 4 (empat) langkah dengan spesifikasi :
 - Model : LJ276MT-2 SINJAI
 - Jumlah Silinder : 2 Silinder segaris
 - Pendinginan mesin : Radiator
 - Diameter x langkah : 76 x 71 mm
 - Rasio kompresi : 9,0 : 1
 - Daya maksimum : 18 kW pada putaran 4000 rpm
 - Torsi maksimum : 49 N.m pada putaran 2700 – 3300 rpm
 - Kecepatan idle : 900 ± 50 rpm
 - Volume langkah : 0,322 liter per silinder
 - Arah putaran : CCW (*Counter Clockwise*)
 - *Valve timing*
 - *Intake valve* membuka : 23° BTDC

- *Intake valve* menutup : 53° ABDC
- *Exhaust valve* membuka : 53° BBDC
- *Exhaust valve* menutup : 23° ATDC
- Celah katup inlet : 0,09 ± 0,2 mm (*cold*) ;
0,15 ± 0,2 mm (*hot*)
- Celah katup exhaust : 0,18 ± 0,2 mm (*cold*) ;
0,25 ± 0,2 mm (*hot*)

2. Injektor

Injektor yang digunakan adalah injektor dengan sistem pemasukan bahan bakar secara *port injection*.



Gambar 3.8 Injektor

3. Blower Fan

Digunakan untuk membantu pendinginan mesin selama pengujian agar tidak terjadi *overheating*.

- Model : CKE
- SF45H
- Ukuran : 450 mm
- *Frequensi/Speed* : 50 Hz/2800 rpm
- Volts : 220-240V
- Fase : 1



Gambar 3.9 Blower

4. Alat ukur

Alat ukur yang digunakan selama pengujian terdiri dari :

a. *Eddy Current Dynamometer*

- Merk : DYNomite
- Load Cell : S beam 500lbs
- rpm counter : RPM A engine- dynamite



Gambar 3.10 Eddy Current
Dynamometer

- b. Stop Watch
- Merk : CASIO
 - Tipe : HS-3
 - Akurasi : 0,01 detik



Gambar 3.11 Stop Watch

- c. Tabung ukur waktu konsumsi bahan bakar
- Merek : IWAKI pyrex
 - Kapasitas : 25 ml
 - Akurasi : 0,03 ml



Gambar 3.12 Tabung Ukur

- d. Alat pengukur putaran mesin (*strobotester*)
- Merk : CZ SINCRO
 - Tipe : DG-85
 - Range : 0 – 99999 RPM
 - Akurasi : 1 digit
 - Sistem Pengukuran : Digital



Gambar 3.13 Strobotester

- e. Exhaust Gas Analyzer
- Merk : STARGAS
 - Voltage : $220 \pm 15 \%$
 - Hz : $50 \pm 30 \%$
 - Watt : 100



Gambar 3.14 Exhaust gas analyzer

- Temperatur : 5 – 40 °C
- Tekanan : ± 5 kpa
- Pump : 8 L/min
- Zero set : Otomatis
- Range : CO:0-19,9% ; O2:0-25% ; CO:0- 9,99% ; HC:0-9999ppm

f. Thermocouple digital

Untuk mengukur temperatur gas buang, temperatur udara masuk, temperatur mesin, temperatur pendingin (radiator), dan temperatur minyak pelumas.



Gambar 3.15 Thermocouple Digital

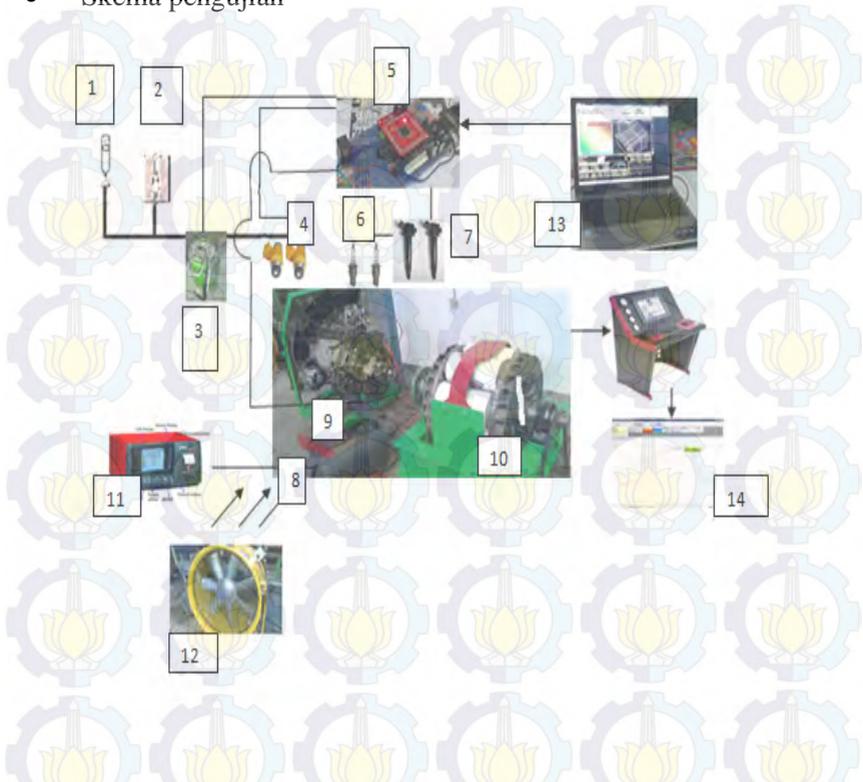
Sistem kontrol :



Gambar 3.16 A. Throttle position sensor, B. Idle air control, C. Crankshaft position sensor, D. ECT Sensor, E. Manifold absolute Pressure, F. O₂ Sensor, G. ECU programmable SUMI-IT

3.3.2 Prosedur Pengujian

- Skema pengujian



Gambar 3.17 Skema pengujian

Keterangan:

- | | | |
|------------------------------|--------------------------------------|---|
| 1. <u>Tangki bahan bakar</u> | 8. <u>Sensor sensor pendukung</u> | 12. <u>Blower</u> |
| 2. <u>Gelas ukur</u> | 9. <u>Crankshaft position sensor</u> | 13. <u>Tuning Software VEMS</u> |
| 3. <u>Fuel Pump Mandiri</u> | 10. <u>Eddy Current Dynamometer</u> | 14. <u>Display Torsi dan rpm DYNomite</u> |
| 4. <u>Injektor</u> | 11. <u>Gas Analyzer</u> | |
| 5. <u>ECU</u> | | |
| 6. <u>Busi</u> | | |
| 7. <u>Coil</u> | | |

- **Tahapan Pengujian**

Pada penelitian ini, pengujian mesin SINJAI dilakukan dengan menggunakan 3 pengondisian berbeda, yakni penggunaan bahan bakar Premium dengan ECU standar, penggunaan Peralite ECU standar, dan penggunaan bahan bakar Peralite dengan *mapping ignition timing*. Pengujian dilakukan pada kondisi katup kupu-kupu terbuka penuh (*full open throttle*). Untuk mendapatkan hasil pengujian yang tepat dan akurat, ada beberapa langkah yang harus dilakukan yaitu:

A. Persiapan pengujian

Adapun tahapan dari persiapan pengujian adalah sebagai berikut :

1. Melakukan pemeriksaan terhadap kondisi fisik mesin, minyak pelumas, sistem pendinginan, sistem pemasukan bahan bakar, dan sistem kelistrikannya.
2. Memeriksa kondisi kelaikan *Eddy Current dynamometer test*.
3. Pengecekan terhadap kualitas alat ukur yang akan digunakan.
4. Mempersiapkan alat tulis dan tabel pengujian untuk pengambilan data.

B. Pengujian engine dengan menggunakan ECU standar berbahan bakar Premium.

Percobaan ini dilakukan pada putaran mesin yang bervariasi (*variable speed*) mulai dari putaran 1000 rpm hingga 5000 rpm. Pengaturan putaran mesin dilakukan melalui pembebanan elektrik yang telah dikopel dengan poros mesin SINJAI dengan menggunakan prinsip *eddy current*. Berikut adalah langkah-langkah yang dilakukan selama pengujian mesin kondisi standar :

1. Menghidupkan mesin pada putaran idle (± 950 rpm) selama 10 menit untuk mencapai kondisi stasioner.
2. Blower dihidupkan.
3. Membuka katup kupu-kupu hingga terbuka penuh (*full open throttle*). Pada kondisi ini putaran mesin sebesar 5000 rpm

dan merupakan putaran maksimum dari mesin. Selama putaran maksimum, *tidak dilakukan pembebanan pada eddy current dynamometer*.

4. Pembebanan *eddy current dynamometer* sehingga putaran mesin berada pada 1000 rpm untuk kemudian dilakukan pengambilan data dengan interval 500 rpm.
5. Jika putaran mesin sudah stabil maka pencatatan data dapat dilakukan, meliputi data putaran mesin (rpm), torsi (Lbf.ft), waktu konsumsi 25 ml bahan bakar premium (sekon), emisi CO (% volume), , emisi CO₂ (% volume), emisi HC (ppm volume), lamda (λ), temperatur gas buang (°C), temperatur head (°C), dan temperatur oli (°C).
6. Pada setiap tahap kenaikan putaran mesin dilakukan pencatatan data seperti pada poin 5 (lima). Dan harus diingat bahwa pencatatan data dilakukan pada saat putaran mesin dalam kondisi stabil.

C. Pengujian engine dengan menggunakan ECU standar berbahan bakar Pertalite.

Percobaan ini dilakukan pada putaran mesin yang bervariasi (*variable speed*) mulai dari putaran 1000 rpm hingga 5000 rpm. Pengaturan putaran mesin dilakukan melalui pembebanan elektrik yang telah dikopel dengan poros mesin SINJAI dengan menggunakan prinsip *eddy current*. Berikut adalah langkah-langkah yang dilakukan selama pengujian mesin kondisi standar :

1. Mengosongkan tangki mandiri dan melakukan penggantian bahan bakar bensin dengan PERTALITE.
2. Menghidupkan mesin pada putaran idle (± 950 rpm) selama 10 menit untuk mencapai kondisi stasioner.
3. Blower dihidupkan.
4. Membuka katup kupu-kupu hingga terbuka penuh (*full open throttle*). Pada kondisi ini putaran mesin sebesar 5000 rpm dan merupakan putaran maksimum dari mesin. Selama

putaran maksimum, *tidak dilakukan pembebanan pada eddy current dynamometer.*

5. Pembebanan *eddy current dynamometer* sehingga putaran mesin berada pada 1000 rpm untuk kemudian dilakukan pengambilan data untuk tiap kelipatan 500 rpm.
6. Jika putaran mesin sudah stabil maka pencatatan data dapat dilakukan meliputi data putaran mesin (rpm), torsi (Lbf.ft), waktu konsumsi 25 ml bahan bakar premium (sekon), emisi CO (% volume), emisi CO₂ (% volume), emisi HC (ppm volume), lamda (λ), temperatur gas buang (°C), temperatur head (°C), dan temperatur oli (°C).
7. Pada setiap tahap kenaikan putaran mesin dilakukan pencatatan data seperti pada poin 5 (lima). Dan harus diingat bahwa pencatatan data dilakukan pada saat putaran mesin dalam kondisi stabil.

D. Pengujian engine dengan menggunakan ECU programmable berbahan bakar PERTALITE.

1. Memastikan kembali kondisi kesiapan mesin, baik dari kondisi fisik, sistem kelistrikan, sistem pendingin, sistem pemasukan udara dan bahan bakar, sistem pengapian, kondisi alat ukur, dan mensetting ECU dengan memasukkan mapping awalan yang sudah *advanced*. Dimana settingan ini berupa mapping pengapian, durasi injeksi bahan bakar dan besarnya lambda yang diharapkan.
2. Mengosongkan tangki mandiri dan melakukan penggantian bahan bakar bensin dengan PERTALITE.
3. Memasukkan input data waktu pengapian 10 derajat sebelum TMA ke penyetelan waktu pengapian (RPM/TPS Ignition). Inputan data ini dimasukkan ke semua data pada bukaan TPS 79-99%.
4. Menghidupkan mesin selama 10 menit pada putaran idle agar kondisi mesin stasioner (*steady state*) sebelum pengujian dimulai.
5. Blower dihidupkan.

6. Katup kupu-kupu dibuka penuh (*full open throttle*) sehingga putaran maksimum mesin dapat tercapai, yakni sekitar 5000 rpm. Pada putaran maksimum tersebut, *tidak dilakukan pembebanan pada eddy current dynamometer*.
7. Pembebanan *eddy current dynamometer* sehingga putaran mesin berada pada 1000 rpm untuk kemudian dilakukan pengambilan data untuk tiap kelipatan 500 rpm.
8. Jika putaran mesin sudah stabil maka pencatatan data dapat dilakukan meliputi data putaran mesin (rpm), torsi (Lbf.ft), waktu konsumsi 25 ml bahan bakar premium (sekon), emisi CO (% volume), emisi CO₂ (% volume), emisi HC (ppm volume), lamda (λ), temperatur gas buang (°C), temperatur head (°C), dan temperatur oli (°C).
9. Pada setiap tahap kenaikan putaran mesin dilakukan pencatatan data seperti pada poin 8 (delapan). Dan harus diingat bahwa pencatatan data dilakukan pada saat putaran mesin dalam kondisi stabil.
10. Ulangi langkah 2-8 untuk variasi *mapping advance ignition timing yang terbaik*.

