

**PENGARUH VARIASI DEBIT INJEKSI MINYAK KELAPA (*COCONUT OIL*)
PADA *INTAKE MANIFOLD* TERHADAP IONISASI PEMBAKARAN DAN
KINERJA MESIN**

**SKRIPSI
KONSENTRASI KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :
ZAMRI
NIM. 0510620104 – 62

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2010**



LEMBAR PERSETUJUAN

**PENGARUH VARIASI DEBIT INJEKSI MINYAK KELAPA (*COCONUT OIL*)
PADA *INTAKE MANIFOLD* TERHADAP IONISASI PEMBAKARAN DAN
KINERJA MESIN**

SKRIPSI

KONSENTRASI KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
Memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

ZAMRI
NIM. 0510620104-62

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Ir. Made Gunadiarta, MT
NIP. 19461001 197702 1 001

Dr. Eng. Nurkholis Hamidi, ST., M. Eng
NIP. 19740102 199903 1 001



KATA PENGANTAR

Assalamualikum wr.wb. Puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala limpahan nikmat, rahmat, hidayah dan karunia yang telah diberikan. Juga sholawat dan salam kami tujukan kepada Nabi Besar Muhammad SAW sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul Pengaruh Variasi Debit Injeksi Uap Minyak Kelapa (*Coconut Oil*) pada *Intake Manifold* Terhadap Ionisasi Pembakaran dan Kinerja mesin.

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang selama ini, baik secara langsung maupun tidak langsung telah banyak membantu penulis hingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik, ucapan khusus penulis berikan kepada:

1. Bapak Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
2. Bapak Dr.Eng. Anindito Purnowidodo, ST., M.Eng. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
3. Bapak Ir. I Made Gunadiarta, MT., selaku selaku Ketua Kelompok Dosen Konsentrasi Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin dan Dosen Pembimbing yang telah banyak memberikan arahan, masukan dan berdiskusi bersama serta meluangkan waktunya untuk membimbing penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
4. Bapak Dr. Eng. Nurkholis Hamidi, ST., M. Eng. selaku Dosen Pembimbing dan Kepala Laboratorium Motor Bakar yang telah banyak memberikan arahan, masukan dan berdiskusi bersama serta meluangkan waktunya untuk membimbing dalam menyelesaikan skripsi.
5. Seluruh Dosen Pengajar Jurusan Teknik Mesin yang telah banyak memberikan ilmu pengetahuan yang sangat mendukung penyusunan skripsi ini.
6. Seluruh Staf Administrasi Jurusan Teknik Mesin serta Fakultas Teknik Universitas Brawijaya atas bantuan dan kelancaran dalam hal administrasi dan surat menyurat.
7. Keluarga besar AHMAD RIDADI (Alm) dan WARDA yang telah memberikan doa, nasehat dan dukungan selama pengerjaan skripsi.

8. Teman seperjuangan dalam penelitian, Mirza Hendrawan ST., Panji Dwi Aprelianto ST., dan mas Haryo Bintoro ST. yang sangat membantu atas kerja keras dan semangat yang tinggi.
9. Keluarga dan teman-teman asisten selama di Laboratorium Komputer antara lain mas Indra, mas Armand, mas M. Fachrur Rozi, Tatas Usodo ST., Yudistyan ST., Nanda Ahmad U.S.M. ST., Andika, Toto, Bagoes, Taufik ST., Sofan, Rizki, Surya, Hadi, Verry, Dodik, Bedul.
10. Para asisten di Laboratorium Motor Bakar yang telah membantu penelitian.
11. Teman seperjuangan PKL ke PT. Semen Gresik Tbk yaitu Aditya ismawan ST., Ari Budi ST., Ibnu Irawan ST.
12. Teman-teman via dunia maya DotA dan FB
13. Rekan-rekan Mesin 2005 yang telah saling membantu selama ini.
14. Semua pihak yang telah banyak membantu penulis selama ini, yang tidak dapat disebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari bahwa ilmu yang dimiliki masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak.

Wassalamualikum wr.wb.

Malang, September 2010

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR LAMPIRAN	viii
RINGKASAN	ix
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Penelitian Sebelumnya	4
2.2 Pembakaran	4
2.2.1 Proses Pembakaran	5
2.2.2 Klasifikasi Pembakaran	6
2.3 Motor Bakar	6
2.3.1 Motor Bakar 4 Langkah	6
2.3.2 Siklus Termodinamika Motor Bakar 4 Langkah	7
2.3.2 Siklus Aktual Motor Bakar 4 Langkah	8
2.4 Minyak Kelapa	10
2.5 Teori Kinetik Gas	14
2.5.1 Ionisasi Pembakaran dan Kinerja Mesin	15
2.6 <i>Free Radical</i>	15
2.7 Saluran Isap (<i>Intake Manifold</i>)	17
2.8 kinerja Motor Bensin	17

2.8.1 Ionisasi Pembakaran.....	18
2.8.2 Daya Efektif (N_e)	18
2.8.3 Momen Torsi (T)	19
2.8.4 <i>Specific Fuel Consumption Effective</i> (SFCe)	19
2.8.5 Efisiensi Thermal Efektif (η_e)	20
2.8.6 Kandungan CO dan HC.....	21
2.9 Kerangka Pemikiran Teoritis	21
2.10 Hipotesa	21

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian	22
3.2 Variabel Penelitian.....	22
3.3 Tempat dan Waktu Pelaksanaan.....	23
3.4 Instalasi Penelitian.....	23
3.5 Alat dan Bahan Penelitian.....	24
3.5.1 Alat yang Digunakan Dalam Penelitian	24
3.5.2 Bahan yang Digunakan Dalam Penelitian	26
3.6 Prosedur Penelitian.....	27
3.7 Rancangan Penelitian	27
3.8 Diagram Alir Penelitian	29

BAB IV ANALISIS DATA dan PEMBAHASAN

4.1 Analisis Data.....	31
4.1.1 Data Hasil Pengujian.....	31
4.1.2 Pengolahan Data	34
4.2 Pembahasan	37
4.2.1 Hubungan antara Putaran Poros dengan Ionisasi Pembakaran	37
4.2.2 Hubungan antara Putaran Poros dengan Torsi	38
4.2.3 Hubungan antara Putaran Poros dengan Daya Efektif	39
4.2.4 Hubungan Antara Putaran Poros dengan <i>Specific Consumption Effective Fuel</i>	41

4.2.5 Hubungan Antara Putaran Poros dengan Efisiensi Thermal Efektif..... 42

4.2.6 Hubungan Antara Putaran Poros dengan Emisi Gas CO..... 44

4.2.7 Hubungan Antara Putaran Poros dengan Emisi Gas HC..... 45

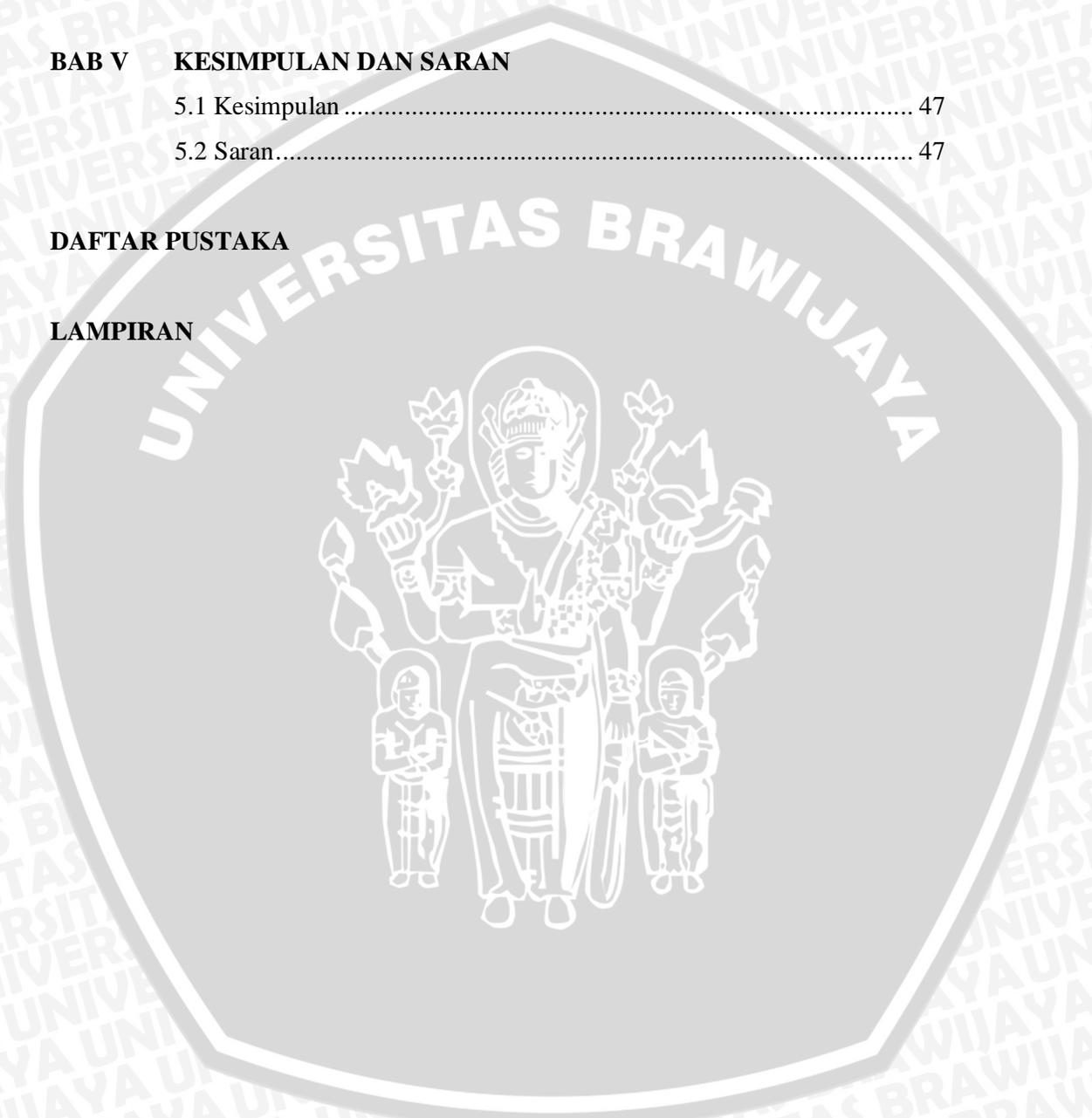
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan..... 47

5.2 Saran..... 47

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Ilustrasi Proses Pembakaran	5
Gambar 2.2	Skema Langkah Kerja Motor Bakar 4 Langkah	7
Gambar 2.3	Siklus Ideal Motor Bakar 4 Langkah	8
Gambar 2.4	Siklus Aktual Motor Bensin empat langkah	9
Gambar 2.5	Pohon Kelapa dan Buah Kelapa	11
Gambar 2.6	Minyak Kelapa (Coconut Oil)	12
Gambar 2.7	Rumus Molekul Minyak Kelapa	14
Gambar 2.8	Keadaan Molekul Ketika Tertumbuk Radikal Bebas	16
Gambar 2.9	Energi Ionisasi Untuk Melepas Elektron	18
Gambar 3.1	Instalasi Penelitian	23
Gambar 3.2	Oscilloscope dan Ion Probe	25
Gambar 3.3	Gelas Ukur Pyrex Katup	25
Gambar 3.4	Tabung dan selang infus	26
Gambar 3.5	Pipa tembaga	26
Gambar 3.6	Minyak Kelapa (Coconut Oil)	27
Gambar 3.7	Diagram Alir Penelitian	30
Gambar 4.1	Grafik hubungan antara putaran mesin dengan ionisasi pembakaran terhadap persentase penambahan uap minyak kelapa	37
Gambar 4.2	Grafik hubungan antara putaran mesin dengan torsi terhadap persentase penambahan uap minyak kelapa	38
Gambar 4.3	Grafik hubungan antara putaran mesin dengan daya efektif terhadap persentase penambahan uap minyak kelapa	40
Gambar 4.4	Grafik hubungan antara Putaran poros dengan <i>Specific Fuel Consumption</i> efektif terhadap persentase penambahan uap minyak kelapa	41
Gambar 4.5	Grafik hubungan antara putaran mesin dengan efisiensi termal efektif terhadap persentase penambahan uap minyak kelapa	43
Gambar 4.6	Grafik hubungan antara putaran mesin dengan kandungan gas CO terhadap persentase penambahan uap minyak kelapa	44
Gambar 4.7	Grafik hubungan antara putaran mesin dengan kandungan gas HC terhadap persentase penambahan uap minyak kelapa	45

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Produktifitas Tanaman Untuk Menghasilkan Minyak	11
Tabel 2.2	Sifat Fisik Beberapa Minyak Nabati dan Minyak Fosil	12
Tabel 2.3	Spesifikasi Standard Minyak Kelapa (<i>Coconut Oil</i>) dan Spesifikasi Standard Minyak Bensin	13
Tabel 3.1	Rancangan Penelitian	28
Tabel 4.1	Data hasil pengujian motor bensin empat langkah pada kondisi standar	31
Tabel 4.2	Data hasil pengujian motor bensin empat langkah dengan penambahan uap minyak kelapa 5%	32
Tabel 4.3	Data hasil pengujian motor bensin empat langkah dengan penambahan uap minyak kelapa 10%	33
Tabel 4.4	Data hasil emisi gas CO dan HC motor bensin empat langkah dengan variasi persentase penambahan uap minyak kelapa	33
Tabel 4.5	Pengolahan data dengan persentase penambahan uap minyak kelapa 0 %	35
Tabel 4.6	Pengolahan data dengan persentase penambahan uap minyak kelapa 5%	36
Tabel 4.7	Pengolahan data dengan persentase penambahan uap minyak kelapa 10 %	36

DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul
Lampiran 1.	Struktur Probe Saat Spark
Lampiran 2.	Struktur Probe Saat Pembakaran



RINGKASAN

Zamri; 2010; Pengaruh Variasi Debit Injeksi Uap Minyak Kelapa (*Coconut Oil*) pada *Intake Manifold* Terhadap Ionisasi Pembakaran dan Kinerja Mesin; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya; Dosen Pembimbing : Ir. I Made Gunadiarta, MT & Dr. Eng. Nurkholis Hamidi, ST., M.Eng.

Minyak kelapa (coconut oil) adalah biofuel yang dikembangkan sebagai bahan bakar alternatif khususnya digunakan sebagai biodiesel. Minyak kelapa memiliki rantai ikatan rangkap, hal ini menyebabkan minyak kelapa tidak mudah terbakar oleh karena itu perlu diberikan perlakuan terhadap minyak kelapa tersebut dengan cara diuapkan. Dalam bentuk uap ikatan rangkap minyak kelapa akan hilang sehingga akan lebih mudah terbakar, dan uap inilah yang diinjeksikan ke dalam intake manifold agar bercampur dengan bahan bakar bensin pada motor bensin empat langkah sehingga akan diketahui bagaimana pengaruhnya terhadap kinerja mesin dan emisi gas buang dengan menganalisa ionisasi pembakarannya.

Pada penelitian ini digunakan minyak kelapa sebesar 0%, 5%, dan 10% dari konsumsi bahan bakar motor bensin empat langkah tersebut yang kemudian diuapkan dan diinjeksikan ke dalam intake manifold. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa penambahan uap hasil penguapan minyak kelapa sebesar 5% meningkatkan ionisasi pembakaran yang terjadi sehingga kinerja motor bensin empat langkah meningkat. Hal ini dikarenakan dengan penambahan uap minyak kelapa menjadikan campuran bahan bakar ionisasinya meningkat sehingga pembakaran menjadi sempurna dan kinerja motor bensin menjadi lebih baik.