E. Akhir pengujian

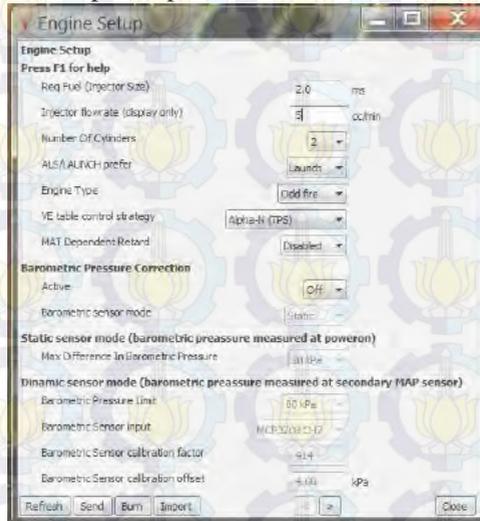
1. Pengujian berakhir setelah semua data dicatat.
2. Setelah pengujian selesai, pembebanan pada *eddy current dynamometer* diturunkan secara perlahan-lahan.
3. Putaran mesin diturunkan hingga kondisi idle (950±50 rpm).
4. Pada saat putaran idle, mesin dibiarkan sekitar lima menit sebelum dimatikan. Setelah itu mesin dapat dimatikan.

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengaturan Engine Control Unit

a. Engine setup

Pada menu *engine setup*, berisi informasi mengenai spesifikasi engine, seperti *injector size*, jumlah silinder, serta strategi pembacaan posisi piston.



Gambar 4.1 Mode engine set up

Injector size adalah durasi waktu penyemprotan bahan bakar setiap siklus. Semakin besar *injector size*, maka durasi waktu penyemprotan bahan bakar dalam satu siklus semakin lama, sehingga jumlah bahan bakar yang disemprotkan semakin banyak. Begitu juga sebaliknya, semakin kecil *injector size* maka durasi waktu penyemprotan bahan bakar dalam satu siklus semakin cepat, sehingga jumlah bahan bakar yang disemprotkan semakin sedikit.

b. *Primary Trigger Setting*

Digunakan untuk mengatur posisi trigger tiap putaran mesin. Pada engine SINJAI, digunakan 24 teeth pada satu putaran engkol tipe missing tooth. Dimana terdapat satu gigi yang hilang untuk mengetahui TDC *after the trigger*. TDC *after the trigger* adalah derajat letak sensor dari titik mati atas.



Gambar 4.2 Mode primary trigger setting

Sedangkan untuk tuning engine digunakan tabel RPM/TPS VE table dan RPM/TPS Ignition pada tuning VEMS Tune.

4.1.1 Menu Utama (*overview*)



Gambar 4.3 Menu utama dari vemstune

Merupakan tampilan pertama saat computer sudah terhubung dengan *engine control unit*. Menu ini menampilkan fungsi sensor yang ada pada mesin.

Adapun kegunaan dari masing-masing display yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. *RPM display*, display ini merupakan pembacaan dari sensor pulser yang terpasang pada primary trigger yang terletak pada *flywheel*.
2. *Throttle positioning*, display ini merupakan pembacaan dari sensor TPS dimana saat katup kupu-kupu tertutup dinyatakan dalam 0% dan saat katup kupu-kupu terbuka penuh dinyatakan dalam 100%.
3. *Pulse width*, display ini merupakan pembacaan dari jumlah bahan bakar yang disemprotkan melalui injektor. Dimana setiap perubahan putaran mesin membutuhkan jumlah bahan bakar yang berbeda pula.
4. *Spark angle*, display ini merupakan pembacaan dari waktu pengapian yang dipercikkan oleh busi. Waktu pengapian ini ditentukan melalui setingan yang dibuat.
5. *MAP*, display ini merupakan pembacaan dari sensor MAP yang diletakkan pada manifold mesin ini.
6. *Lambda*, display ini merupakan pembacaan dari sensor oksigen yang diletakkan pada saluran gas buang.

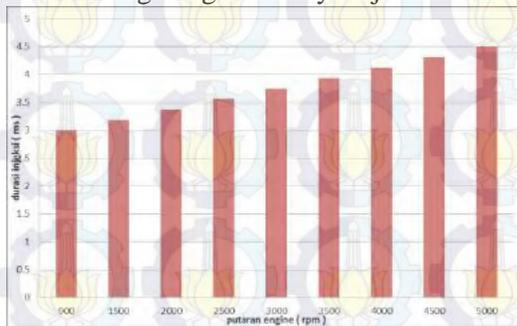
4.1.2 Menu penyetelan bahan bakar.

Pada menu penyetelan bahan bakar, ada dua sumbu yang menunjukkan setelan jumlah bahan bakar yang disemprotkan. Dimana sumbu vertikal menunjukkan bukaan katup kupu-kupu dalam bentuk prosentase bukaan, sedangkan sumbu horizontal menunjukkan besarnya putaran yang digunakan.

	100	500	800	1000	1100	1500	2000	2500	3000	3500	3700	4000	4500	5000	6000
99	109	114	122	129	135	142	151	160	169	178	187	196	205	214	229
90	106	112	116	122	126	139	142	147	152	158	163	172	182	189	202
79	103	108	114	119	124	129	135	140	146	153	159	169	177	183	191
70	101	106	112	116	120	128	134	139	142	148	155	168	174	180	188
59	96	102	108	113	118	124	129	135	141	148	152	157	164	170	178
50	92	98	101	106	110	114	119	124	129	133	139	142	154	159	163
38	86	92	96	101	104	108	116	123	128	134	139	143	147	153	158
30	82	88	91	97	103	108	113	118	123	128	134	139	143	148	154
30	78	83	88	93	98	103	108	113	118	123	128	133	138	143	148
20	89	74	79	84	89	94	99	104	109	114	124	129	134	139	144
18	87	72	77	82	87	92	97	102	107	113	117	122	127	132	137
14	83	68	73	78	83	88	93	98	103	108	113	118	123	128	133
7	80	55	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130
0	100	120	100	80	10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Gambar 4.4 VE Table

Dalam VE tabel tersebut terdapat angka yang berbeda beda. Angka 101, 122, 153 dan lain lain menunjukkan prosentase dari injector size pada setingan engine set up. Pada bukaan katup kupu kupu 0 hanya diisi sejumlah bahan bakar sampai putaran 1000 rpm. Hal ini dikarenakan pada bukaan katup 0 difungsikan sebagai kondisi mesin idle saja. Selain itu semakin besar bukaan katup menunjukkan semakin banyak pula udara yang masuk sehingga prosentase bahan bakar diperbesar untuk mencapai target $\lambda = 1$. Pada gambar 4.5 ditunjukkan durasi penyemprotan bahan bakar untuk semua variasi pengapian. Semakin tinggi putaran engine, dibutuhkan durasi injeksi yang semakin lama seiring dengan naiknya laju aliran massa udara.



Gambar 4.5 Grafik durasi injeksi

4.1.3 Menu Penyetelan Waktu Pengapian

Pada menu penyetelan waktu pengapian, terdapat dua sumbu yang menunjukkan setelan waktu pengapian. Dimana sumbu vertikal menunjukkan bukaan katup kupu-kupu dalam bentuk prosentase bukaan, sedangkan sumbu horizontal menunjukkan besarnya putaran yang digunakan.

	100	500	1000	1200	1500	2000	2500	3000	4000	5000	5500	6000
99	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
90	12.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
79	13.00	10.00	10.00	12.00	12.00	12.00	12.00	13.00	15.00	17.00	20.00	25.00
70	10.00	10.00	10.00	12.00	12.00	12.00	12.00	13.00	15.00	17.00	20.00	25.00
59	10.00	10.00	10.00	12.00	12.00	12.00	12.00	13.00	15.00	17.00	20.00	25.00
50	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	12.00	12.00	13.00	15.00	17.00	20.00	25.00
38	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	12.00	12.00	13.00	15.00	17.00	20.00	25.00
30	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	12.00	12.00	13.00	15.00	17.00	20.00	25.00
18	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	12.00	12.00	13.00	15.00	17.00	20.00	25.00
14	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	12.00	12.00	13.00	15.00	17.00	20.00	25.00
7	13.00	13.00	11.00	11.00	11.00	12.00	12.00	13.00	15.00	17.00	20.00	25.00
0	15.00	15.00	13.00	11.00	11.00	12.00	12.00	13.00	15.00	17.00	20.00	25.00

Gambar 4.6 Menu penyetelan waktu pengapian

Pada VE table tersebut, angka 10 dan lain lain merupakan waktu pengapian dimana waktu itu menunjukkan derajat pengapian sebelum TMA. Sebelum ditemukan setelan pengapian yang cocok, digunakan setelan seperti pada gambar 4.6 sampai pada bukaan katup 80 %. Dan pengujian dilakukan pada bukaan katup 80% - 99%. Sehingga waktu pengapian tetap untuk setiap putaran.

4.2 Perhitungan

Di dalam penelitian ini, terdapat parameter parameter yang dihitung dan parameter parameter yang diukur. Parameter yang dihitung adalah daya efektif (bhp), tekanan efektif rata-rata (bmep), konsumsi bahan bakar spesifik (sfc), dan efisiensi thermal. Sedangkan parameter parameter yang diukur yaitu, torsi, waktu konsumsi bahan bakar, emisi gas buang meliputi CO, CO₂, dan HC. Dalam penelitian ini satuan yang digunakan untuk perhitungan adalah satuan SI. Untuk contoh perhitungan unjuk kerja digunakan adalah data pertalite standar pada putaran 4500

rpm. Adapun data yang diukur pada penelitian ini yang merupakan data awal adalah sebagai berikut:

- Torsi = 30.53 lbf.ft
- Putaran Poros = 4500 rpm
- Waktu konsumsi bahan bakar = 11.76 s
- Emisi gas buang CO = 0.0031 %
- Emisi gas buang HC = 36
- Emisi gas buang CO₂ = 13.42 %
- Temperatur gas buang = 478°C
- Temperatur oli = 122°C
- Temperatur silinder head = 114°C

4.2.1 Perhitungan Torsi

Dari hasil pengujian didapatkan nilai torsi pada saat putaran mesin sebesar 4500 rpm adalah 30.53lbf ft. Pada penelitian ini, satuan digunakan adalah satuan SI, maka hasil tersebut harus dikonversikan. Konversi yang dilakukan sebagai berikut :

$$T = 30.53 \text{ lbf ft} \times \frac{4,448 \text{ N}}{1 \text{ lbf}} \times \frac{1 \text{ m}}{3,2808 \text{ ft}} = 41.39 \text{ Nm}$$

4.2.2 Perhitungan Daya

Daya yang dihasilkan oleh motor pembakaran dalam ada 3 jenis, yaitu *indicative horse power (ihp)*, *brake horse power (bhp)*, dan *friction horse power (fhp)*. Daya yang digunakan dalam perhitungan ini adalah *brake horse power (bhp)*. Untuk mendapatkan bhp, digunakan data data sebagai berikut :

- ✓ Torsi = 41.39 Nm
- ✓ Putaran Poros = 4500 rpm = 75 rps

Rumus :

$$\text{Bhp} = 2 \times \pi \times n \times T$$

$$\text{bhp} = 2 \times 3,14 \times 75.0 \frac{1}{s} \times 41.39 \text{ Nm}$$

$$\text{bhp} = 19495.43 \text{ Watt}$$

4.2.3 Perhitungan Tekanan Efektif Rata-Rata (bmep).

Untuk melakukan perhitungan tekanan efektif rata-rata diperlukan beberapa parameter dari karakteristik mesin. Adapun data data mesin dan perhitungan tekanan efektif rata rata adalah sebagai berikut:

Data awal :

- ✓ Diameter Piston (D) = 76 mm
- ✓ Panjang Langkah (l) = 71 mm
- ✓ Jumlah silinder (i) = 2
- ✓ z = 2 (motor 4 langkah)
- ✓ Putaran mesin = 3500 rpm = 58.33 rps

Dari data diameter piston, dapat dicari luas permukaan piston (A) yaitu :

$$A = \frac{\pi}{4} \times D^2 = \frac{3,14}{4} \times (0,076 \text{ m})^2 = 4,5342 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

Rumus :

$$bmep = \frac{bhp \times z}{A \times l \times n \times i}$$

$$bmep = \frac{19495.43 \text{ Watt} \times 2}{4,5342 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \times 0,071 \text{ m} \times 75 \frac{1}{s} \times 2}$$

$$bmep = 660633.65$$

4.2.4 Perhitungan Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (sfc)

Data Awal :

Waktu konsumsi bahan bakar = 11,76 s

Dari data yang ada dan perhitungan yang telah dilakukan di atas, dapat dihitung konsumsi bahan bakar spesifik (sfc) dari engine.

Rumus yang digunakan:

$$sfc = \frac{\dot{m}_{bb}}{bhp}$$

Oleh karena itu perlu dihitung pula besarnya laju alir bahan bakar.

$$\dot{m}_{bb} = \frac{\rho_{pentalite} \times Volume}{waktu}$$

$$\dot{m}_{bb} = \frac{770 \frac{kg}{m^3} \times 25 \cdot 10^{-6} m^3}{11.76 s}$$

$$\dot{m}_{bb} = 0,001294553 \frac{kg}{s}$$

$$sfc = \frac{0,001294553 \frac{kg}{s}}{19495.43 Watt} \cdot \frac{1000 watt}{1 KW} \cdot \frac{3600 s}{1 Jam}$$

$$sfc = 0.302268701 \frac{kg}{KW.jam}$$

4.2.5 Perhitungan Efisiensi Thermal

Data :

✓ $Bhp = 19495.43 Watt$

✓ $SG_{pentalite} = 0,77$

✓ $^{\circ}API = \frac{141,5}{0,77} - 131,5 = 52.26$

Lalu melakukan perhitungan nilai kalor bawah dari bensin

$$NKB = (16610 + 40(^{\circ}API))0,55556 \frac{kKal}{kg}$$

$$NKB = 10389.33 \frac{kKal}{kg}$$

$$NKB = 43498058.3 \frac{J}{kg}$$

$$\eta_{th} = \frac{bhp}{(\dot{m}_{bensin} \times Q_{bensin})} \times 100\%$$

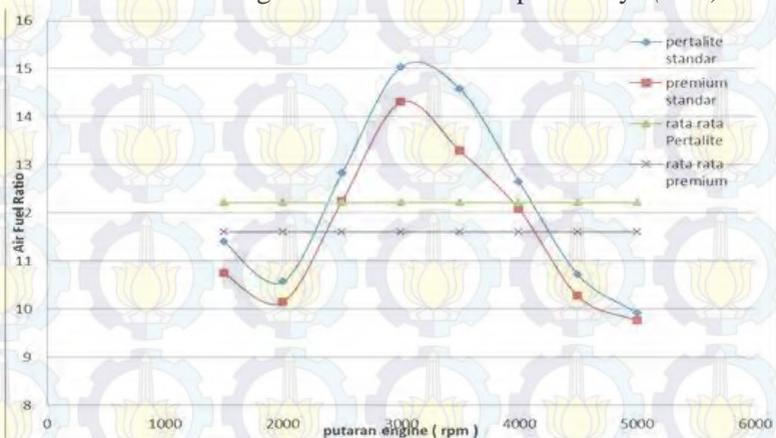
$$\eta_{th} = \frac{19495.43 \text{ Watt}}{\left(0,001294553 \text{ kg/s} \times 43498058.3 \frac{\text{J}}{\text{kg}}\right)} \times 100\%$$

$$\eta_{th} = 34.62 \%$$

4.3 Mapping Waktu Pengapian

4.3.1 Analisa Air Fuel Ratio

Air Fuel Ratio merupakan ukuran perbandingan antara massa udara dan massa bahan bakar per satuan waktu. Dimana ukuran tersebut akan dibandingkan dengan nilai AFR teoritis (14.7). Bila ukuran tersebut bernilai lebih besar dari AFR teoritisnya, maka campuran bahan bakar dan udara dikategorikan ke dalam campuran miskin (*lean*), sebaliknya bila ukuran bernilai lebih kecil dari AFR teoritisnya, maka campuran bahan bakar dan udara dikategorikan ke dalam campuran kaya (*rich*).



Gambar 4.7 Grafik AFR fungsi rpm

Dari grafik AFR fungsi rpm untuk bahan bakar premium dan pertalite yang diuji pada kondisi standard, didapatkan trendline AFR premium yang cenderung berada di bawah

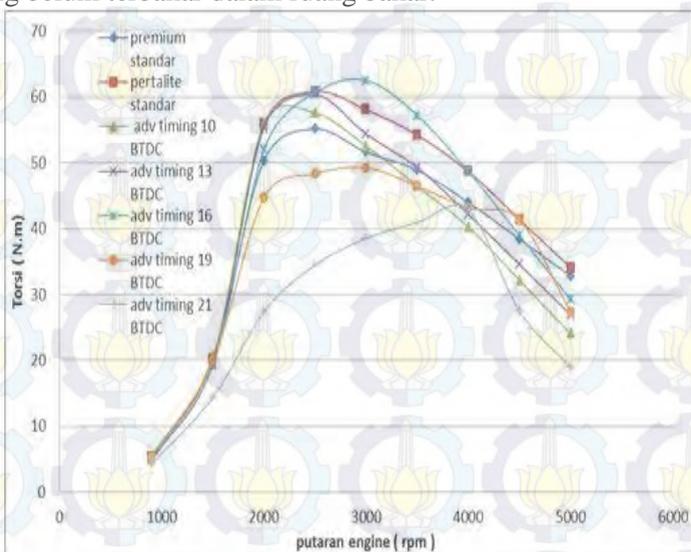
pertalite, hal ini menguatkan hipotesa mengenai pengaruh nilai *heat of vaporization* dari kedua bahan bakar terhadap proses pembakaran. Dengan nilai *heat of vaporization* Pertalite yang lebih besar dibanding Premium, diperkirakan menurunkan temperatur di ruang bakar dan menyebabkan nilai densitas udara naik. Seiring dengan naiknya nilai densitas udara, maka campuran bahan bakar dan udara dalam proses pembakaran juga cenderung campuran miskin (*lean*) dan mempengaruhi laju perambatan api di ruang bakar. Oleh karena itu, perlu dilakukan mapping waktu pengapian.

Selain itu, pada putaran 1500 sampai 2000 rpm, grafik AFR untuk kedua jenis bahan bakar cenderung campuran kaya, hal ini dikarenakan perangkat Idle Air Control, masih dalam kondisi normally closed sehingga mengurangi laju aliran udara. Pada putaran yang lebih tinggi AFR cenderung mendekati stoikiometri hingga putaran optimumnya.

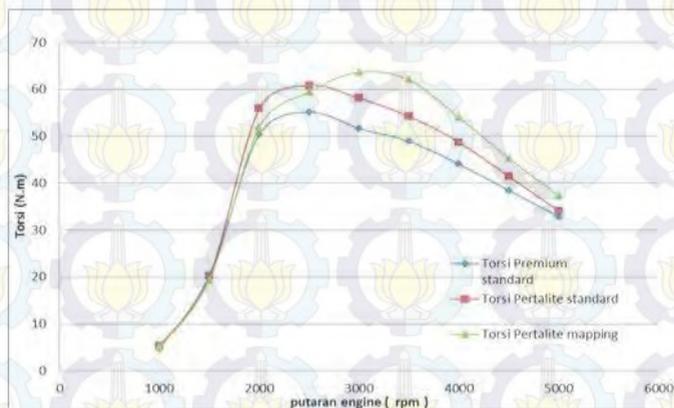
4.3.2 Analisa Torsi

Dari grafik torsi fungsi putaran, terlihat adanya tren kenaikan torsi mulai dari putaran rendah hingga mencapai torsi maksimum pada putaran tertentu, lalu torsi mengalami penurunan pada putaran yang lebih tinggi. Hal ini dikarenakan semakin tinggi putaran engine, maka turbulensi aliran yang masuk ke ruang bakar akan semakin tinggi dan menyebabkan pencampuran udara dengan bahan bakar semakin baik serta perambatan api juga semakin cepat sehingga torsi akan meningkat. Setelah putaran semakin tinggi, maka akan semakin besar kerugian-kerugian yang terjadi. Beberapa kerugian yang mungkin terjadi pada putaran tinggi di antaranya gesekan dan adanya pembakaran yang kurang sempurna. Semakin cepat putaran engine maka friksi yang terjadi juga semakin besar. Selain itu pembakaran campuran bahan bakar dan udara dalam ruang bakar juga memerlukan waktu. Ketika putaran tinggi, maka dimungkinkan pengapian yang terjadi tidak cukup cepat untuk membakar seluruh bahan bakar dalam ruang

bakar, atau dengan kata lain semakin banyak sisa bahan bakar yang belum terbakar dalam ruang bakar.



Gambar 4.8 Grafik Torsi fungsi rpm



Gambar 4.9 Grafik Torsi mapping fungsi rpm

Besarnya torsi berbanding lurus dengan tekanan yang dihasilkan dalam ruang bakar. Apabila tekanannya tinggi maka torsi yang dihasilkan tinggi. Pada grafik torsi fungsi rpm didapatkan torsi tertinggi bergeser ke kanan seiring dengan bertambahnya waktu pengapian. Pada pengapian 10 dan 13 derajat memiliki torsi tertinggi pada rpm rendah, tetapi nilai torsi turun seiring dengan bertambahnya putaran engine. Hal ini dikarenakan semakin cepat putaran mesin, dengan kecepatan rambat api yang sama, dibutuhkan waktu pengapian yang lebih cepat. Sedangkan pada putaran tinggi, dengan waktu pengapian 10 derajat sebelum TMA, piston mengalami ekspansi saat proses pembakaran belum mencapai peak pressure. Tekanan yang tidak maksimal ini, mengakibatkan gaya dorong piston juga tidak maksimal sehingga nilai torsi turun. Sedangkan pada setelan pengapian 16 derajat sebelum TMA, dari putaran rendah trendline grafik naik, sampai pada puncak maksimum torsinya pada putaran 3200 rpm dan turun seiring dengan bertambahnya putaran.

Fenomena lain terjadi pada advance ignition timing 21 derajat sebelum TMA, dimana nilai torsi baik pada putaran atas maupun bawah tidak bernilai optimal. Hal ini dikarenakan pada pengapian yang terlalu maju proses pembakaran dimulai pada kondisi ambient tekanan ruang bakar yang masih rendah.

Semakin miskin campuran, semakin dingin suhu dan semakin rendah tekanan ruang bakar, rambat pembakaran semakin lambat. Kombinasi lambatnya rambatan pembakaran, jauhnya jarak perambatan campuran (bore besar) dan meningkatnya putaran mesin, mengakibatkan ada campuran bahan bakar- udara yg belum terbakar (unburned gas). Pada siklus berikutnya unburned gas ini dapat memicu self ignition (knocking) seiring terjadinya peningkatan tekanan dan suhu di ruang bakar sebelum pengapian pada busi (pengapian normal) [14]. Hal ini mengakibatkan nilai peak pressure rendah yang berbanding lurus dengan nilai torsi.

4.3.2.1 Mapping ignition timing

Tabel 4.1 Mapping ignition timing

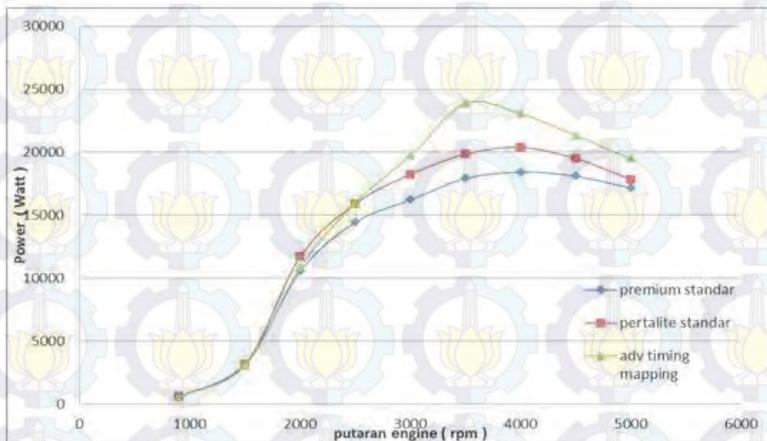
<i>Engine rpm</i>	<i>Advance ignition timing</i>
1000	10 ° BTDC
1500	10 ° BTDC
2000	13 ° BTDC
2500	13 ° BTDC
3000	16 ° BTDC
3500	16 ° BTDC
4000	16 ° BTDC
4500	19 ° BTDC
5000	19 ° BTDC

Tabel 4.2 Torsi mapping waktu pengapian (N.m)

engine rpm	premium standar	pertalite standar	adv timing mapping
900	4.60	5.355	5.043
1500	20.35	20.173	19.292
2000	50.35	55.871	51.898
2500	55.14	60.833	61.063
3000	51.64	58.081	62.880
3500	48.89	54.217	65.158
4000	44.01	48.699	53.959
4500	38.41	41.391	45.282
5000	32.81	34.083	37.215

4.3.3 Analisa Daya Efektif

Terdapat 3 jenis daya dalam motor pembakaran dalam, yaitu *indicative horse power (ihp)*, *brake horse power (bhp)*, dan *friction horse power (fhp)*. Pada putaran rendah, *fhp* relatif rendah dan akan semakin tinggi ketika putaran mesin semakin tinggi. Secara teoritis, ketika putaran mesin meningkat, maka daya juga akan meningkat karena daya merupakan perkalian antara torsi dengan putaran poros.



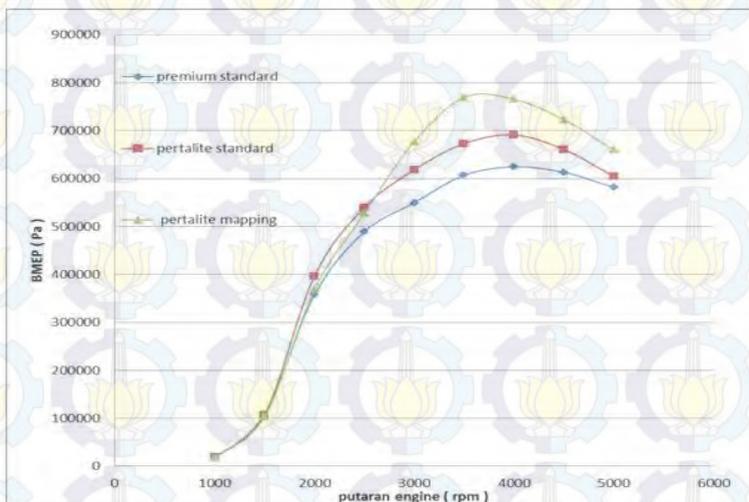
Gambar 4.10 Grafik daya efektif fungsi rpm

Semakin cepat putaran mesin, maka putaran poros juga akan semakin cepat. Akan tetapi, pada putaran tertentu, torsi dan friksi yang terjadi lebih besar daripada kenaikan putaran yang terjadi sehingga daya justru akan turun. Dengan proses mapping ignition timing yang dilakukan, terjadi kenaikan daya sebesar 461.19 Watt pada 3600 rpm relatif terhadap daya hasil unjuk kerja standar.