Kata kunci : debit minyak kelapa, injeksi uap minyak kelapa, *intake manifold*, ionisasi pembakaran, kinerja motor bensin empat langkah.



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Perkembangan jaman dan kemajuan teknologi menyebabkan kebutuhan energi semakin meningkat. Peningkatan kebutuhan energi tersebut menyebabkan tingkat konsumsi minyak bumi juga meningkat. Hal ini disebabkan sebagian besar aktivitas manusia menggunakan teknologi yang berbahan bakar minyak bumi. Namun di sisi lain minyak bumi bersifat tidak dapat diperbarui (*nonrenewable*), sehingga perlu dilakukan penghematan terhadap minyak bumi. Saat ini para ahli berupaya untuk menemukan cara pemanfaatan energi alternatif yang bisa digunakan dalam penghematan energi minyak bumi. Terdapat beberapa sumber energi alternatif yang sedang dikembangkan untuk disubstitusikan sebagai pengganti bahan bakar fosil. Salah satunya adalah energi berbahan dasar minyak nabati.

Minyak nabati merupakan sumber energi yang dapat diperbarui (*renewable*). Bahan baku energi ini dapat diproduksi kembali serta banyak ditemukan dari bahan tumbuh-tumbuhan yang mengandung potensi kadar minyak yang tinggi. Apabila bahan baku tersebut diproses, minyaknya biasa disebut dengan *biofuel*.

Dalam penelitian ini jenis minyak yang dipakai adalah minyak kelapa (*coconut oil*). Alasan pemilihan minyak kelapa dipakai sebagai sumber energi alternatif adalah karena minyak kelapa bersifat dapat diperbarui (*renewable*), gas buang yang dihasilkan lebih ramah lingkungan, serta proses ekstraksi untuk menghasilkan minyak relatif mudah dan sederhana. Disamping itu, Indonesia merupakan negara penghasil minyak kelapa kedua di dunia (30,7 % ; *Oil World, 2000*) dengan areal seluas 3,7 juta hektar dan produksi 2,8 juta butir kelapa sekali panen (*Manggabarani, 2006 ; Ditjenbun, 2006*). Dalam satu molekul minyak kelapa terdiri dari 1 unit *gliserine* dan sejumlah asam lemak dan 3 (tiga) unit asam lemak dari rantai karbon panjang adalah *triglyseride* (lemak dan minyak). Komponen *glyserine* memiliki titik didih tinggi yang dapat melindungi minyak dari penguapan (*volatilizing*). Pada *biodiesel*, komponen asam lemak dari minyak dikonversikan ke elemen lain yang disebut *ester*. *Glycerine* dan asam lemak dipisahkan dengan proses esterifikasi. Minyak tumbuhan bereaksi dengan alkohol dan katalis, jika minyak tumbuhan adalah minyak kelapa, dan komponen reaktannya adalah alkohol maka akan dihasilkan *coco metil ester* (<http://mesinunimus.files.wordpress.com/2008/02/menganalisa-minyak-kelapa.pdf>).

Pembakaran adalah reaksi kimia antara bahan bakar dengan oksigen dan menghasilkan kalor pada temperatur yang tinggi. Pada proses pembakaran terbentuk molekul aktif yang

merupakan molekul – molekul yang bermuatan. Molekul yang bermuatan ini umumnya disebut ion. Sedangkan molekul atau atom yang bermuatan disebut radikal bebas. Radikal bebas jika menghantam (menumbuk) molekul lainnya dapat menyebabkan jarak ikatan molekul tersebut merenggang dan mengkerut secara periodik. Dengan tambahan sedikit energi dari luar pada saat jarak ikatan atom dalam keadaan merenggang dapat menyebabkan atom – atom dalam molekul terputus sehingga terbentuk ion. Jadi radikal bebas sangat membantu proses reaksi di dalam pembakaran (Wardhana, 2008:8).

Dalam proses pemanasan minyak kelapa, energi panas dari luar digunakan untuk memutuskan ikatan-ikatan molekul dari bahan bakar menjadi radikal bebas yang selalu bergerak dan saling bertumbukan. Semakin meningkatnya pergerakan radikal-radikal bebas menyebabkan tumbukan yang terjadi akan semakin cepat. Tumbukan yang semakin cepat dapat menyebabkan energi kinetik radikal-radikal bebas semakin besar sehingga temperatur pembakaran yang dihasilkan semakin tinggi.

Dengan Temperatur pembakaran yang cukup tinggi maka pembakaran menjadi sempurna sehingga efisiensi mesin semakin meningkat. Efisiensi yang tinggi menyebabkan konsumsi bahan bakar turun, akibatnya daya efektif dan torsi juga meningkat. Maka dapat diambil kesimpulan bahwa semakin besar ionisasi pembakaran maka kinerja mesin menjadi lebih baik.

Pada sistem pembakaran terdapat tiga komponen yang sangat penting, yaitu bahan bakar (*fuel*), udara (*air*), dan energi panas (*heat energy*). Tujuan dari proses pembakaran adalah untuk mengubah energi kimia bahan bakar menjadi energi panas yang selanjutnya dapat digunakan langsung ataupun dapat dikonversikan lagi menjadi bentuk energi yang lain.

Untuk itu perlu dilakukan penelitian mengenai bagaimana pengaruh variasi debit injeksi minyak kelapa pada *intake manifold* terhadap ionisasi pembakaran dan kinerja mesin. Tentunya dengan harapan mampu memperkecil pemakaian bahan bakar pada masyarakat serta meningkatkan kinerja dari motor yang dipakai.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah diatas, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

Bagaimana pengaruh variasi debit injeksi minyak kelapa (*coconut oil*) pada *intake manifold* terhadap ionisasi pembakaran dan kinerja mesin?

1.3 Batasan Masalah

Agar permasalahan tidak terlalu luas, maka perlu adanya batasan masalah pada penelitian ini, yaitu sebagai berikut:

1. Mesin yang digunakan adalah motor bensin 4 langkah Merk Datsun 9 WE-80-100-Hs-Av
2. Bahan bakar yang digunakan adalah bensin premium
3. Minyak nabati yang digunakan adalah minyak kelapa (*coconut oil*)
4. Putaran mesin (rpm) yang digunakan adalah 1200 ; 1700 ; 2200 ; 2700 ; 3200
5. Debit uap minyak kelapa (%) yang digunakan berdasarkan bukaan kran pada selang injeksi yaitu: 0 ; 5 ; 10 ; 15
6. Karakteristik pembakaran yang diamati adalah ionisasi pembakaran dan pengukuran ionisasi pembakaran menggunakan sensor detektor pada busi.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah mengetahui pengaruh variasi debit injeksi minyak kelapa (*coconut oil*) pada *intake manifold* terhadap ionisasi pembakaran dan kinerja mesin.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Mahasiswa dapat mengetahui pengaruh variasi debit injeksi minyak kelapa pada *intake manifold* terhadap ionisasi pembakaran dan kinerja mesin
2. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan ilmu dan wawasan kepada masyarakat luas dalam bidang pemanfaatan minyak kelapa sebagai bahan bakar alternatif
3. Sebagai dasar maupun literatur penelitian selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Sebelumnya

Prastowo B. (2007) telah melakukan penelitian dengan menggunakan minyak nabati sebagai bahan bakar yang salah satunya adalah minyak kelapa (*Coconut Oil*). Dari penelitian tersebut didapatkan bahwa minyak kelapa adalah salah satu minyak nabati yang mudah dalam proses pembuatannya. Mempunyai titik bakar dan kekentalan yang paling rendah daripada minyak nabati yang lainnya. Selain itu minyak kelapa juga mempunyai nilai kalori yang mendekati nilai kalor dari minyak solar. Dari beberapa keunggulan sifat minyak kelapa tersebut diharapkan nantinya minyak kelapa mampu menggantikan fungsi bahan bakar fosil dalam pasokan bahan bakar dunia.

2.2. Pembakaran

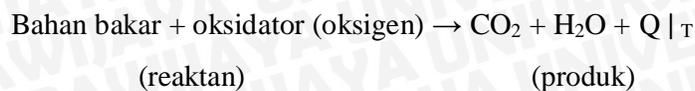
Pembakaran merupakan reaksi kimia oksidasi yang sangat cepat antara oksigen dengan bahan yang dapat terbakar dan menghasilkan kalor pada temperatur yang tinggi. Pembakaran dapat juga didefinisikan sebagai reaksi kimia yang terjadi antara bahan bakar dengan udara (oksigen) dengan bantuan energi dari luar (energi aktivasi). Energi tersebut berfungsi sebagai pemutus ikatan-ikatan bahan bakar menjadi radikal (ion) dan sangat reaktif.

Dalam setiap proses pembakaran ada dua peristiwa yang pasti terjadi, antara lain :

1. Komposisi campuran berubah terhadap waktu dan perubahan ini disebabkan oleh proses pada tingkat molekuler.
2. Ikatan-ikatan molekul yang lemah terlepas, kemudian digantikan oleh ikatan yang lebih kuat. Kelebihan energi ikat dilepas ke dalam sistem yang biasanya menyebabkan kenaikan temperatur.

Berdasarkan dua peristiwa di atas terdapat dua hal yang sangat penting yang harus dipenuhi agar proses pembakaran bisa berlangsung, antara lain kesetimbangan massa dan kesetimbangan energi (*Wardhana, 1995:11*).

Persamaan reaksi pembakaran secara umum :

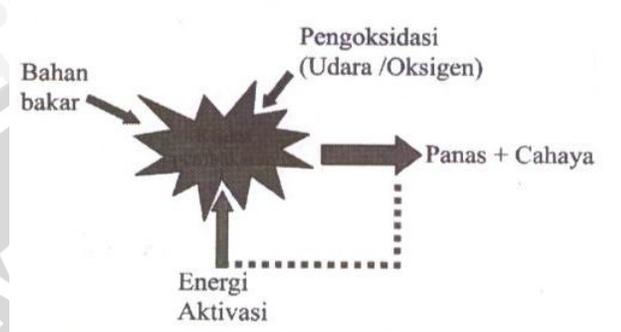


2.2.1 Proses Pembakaran

Proses pembakaran bisa berlangsung jika ada :

1. Bahan bakar
2. pengoksidasi (oksigen)
3. Panas atau energi aktivasi

Ilustrasi proses pembakaran dapat dilihat pada gambar 2.1 di bawah ini:



Gambar 2.1 : ilustrasi proses pembakaran
Sumber : Wardana, 2008 : 3

Panas atau energi di sini diperlukan untuk mengaktifkan molekul-molekul bahan bakar disebut energi aktivasi. Proses pembakaran yang ideal adalah pembakaran yang dapat menghasilkan produk pembakaran secara sempurna. Kondisi ini disebut dengan kondisi stoikiometri. Pembakaran dikatakan sempurna bila campuran bahan bakar dan oksigen (dari udara) mempunyai perbandingan yang tepat, hingga tidak diperoleh sisa. Bila oksigen terlalu banyak, dikatakan campuran *lean* (kurus). Pembakaran ini menghasilkan api oksidasi.

Sebaliknya, bila bahan bakarnya terlalu banyak (atau tidak cukup oksigen), dikatakan campuran *rich* (kaya). Pembakaran ini menghasilkan api reduksi. Api reduksi ditandai oleh lidah api panjang, kadang-kadang sampai terlihat berasap. Keadaan ini juga disebut pembakaran tidak sempurna.

Pada proses pembakaran selalu diusahakan untuk terjadinya pembakaran yang sempurna, karena itu ada beberapa persyaratan yang harus dipenuhi, yaitu :

1. Penguapan yang efisien dari bahan bakar.
2. Digunakan cukup udara .
3. Harus terjadi campuran yang homogen antara bahan bakar dan udara.
4. Temperatur pembakaran harus cukup tinggi.

Kalau salah satu syarat ini tidak dipenuhi maka tidak akan terjadi pembakaran sempurna. (Soetiari Tj,1990:35).

2.2.2 Klasifikasi Pembakaran

Berdasarkan kondisi campuran bahan bakar dengan oksigen, pembakaran dibedakan menjadi dua jenis yaitu:

1. Pembakaran *premix* adalah proses pembakaran dimana bahan bakar dan udara sebagai pengoksidasi sudah bercampur terlebih dahulu sebelum terjadi pembakaran. Keberhasilan dari pembakaran *premix* dipengaruhi oleh faktor homogenitas campuran udara dan bahan bakar, dimana pembakaran pada campuran udara dan bahan bakar yang tidak homogen menghasilkan pembakaran yang tidak sempurna dan tekanan yang dihasilkan tidak maksimal. Jenis pembakaran yang digunakan dalam penelitian ini adalah pembakaran *premix*.
2. Pembakaran difusi yaitu proses pembakaran dimana bahan bakar dan udara sebagai pengoksidasi tidak bercampur secara mekanik, melainkan dibiarkan bercampur sendiri secara alami melalui proses difusi selanjutnya baru terjadi pembakaran.

2.3 Motor Bakar

Motor Bakar yang digunakan sampai sekarang adalah jenis motor bakar torak, yang beroperasi dengan langkah bolak-balik atau *reciprocating engine*. Berdasarkan langkah kerjanya dibedakan menjadi motor bakar 4 langkah (*four stroke engine*) dan motor bakar 2 langkah (*two stroke engine*).

2.3.1. Motor Bakar 4 Langkah

Pada motor bakar 4 langkah, setiap satu siklus kerja memerlukan 4 kali langkah torak atau dua kali putaran poros engkol, yaitu :

a) Langkah Hisap (*suction stroke*)

Torak bergerak dari posisi TMA (Titik Mati Atas) ke TMB (Titik Mati Bawah), dengan katup hisap terbuka dan katup buang tertutup. Karena gerakan torak tersebut maka campuran udara dengan bahan bakar akan terhisap masuk ke dalam ruang bakar.

b) Langkah kompresi (*compression stroke*)

Torak bergerak dari posisi TMB ke TMA, dengan katup hisap dan katup buang tertutup, sehingga terjadi proses kompresi yang mengakibatkan tekanan dan temperatur di dalam silinder naik. Sebelum posisi torak mencapai TMA pada langkah kompresi, pada motor bensin busi dinyalakan sehingga terjadi proses pembakaran.

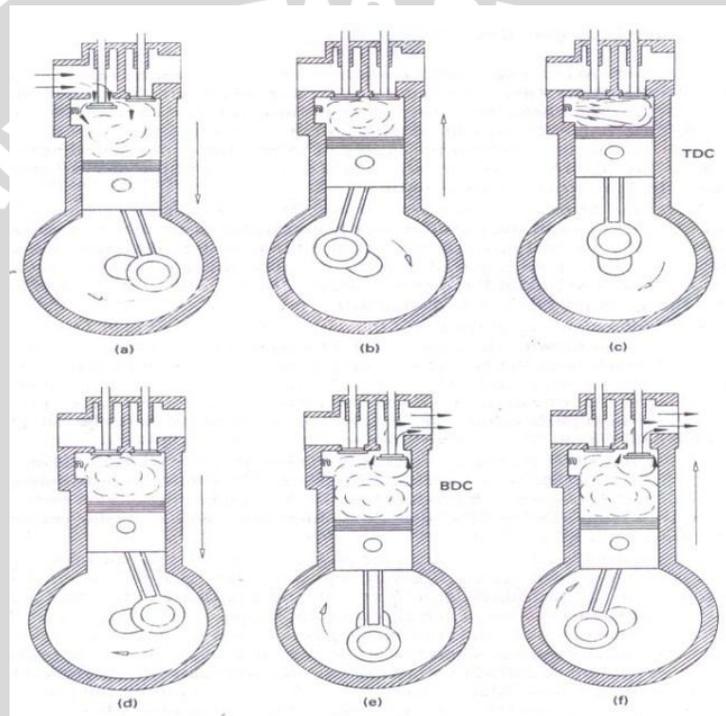
c) Langkah ekspansi (*Expansion stroke*)

Akibat pembakaran tekanan dan temperatur di ruang bakar naik, sehingga torak mampu melakukan langkah kerja atau langkah ekspansi. Langkah ekspansi ini sering disebut dengan *power stroke* atau langkah kerja. Ketika torak mencapai TMB, katup buang terbuka sementara katup isap tetap tertutup

d) Langkah Buang (*exhaust stroke*)

Torak bergerak dari TMB ke TMA, katup hisap tertutup dan katup buang terbuka sehingga gas hasil pembakaran terbuang ke atmosfer.