4.3.4 Analisa Tekanan Efektif Rata-Rata

Besarnya tekanan yang dialami piston berubah-ubah sepanjang langkah piston tersebut. Bila diambil tekanan yang

berharga konstan yang bekerja pada piston dan menghasilkan kerja yang sama, maka tekanan tersebut merupakan tekanan efektif rata-rata piston.

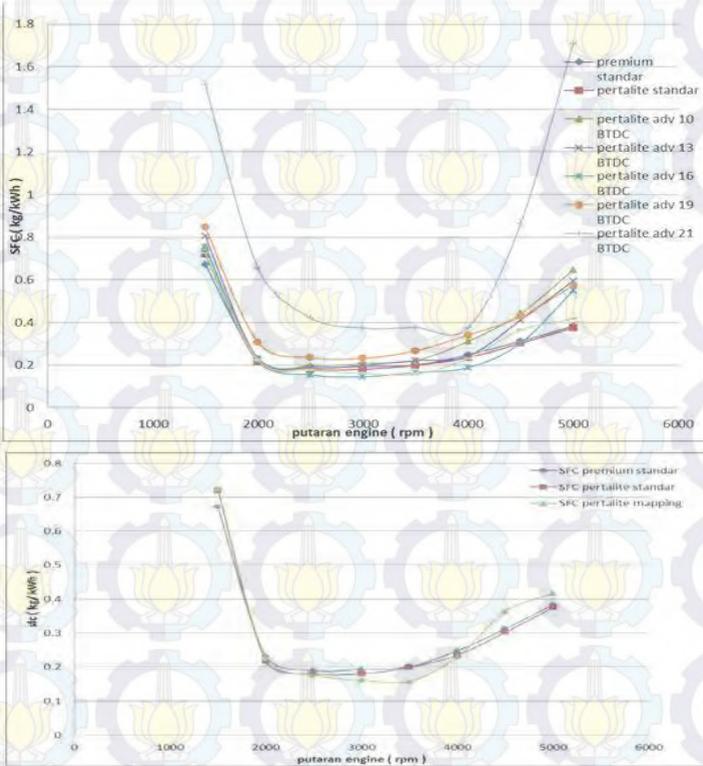


Gambar 4.11 Grafik bmeip fungsi rpm

Tekanan efektif rata-rata piston sangat dipengaruhi oleh waktu pengapian busi. Apabila waktu pengapian tidak tepat, maka tekanan piston akan menurun. Hal ini juga terlihat pada grafik bmeip fungsi rpm diatas. Pada pengapian 10 dan 13 derajat memiliki tekanan tertinggi pada rpm rendah, namun akan menurun seiring dengan bertambahnya putaran, dengan dilakukannya mapping ignition timing seperti pada gambar 4.11 di atas, terjadi kenaikan nilai bmeip sebesar 7.00 %. Hal ini dikarenakan pada kondisi unjuk kerja mapping, pengapian dimajukan seiring dengan bertambahnya putaran dengan estimasi tercapainya pembakaran yang dapat menghasilkan *peak pressure* yang optimal.

4.3.5 Analisa Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (sfc)

Konsumsi bahan bakar spesifik dapat didefinisikan sebagai laju aliran bahan bakar untuk memperoleh daya efektif. Nilai konsumsi bahan bakar spesifik (sfc) bergantung pada campuran udara dan bahan bakar yang terbakar dalam ruang bakar. Dengan semakin sempurnanya pembakaran, maka daya yang dihasilkan akan semakin besar.



Gambar 4.12 grafik sfc fungsi rpm a.sfc fungsi rpm untuk tiap pengapian, b. sfc fungsi rpm mapping

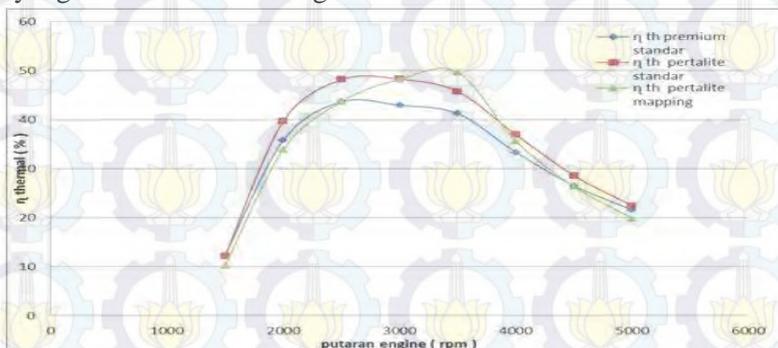
Secara umum konsumsi bahan bakar spesifik dari rpm rendah ke tinggi akan mengalami penurunan hingga pada putaran

mesin tertentu akan meningkat lagi. Hal ini disebabkan oleh semakin tingginya turbulensi aliran seiring dengan penambahan putaran, sehingga homogenitas campuran bahan bakar dan udara menjadi lebih baik dan menghasilkan pembakaran yang lebih sempurna.

Sesuai dengan uraian di atas, sfc sangat dipengaruhi oleh besarnya daya. Semakin advance waktu pengapian, maka puncak terendah dari sfc akan semakin bergeser ke kanan. Pada waktu pengapian 10 derajat sebelum TMA, sfc cenderung naik dengan drastis setelah puncak terendah, sedangkan semakin advance waktu pengapian, grafik sfc naik semakin landai. Fenomena khusus terjadi pada advance ignition timing 21° sebelum TMA, dimana grafik sfc cenderung tidak homogen yang disebabkan oleh waktu pengapian yang terlalu maju dan menimbulkan indikasi knocking pada mesin. Dengan terjadinya knocking, nilai peak pressure mengalami penurunan dan berpengaruh terhadap kenaikan nilai sfc seiring dengan penurunan daya efektif.

4.3.6 Analisa Efisiensi Thermal

Efisiensi Termal adalah ukuran besarnya pemanfaatan energi panas yang tersimpan dalam bahan bakar untuk diubah menjadi daya efektif pada motor pembakaran dalam. Nilai efisiensi termal tergantung dari campuran udara dan bahan bakar yang terbakar dalam ruang bakar.



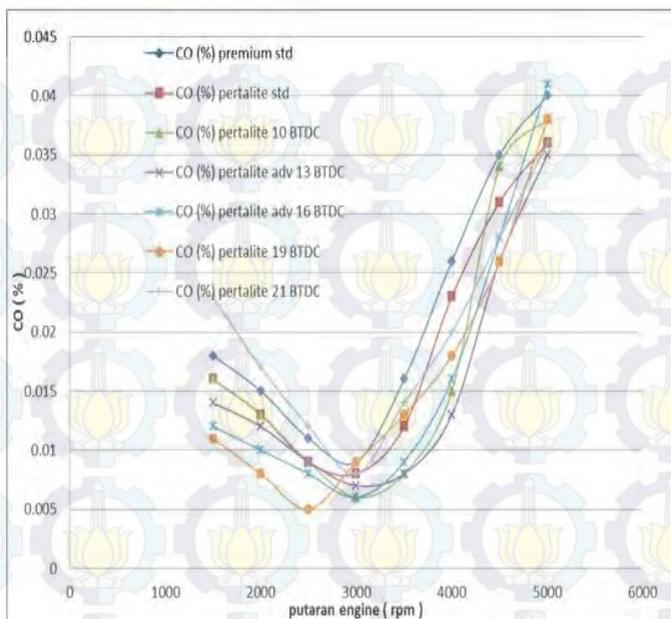
Gambar 4.13 Grafik efisiensi thermal fungsi rpm

Pada putaran rendah, maka proses pencampuran bahan bakar dan udara berlangsung kurang baik, sehingga pembakaran yang terjadi kurang sempurna. Seiring dengan pertambahan putaran mesin, akan ada saat dimana turbulensi dan waktu pembakaran mencapai kondisi yang terbaik sehingga mendapatkan efisiensi yang paling optimal. Pada putaran yang lebih tinggi, turbulensi yang terjadi cukup besar, sehingga pencampuran bahan bakar dan udara baik, tetapi bahan bakar menjadi banyak terbuang dikarenakan waktu pengapian yang tidak dimajukan akan berbanding terbalik dengan kecepatan rambat api yang tetap. Semakin advance waktu pengapian, puncak maksimum dari efisiensi thermal akan bergeser ke kanan. Hal ini dikarenakan efisiensi dari pembakaran bahan bakar sangat dipengaruhi oleh waktu pengapian. Semakin tinggi putaran, memajukan waktu pengapian sangat dibutuhkan untuk mendapatkan daya yang besar dari pembakaran bahan bakar.

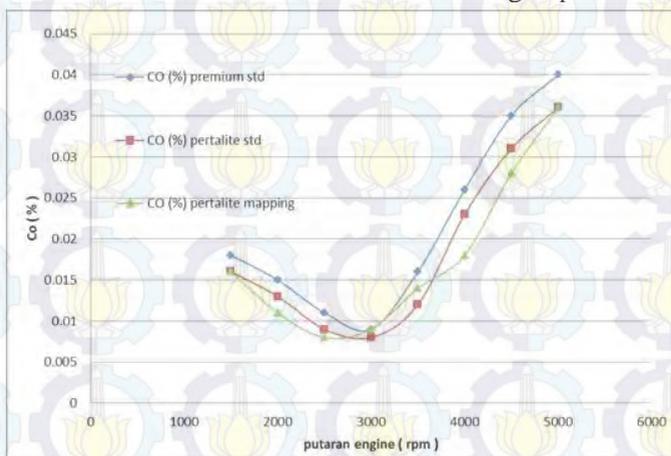
4.4 Analisa Emisi Gas Buang

4.4.1 Analisa Gas Karbon Monoksida(CO)

Karbon monoksida (CO) merupakan salah satu gas buang hasil pembakaran yang berbahaya bagi kesehatan dan juga berdampak buruk pada lingkungan. CO pada gas buang kendaraan bermotor terjadi akibat kurang sempurnanya pembakaran. Pada penelitian ini lebih difokuskan pada kurangnya waktu yang tersedia untuk menyelesaikan pembakaran. Pada saat putaran mesin rendah, maka turbulensi yang terjadi terlalu kecil untuk membentuk homogenitas campuran udara dan bahan bakar (campuran cenderung rich). Sedangkan pada putaran tinggi, waktu pembakaran terlalu singkat sehingga pembakaran menjadi kurang sempurna.



Gambar 4.14 Grafik emisi CO fungsi rpm

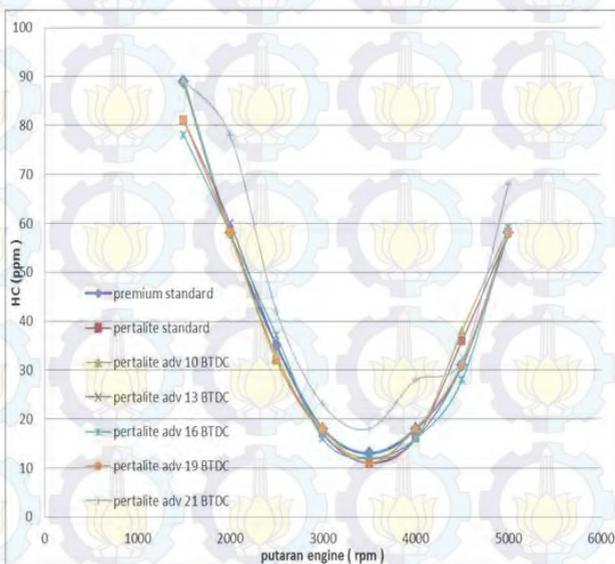


Gambar 4.15 Grafik emisi CO mapping vs rpm

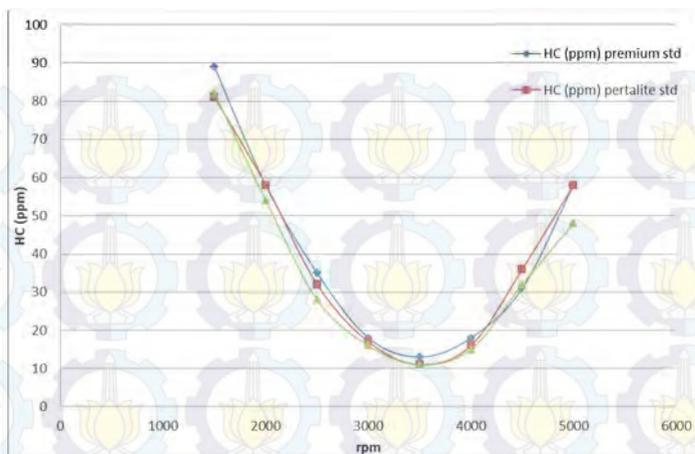
Pada grafik CO fungsi rpm di atas, didapatkan trendline yang sama untuk setiap perubahan waktu pengapian. Hal ini dikarenakan pasokan bahan bakar yang diinjeksikan pada setiap perubahan pengapian sama. Sehingga terjadi proses pembakaran yang cenderung sama. Dengan perlakuan mapping waktu pengapian, didapatkan penurunan kadar CO pada gas sisa hasil pembakaran, relatif terhadap pengapian standar.

4.4.2 Analisa Gas Buang Hidro Karbon (HC)

Unburned Hidrokarbon (uHC) adalah sejumlah bahan bakar yang tidak ikut terbakar selama proses pembakaran berlangsung. Secara umum kadar emisi HC akan menurun seiring dengan meningkatnya putaran mesin. Hal ini disebabkan oleh putaran meningkatnya homogenitas campuran udara dan bahan bakar seiring dengan penambahan putaran hingga putaran optimalnya. Pada putaran yang lebih tinggi, waktu pembakaran akan semakin sempit sehingga kadar bahan bakar yang belum terbakar akan semakin banyak.