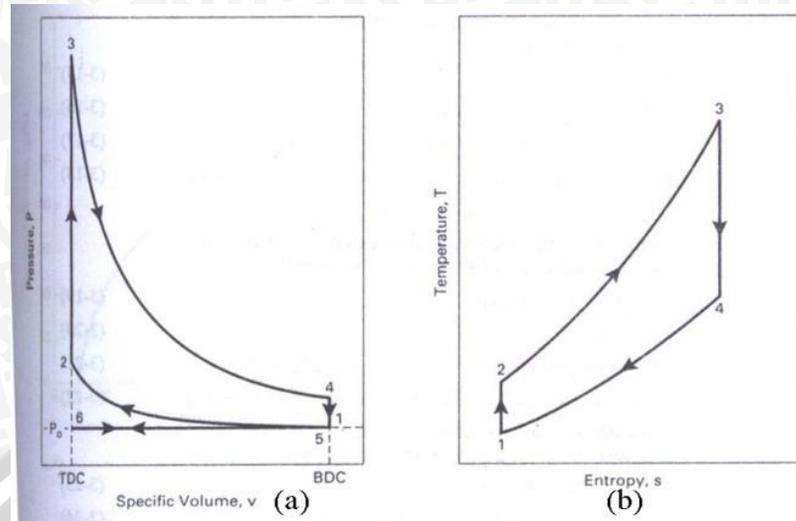
Skema langkah kerja motor bakar 4 langkah dapat dilihat pada gambar 2.2 di bawah ini:



Gambar 2.2 : Skema langkah kerja motor bakar 4 langkah
Sumber : Pulkrabek, 1997 : 75.

2.3.2. Siklus Termodinamika Motor Bensin 4 Langkah

Siklus udara standar yang dipakai pada motor bensin 4 langkah adalah siklus Otto. Pada siklus udara standar semua proses pembentuk siklus dalam motor bakar bensin 4 langkah adalah ideal yaitu proses reversibel internal. Siklus ideal motor bakar 4 langkah dapat dilihat pada gambar 2.3 di bawah ini :



Gambar 2.3 : siklus ideal motor bakar 4 langkah

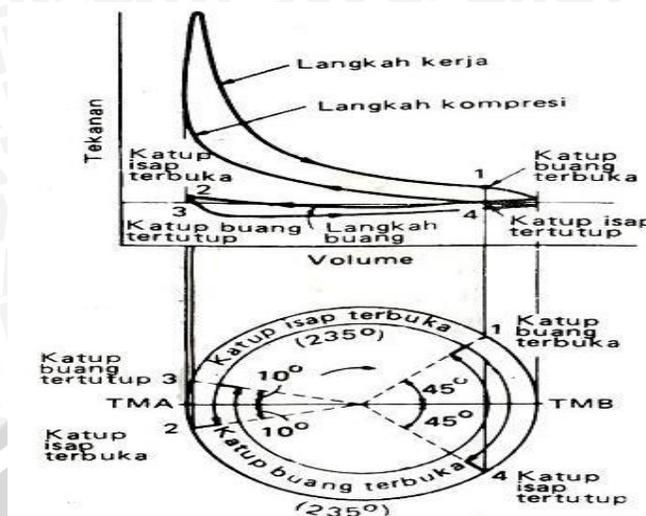
Sumber : Pulkrabek, 1997 : 75.

Keterangan :

1. Proses 1-2 adalah kompresi adiabatik reversibel.
2. Proses 2-3 adalah pemasukan panas pada volume konstan.
3. Proses 3-4 adalah ekspansi adiabatik reversibel.
4. Proses 4-1 adalah pelepasan panas pada volume konstan.
5. Proses 6-1 adalah langkah isap pada tekanan konstan sedangkan Proses 5-6 adalah Langkah buang pada tekanan konstan.

2.3.3 Siklus Aktual Motor Bensin Empat Langkah

Apabila tekanan gas dan volume silinder secara bersamaan pada setiap posisi torak dapat diukur maka dapat digambarkan siklus aktual motor bensin empat langkah yang bentuknya seperti ditunjukkan pada gambar 2.4 di bawah ini :



Gambar 2.4 : Siklus aktual motor bensin empat langkah
Sumber : Arismunandar, 1988 : 31

Proses langkah kerja pada motor bensin empat langkah dalam kenyataannya tidak dapat bekerja dalam kondisi ideal. Menurut Arismunandar (1988 : 29), penyimpangan dari siklus ideal itu terjadi karena dalam keadaan yang sebenarnya terjadi kerugian antara lain disebabkan oleh beberapa hal sebagai berikut :

1. Kebocoran fluida kerja karena penyekatan oleh cincin torak dan katup tidak dapat sempurna.
2. Katup tidak dibuka dan ditutup tepat di TMA dan TMB karena pertimbangan dinamika mekanisme katup dan kelembaman fluida kerja. Kerugian tersebut dapat diperkecil bila saat pembukaan dan penutupan katup disesuaikan dengan besarnya beban dan kecepatan torak.
3. Fluida kerja bukanlah udara yang dapat dianggap sebagai gas ideal dengan kalor spesifik yang konstan selama proses siklus berlangsung.
4. Pada motor bakar torak yang sebenarnya, pada waktu torak berada pada TMA, tidak terdapat proses pemasukan kalor seperti pada siklus udara. Kenaikan tekanan dan temperatur fluida kerja disebabkan oleh proses pembakaran antara bahan bakar dengan udara dalam silinder.
5. Proses pembakaran memerlukan waktu, jadi tidak berlangsung sekaligus. Akibatnya, proses pembakaran berlangsung pada volume ruang bakar yang berubah-ubah karena gerakan torak. Dengan demikian proses pembakaran harus sudah dimulai beberapa derajat sudut engkol sebelum torak mencapai TMA dan berakhir beberapa derajat sudut engkol sesudah torak bergerak kembali dari TMA

menuju TMB. Jadi proses pembakaran tidak dapat berlangsung pada volume atau pada tekanan konstan. Disamping itu, pada kenyataannya tidak pernah terjadi pembakaran yang sempurna. Karena itu daya dan efisiensinya sangatlah bergantung pada perbandingan bahan bakar dan udara, kesempurnaan bahan bakar dan udara bercampur, dan saat penyalaan.

6. Terdapat kerugian kalor yang disebabkan perpindahan kalor dari fluida kerja ke fluida pendingin, terutama pada saat langkah kompresi, langkah ekspansi dan pada saat gas buang meninggalkan silinder. Perpindahan kalor tersebut terjadi karena terdapat perbedaan temperatur antara fluida kerja dan fluida pendingin
7. Terdapat kerugian energi kalor yang dibawa oleh gas buang dari dalam silinder ke atmosfer sekitar. Energi tersebut tidak dapat dimanfaatkan untuk melakukan kerja mekanik.
8. Terdapat kerugian energi karena gesekan antara fluida kerja dengan dinding salurannya.

Berdasarkan semua hal di atas, bentuk diagram P-V dari siklus yang sebenarnya tidak sama dengan bentuk diagram siklus ideal. Siklus yang sebenarnya tidak pernah merupakan siklus volume konstan. Diagram aktual motor bensin empat langkah didapatkan dari pencatatan indikator, sehingga disebut juga diagram indikator. Karena semua penyimpangan di atas menimbulkan kerugian energi, maka sebaiknya diusahakan agar siklus yang sebenarnya dapat mendekati siklus yang ideal.

2.4 Minyak Kelapa

Minyak kelapa diperoleh dari daging buah tumbuhan kelapa (*Coconut Oil*), dimana kandungan minyak pada daging buah kelapa tua diperkirakan mencapai 30%-35%. Kandungan minyak dalam kopra mencapai 63-72% sehingga pemanfaatan minyak kelapa sebagai bahan baku biodiesel perlu dikembangkan, karena potensi minyak kelapa sangat besar untuk pembuatan biodiesel. Bila dibandingkan dengan sumber bahan bakar minyak yang lain, rendemen minyak yang dihasilkan oleh kelapa relatif tinggi. Apalagi untuk memenuhi permintaan bahan bakar yang saat ini sangat tinggi. Produktifitas beberapa tanaman untuk menghasilkan minyak dapat dilihat pada tabel 2.1. (http://www.dekindo.com/content/teknologi/Proses_Pengolahan_Minyak_Kelapa.pdf)

Tabel 2.1. Produktifitas tanaman untuk menghasilkan minyak

Tanaman Biji	Hasil Bahan Bakar Minyak (liter/hektar)
Jagung	172
Kedelai	446
Canola	1,190
Jarak	1,892
Kelapa	2,689
Kelapa Sawit	5,950

Sumber : <http://www.dkp.go.id/>

Minyak kelapa sangat berpotensi menggantikan minyak diesel salah satunya karena titik bakar (temperatur yang menunjukkan mulai terbakarnya suatu bahan bakar) pada minyak kelapa lebih rendah daripada minyak nabati lainnya, meskipun viskositasnya lebih tinggi daripada minyak diesel. Minyak kelapa berasal dari pengolahan daging buah kelapa. Pengolahan bisa dilakukan dengan berbagai cara, salah satunya adalah dengan cara basah yang terdiri dari : Cara Basah Tradisional, Cara Basah Sentrifugasi, dan Cara Basah Fermentasi (tanpa menggunakan api). Cara Basah Tradisional salah satu yang paling sederhana. Prosesnya adalah Daging buah diparut, kemudian ditambah air dan diperas sehingga mengeluarkan santan. Setelah itu dilakukan pemisahan minyak dari santan dengan pemanasan. Santan dipanaskan sehingga airnya menguap dan tinggal padatan yang menggumpal. Gumpalan padatan ini disebut blondo (galendo). Minyak dipisahkan dari blondo dengan cara penyaringan. Blondo masih banyak mengandung minyak sehingga masih bisa diambil minyaknya dengan cara diperas. Gambar daging buah kelapa dan minyak kelapa yang sudah jadi dapat dilihat pada gambar 2.5 dan 2.6 di bawah ini :



Gambar 2.5 : Pohon Kelapa dan Buah Kelapa

Sumber : <http://aitrisnawati.com/wp-content/>



Gambar 2.6 : Minyak Kelapa (*Coconut Oil*)

Sumber : <http://wb4.indo-work.com/>

Sifat dan karakteristik minyak kelapa (*Coconut Oil*) dapat dilihat pada tabel 2.2 di bawah ini:

Tabel 2.2. Sifat fisik beberapa minyak nabati dan minyak fosil

Jenis Minyak	Titik Bakar (°C)	Kekentalan (10 ⁻⁶ m ² /s)	Angka Iodine	Saponification Value	Nilai Kalori (MJ/Kg)
Jarak	340	75,7	103,0	198,0	39,65
Kelapa	270-300	51,9	10,4	268,0	37,54
Kelapa Sawit	314	88,6	54,2	199,1	39,54
Rapeseed	317	97,7	98,6	174,7	40,56
Bunga Matahari	316	65,8	132,0	190,0	39,81
Minyak Tanah	50-55	2,2	-	-	43,50
Minyak Solar	55	2-8	-	-	45,00

Sumber : Lide dan Frederikse, 1995 et al. (1998).

Komposisi asam lemak minyak kelapa terdiri dari asam laurat ($C_{11}H_{23}COOH$) sebesar 48 %, asam miristat ($C_{13}H_{27}COOH$) sebesar 17,5 %, asam palmitat ($C_{15}H_{31}COOH$) sebesar 8,8 %, asam kaplirat ($C_7H_{17}COOH$) sebesar 8 %, asam kaprat ($C_9H_{19}COOH$) sebesar 7 %, asam oleat ($C_{17}H_{33}COOH$) sebesar 6 %, asam linoleat ($C_{17}H_{31}COOH$) sebesar 2,5 % dan asam stearat ($C_{17}H_{35}COOH$) sebesar 2 %. Minyak kelapa juga memiliki asam lemak bebas (FFA) kurang dari 5%. Konversi biodiesel dengan kandungan FFA sebesar 1,97 – 5,31% pada bahan baku dapat menghasilkan rendemen proses sebesar 82,69 – 90,01%. Pada percobaan dengan perlakuan kandungan FFA menunjukkan semakin besar kandungan asam lemak bebas semakin kecil konversi biodiesel yang dihasilkan. Adanya kandungan FFA yang tinggi akan menyebabkan pembentukan sabun, yang selanjutnya akan tercampur dengan bahan baku, menghambat proses transesterifikasi sehingga memperkecil produksi biodiesel.

Beberapa alasan minyak kelapa (*Coconut Oil*) dipilih sebagai bahan bakar alternatif yaitu sebagai berikut :

1. Tanaman kelapa mudah tumbuh dan mudah dikembangkan.
2. Minyak kelapa merupakan bahan bakar yang dapat diperbarui (*renewable fuels*).
3. Rendemen minyak yang dihasilkan tinggi.
4. Emisi yang dihasilkan lebih rendah dari bahan bakar minyak.