Gambar 4.16 Grafik emisi uHC fungsi rpm



Gambar 4.17 Grafik emisi uHC mapping fungsi rpm

Dari grafik emisi HC fungsi putaran, kadar emisi HC mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya putaran hingga putaran optimumnya, dan akan cenderung naik untuk putaran yang lebih tinggi. Trendline untuk setiap perubahan waktu pengapian cenderung sama. Hal ini disebabkan oleh kesamaan jumlah bahan bakar diinjeksikan untuk setiap perubahan derajat pengapian, sehingga proses pembakarannya cenderung sama. Dengan perlakuan mapping waktu pengapian, didapatkan penurunan kadar uHC pada gas sisa hasil pembakaran, relatif terhadap pengapian standar.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

1. Didapatkan hasil bahwa perbedaan nilai *heat of vaporization* antara Premium dan Peralite, berpengaruh terhadap hasil unjuk kerja engine. Dengan nilai *heat of vaporization* Peralite yang lebih tinggi, menyebabkan temperatur di ruang bakar turun, sehingga densitas udara naik. Seiring dengan naiknya nilai densitas udara, maka campuran bahan bakar dan udara dalam proses pembakaran juga cenderung campuran miskin (*lean*) dan mempengaruhi laju perambatan api di ruang bakar. Oleh karena itu, perlu dilakukan mapping waktu pengapian. Hal ini dibuktikan dengan nilai AFR Peralite yang cenderung di atas Premium dengan kondisi pengapian standard.

2. Dari unjuk kerja dan emisi engine SINJAI dengan perlakuan *advance ignition timing* relatif terhadap pengapian standar didapatkan hasil sebagai berikut:

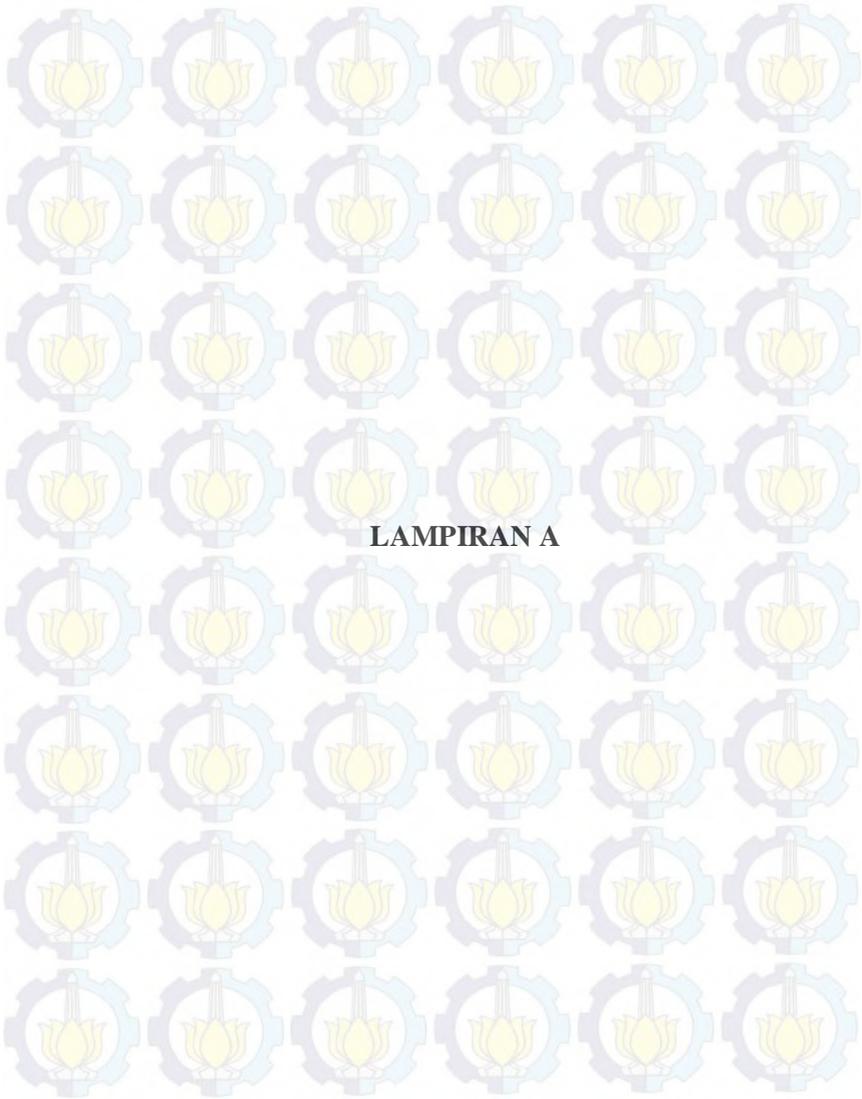
- Torsi mengalami kenaikan rata-rata sebesar 6.393 %.
- Daya efektif mengalami kenaikan rata-rata sebesar 6.393%.
- Bmep mengalami kenaikan rata-rata sebesar 6.393 %.
- Effisiensi thermal mengalami kenaikan rata-rata sebesar 5.409%.
- Sfc mengalami penurunan rata-rata sebesar 1.97%.
- Emisi CO mengalami penurunan rata-rata sebesar 5.405%.
- Emisi HC mengalami penurunan rata-rata sebesar 7.443%.

3. Berdasarkan mapping waktu pengapian untuk *best torque* fungsi rpm, didapatkan derajat pengapian sebagai berikut :

<i>Engine rpm</i>	<i>Mapping advance ignition timing</i>
1000	10 ° BTDC
1500	10 ° BTDC
2000	13 ° BTDC
2500	13 ° BTDC
3000	16 ° BTDC
3500	16 ° BTDC
4000	16 ° BTDC
4500	19 ° BTDC
5000	19 ° BTDC

5.1 Saran

1. Perlu dilakukannya penelitian mapping ignition timing dan injeksi bahan bakar lanjutan, pada variasi sudut pengapian yang berbeda , utamanya pada putaran rendah dengan penggunaan metode MBT.
2. Perlu dilakukannya penelitian mapping ignition timing dan injeksi bahan bakar lanjutan, dengan penggunaan Bio-energi.
3. Perlu dilakukannya penelitian dengan driver pengapian dan injeksi bahan bakar lebih lanjut, terkait permasalahan panas yang terjadi selama proses switching ground.





(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN A

Data Properties Bahan Bakar Premium dan Pertalite

Tabel A.1 Data Properties Premium RON 88

LAMPIRAN KEPUTUSAN DIREKTUR JENDERAL MINYAK DAN GAS BUMI

NOMOR : 933.K/10/DJM.S/2013

TANGGAL : 19 November 2013

STANDAR DAN MUTU (SPESIFIKASI) BAHAN BAKAR MINYAK
JENIS BENSIN 88 YANG DIPASARKAN DI DALAM NEGERI

No	Karakteristik	Satuan	Batasan		Metode Uji	
			Min.	Maks.	ASTM	Lain
1.	Bilangan Oktana Angka Oktana Riset (RON)	RON	88,0	-	D 2699	
2.	Stabilitas Oksidasi	menit	360	-	D 525	
3.	Kandungan Sulfur	% m/m	-	0,05	D 2622 atau D 4294 atau D 7039	
4.	Kandungan Timbal (Pb)	g/l	fraksi timbal tidak dijinkan		D 3257	
5.	Kandungan Logam (Mangan, Besi)	mg/l	Tidak terukur ^a		D 3831 atau D 5185	UOP 391
6.	Kandungan Oksigen	% m/m	-	2,7 ^b	D 4815 atau D 6839 atau D 5599	
7.	Kandungan Olefin	% v/v	Dilaporkan		D 1319 atau D 6839 atau D 6730	
8.	Kandungan Aromatik	% v/v			D 1319 atau D 6839 atau D 6730	
9.	Kandungan Bensena	% v/v			D 5380 atau D 6839 atau D 6730 atau D 3006	
10.	Densitas :				D 85	
	10% vol. penguapan	°C	-	74		
	50% vol. penguapan	°C	75	125		
	90% vol. penguapan	°C	-	180		
	Titik didih akhir	°C	-	215		
	Residu	% vol	-	2,0		
11.	Sedimen	mg/l	-	1	D 5452	
12.	Unwashed gum	mg/100 ml	-	70	D 381	
13.	Washed gum	mg/100 ml	-	5	D 381	
14.	Tekanan Uap	kPa	45	69	D 5191 atau D 323	
15.	Berat Jenis (pada suhu 15 °C)	kg/m ³	715	770	D 4052 atau D 1298	
16.	Korosif bilah tembaga	merit	Kelas		D 130	
17.	Sulfur Mencegah	% massa	-	0,002 ^b	D 3227	
18.	Pemampitan visual		Jumlah bau terang			
19.	Bau		Dapat dipasarkan			
20.	Warna		Kuning			
21.	Kandungan pewarna	g/100l	-	0,13		

Tabel A.2 Data Properties Peralite RON 90

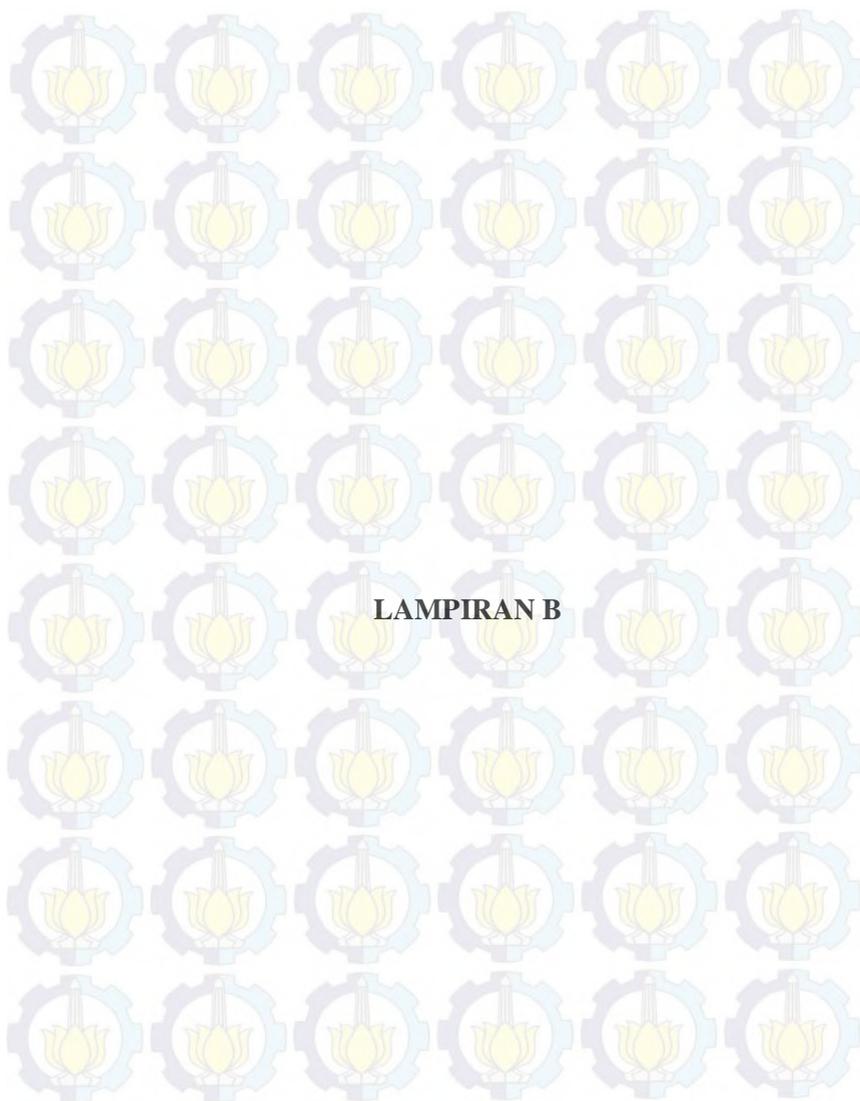
LAMPIRAN KEPUTUSAN DIREKTUR JENDERAL MINYAK DAN GAS BUMI

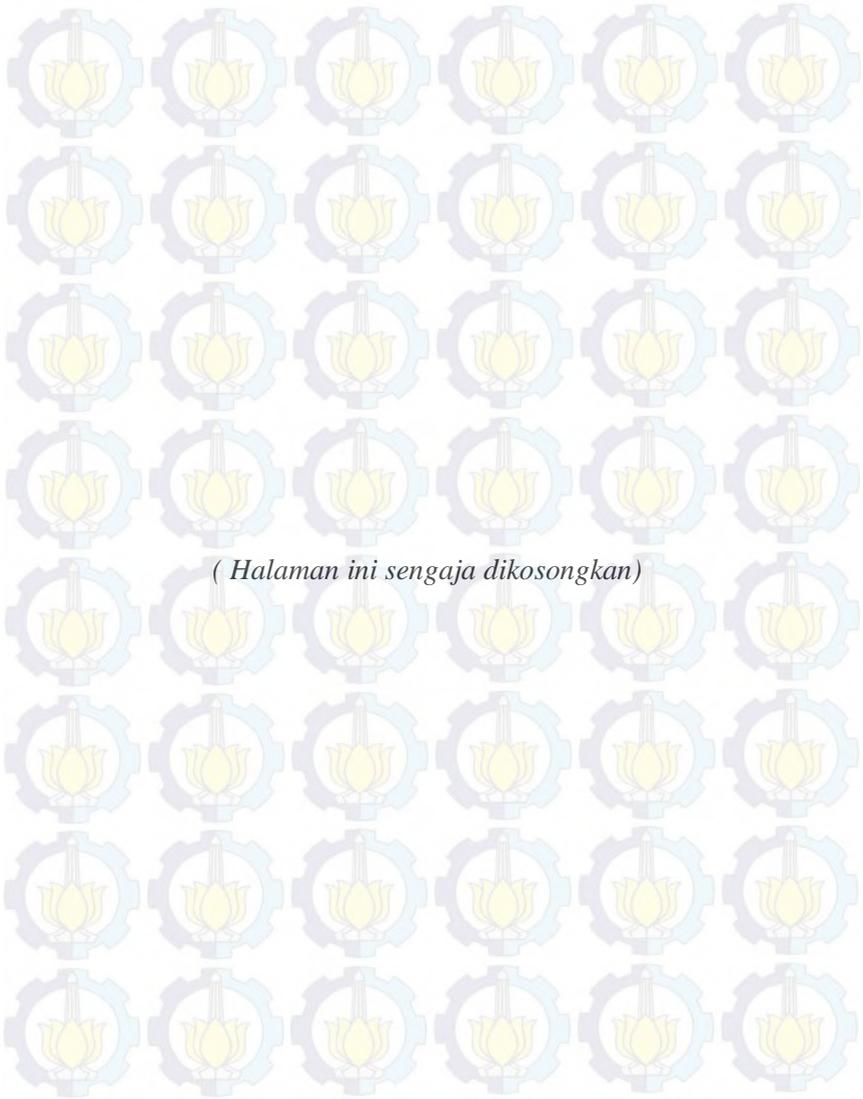
NOMOR 313.K/10/DJM.T/2013

TANGGAL 22 Maret 2013

STANDAR DAN MUTU (SPESIFIKASI) BAHAN BAKAR MINYAK
JENIS BENSIN 90 YANG DIPASARKAN DI DALAM NEGERI

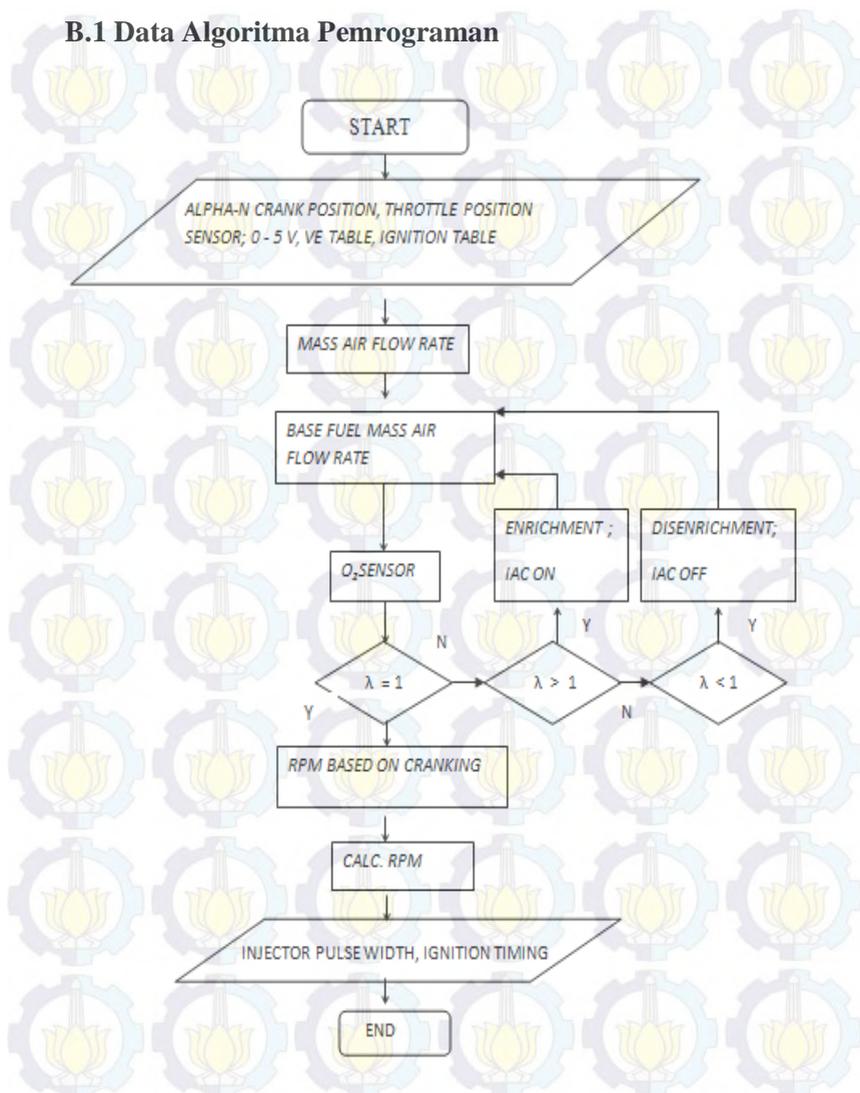
No	Karakteristik	Satuan	Batasan		Metode Uji	
			Min.	Maks.	ASTM	Lain
1	Belangan Oktana				ASTM	Lain
	Angka Oktana Riset (RON)	RON	90,0	-	D 2699	
	Angka Oktana Motor (MON)	MON	Dilaporkan		D 2700	
2	Stabilitas Oksidasi	menit	360	-	D 525	
3	Kandungan Sulfur	% m/m	-	0,05 ¹⁾	D 2622 atau D 4294 atau D 7039	
4	Kandungan Timbal (Pb)	g/l	Injeksi timbal tidak diijinkan Dilaporkan		D 3237	
5	Kandungan Logam (Mangan, Besi)	mg/l	Tidak terdeteksi ¹⁾		D 3831 atau IP 74	
6	Kandungan Oksigen	% m/m	-	2,7 ²⁾	D 4815	
7	Kandungan Olefin	% v/v	-	-	D 1319	
8	Kandungan Aromatik	% v/v	Dilaporkan		D 1319	
9	Kandungan Benzena	% v/v	-	-	D 4420	
10	Distilasi				D 85	
	10% vol penguapan	°C	-	74		
	50% vol penguapan	°C	88	125		
	90% vol penguapan	°C	-	180		
	Titik didih akhir	°C	-	315		
	Residu	% vol	-	2,0		
11	Sedimen	mg/l	-	1	D 5452	
12	Unwashed gum	mg/100 ml	-	70	D 381	
13	Washed gum	mg/100 ml	-	5	D 381	
14	Tekanan Uap	kPa	45	69	D 5191 atau D 323	
15	Berat Jenis (pada suhu 15 °C)	kg/m ³	715	770	D 4052 atau D 1298	
16	Korosif bahan tembaga	menit	Kelas I		D 130	
17	Sulfur Mercaptan	% massa	-	0,003 ²⁾	D 3227	
18	Penampolan visual		Jernih dan terang			
19	Bau		Dapat dipasarkan			
20	Warna		Hijau			
21	Kandungan pewarna	g/100 l	-	0,13		





LAMPIRAN B

B.1 Data Algoritma Pemrograman



Gambar B1. Flowchart Algoritma Pemrograman Engine Control Unit

B.2 Algoritma

CPU dikendalikan oleh perangkat lunak yang tertanam di dalam *non-volatile memory* (memori yang dapat mengingat data ketika daya dimatikan). *Firmware* ditulis dalam bahasa C dan diubah ke dalam *file hex*. Bagian lain dalam memori CPU ini dimasukkan ke dalam *microcontroller* sebagai *bootloader* sehingga software tuning dalam komputer dapat membaca dan menulis parameter dalam CPU.

Perangkat lunak ini menggunakan algoritma untuk mengambil input dan menghitung output keluaran. Input sinyal analog yang berupa tegangan ataupun input sinyal digital merupakan variabel eksternal yang diperlukan untuk membuat variabel tegangan pada *pin processor* dengan rangkaian pembagi tegangan. Output berupa on atau off, akan disetting sebagai nilai bit dalam register masing masing output. Parameter harus dimasukkan ke dalam CPU dan dapat dikonfigurasi melalui tuning software pada komputer (Vemstone). Software ini dapat membaca informasi yang ada dalam CPU dan dapat menulis parameter untuk disimpan dalam CPU.

Jumlah bahan bakar yang diinjeksikan oleh kontroller tergantung dari beberapa faktor.

- a. *Continuity Law* yang berhubungan dengan jumlah udara terhadap massa jenis, Luas penampang aliran, dan kecepatan. Parameter ini dihitung dengan program yang tertanam dalam CPU untuk mendapatkan target bahan bakar diinjeksikan.
- b. *Measured Value* parameter dari luar yang diambil menggunakan sensor. Nilai yang diukur antara lain tekanan manifold, temperature udara masuk, suhu mesin, bukaan throttle, putaran mesin, dan lain lain.
- c. *Tuning Parameter*, *REQ_Fuel*, efisiensi volumetrik, *injector open time*, dan lain-lain. Input ini disesuaikan menggunakan perangkat tuning.

ECU menggunakan semua parameter tersebut untuk menentukan lebar pulsa yang diberikan ke injektor. Ini berarti menentukan lama singkatnya injektor terbuka untuk mengatur jumlah bahan bakar yang dimasukkan.

Bahan bakar yang diinjeksikan akan dapat diketahui dengan menentukan parameter yang disebut REQ_FUEL. Injektor beroperasi menggunakan sumber tegangan 5 V untuk mengoperasikan buka tutup solenoida yang berupa kumparan, jika dialiri tegangan akan membuka katup di ujung injektor. Pada kebanyakan instalasi, proses buka – tutup injektor dicapai dengan switching ke *ground* pada ECU.

Debit injektor dinyatakan dalam pound per jam (lbs / h) atau (cc / menit). Besaran nilai debit injektor perlu ditentukan sesuai spesifikasi injektor untuk menghitung nilai REQ_Fuel. REQ_Fuel singkatan dari *required fuel* adalah bagian dari perhitungan yang memberitahu seberapa besar injeksi yang harus diberikan oleh ECU. Bahan bakar yang harus diinjeksikan adalah 1/ 14.7 dari berat udara yang masuk. Sehingga *Air to Fuel Ratio* ditentukan oleh massa.

$$\text{REQ_Fuel. } 10 = 36000000 \text{ CID } (\rho / N \text{ cyl. AFR. Flowinj }) / \text{DIVIDE PULSE}$$

Dimana ;
36000000 = jumlah mili sekon dalam satu jam dikalikan sepuluh

REQ_Fuel = injector open timing yang dihitung

CID = Cubic inch displacement

ρ = Air density

N cyl = Number of cylinder

Flow inj = Injector Flow rate

DIVIDE pulse = Injection divide number for number of injection per cylinder engine

Nilai REQ_Fuel adalah lama bahan bakar disemprotkan (dalam milidetik), untuk kemudian dikalikan atau ditambahkan dengan nilai nilai lain dan mengaturnya dalam bentuk lebar pulsa injektor (PW) untuk mengatur injektor. Lebar pulsa (PW) dapat ditentukan dengan rumusan sebagai berikut.

$$PW = REQ_Fuel. VE. MAP. E + Accel + Injector_open_time$$

Niali E, merupakan hasil perkalian dari semua nilai enrichments, seperti *Warmup*, *afterstart*, dan lain lain.

$$E = \gamma_{enrich} = (Warmup/100) \cdot (O_2/100) \cdot (aircorr/100) \cdot (Barocorr/100)$$

Dimana ;

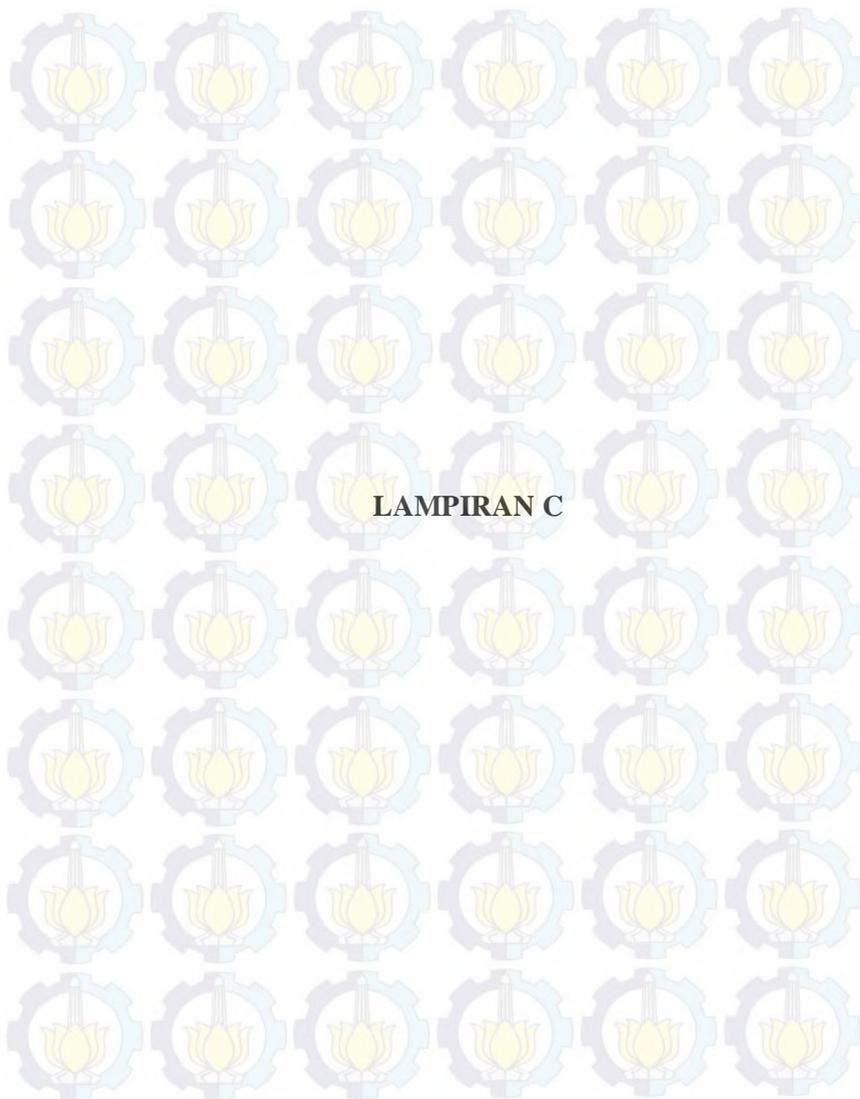
Warmup = Nilai warmup enrichment yang masuk dari tabel user pada software.