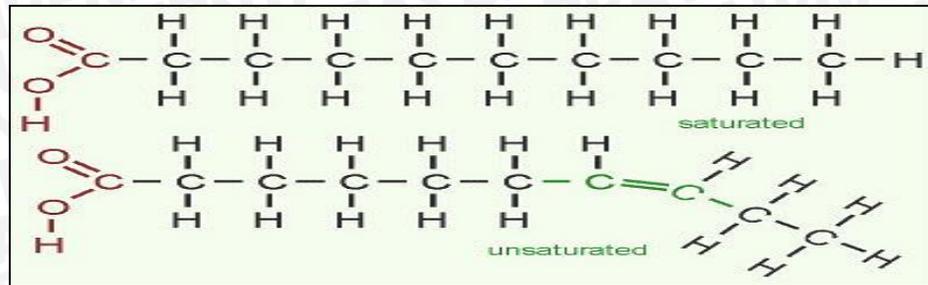
Nilai kalor dari minyak kelapa berada sedikit di bawah bensin. Minyak kelapa memiliki *melting point* 21,25°C, *boiling point* >232°C, *specific gravity* (SG) 0,922 – 0,926 pada suhu 25°C dan *flash point* 287°C. Untuk nilai energi spesifik, angka setana, viskositas kinematik, dan sifat fisik yang lain, minyak kelapa tidak jauh berbeda dengan minyak – minyak yang lain. Spesifikasi standard minyak kelapa (*Coconut Oil*) dan spesifikasi standard minyak bensin dapat dilihat pada table 2.3 di bawah ini :

Tabel 2.3 Spesifikasi Standard Minyak Kelapa (*Coconut Oil*) dan Spesifikasi Standard Minyak Bensin

Specification	Standard Specification of (<i>Coconut Oil</i>)	Standard specification of Gasoline
Specific gravity	0,922-0,926	0.72–0.76
Flash point	287°C.	< –40 °C
Kinematics Viscosity	26,220 cSt	< 0.46 cSt
Calorific value	9.096 kcal/kg	11.000 kcal/kg
Sulphur %	0,009 %	0,0182 % or less

Sumber : www.edc-cu.org/

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa, nilai kalor minyak kelapa relatif sedikit di bawah bensin. Angka setana dari minyak kelapa yang tidak terlalu tinggi juga menjadikan minyak kelapa bisa digunakan sebagai bahan bakar alternatif. Adapun rumus molekul dari minyak kelapa dapat dilihat pada gambar 2.7 di bawah ini :



Gambar 2.7 : Rumus Molekul Minyak Kelapa

Sumber : <http://biology.clc.uc.edu/>

Pada struktur kimia minyak kelapa yang ada di atas dapat dilihat bahwa rantainya memiliki ikatan panjang. Termasuk dalam susunan asam lemak rantai sedang (*medium chain fatty acids*) yang memiliki 8-16 atom karbon yang diikat oleh 1 atom hidrogen. Karena memiliki ikatan panjang menyebabkan atom-atom dari minyak kelapa menjadi stabil, sehingga minyak kelapa akan lebih sulit terbakar dan butuh energi yang besar untuk melepaskan ikatan-ikatan atom dari minyak kelapa tersebut. Namun minyak kelapa merupakan asam lemak jenuh (*Saturated Fatty Acid*), yaitu tidak memiliki ikatan ganda, sehingga nilai energi disosiasinya rendah dibanding minyak nabati lain yang memiliki ikatan rangkap.

Energi disosiasi ikatan didefinisikan sebagai sejumlah energi yang dibutuhkan untuk memutuskan satu mol ikatan kimia suatu zat dalam fase gas. Satuan SI (standar internasional) untuk energi disosiasi ikatan adalah kilojoule per mol ikatan (kJ/mol).

2.5 Teori Kinetik Gas

Dari sudut pandang atom atau molekul, reaksi pembakaran merupakan proses tumbukan antar atom atau molekul. Tetapi setiap tumbukan atom tidak selalu menghasilkan reaksi. Kecepatan (energi kinetik) minimum dimana reaksi akan dapat berlangsung merupakan energi aktivasi dari atom atau molekul tersebut. Dalam reaksi pembakaran, kecepatan reaksi sangat berpengaruh terhadap temperatur pembakaran. Ada 4 faktor yang mempengaruhi laju suatu reaksi, yaitu :

1. Sifat kimia reaktan, karena energi aktivasi berbeda untuk tiap reaksi.
2. Konsentrasi reaktan, karena jumlah tumbukan meningkat sejalan dengan peningkatan konsentrasi.
3. Temperatur, karena peningkatan temperatur meningkatkan kecepatan molekul sehingga frekuensi tumbukan akan semakin meningkat.

4. Katalis, karena zat ini menyebabkan tumbukan lebih efektif.

Persamaan energi kinetik gas, yaitu:

$$\frac{3}{2} k T = \frac{1}{2} m \bar{v}^2 \quad \dots (Halliday D, 1985 : 25) \quad (2-1)$$

Keterangan :

T = temperatur pembakaran (K)

v = kecepatan reaksi (m/s)

k = konstanta Boltzmann = 1.380622×10^{-23} J/K

m = massa zat yang bereaksi (kg)

Dari persamaan tentang teori kinetik gas di atas dapat dilihat bahwa kecepatan reaksi pembakaran berbanding lurus dengan temperatur pembakaran. Dengan semakin meningkatnya kecepatan reaksi pembakaran atau kecepatan atom-atom yang mengalami tumbukan, maka temperatur pembakaran yang terjadi akan meningkat.

2.5.1 Ionisasi Pembakaran dan Kinerja Mesin

Dalam proses pemanasan minyak kelapa, energi panas dari luar digunakan untuk memutuskan ikatan-ikatan molekul dari bahan bakar menjadi radikal bebas yang selalu bergerak dan saling bertumbukan. Semakin meningkatnya pergerakan radikal-radikal bebas, maka tumbukan yang terjadi akan semakin cepat. Tumbukan yang semakin cepat dapat menyebabkan energi kinetik radikal-radikal bebas semakin besar sehingga temperatur pembakaran yang dihasilkan semakin tinggi.

Dengan temperatur pembakaran yang semakin tinggi maka pembakaran menjadi sempurna (Soetiari Tj, 1990:35), sehingga efisiensi mesin semakin meningkat. Efisiensi yang tinggi menyebabkan konsumsi bahan bakar turun, akibatnya daya efektif dan torsi juga meningkat. Maka dapat diambil kesimpulan bahwa semakin besar ionisasi pembakaran maka kinerja mesin menjadi lebih baik.

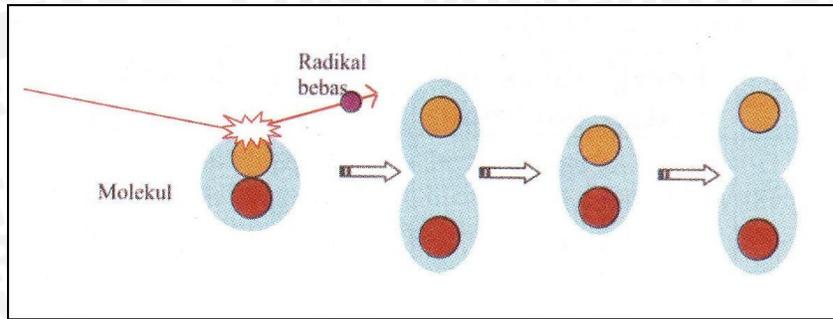
2.6 Free Radical

Sesuatu yang bergerak paling aktif dalam proses reaksi disebut *free radical* (ion). Dalam istilah kimia, *free radical* dinyatakan sebagai ikatan elektron yang terlepas dari senyawa atau dari unsur atomnya.

Contoh :



dari contoh tersebut CH_4 bereaksi menjadi *free radical* CH_3^\cdot dan H^\cdot yang masing-masing akan sangat reaktif untuk membentuk pasangan baru. Keadaan molekul ketika tertumbuk radikal bebas dapat dilihat pada gambar 2.8 di bawah ini :



Gambar 2.8 : Keadaan molekul ketika tertumbuk radikal bebas
 Sumber : Wardana, 2008 : 5

Reaksi dasar dari reaksi berantai ini disebut *chain-initiating* (rantai pembentukan) atau *chain-terminating* (rantai pelepasan) tergantung apakah reaksi tersebut membentuk ataukah menghilangkan radikal. Jika dilihat dari perbandingan *free radical* produk terhadap reaktan, reaksi dasar tersebut disebut *chain-propagating* (rantai perambatan) atau *chain-carrying* jika perbandingannya sama dengan satu dan *chain-branching* jika perbandingannya lebih dari satu.

Beberapa reaksi dasar dan penamaannya sebagai berikut :

- *chain-initiating*

contoh :



- *chain-terminating*

contoh :



Pada pembakaran hidrokarbon yang terbentuk pertama kali adalah *hydroperoxide radical* (HOO^\cdot), yang nantinya akan membentuk *hydroxide radicals* (OH^\cdot) .

2.7 Saluran isap (*Intake Manifold*)

Saluran isap (*intake manifold*) merupakan salah satu bagian dari sistem isap, yaitu merupakan sistem yang mengatur serta mengalirkan jumlah bahan bakar dan udara yang tepat ke dalam silinder pada saat mesin bekerja. Saluran isap berupa suatu pipa yang berfungsi sebagai saluran untuk mengalirkan campuran bahan bakar dengan udara dari karburator ke dalam silinder mesin pada saat mesin bekerja. Besarnya diameter dan panjang dari saluran isap (*intake manifold*) haruslah seimbang, yaitu tidak terlalu panjang dan juga tidak terlalu pendek sehingga diharapkan terjadi pencampuran bahan bakar dan udara yang baik.

Campuran antara bahan bakar dan udara dalam *intake manifold* dapat terjadi dalam tiga kondisi yang dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti kondisi mesin, umur mesin, bahan bakar yang digunakan, dan sebagainya. Kondisi tersebut adalah sebagai berikut :

1. Bahan bakar (dalam bentuk kabut/*droplets*) dengan udara bercampur dengan baik sehingga bahan bakar dan udara tersebut akan mengalir bersama – sama ke dalam silinder mesin. Hal ini merupakan kondisi ideal yang diharapkan terjadi.
2. Terdapat sebagian kecil bahan bakar yang masih dalam bentuk tetes cairan sehingga tidak bisa bercampur dengan udara secara sempurna.
3. Terjadi lapisan tipis bahan bakar pada dinding *intake manifold*. Hal ini terjadi karena bahan bakar yang masih dalam bentuk titik cairan akibat adanya gaya gravitasi dan adanya perbedaan berat jenis yang akan mengumpul menjadi suatu lapisan tipis pada dinding *intake manifold*.

Dua kondisi di atas menyebabkan terjadinya perbedaan perbandingan campuran jumlah bahan bakar dan udara yang di alirkan ke silinder akibat campuran bahan bakar dan udara yang kurang homogen.

2.8 Kinerja Motor Bensin

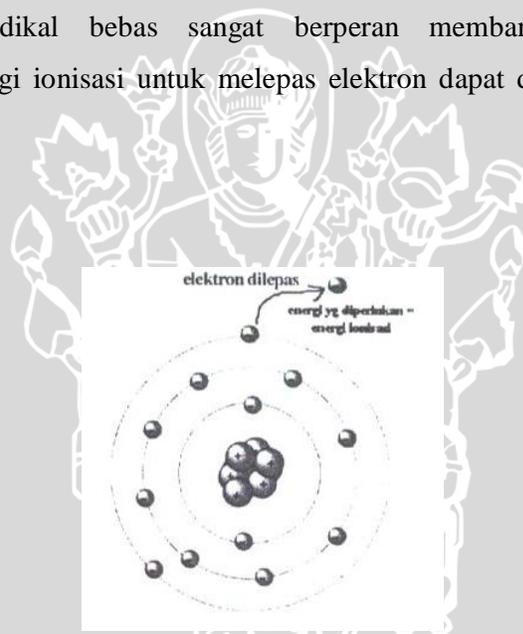
Pengujian dari satu motor bakar adalah untuk mengetahui kinerja dari motor bakar itu sendiri. Parameter-parameter yang akan di bahas untuk mengetahui kinerja motor bensin dalam penelitian ini meliputi :

1. Ionisasi Pembakaran
2. Daya efektif (N_e)
3. Torsi (T)
4. Konsumsi Bahan Bakar Spesifik Efektif (SFC_e)
5. Efisiensi Termal Efektif (η_e)
6. Kandungan gas CO dan HC

2.8.1 Ionisasi Pembakaran

Ion merupakan molekul aktif atau molekul - molekul yang bermuatan, sedangkan molekul atau atom bermuatan akibat pemutusan ikatan molekul – molekul disebut radikal bebas. Molekul atau atom bermuatan tersebut sangat mudah bereaksi karena tidak stabilnya muatan. Ia akan mudah tertarik oleh molekul – molekul dengan muatan berlawanan. Jadi agar reaksi pembakaran bisa berlangsung, maka molekul – molekul bahan bakar dibuat bermuatan dengan cara melepaskan satu atau beberapa elektron dari kulit terluar atom atau memutus ikatan rantai molekul. Radikal bebas jika menghantam (menumbuk) molekul lainnya dapat menyebabkan jarak ikatan molekul tersebut merenggang dan mengkerut secara periodik.

Dengan tambahan sedikit energi dari luar pada saat jarak ikatan atom dalam keadaan merenggang dapat menyebabkan atom – atom dalam molekul terputus dan terbentuk ion. Jadi radikal bebas sangat berperan membantu proses reaksi pembakaran. Ilustrasi Energi ionisasi untuk melepas elektron dapat dilihat pada gambar 2.9 di bawah ini :



Gambar 2.9 : Energi ionisasi untuk melepas elektron

Sumber : <http://www.kimiaku.info/>

2.8.2 Daya efektif (Ne)

Daya efektif adalah daya poros engkol yang berguna untuk menggerakkan beban setelah mengalami kerugian-kerugian seperti gesekan antara piston dan dinding silinder, gesekan poros dengan bantalan, dan untuk menggerakkan peralatan bantu seperti kipas, pompa minyak dan lain-lain. Daya efektif juga dapat dicari dengan mengalikan torsi (T) dengan kecepatan angular poros (ω). Persamaannya adalah sebagai berikut :

$$N_e = T \cdot \omega = \frac{T \cdot 2\pi \cdot n}{60 \cdot 75} = \frac{T \cdot n}{716,2} \quad \dots(\text{Arismunandar, 2002 : 32}) \quad (2-4)$$

keterangan :

- N_e = Daya Efektif (PS)
 T = Torsi (kgf.m)
 n = Putaran poros engkol (rpm)
 ω = Kecepatan angular poros (rad /s)

2.8.3 Momen Torsi (T)

Hasil dari proses pembakaran di dalam silinder menimbulkan tekanan yang dapat menekan torak melakukan langkah ekspansi atau kerja. Tekanan tersebut diubah menjadi gaya oleh torak yang selanjutnya diteruskan ke batang torak yang kemudian akan menyebabkan berputarnya poros engkol. Berputarnya poros engkol ini akan menimbulkan Momen putar yang di sebut torsi. Besarnya torsi suatu mesin dapat diukur dengan menggunakan alat *dynamometer*. *Dynamometer* ini akan menunjukkan besarnya gaya pengereman pada poros. Jadi Torsi adalah perkalian antara gaya tangensial (F_t) dengan jari – jari (r) yang menyebabkan benda berputar pada porosnya. Persamaannya dirumuskan sebagai berikut :

$$T = F_t \cdot r \quad \dots(\text{Soenarta, 1995 : 11}) \quad (2-5)$$

Keterangan :

- T = Torsi yang dihasilkan (kg.m)
 F_t = Besarnya gaya tangensial (kg)
 r = Panjang jari-jari (m)

2.8.4 *Specific fuel consumption effective*(SFCe)

Pemakaian bahan bakar spesifik efektif pada motor bakar dapat dinyatakan dalam massa bahan bakar per satu satuan keluaran daya atau dapat didefinisikan sebagai banyaknya bahan bakar yang diperlukan untuk menghasilkan daya efektif sebesar satu PS selama jangka waktu satu jam. Konsumsi bahan bakar pada motor bakar dapat diukur dengan menggunakan tabung ukur yang disebut *flowmeter* dimana bahan bakar dialirkan melalui tabung ukur yang diketahui volumenya dan untuk mengetahui konsumsi bahan bakar maka dilakukan pencatatan waktu yang diperlukan mesin untuk menghabiskan

bahan bakar sebanyak volume tersebut, dengan menggunakan stopwatch. Konsumsi bahan bakar tersebut dikonversikan ke dalam kg/jam dan dirumuskan sebagai berikut :

$$F_c = \frac{b}{t} \cdot \gamma_f \cdot \frac{3600}{1000} \quad \dots(\text{Petrovsky, 1979 : 63}) \quad (2-6)$$

Keterangan :

F_c = Konsumsi bahan bakar (kg/jam)

b = Volume bahan bakar dalam tabung ukur (ml)

t = Waktu yang diperlukan untuk menghabiskan bahan bakar sebanyak b ml (detik)

γ_f = Berat spesifik bahan bakar (kg/l)

Pemakaian bahan bakar spesifik efektif dapat dijadikan sebagai ukuran ekonomis atau tidaknya motor bakar bensin. Dari nilai F_c didapat nilai konsumsi bahan bakar spesifik efektif dengan persamaan sebagai berikut :

$$SFC_e = \frac{F_c}{N_e} \quad \dots(\text{Petrovsky, 1979 : 63}) \quad (2-7)$$

keterangan :

SFC_e = *Spesific fuel consumption effective* (kg/PS.jam)

F_c = Konsumsi bahan bakar (kg/jam)

N_e = Daya efektif (PS)

$$SFC_e = \frac{632}{\eta_{te} \cdot LHV_{bb}} \quad \dots(\text{Pulkrabek, 1979 : 63}) \quad (2-8)$$

keterangan :

SFC_e = *Spesific fuel consumption effective* (kg/PS.jam)

η_e = Efisiensi termal efektif (%)

LHV_{bb} = Nilai kalor dari bahan bakar bensin (kcal/kg) = 11.000 kcal/kg

2.8.5 Efisiensi Thermal Efektif (η_e)

Efisiensi thermal efektif mempunyai korelasi dengan konsumsi bahan bakar efektif (SFC_e). Nilai dari efisiensi termal efektif adalah berbanding terbalik dengan nilai SFC_e .

Konsumsi bahan bakar yang rendah menunjukkan efisiensi termal efektif yang tinggi. Hal ini ditunjukkan dengan persamaan sebagai berikut :

$$\eta_e = \frac{632 \cdot Ne}{Fc \cdot LHV_{bb}} = \frac{632}{Fc/Ne \cdot LHV_{bb}} = \frac{632}{SFCe \cdot LHV_{bb}} \dots (\text{Petrovsky, 1979: 62}) \quad (2-9)$$

keterangan :

η_e = Efisiensi termal efektif (%)

LHV_{bb} = Nilai kalor dari bahan bakar bensin (kcal/kg) = 11.000 kcal/kg

FC = Konsumsi bahan bakar (kg/jam)

Ne = Daya efektif (PS)

SFCe = Konsumsi bahan bakar spesifik (kg/PS.jam)

2.8.6 Kandungan CO dan HC

Gas CO atau Karbon Monoksida merupakan salah satu gas beracun hasil dari reaksi pembakaran antara campuran bahan bakar dan udara, disamping NO_x (Nitrogen Oksida) dan HC (Hidrokarbon). Gas CO merupakan hasil dari proses pembakaran suatu bahan bakar yang tidak sempurna akibat kurangnya suplai O_2 (Oksigen) dari jumlah yang dibutuhkan. Sifat gas CO yang tidak berwarna, tidak berbau, dan mudah terikat oleh Hb (Hemoglobin) menyebabkan gas ini lebih berbahaya dari gas HC dan NO_x . Apa bila campuran bahan bakar dan udara tepat serta proses pembakaran sempurna, maka tidak terbentuk gas CO.

2.9 Kerangka Pemikiran Teoritis

Minyak kelapa (*Coconut Oil*) memiliki struktur kimia dengan rantai yang panjang dan beberapa ikatan rangkap yang menyebabkan minyak kelapa sulit terbakar. Untuk mengatasi hal tersebut maka minyak kelapa perlu diberikan perlakuan terlebih dahulu untuk melemahkan ikatan rantai tersebut agar mudah terbakar. Perlakuan yang diberikan adalah dengan memberikan panas sampai minyak kelapa berubah wujud menjadi uap sebelum minyak kelapa diinjeksikan ke *intake manifold*. Dengan semakin banyaknya panas yang diberikan, maka semakin besar tumbukan elektron molekul minyak kelapa. Dengan demikian rantai struktur kimia minyak kelapa ikatannya semakin melemah sehingga menjadi mudah terbakar dan terbentuk radikal bebas (*free radical*) yang semakin banyak.

2.10 Hipotesa

Semakin besar debit injeksi minyak kelapa (*Coconut Oil*) yang telah mendapat pemanasan, menyebabkan intensitas ion semakin meningkat, akibatnya ionisasi pembakaran semakin tinggi dan proses pembakaran semakin sempurna sehingga kinerja mesin menjadi lebih baik.



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Penelitian yang dilakukan menggunakan metode eksperimental. Metode ini dilakukan dengan pengamatan secara langsung untuk mengetahui pengaruh variasi debit injeksi uap minyak kelapa (*coconut oil*) pada *Intake manifold* terhadap ionisasi pembakaran dan kinerja mesin.

3.2 Variabel Penelitian

1. Variabel Bebas (*independent variable*)

Variabel bebas ialah variabel yang besarnya kita tentukan dan tidak dipengaruhi oleh variabel lain, berfungsi sebagai sebab dalam penelitian. Adapun variabel bebas dalam penelitian ini adalah putaran mesin (rpm) yaitu 1200 ; 1700 ; 2200 ; 2700 ; 3200 .

2. Variabel Terikat (*dependent variable*)

Variabel terikat adalah variabel yang nilainya tergantung dari variabel bebas dan diketahui setelah penelitian dilakukan. Variabel terikat yang diamati dalam penelitian ini adalah:

1. Ionisasi Pembakaran
2. Daya efektif (N_e)
3. Torsi (T)
4. Konsumsi Bahan Bakar spesifik (SFC_e)
5. Efisiensi Termal Efektif (η_e)
6. Kandungan Gas Karbon monoksida (CO) dan HC

3. Variabel Terkontrol

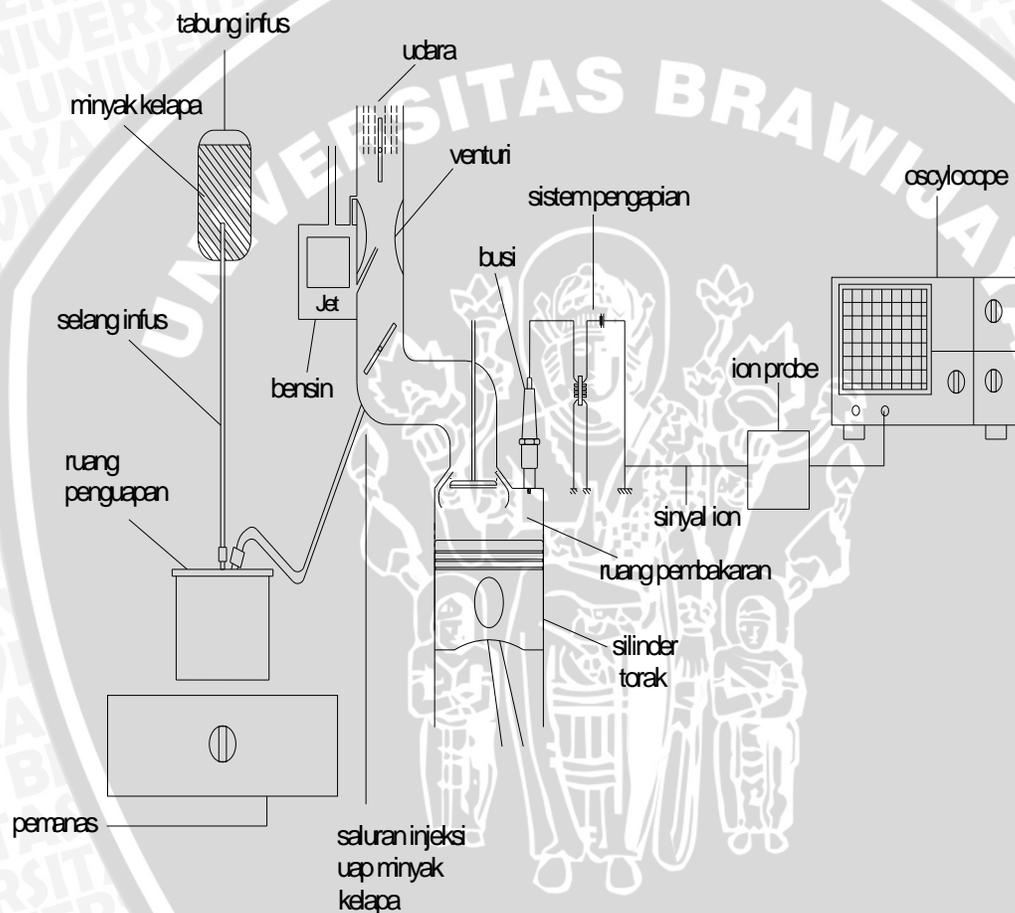
Variabel terkontrol adalah variabel yang nilainya dikonstantakan pada waktu penelitian. Variabel terkontrol dalam penelitian ini adalah debit uap minyak kelapa (%) berdasarkan bukaan kran pada selang injeksi yaitu sebesar 0 ; 5 ; 10 .

3.3 Tempat Dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan Mei 2010 sampai selesai. Tempat yang digunakan dalam penelitian ini adalah Laboratorium Motor Bakar Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang.

3.4 Instalasi penelitian

Instalasi penelitian yang dirancang dapat di lihat pada gambar 3.1 di bawah ini :



Gambar 3.1 : Instalasi penelitian

Cara kerja instalasi :

Minyak kelapa dialirkan ke ruang penguapan melalui selang infus, setelah debitnya diatur terlebih dulu. Kemudian minyak kelapa dipanaskan dengan menggunakan kompor gas yang selanjutnya uap minyak kelapa akan masuk ke *intake manifold* dan bercampur dengan bensin dan udara. Pada saat terjadi proses pembakaran di ruang bakar, elektron terlepas dari

atom atau molekul dan akan terbentuk radikal - radikal bebas di ruang bakar. Elektron yang terlepas ini akan mengalir melalui busi dan kemudian akan terbaca pada *oscilloscope* besarnya tegangan yang terjadi akibat aliran elektron tersebut.

3.5 Alat dan Bahan Penelitian

3.5.1 Alat yang digunakan dalam penelitian :

1. Motor bakar torak

Mesin yang digunakan :

- Merk/tipe : Datsun
- Model : 9WE-80-100-HS-Av
- Negara pembuat : Jepang
- Siklus : Empat langkah
- Jumlah silinder : 4 (empat)
- Diameter silinder : 78 mm
- Panjang langkah torak : 82 mm
- Volume langkah torak : 1567 cm^3
- Perbandingan kompresi : 9 : 1
- Pendingin : Air
- Daya poros : 80 BHP / 5000 rpm

2. Dinamometer

Alat yang digunakan untuk mengetahui besarnya gaya pengereman (BHP), untuk menghitung besarnya torsi.

3. Stopwatch

Alat yang digunakan untuk mengetahui waktu penggunaan bahan bakar per satuan waktu.

4. Tachometer

Alat yang digunakan untuk mengukur kecepatan putaran mesin, satuan yang digunakan adalah rpm (*revolution per minute*).

5. Oscilloscope dan Ion Probe

Oscilloscope dan *Ion Probe* berfungsi untuk mengukur sinyal ion. *Oscilloscope* dan *Ion Probe* dapat dilihat pada gambar 3.2 di bawah ini :



Gambar 3.2 : *Oscilloscope* dan *Ion Probe*
Sumber : Dokumentasi Pribadi

6. Tabung reaksi *pyrex*

Tabung reaksi ini berfungsi untuk ruang penguapan minyak kelapa dengan cara dipanaskan. Untuk membantu proses penguapan, ditambahkan *ball bearing*. Tabung *pyrex* dapat dilihat pada gambar 3.3.



Gambar 3.3 : gelas ukur *pyrex*
Sumber : dokumentasi pribadi

7. Tabung dan Selang infus

Tabung infus berguna sebagai tempat menampung minyak kelapa sedangkan selang infus berguna mengatur debit minyak kelapa menuju tempat penguapan dengan mekanisme seperti kran. Tabung dan Selang infus dapat dilihat pada gambar 3.4.



Gambar 3.4 : Tabung dan selang infus

Sumber : <http://www.bloggng.com/>

8. Pipa tembaga

Pipa tembaga berfungsi sebagai penyalur uap minyak kelapa dari ruang penguapan menuju ke arah *intake manifold*. Agar tidak ada panas yang keluar pada pipa, ditambahkan isolator sepanjang pipa tembaga yang berbahan dasar dari asbes. Bentuk Pipa tembaga dapat dilihat pada gambar 3.5.



Gambar 3.5 : Pipa tembaga

Sumber : <http://gambar.iklanmax.com/>

3.5.2 Bahan yang digunakan dalam penelitian :

1. Bensin sebagai bahan bakar utama yang diperoleh dari SPBU
2. Minyak kelapa sebagai minyak yang akan diuapkan dan diinjeksikan ke *intake manifold* dapat dilihat pada gambar 3.6.



Gambar 3.6 : Minyak Kelapa (*coconut oil*)

Sumber : <http://wb4.indo-work.com/>

3.6 Prosedur Penelitian

Prosedur pengambilan data:

1. Menpersiapkan mesin bensin yang akan diuji dan alat-alat ukur yang akan digunakan
2. Mempersiapkan sensor ion (*ion probe*) yang dihubungkan dengan *Oscilloscope*.
3. Mengambil data nilai *specific fuel consumption* masing - masing putaran (rpm) yang akan dipakai yaitu : 1200 ; 1700 ; 2200 ; 2700 ; 3200 pada keadaan normal.
4. Mengatur debit uap minyak kelapa (%) yang akan dipakai pada pengujian yaitu : 0;5 ;10;15. Dimulai dengan 0 % terlebih dahulu pada 1200 rpm kemudian dilanjutkan pada 1700 rpm, 2200 rpm, 2700 rpm, dan 3200 rpm.
5. Mengambil data pada masing-masing putaran antara lain Ionisasi Pembakaran, Daya efektif (η_e), Torsi (T), Konsumsi bahan bakar spesifik (SFC_e), Efisiensi Termal Efektif (η_e), dan Emisi gas CO dan HC
6. Setelah pengujian dengan prosentase 0 % selesai maka dilanjutkan dengan prosentase 5%, 10%, dan 15% dengan menggunakan cara yang sama.
7. Data yang diperoleh kemudian diolah dan dilakukan pembahasan serta diambil kesimpulan.

3.7 Rancangan Penelitian

Model rancangan penelitian dapat dilihat pada tabel 3.1, dengan melibatkan dua variabel yaitu variasi putaran dan debit injeksi uap minyak kelapa, dimana:

Data hasil pengujian terhadap motor bensin 4 langkah dengan penambahan uap minyak kelapa pada setiap prosentase (0%, 5%, 10%, dan 15%).