O₂_Closedloop = Koreksi EGO berdasarkan feedback yang dilakukan dalam software

Air_corr = Koreksi berdasarkan kerapatan udara

Barocorr = Koreksi tekanan barometris

Gamma enrich adalah faktor skala yang diterapkan pada nilai REQ_Fuel, bersama dengan VE (RPM, MAP). Untuk semua koreksi 100% berarti tidak ada penambahan atau pengurangan. Loop utama biasanya berjalan dalam 1500 Hz dan dapat berjalan beberapa ratus Hertz tergantung apakah berada di *Cranking mode* atau tidak. Pada ECU dengan *Speed Processor* yang lebih tinggi, loop ini berjalan lebih cepat.



LAMPIRAN C



LAMPIRAN C

DATA HASIL PENGUJIAN

Tabel C.1 Data Torsi (N.m) Pengujian Engine Sinjai 650 cc dengan variasi ignition timing

engine rpm	premium standar	pertalite standar	ady timing 10 BTDC	ady timing 13 BTDC	ady timing 16 BTDC	ady timing 19 BTDC	ady timing 21 BTDC	ady timing mapping
900	4.60	5.355	5.382	4.785	5.111	5.084	4.229	5.043
1500	20.35	20.173	20.594	19.441	19.197	19.807	14.344	19.292
2000	50.35	55.871	56.060	55.328	52.020	44.658	27.413	51.898
2500	55.14	60.833	57.592	60.358	60.643	48.360	34.463	61.063
3000	51.64	58.081	52.563	54.393	62.527	49.255	38.530	62.880
3500	48.89	54.217	46.489	49.282	57.186	46.489	40.957	65.158
4000	44.01	48.699	40.252	42.177	48.699	43.194	42.828	55.084
4500	38.41	41.391	32.158	34.558	38.964	41.350	27.494	45.282
5000	32.81	34.083	24.064	26.939	29.230	27.305	18.940	37.215

Tabel C.2 Data Waktu konsumsi bahan bakar (s) Pengujian Engine Sinjai 650 cc dengan variasi ignition timing

engine rpm	Premium standar	Pertalite standar	ady timing 10 BTDC	ady timing 13 BTDC	ady timing 16 BTDC	ady timing 19 BTDC	ady timing 21 BTDC	ady ignition timing mapping
900	-	-	-	-	-	-	-	-
1500	32.28	30.42	28.32	28.22	30.52	26.32	20.31	31.52
2000	28.45	27.31	26.12	26.14	28.37	24.16	18.42	28.41
2500	25.34	24.2	23.51	23.41	28.3	23.34	18.21	25.34
3000	22.17	21.09	20.23	20.43	24.31	19.34	15.34	21.48
3500	19.28	17.58	18.32	17.32	20.02	15.26	12.28	19.36
4000	15.16	14.47	13.2	16.24	18.07	11.23	10.31	13.34
4500	12.27	11.76	10.36	10.36	12.48	8.34	6.2	8.94
5000	10.53	10.36	8.52	8.25	8.24	8.45	4.09	8.54

Tabel C.3 Data Temperatur Operasional (radiator) Pengujian Engine Sinjai 650 cc dengan variasi ignition timing

engine rpm	premium standar	pertalite standar	ady timing 10 BTDC	ady timing 13 BTDC	ady timing 16 BTDC	ady timing 19 BTDC	ady timing 21 BTDC	ady timing mapping
900	90	92	88	90	87	90	94	87
1500	93	94	92	92	93	94	98	91
2000	96	98	96	97	96	98	101	95
2500	98	100	99	102	100	101	104	102
3000	100	103	103	104	105	105	108	106
3500	104	108	106	108	109	108	112	112
4000	107	110	110	111	113	112	116	114
4500	109	112	114	115	117	116	122	116
5000	111	115	117	118	121	119	126	118

Tabel C.4 Data Temperatur Operasional (engine cylinder head) Pengujian Engine Sinjai 650 cc dengan variasi ignition timing

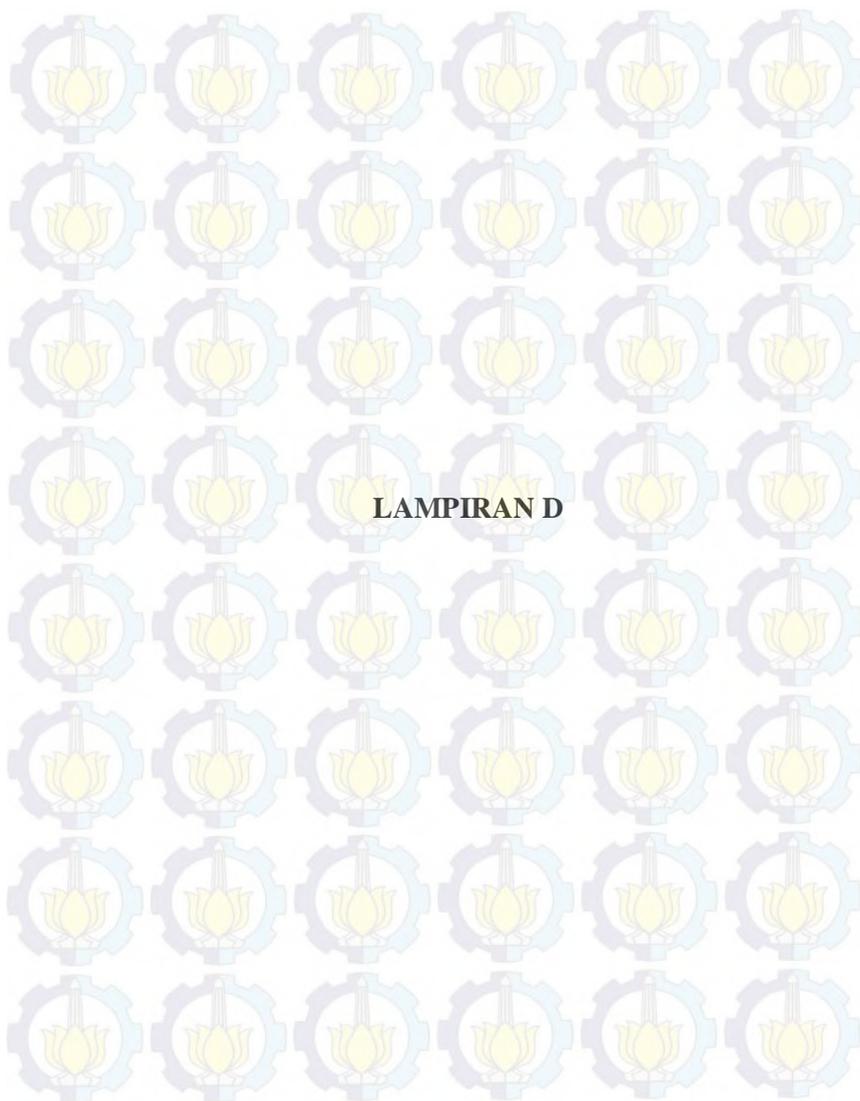
engine rpm	premium standar	pertalita standar	ady timing 10 BTDC	ady timing 13 BTDC	ady timing 16 BTDC	ady timing 19 BTDC	ady timing 21 BTDC	ady timing mapping
900	90	92	90	92	93	94	98	90
1500	92	95	93	94	96	97	102	95
2000	94	100	102	98	102	105	106	101
2500	97	102	104	105	104	107	109	105
3000	98	106	108	108	106	108	113	107
3500	101	108	112	115	109	112	115	112
4000	103	112	115	116	113	115	118	114
4500	105	114	118	118	116	117	121	117
5000	107	116	120	121	118	119	124	119

Tabel C.5 Data Temperatur Operasional (Oil Pelumas) Pengujian Engine Sinjai 650 cc dengan variasi ignition timing

engine rpm	premium standar	pertalita standar	ady timing 10 BTDC	ady timing 13 BTDC	ady timing 16 BTDC	ady timing 19 BTDC	ady timing 21 BTDC	ady timing mapping 2
900	90	88	92	90	87	88	92	94
1500	94	92	94	94	93	95	98	97
2000	101	102	99	96	104	97	102	103
2500	104	106	105	106	107	102	106	105
3000	105	108	108	109	109	106	112	107
3500	109	112	113	114	113	112	116	112
4000	111	116	117	119	115	118	121	119
4500	121	122	123	124	119	122	126	124
5000	131	136	138	129	128	126	132	128

Tabel C.6 Data Temperatur Operasional (exhaust) Pengujian Engine Sinjai 650 cc dengan variasi ignition timing

engine rpm	premium standar	pertalita standar	ady timing 10 BTDC	ady timing 13 BTDC	ady timing 16 BTDC	ady timing 19 BTDC	ady timing 21 BTDC	ady timing mapping 2
900	295	286	288	286	282	284	292	284
1500	321	318	316	309	312	294	302	298
2000	360	358	344	348	346	312	318	312
2500	361	362	372	368	364	324	336	345
3000	391	398	400	399	392	356	384	386
3500	430	425	428	427	423	395	429	412
4000	461	451	456	456	442	421	446	438
4500	487	478	484	484	482	452	482	462
5000	513	505	512	513	518	498	521	493





Lampiran D

Data Perhitungan Hasil Pengujian

Tabel D.1 Data Daya (Watt) Perhitungan Pengujian Engine Sinjai 650 cc dengan variasi ignition timing

engine rpm	premium standar	pertalite standar	ady timing 10 BTDC	ady timing 13 BTDC	ady timing 16 BTDC	ady timing 19 BTDC	ady timing 21 BTDC	ady timing mapping
900	481.053	560.519	563.357	500.919	534.976	532.138	442.739	527.881
1500	3194.959	3167.2883	3233.273	3052.346	3014.032	3109.817	2252.010	3028.932
2000	10540.599	11695.694	11735.427	11582.171	10889.682	9348.609	5738.581	10864.139
2500	14428.048	15918.036	15070.162	15793.870	15868.370	12654.253	9017.973	15978.345
3000	16215.324	18237.450	16504.807	17079.517	19633.782	15466.073	12098.701	19744.467
3500	17909.653	19861.537	17030.560	18053.685	20949.228	17030.560	15004.177	23869.604
4000	18424.763	20388.709	16852.471	17658.484	20388.709	18084.194	17930.938	23062.173
4500	18090.580	19495.426	15146.790	16277.052	18352.392	19476.269	12950.122	21328.111
5000	17170.335	17837.282	12593.944	14098.122	15297.208	14289.692	9911.966	19476.269

Tabel D.2 Data BMEP (Pa) Perhitungan Pengujian Engine Sinjai 650 cc dengan variasi ignition timing