Tabel 3.1 Rancangan Penelitian

Putaran (Rpm)	F (kg)	P ₁ -P ₂ (mmH ₂ O)	T _{ud} (°C)	T _{eg} (°C)	T _{wi} (°C)	T _{wo} (°C)	W _w (Ltr/jm)	t (detik)	b (ml)
1200									
1700									
2200									
2700									
3200									

Keterangan :

F : Gaya pembebanan (kg)

P₁ – P₂ : Perbedaan tekanan sebelum masuk *nozzle* dengan tekanan setelah melewati *nozzle* (mmH₂O)

T_{ud} : Temperatur udara masuk (°C)

T_{eg} : Temperature gas buang (°C)

T_{wi} : Temperatur air pendinginan masuk (°C)

T_{wo} : Temperatur air pendinginan keluar (°C)

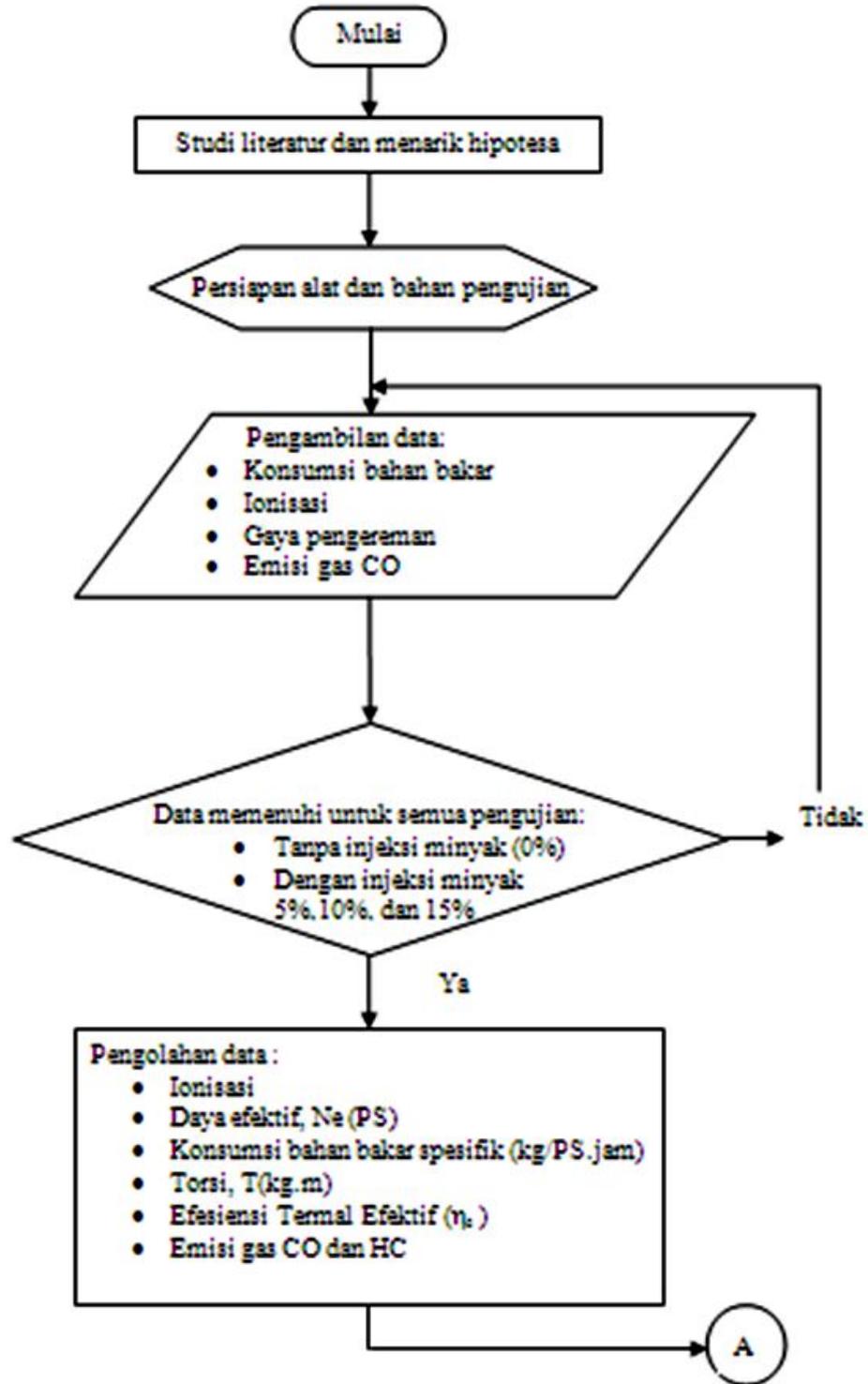
W_w : Debit air pendinginan (liter/jam)

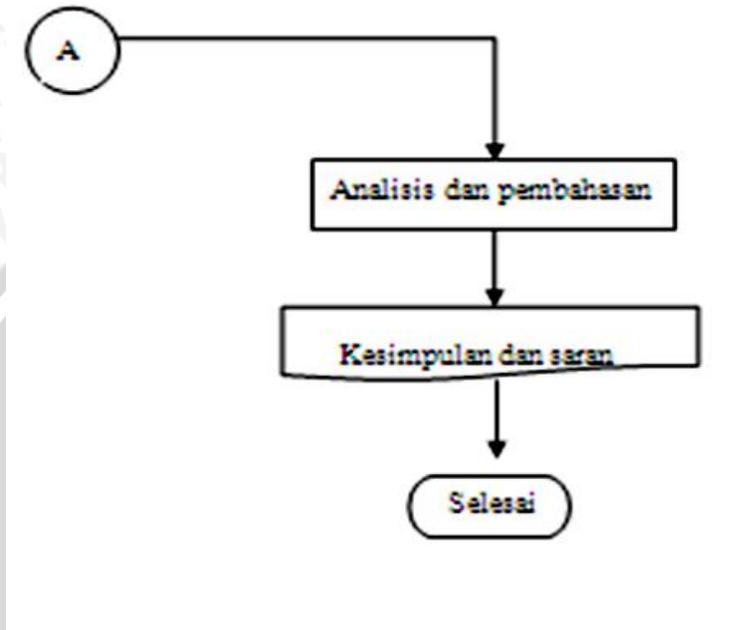
t : interval waktu pada saat pengukuran konsumsi bahan bakar (detik)

b : konsumsi bahan bakar selama waktu t detik.



3.11





Gambar 3.7 : Diagram Alir Penelitian



BAB IV
ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Data

4.1.1 Data Hasil Pengujian

Data yang diperoleh selama pengujian adalah sebagai berikut:

1. Pengujian : Variasi Putaran
2. Bukaannya throttle : 20%
3. Temperatur Bola kering : 30 °C
4. Temperature Bola basah : 26 °C
5. Kelembapan relatif : 72%
6. Tekanan udara : 714 mmHg
7. Volume bahan bakar : 30 ml
8. LHV bahan bakar
 - a. Bensin : 11000 kcal/kg
 - b. Minyak Kelapa : 9069 kcal/kg

Data hasil pengujian terhadap motor bensin empat langkah dapat dilihat pada tabel 4.1, tabel 4.2, tabel 4.3 dan tabel 4.4 berikut ini

Tabel 4.1 Data hasil pengujian motor bensin empat langkah pada kondisi standar.

Putaran (Rpm)	F (kg)	P ₁ -P ₂ (mmH ₂ O)	T _{ud} (°C)	T _{eg} (°C)	T _{wi} (°C)	T _{wo} (°C)	W _w (Ltr/jm)	t (detik)	b (ml)
1200	20,5	3,5	33	550	29	61	400	23,65	30
	20,5	3,5	33	540	29	61	400	23,55	30
	20	3,5	33	540	29	60	400	23,5	30
1700	19,5	6	33	600	29	60	420	18,28	30
	19,5	6	33	600	29	60	420	18,17	30
	19,5	6	33	600	29	60	420	18,23	30
2200	18,5	9	33	650	29	59	480	14,98	30
	18,5	9	33	650	29	59	480	14,81	30
	18,5	9	33	650	29	59	480	15,03	30

2700	16	10,5	33	660	29	61	500	13,2	30
	16	10,5	33	670	29	61	500	13,17	30
	16	10,5	33	670	29	61	500	13,27	30
3200	13	12	33	690	29	63	540	11,94	30
	13	12	33	690	29	63	540	12,22	30
	13	12	33	690	29	63	540	12,04	30

Tabel 4.2 Data hasil pengujian motor bensin empat langkah dengan penambahan uap minyak kelapa 5%.

Putaran (Rpm)	F (kg)	P ₁ -P ₂ (mmH ₂ O)	Tud (°C)	Teg (°C)	Twi (°C)	Two (°C)	Ww (Ltr/jm)	t (detik)	b (ml)
1200	21,00	4,0	32,5	540	26	49	400	23,86	30
	20,50	4,0	32,5	540	26	49	400	24,09	30
	20,50	4,0	32,5	550	26	49	400	24,17	30
1700	19,50	7,0	32,5	600	26	50	420	18,43	30
	19,50	7,0	32,5	600	26	50	420	18,74	30
	19,50	7,0	32,5	600	26	50	420	18,71	30
2200	18,50	10,0	33	600	27	51,5	460	14,94	30
	18,50	10,0	33	600	27	51	460	14,94	30
	18,50	10,0	33	610	27	51	460	15,03	30
2700	17,00	13,0	33	630	27	51,5	480	13,32	30
	17,00	13,0	33	640	27	51,5	480	13,31	30
	17,00	13,0	33	640	27	51,5	480	13,45	30
3200	13,50	16,0	33	660	27	52	520	12,48	30
	13,50	16,0	33	670	27	52	520	12,76	30
	13,50	16,0	33	670	27	52	520	12,68	30

Tabel 4.3 Data hasil pengujian motor bensin empat langkah dengan penambahan uap minyak kelapa 10%.

Putaran (Rpm)	F (kg)	P ₁ -P ₂ (mmH ₂ O)	Tud (°C)	Teg (°C)	Tw _i (°C)	Two (°C)	Ww (Ltr/jm)	t (detik)	b (ml)
1200	19,00	3,0	34,5	500	27,5	45	400	23,66	30
	19,00	3,0	34,5	540	27,5	50	400	23,99	30
	19,00	3,0	34,5	540	27,5	51	400	23,63	30
1700	19,00	5,5	34	620	27,5	56	440	17,63	30
	19,00	5,5	34	620	27,5	57	440	17,93	30
	19,00	5,5	34	620	27,5	57	440	17,26	30
2200	18,50	8,0	34,5	650	27,5	60	500	14,61	30
	18,50	8,0	34,5	650	27,5	60	500	14,38	30
	18,50	8,0	34,5	650	27,5	60	500	14,40	30
2700	15,00	10,0	34,5	660	27,5	62	520	12,55	30
	15,00	10,0	34,5	660	27,5	63	520	12,71	30
	15,00	10,0	34,5	660	27,5	63	520	12,84	30
3200	12,00	11,0	34,5	660	27,5	67	560	12,03	30
	12,00	11,0	34,5	670	27,5	68	560	12,06	30
	12,00	11,0	34,5	670	27,5	68	560	12,08	30

Tabel 4.4 Data hasil emisi gas CO dan HC motor bensin empat langkah dengan variasi persentase penambahan uap minyak kelapa.

RPM	Gas Buang											
	CO (% vol)			CO ₂ (% vol)			HC (% ppm)			O ₂ (% vol)		
	Persentase minyak kelapa			Persentase minyak kelapa			Persentase minyak kelapa			Persentase minyak kelapa		
	0%	5%	10%	0%	5%	10%	0%	5%	10%	0%	5%	10%
1200	1,356	1,669	1,780	10,10	8,19	9,46	186	152	1768	5,19	7,75	5,81

1700	1,098	1,585	1,355	8,58	7,95	8,34	141	113	115	7,43	8,04	7,59
2200	1,186	2,035	1,613	8,64	9,04	9,19	147	108	123	7,31	6,12	6,20
2700	1,587	2,344	1,893	10,37	9,91	9,99	170	104	127	4,67	4,83	5,11
3200	1,843	2,902	2,247	10,830	9,50	10,42	156	84	110	3,660	4,84	3,82

4.1.2 Pengolahan Data

Dari data pengujian dapat dilakukan pengolahan data. Sebagai contoh perhitungan, diambil data dari pengujian pada kondisi mesin standart terhadap torsi, daya efektif, efisiensi termal efektif dan konsumsi bahan bakar spesifik. Adapun data yang diambil adalah sebagai berikut:

1. Putaran mesin (n) = 1200 rpm
2. Besar beban pengereman (F) = 20,5 kg
3. Panjang lengan *dynamometer* (L) = 0,358 m
4. Waktu konsumsi bahan bakar (t) = 24,87 detik
5. Debit air pendinginan (Ww) = 400 liter/jam
6. Temperatur air pendinginan masuk (Twi) = 29 °C
7. Temperatur air pendinginan keluar (Two) = 61 °C
8. Temperatur udara masuk (Tud) = 33 °C
9. Temperatur gas buang (Teg) = 550 °C
10. Berat spesifik bahan bakar (γ_f) = 0,710 kg.liter⁻¹
11. Nilai kalor rendah bahan bakar (LHV) = 11000 kcal/jam

Dari hasil data pengujian motor bakar empat langkah pada tabel 4.1 didapatkan nilai dari:

1. Torsi (T)

$$T = F \cdot L \text{ [kg.m]}$$

$$T = 20,5 \times 0,358$$

$$\text{Torsi (T)} = 7,339 \text{ [kg.m]}$$

2. Daya Efektif (Ne)

$$Ne = \frac{T \cdot n}{716,2} \text{ [PS]}$$

$$Ne = \frac{7,339 (1200)}{716,2}$$

$$N_e = 12,290 \text{ [PS]}$$

3. Konsumsi bahan bakar spesifik (SFCE)

$$F_c = \frac{b}{t} \cdot \gamma_f \cdot \frac{3600}{1000} \text{ [kg.jam}^{-1}\text{]}$$

$$F_c = \frac{30}{24,87} \times 0,710 \times \frac{3600}{1000} \text{ [kg.jam}^{-1}\text{]}$$

$$F_c = 3,109 \text{ [kg.jam}^{-1}\text{]}$$

$$SFCE = \frac{F_c}{N_e} \text{ [kg.PS}^{-1}\text{.jam}^{-1}\text{]}$$

$$SFCE = \frac{3,109}{12,209}$$

$$SFCE = 0,254 \text{ [kg.PS}^{-1}\text{.jam}^{-1}\text{]}$$

4. Efisiensi termal efektif (η_e)

$$\eta_e = \frac{632}{SFCE.LHV_{bb}} \times 100\%$$

$$\eta_e = \frac{632}{0,254 \times 11000} \times 100\%$$

$$\eta_e = 22,625 \%$$

Untuk pengolahan data – data yang lain sesuai dengan perhitungan di atas dan dapat dilihat pada tabel 4.5, tabel 4.6, dan tabel 4.7 dibawah ini.

Tabel 4.5 Pengolahan data dengan persentase penambahan uap minyak kelapa 0 %.

n (rpm)	T (kgm)	Ne (PS)	Fc (kg/jam)	SFCE (kg/PS.jam)	η_e (%)	Gas CO (% vol)	Gas HC (ppm vol)	Ionisasi (v)
1200	7.339	12.2903874	3.269682875	0.266035786	21.5965			
	7.339	12.2903874	3.283566879	0.26716545	21.5052			
	7.16	11.9906219	3.290553191	0.274427234	20.9362			
rata-rata	7.27933	12.1904656	3.281267649	0.26920949	21.346	1.356	186	0.37150456
1700	6.981	16.5620464	4.230196937	0.255415111	22.4946			
	6.981	16.5620464	4.255806274	0.256961378	22.3592			
	6.981	16.5620464	4.241799232	0.256115646	22.433			
rata-rata	6.981	16.5620464	4.242600814	0.256164045	22.4289	1.098	141	0.4701156
2200	6.623	20.3340962	5.162082777	0.253863399	22.6321			
	6.623	20.3340962	5.221336935	0.256777428	22.3752			
	6.623	20.3340962	5.14491018	0.253018876	22.7076			
rata-rata	6.623	20.3340962	5.176109964	0.254553234	22.5716	1.186	147	0.48952137
2700	5.728	21.5831193	5.858181818	0.271424242	21.1678			
	5.728	21.5831193	5.871526196	0.272042521	21.1197			
	5.728	21.5831193	5.82727578	0.269992464	21.2801			
rata-rata	5.728	21.5831193	5.852329197	0.271153076	21.1892	1.587	170	0.6154296
3200	4.654	20.7837446	6.47638191	0.31160804	18.4381			
	4.654	20.7837446	6.327986907	0.304468085	18.8705			
	4.654	20.7837446	6.422591362	0.309019934	18.5925			
rata-rata	4.654	20.7837446	6.408986726	0.308365353	18.6337	1.843	156	0.533717

Tabel 4.6 Pengolahan data dengan persentase penambahan uap minyak kelapa 5 %.

n (rpm)	T (kgm)	Ne (PS)	Fc (kg/jam)	SFCe (kg/PS.jam)	η_e (%)	Gas CO (% vol)	Gas HC (ppm vol)	Ionisasi (v)
1200	7.518	12.590153	3.281642917	0.260651553	23.1961			
	7.339	12.2903874	3.250311333	0.264459632	22.8621			
	7.339	12.2903874	3.23553165	0.2635843	22.9381			
rata-rata	7.39867	12.3903093	3.257169138	0.262898495	22.9988	1.997	171	0.70921
1700	6.981	16.5620464	4.248507868	0.256520707	23.5697			
	6.981	16.5620464	4.178228388	0.252277302	23.9661			
	6.981	16.5620464	4.184927846	0.252681808	23.9278			
rata-rata	6.981	16.5620464	4.203888034	0.253826606	23.8212	1.584	147	0.82578
2200	6.623	20.3340962	5.240963855	0.25774265	23.4579			
	6.623	20.3340962	5.240963855	0.25774265	23.4579			
	6.623	20.3340962	5.20580838	0.256199281	23.5993			
rata-rata	6.623	20.3340962	5.23050285	0.257228194	23.505	1.593	140	0.83465
2700	6.086	22.9320643	5.878378378	0.256388823	23.5864			
	6.086	22.9320643	5.882794891	0.256531414	23.5687			
	6.086	22.9320643	5.821561338	0.253861199	23.8166			
rata-rata	6.086	22.9320643	5.860911536	0.255577145	23.6572	2.849	143	1.00499
3200	4.833	21.5831193	6.274038462	0.290691923	20.799			
	4.833	21.5831193	6.136363636	0.284313103	21.2657			
	4.833	21.5831193	6.175078864	0.286106877	21.1324			
rata-rata	4.833	21.5831193	6.195160321	0.287037301	21.0657	3.01	165	0.68544

Tabel 4.7 Pengolahan data dengan persentase penambahan uap minyak kelapa 10 %.

n (rpm)	T (kgm)	Ne (PS)	Fc (kg/jam)	SFCe (kg/PS.jam)	η_e (%)	Gas CO (% vol)	Gas HC (ppm vol)	Ionisasi (v)
1200	6.802	11.3910908	3.309382925	0.290523796	20.8111			
	6.802	11.3910908	3.263859942	0.286527428	21.1013			
	6.802	11.3910908	3.313584427	0.290892637	20.7847			
rata-rata	6.802	11.3910908	3.295609098	0.28931462	20.899	1.978	186	0.52717
1700	6.802	16.1373786	4.44129325	0.275217764	21.9685			
	6.802	16.1373786	4.366982711	0.270612893	22.3423			
	6.802	16.1373786	4.536500579	0.281117565	21.5074			
rata-rata	6.802	16.1373786	4.448258847	0.275649408	21.9394	1.620	167	0.41199
2200	6.623	20.3340962	5.359342916	0.263564353	22.9398			
	6.623	20.3340962	5.445062587	0.267779916	22.5787			
	6.623	20.3340962	5.4375	0.267408	22.6101			
rata-rata	6.623	20.3340962	5.413968501	0.266250756	22.7095	1.835	160	0.56754
2700	5.37	20.2341744	6.239043825	0.308341902	19.6085			
	5.37	20.2341744	6.160503541	0.304460336	19.8585			
	5.37	20.2341744	6.098130841	0.301377794	20.0616			
rata-rata	5.37	20.2341744	6.165892735	0.304726678	19.8428	2.179	169	0.68565
3200	4.296	19.184995	6.50872818	0.339261396	17.8214			
	4.296	19.184995	6.492537313	0.338417462	17.8658			
	4.296	19.184995	6.481788079	0.337857168	17.8955			
rata-rata	4.296	19.184995	6.494351191	0.338512009	17.8609	3.128	178	0.6126

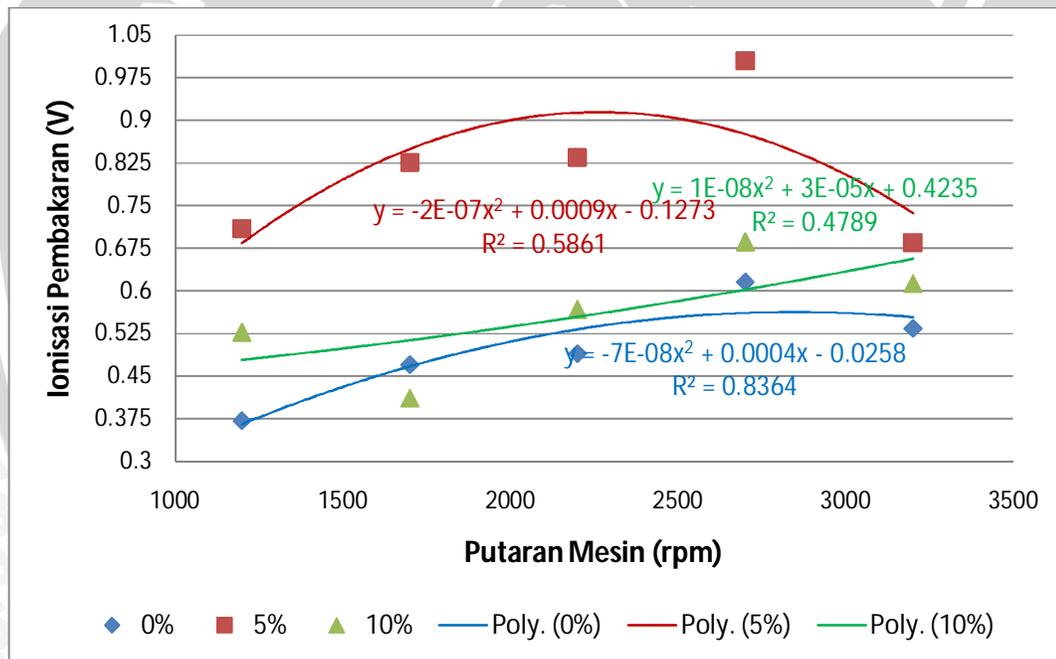
Untuk mempermudah proses analisis dan pembahasan maka dari hasil pengolahan data di atas dibuat grafik 4.1, grafik 4.2, grafik 4.3, grafik 4.4, grafik 4.5, grafik 4.6, dan grafik 4.7.

4.2 Pembahasan

Dari hasil perhitungan data pengujian pada putaran 1200 rpm sampai dengan 3200 rpm didapatkan karakteristik kinerja motor bensin. Selanjutnya data hasil perhitungan tersebut ditampilkan dalam bentuk grafik untuk mempermudah proses analisis data perhitungan. Analisa grafik hubungan antara putaran mesin dengan karakteristik kinerja motor bensin meliputi ionisasi pembakaran, waktu pembakaran, torsi, daya efektif, *specific fuel consumption*, efisiensi termal efektif serta kandungan gas buang CO dan HC dimana pengukuran ionisasi pembakaran menggunakan *oscilloscope* lalu diolah menjadi data numerik menggunakan sebuah program komputer.

4.2.1 Hubungan antara Putaran Mesin dengan Ionisasi Pembakaran

Grafik hubungan antara putaran mesin dengan ionisasi pembakaran terhadap persentase penambahan uap minyak kelapa dapat dilihat pada gambar 4.1 berikut



Gambar 4.1 : Grafik hubungan antara putaran mesin dengan ionisasi pembakaran terhadap persentase penambahan uap minyak kelapa

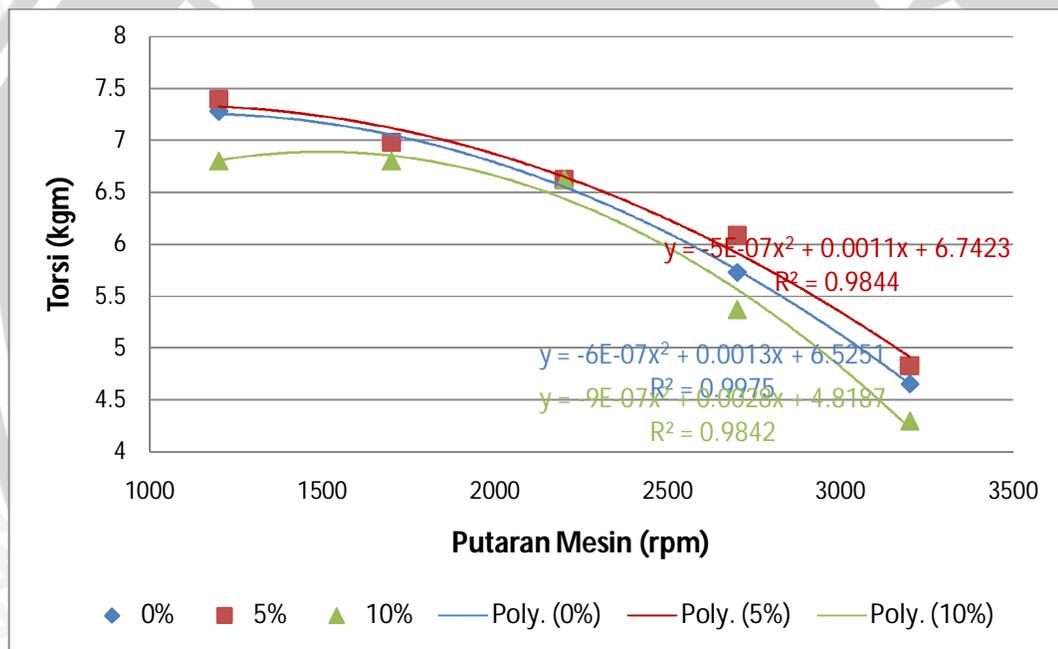
Dari grafik 4.1 dapat dilihat bahwa pada putaran 1200 - 2700 rpm ionisasi pembakaran yang dihasilkan cenderung meningkat kemudian menurun pada putaran 3200 rpm. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi putaran mesin jumlah bahan bakar yang masuk ke dalam ruang bakar bertambah banyak dan tekanan serta panas dalam ruang bakar semakin meningkat sehingga membantu memecah molekul-molekul campuran bahan bakar menjadi ion - ion. Oleh karena itu ionisasi pembakaran yang terjadi semakin

meningkat. Tetapi pada putaran 3200 rpm ionisasi pembakaran cenderung menurun, hal ini disebabkan karena campuran bahan bakar yang masuk ke dalam ruang bakar menjadi kaya dan tidak terbakar sempurna dan menyebabkan ionisasi pembakaran menurun.

Bahan bakar dengan penambahan uap minyak kelapa 5% mempunyai ionisasi pembakaran yang paling tinggi dibandingkan dengan penambahan uap minyak kelapa 0% dan 10%. Hal ini karena dengan penambahan uap minyak kelapa 5% bahan bakar mempunyai campuran dengan udara yang lebih proporsional daripada keadaan standart dan 10%.

4.2.2 Hubungan antara Putaran Mesin dengan Torsi

Grafik hubungan antara putaran mesin dengan torsi terhadap persentase penambahan uap minyak kelapa dapat dilihat pada gambar 4.2 berikut



Gambar 4.2 : Grafik hubungan antara putaran mesin dengan torsi terhadap persentase penambahan uap minyak kelapa

Grafik 4.2 menggambarkan hubungan antara putaran mesin dengan torsi dan terlihat bahwa semakin besar putaran poros mesin maka torsi yang dihasilkan akan semakin menurun, hal ini karena torsi yang dihasilkan berbanding lurus dengan gaya pengereman dan berbanding terbalik dengan putaran mesin. Semakin besar putaran poros mesin maka torsi yang dihasilkan juga akan menurun. Pernyataan tersebut sesuai dengan persamaan berikut (Soenarta, 1995 : 11) :

$$T = F \cdot L \text{ (kg.m)}$$

keterangan :

T = Torsi (kg.m)

F = Gaya pengereman (Kg)

L = Lengan gaya (m)

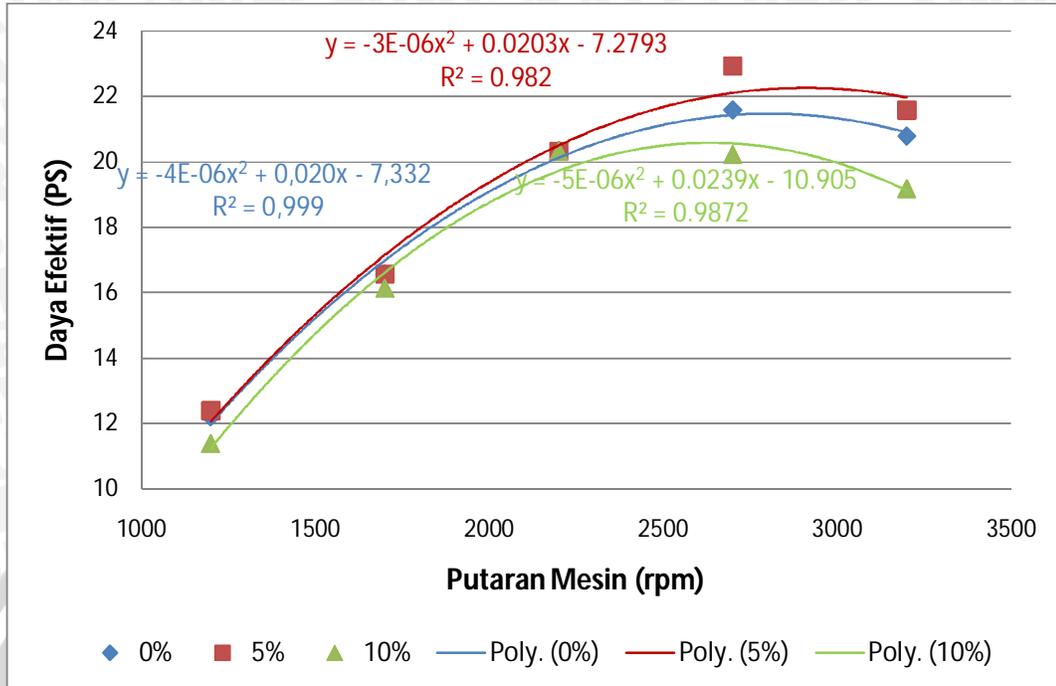
Selain itu, semakin banyak siklus yang terjadi menyebabkan gesekan ring piston dengan dinding silinder akan semakin banyak, hal ini akan menambah kerugian mekanis pada motor. Selain gesekan, semakin sedikit campuran udara dan bahan bakar yang masuk ke dalam ruang silinder pada putaran tinggi akan menyebabkan tekanan akhir yang dihasilkan dan gaya dorong pada piston akan semakin kecil sehingga torsi yang terjadi juga kecil.

Pada grafik 4.2 menunjukkan bahwa torsi yang dihasilkan motor bensin dengan penambahan uap minyak kelapa 5% relatif lebih tinggi daripada keadaan standart dan dengan penambahan uap minyak kelapa 10%. Hal tersebut dikarenakan, pada kondisi ini menghasilkan campuran bahan bakar dan udara yang lebih seimbang sehingga bahan bakar dapat terbakar dengan sempurna dan menghasilkan gaya dorong yang besar pada piston yang mengakibatkan torsi yang dihasilkan menjadi besar.