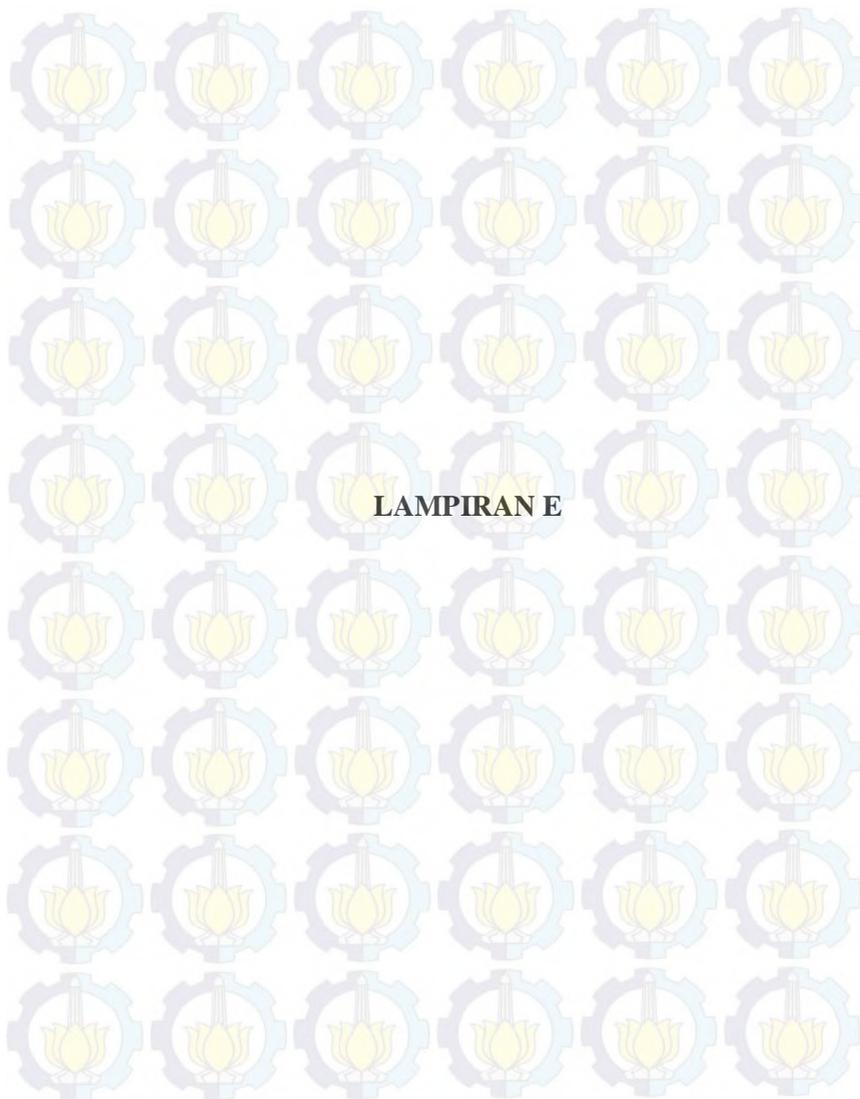
engine rpm	premium standar	pertalite standar	ady timing 10 BTDC	ady timing 13 BTDC	ady timing 16 BTDC	ady timing 19 BTDC	ady timing 21 BTDC	ady timing mapping
900	16301.256	18994.089	19090.261	16974.464	18128.535	18032.363	15002.926	17888.104
1500	108266.308	107328.625	109564.638	103433.634	102135.304	105381.129	76312.960	102640.210
2000	357185.048	396327.297	397673.714	392480.393	369014.278	316792.554	194461.003	368148.725
2500	488917.471	539408.088	510676.522	535200.536	537725.067	428809.594	305588.446	541451.755
3000	549482.168	618005.148	559291.773	578766.726	665322.068	524092.601	409983.807	669072.800
3500	606897.212	673039.920	577107.748	611777.972	709898.070	577107.748	508440.509	808859.679
4000	624352.539	690903.981	571072.917	598385.937	690903.981	612811.827	607618.506	781498.573
4500	613028.215	660633.654	513273.183	551573.922	621900.138	659984.489	438835.588	722737.113
5000	581844.249	604444.811	426765.926	477737.406	518370.331	484229.057	335882.816	659984.489

Tabel D.3 Data SpecificFuel Consumption (kg/kWh) Perhitungan Pengujian Engine Sinjai 650 cc dengan variasi ignition timing

engine rpm	premium standar	pertalite standar	pertalite adv 10 BTDC	pertalite adv 13 BTDC	pertalite adv 16 BTDC	pertalite adv 19 BTDC	pertalite adv 21 BTDC	pertalite mapping
900	-	-	-	-	-	-	-	-
1500	0.671945951	0.719260845	0.756828603	0.804530289	0.753356912	0.846666661	1.515140715	0.725867666
2000	0.231092395	0.216962916	0.226079475	0.228895706	0.224315192	0.30682398	0.655600153	0.224526011
2500	0.189547922	0.179898845	0.195597218	0.187431785	0.15431725	0.23463665	0.422001814	0.175761833
3000	0.192771088	0.180174167	0.20755198	0.198604586	0.145192541	0.231684349	0.373395544	0.161519992
3500	0.200696141	0.19847303	0.222115476	0.221625369	0.16523465	0.266653015	0.376116757	0.15763774
4000	0.248103054	0.234895647	0.311527004	0.241653891	0.188098506	0.341235574	0.374862102	0.229953978
4500	0.31220235	0.302268701	0.441624201	0.41095826	0.302570063	0.426639847	0.863113014	0.363448867
5000	0.383288755	0.375011673	0.645850295	0.595824009	0.549786215	0.573923013	1.709425194	0.416648282

Tabel D.4 Data Efisiensi thermal (%) Perhitungan Pengujian Engine Sinjai 650 cc dengan variasi ignition timing

engine rpm	premium standar	pertalite standar	pertalite adv 10 BTDC	pertalite adv 13 BTDC	pertalite adv 16 BTDC	pertalite adv 19 BTDC	pertalite adv 21 BTDC	pertalite mapping
900	-	-	-	-	-	-	-	-
1500	12.31681129	12.21013671	10.93541054	10.2870353	10.98580414	9.77507662	5.462351715	10.24429836
2000	35.81351732	39.73815425	36.60761981	36.15721602	36.89554594	26.97387439	12.62390109	33.8897143
2500	43.66300301	48.17209111	42.31262375	44.1559658	53.63127882	35.27254368	19.61183862	43.68718638
3000	42.93295001	48.28688838	39.87546392	41.67190516	57.00176751	35.72201369	22.16478374	48.25784801
3500	41.23762135	45.73190455	37.26094019	37.34333989	50.0877477	31.0372242	22.00442106	49.68125359
4000	33.35803948	36.91376396	26.56665833	34.24828569	43.99945349	24.25371832	22.07806933	35.61310211
4500	26.50919021	28.56779305	18.74043917	20.13886149	27.35310756	19.3986369	9.588815541	26.38830811
5000	21.59268016	22.4314041	12.81447348	13.8903961	15.05354492	14.42045587	4.841528902	19.81731252





LAMPIRAN E

Data Emisi Hasil Pengujian

Tabel E.1 Data Emisi Karbon monoksida (CO%) Pengujian Engine Sinjai 650 cc dengan variasi ignition timing

RPM	premium std	pertalite std	pertalite adv 10 BTDC	pertalite adv 13 BTDC	pertalite adv 16 BTDC	pertalite adv 19 BTDC	pertalite adv 21 BTDC	pertalite adv mapping
1500	0.018	0.016	0.016	0.014	0.012	0.011	0.023	0.016
2000	0.015	0.013	0.013	0.012	0.01	0.008	0.017	0.011
2500	0.011	0.009	0.009	0.009	0.008	0.005	0.012	0.008
3000	0.009	0.008	0.006	0.007	0.006	0.009	0.008	0.009
3500	0.016	0.012	0.008	0.008	0.009	0.013	0.014	0.014
4000	0.026	0.023	0.015	0.013	0.016	0.018	0.02	0.018
4500	0.035	0.031	0.034	0.026	0.028	0.026	0.028	0.028
5000	0.04	0.036	0.038	0.035	0.041	0.038	0.036	0.036

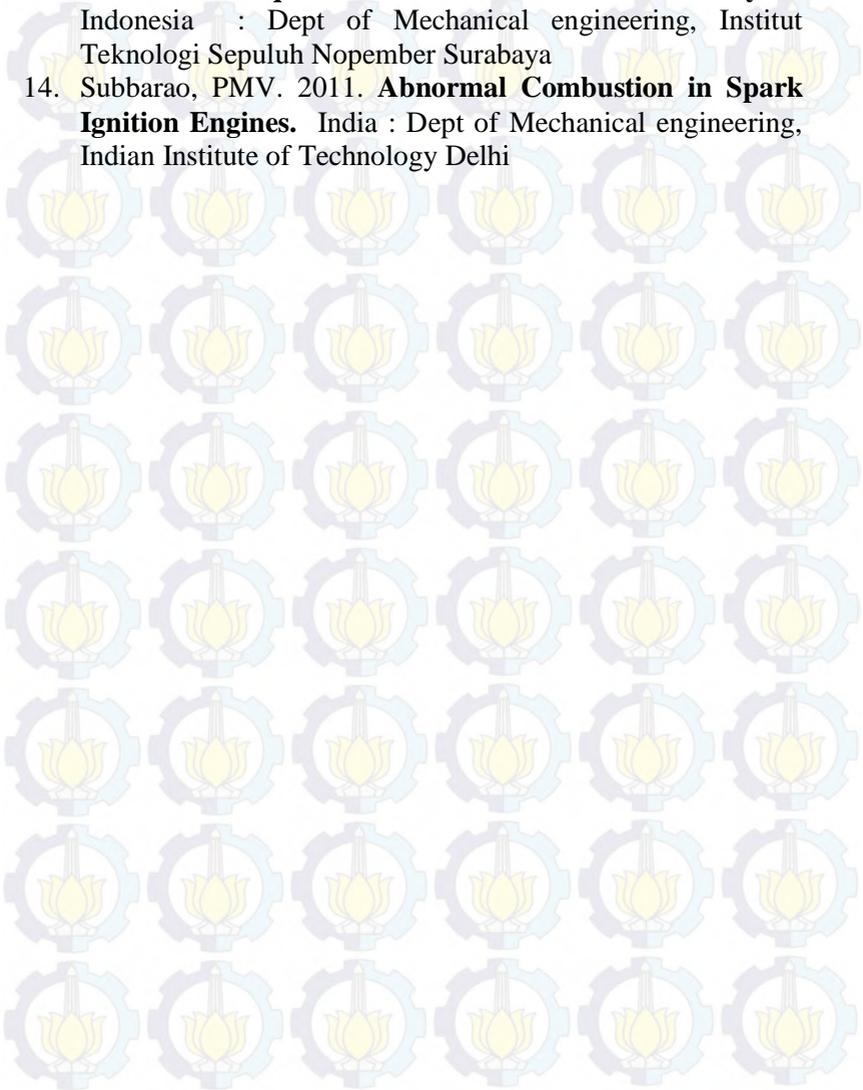
Tabel E.2 Data Emisi unburned Hydro Carbon (uHC) Pengujian Engine Sinjai 650 cc dengan variasi ignition timing

RPM	premium std	pertalite std	pertalite adv 10 BTDC	pertalite adv 13 BTDC	pertalite adv 16 BTDC	pertalite adv 19 BTDC	pertalite adv 21 BTDC	pertalite adv mapping
1500	89	81	89	81	78	81	89	89
2000	58	58	58	60	58	58	78	64
2500	35	32	33	35	37	32	42	36
3000	18	17	17	17	16	18	23	22
3500	13	11	12	11	12	11	18	14
4000	18	16	16	16	16	18	28	28
4500	31	36	38	31	28	31	32	38
5000	58	58	59	58	59	58	68	62

DAFTAR PUSTAKA

1. <http://migas.esdm.go.id/data-kemigasana/36/Produksi-Minyak-Bumi>
2. Hartanto, A., Susanti, V., Arief S. R., Maja S. H., Estiko R., dan Hapid, A., 2010. **Program konversi BBM untuk kendaraan**, Bandung: Pusat Penelitian Tenaga Listrik dan Mekani-LIPI.
3. Nargis, N. N., Hossain, M. I., 2005. **“Performance of A Gasoline Engine Fuelled With Natural Gas : Effect of Speed and Ignition Timing”**. Proceedings of The International Conference on Mechanical Engineering (ICME 2005) 28-30 December 2005.
4. Encyclopedia Britannica, *4 stroke otto cycle*, www.EncyclopediaBritannica.co.uk
5. Kawano, Djoko Sungkono. 2011. **Motor Bakar Torak (Bensin)**. Surabaya: Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS.
6. Advance Automotive Engineering, *Valve Mechanism*, www.le.ac.uk/transport/advanced-automotive-engineering.
7. <http://www.megamanual.com>
8. John, B. Heywood. 1988. **Internal Combustion Engine**. London: Mc GrawHill.
9. Agustina eliyanti. (aeliyanti@pertamina.com). 3 September 2015. *Spesifikasi bahan bakar ON 88, 90, 95*. E-mail kepada Ahmad Gurnito (gurnito11@mhs.me.its.ac.id).
10. Kawano, Djoko Sungkono. 2011. **Pencemaran Udara**. Surabaya: Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS.
11. Erkus, Baris. 2013. **Enhancing the heavy load performance of a gasoline engine converted for LPG use by modifying the ignition timings**, Turkey : Dept.of Automotive engineering, Bursa Technical University
12. Yunas, Maxgizca. 2012. **Application and performance test engine control unit iquiteche for engine roadrace 130cc**, Indonesia : Dept of Mechanical engineering, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

13. Fahmi, Faizal. 2012. **Design and Performance test engine control unit iquiteche in Yamaha Vixion Motorcycle.** Indonesia : Dept of Mechanical engineering, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
14. Subbarao, PMV. 2011. **Abnormal Combustion in Spark Ignition Engines.** India : Dept of Mechanical engineering, Indian Institute of Technology Delhi



BIOGRAFI PENULIS



Penulis dilahirkan di Jakarta pada 6 Desember 1993, dan merupakan anak pertama dari 4 (empat) bersaudara dari pasangan Surip dan Sumaryati.

Penulis memulai pendidikan dasar di SDN Aren Jaya XI, melanjutkan studi menengah pertama di SMP Negeri 1 Bekasi, dan menyelesaikan studi jenjang menengah di SMA Negeri 1 Bekasi. Pada Agustus 2011, penulis melanjutkan studi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada Fakultas Teknik Industri, Jurusan Teknik Mesin melalui Beasiswa Bidik Misi, dan lulus pada Maret 2016 dengan fokus penelitian konversi energi.

Selama perkuliahannya, Penulis aktif di Lembaga Bengkel Mahasiswa Mesin khususnya dalam bidang pengembangan sumber daya dan penelitian otomotif serta menjadi asisten pada Laboratorium Teknik Pembakaran dan Bahan Bakar. Penulis mendedikasikan Tugas Akhir pada bidang pemasukan bahan bakar dan pengapian pada *Internal Combustion Engine* lewat pengembangan *Engine Control Unit* yang dinamakan SUMI- IT (Sinjai Untuk Masyarakat Indonesia- *Intelligence Timing*). Penulis akan selalu berusaha supaya ilmu yang telah diperoleh dapat bermanfaat bagi kemajuan teknologi yang ada di Indonesia.

Untuk informasi lebih lengkap, dapat menghubungi melalui e-mail ahmadgurnito@gmail.com.



Halaman ini sengaja dikosongkan