Motor bensin dengan penambahan uap minyak kelapa 10%, memiliki torsi cenderung lebih rendah daripada pada keadaan standar dan dengan penambahan uap minyak kelapa 5%. Hal ini disebabkan dengan penambahan uap minyak kelapa 10% uap yang masuk ke dalam ruang bakar terlalu banyak dan menyebabkan bahan bakar menjadi terlalu kaya dan pembakaran yang terjadi semakin lambat, sehingga torsi akan menurun.

4.2.3 Hubungan antara Putaran poros dengan Daya Efektif

Grafik hubungan antara putaran mesin dengan daya efektif (N_e) terhadap persentase penambahan uap minyak kelapa dapat dilihat pada gambar 4.3 berikut



Gambar 4.3 : Grafik hubungan antara putaran mesin dengan daya efektif terhadap persentase penambahan uap minyak kelapa

Secara umum dari grafik 4.3 dapat dilihat bahwa daya efektif akan semakin meningkat seiring dengan meningkatnya putaran poros mesin. Hal ini terjadi karena daya efektif berbanding lurus dengan putaran poros mesin. Pernyataan tersebut sesuai dengan persamaan berikut (Petrovsky, 1979 : 59) :

$$Ne = T \cdot \omega = \frac{T \cdot 2 \cdot \pi \cdot n}{60 \cdot 75} = \frac{T \cdot n}{716.2}$$

keterangan :

Ne = Daya efektif (PS)

T = Torsi (kg.m)

n = Putaran poros mesin (rpm)

Tetapi pada putaran 3200 rpm daya efektif yang dihasilkan cenderung menurun.

Hal ini disebabkan semakin tinggi putaran poros, semakin besar pula gesekan piston dengan dinding silinder sehingga akan menghasilkan daya mekanis yang besar sehingga akan menurunkan daya efektifnya. Pernyataan tersebut sesuai dengan persamaan berikut (Arismunandar, 1988 : 32) :

$$Ne = Ni - Nm$$

keterangan :

Ne = Daya efektif (PS)

Ni = Daya Indikasi (PS)

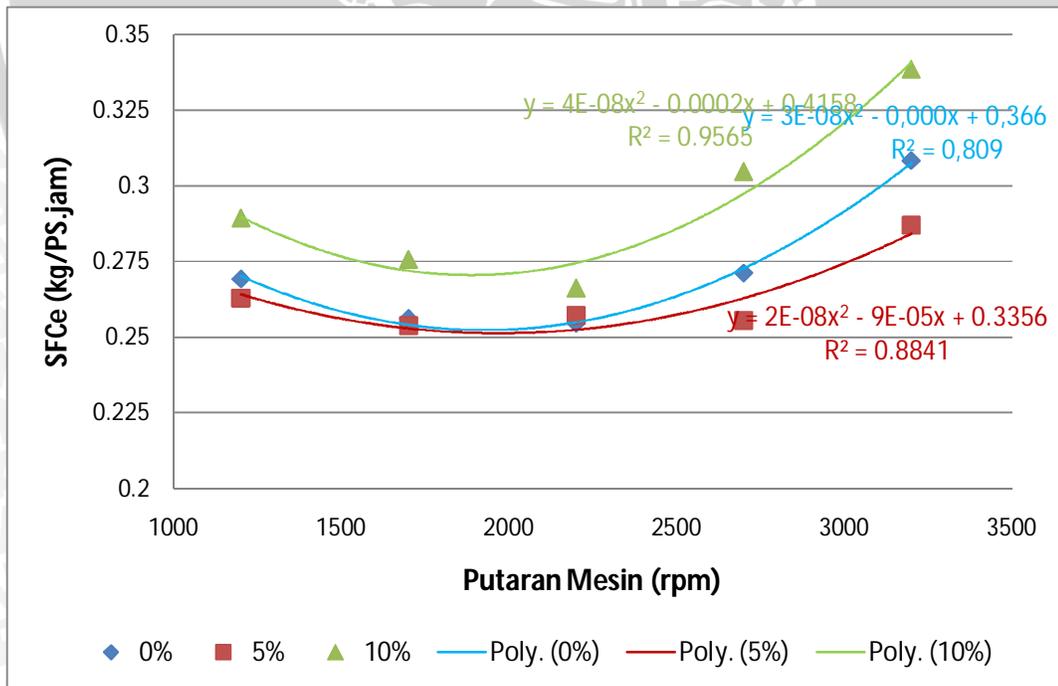
Nm = Daya mekanis (PS)

Dari grafik 4.3 terlihat bahwa daya efektif yang dihasilkan pada motor bensin dengan penambahan uap minyak kelapa 5% lebih besar daripada keadaan standard dan dengan penambahan uap minyak kelapa 10%. Hal ini disebabkan karena motor bensin dengan penambahan uap minyak kelapa 5% mempunyai torsi yang lebih besar dibandingkan dengan keadaan standar dan dengan penambahan uap minyak kelapa 10%. Hal ini sesuai dengan pernyataan diatas dimana daya efektif berbanding lurus dengan torsi dan putaran poros mesin (Petrovsky, 1979 : 59).

Sedangkan daya efektif yang dihasilkan pada motor bensin dengan penambahan uap minyak kelapa 10% paling rendah bila dibandingkan dengan keadaan standar dan dengan penambahan uap minyak kelapa 5%. Hal ini disebabkan karena motor bensin dengan penambahan uap minyak kelapa 10% mempunyai torsi yang paling kecil dibandingkan dengan keadaan standar dan dengan penambahan uap minyak kelapa 5%.

4.2.4 Hubungan antara Putaran poros dengan *Specific fuel consumption* efektif

Grafik hubungan antara putaran mesin dengan SFCE terhadap persentase penambahan uap minyak kelapa dapat dilihat pada gambar 4.4 di bawah ini.



Gambar 4.4 : Grafik hubungan antara Putaran poros dengan *Specific Fuel Consumption* efektif terhadap persentase penambahan uap minyak kelapa

Konsumsi bahan bakar spesifik efektif merupakan jumlah bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan daya efektif sebesar 1 PS selama 1 jam. SFCE berbanding terbalik dengan daya efektif yang dihasilkan, semakin besar daya efektif maka SFCE yang dibutuhkan semakin kecil. Hal ini sesuai dengan persamaan berikut (Petrovsky, 1979 : 63) :

$$\text{SFCE} = \frac{F_c}{N_e} [\text{kg.PS}^{-1}.\text{jam}^{-1}]$$

keterangan :

SFCE = *Specific Fuel Consumption* efektif

Fc = Konsumsi bahan bakar (kg.jam⁻¹)

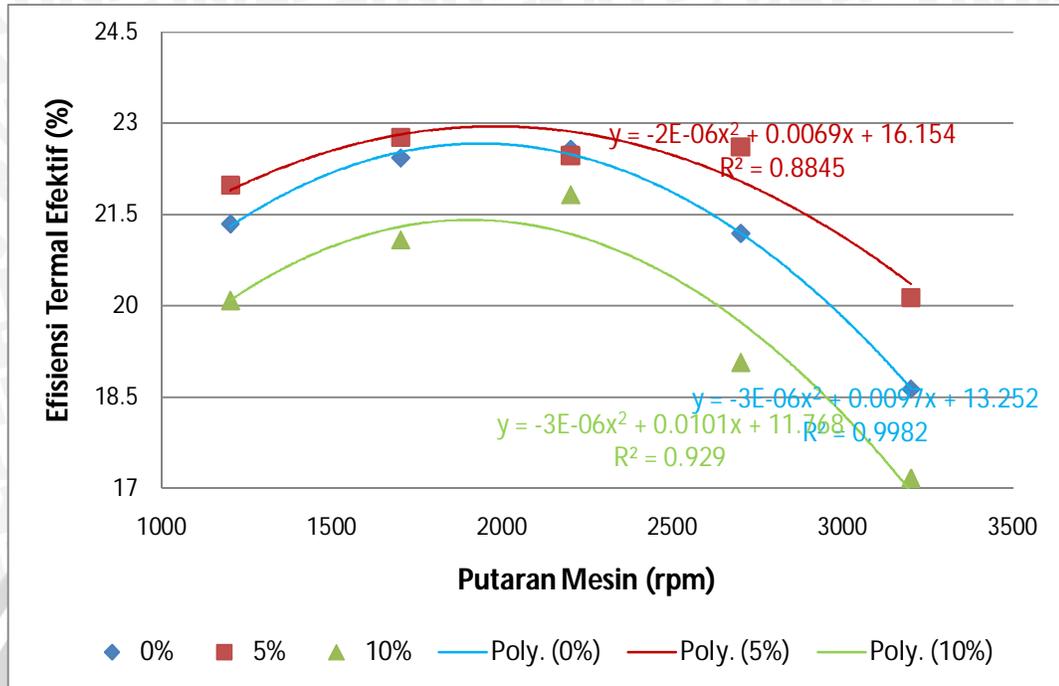
Ne = Daya efektif (PS)

Dari grafik 4.4 dapat dilihat bahwa motor bensin dengan penambahan uap minyak kelapa 5% memiliki SFCE yang relatif lebih rendah daripada keadaan standar dan dengan penambahan uap minyak kelapa 10%. Hal ini disebabkan karena dengan semakin meningkatnya putaran mesin menyebabkan semakin bertambahnya kebutuhan akan bahan bakar selama proses pembakaran karena adanya penambahan uap minyak kelapa pada *intake manifold* maka sebagian kebutuhan bahan bakar tersebut tergantung oleh uap minyak kelapa yang telah ditambahkan ke dalam *intake manifold*, sehingga konsumsi bensin dapat lebih hemat.

Motor bensin dengan penambahan uap minyak kelapa 10% memiliki SFCE yang paling tinggi dibandingkan keadaan standar penambahan uap minyak kelapa 5%. Hal ini disebabkan karena daya efektif motor bensin dengan penambahan uap minyak kelapa 10% cenderung lebih rendah daripada keadaan standar dan dengan penambahan uap minyak kelapa 5% sehingga SFCE nya pun lebih besar walaupun *fuel consumption* nya lebih rendah daripada keadaan standar.

4.2.5 Hubungan antara Putaran Mesin dengan Efisiensi Termal Efektif

Grafik hubungan antara putaran mesin dengan efisiensi termal efektif terhadap persentase penambahan uap minyak kelapa dapat dilihat pada gambar 4.5 berikut



Gambar 4.5 : Grafik hubungan antara putaran mesin dengan efisiensi termal efektif terhadap persentase penambahan uap minyak kelapa

Pada grafik 4.5 dapat dilihat bahwa semakin tinggi putaran poros mesin maka nilai efisiensi termal efektifnya semakin naik sampai mencapai putaran tertentu kemudian cenderung menurun seiring meningkatnya putaran mesin. Hal ini disebabkan karena efisiensi termal efektif berbanding terbalik dengan SFCE dan nilai kalor bahan bakar. Hal ini sesuai dengan persamaan berikut (Petrovsky,1979:63):

$$\eta_{te} = \frac{632 \cdot N_e}{F_c \cdot LHV_{bb}} = \frac{632}{F_c / N_e \cdot LHV_{bb}} = \frac{632}{SFCE \cdot LHV_{bb}}$$

keterangan :

η_{te} = Efisiensi termal efektif

LHV_{bb} = *Low heating value* bahan bakar [kal/kg]

$SFCE$ = *Specific fuel consumption effective* [kg.PS⁻¹.jam⁻¹]

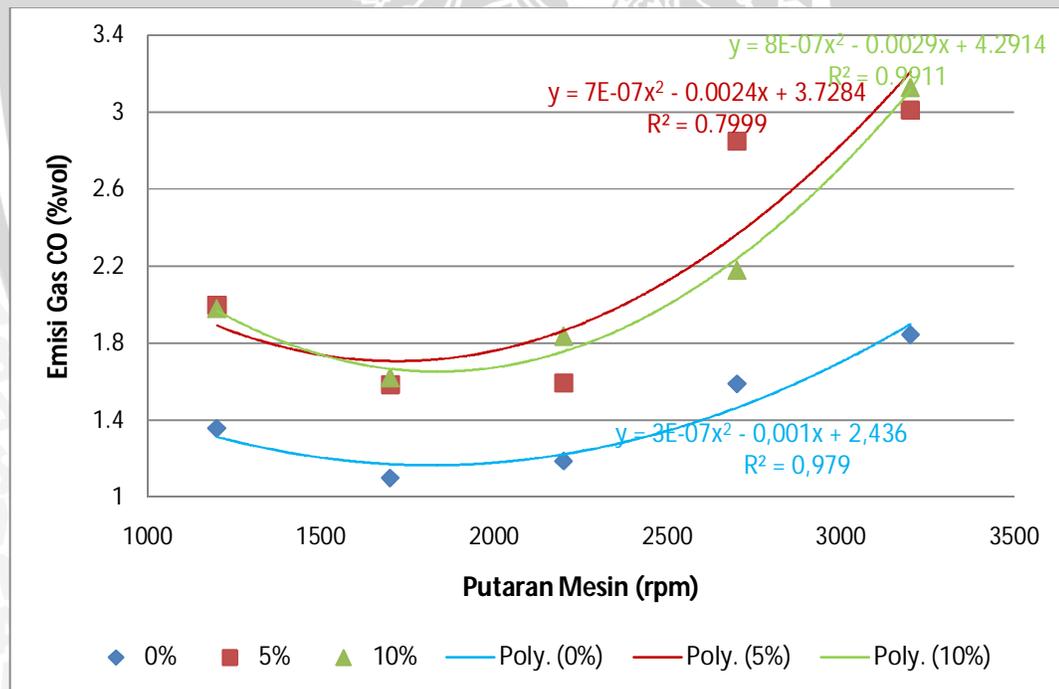
Dari persamaan diatas dapat dilihat bahwa efisiensi termal berbanding terbalik terhadap SFCE dan berbanding lurus terhadap daya efektif. Jadi semakin tinggi daya efektif maka efisiensi termal efektif semakin tinggi pula dan sebaliknya jika SFCE semakin tinggi maka efisiensi termal efektifnya akan semakin turun.

Dari grafik dapat dilihat bahwa motor bensin dengan penambahan uap minyak kelapa 5% mempunyai efisiensi termal efektif yang lebih tinggi daripada keadaan standar dan persentase penambahan uap minyak kelapa 10%. Hal ini terjadi karena motor bensin dengan penambahan uap minyak kelapa 5% memiliki daya efektif yang tinggi dan SFCE yang cenderung lebih rendah sehingga efisiensi termal efektifnya lebih tinggi daripada keadaan standar dan dengan penambahan uap minyak kelapa 10%.

Motor bensin dengan penambahan uap minyak kelapa 10% mempunyai efisiensi termal efektif yang paling kecil daripada keadaan standar dan prosentase uap minyak kelapa 5%. Hal ini disebabkan karena SFCE yang cenderung lebih tinggi sehingga efisiensi termal efektifnya lebih rendah, meskipun nilai kalor bahan bakar campurannya lebih rendah.

4.2.6 Hubungan antara Putaran poros dengan emisi gas CO

Grafik hubungan antara putaran dengan kandungan emisi gas CO dengan persentase penambahan uap minyak kelapa 0%, 5% dan 10% dapat dilihat pada gambar 4.6 di bawah ini



Gambar 4.6 Grafik hubungan antara putaran mesin dengan kandungan gas CO terhadap persentase penambahan uap minyak kelapa

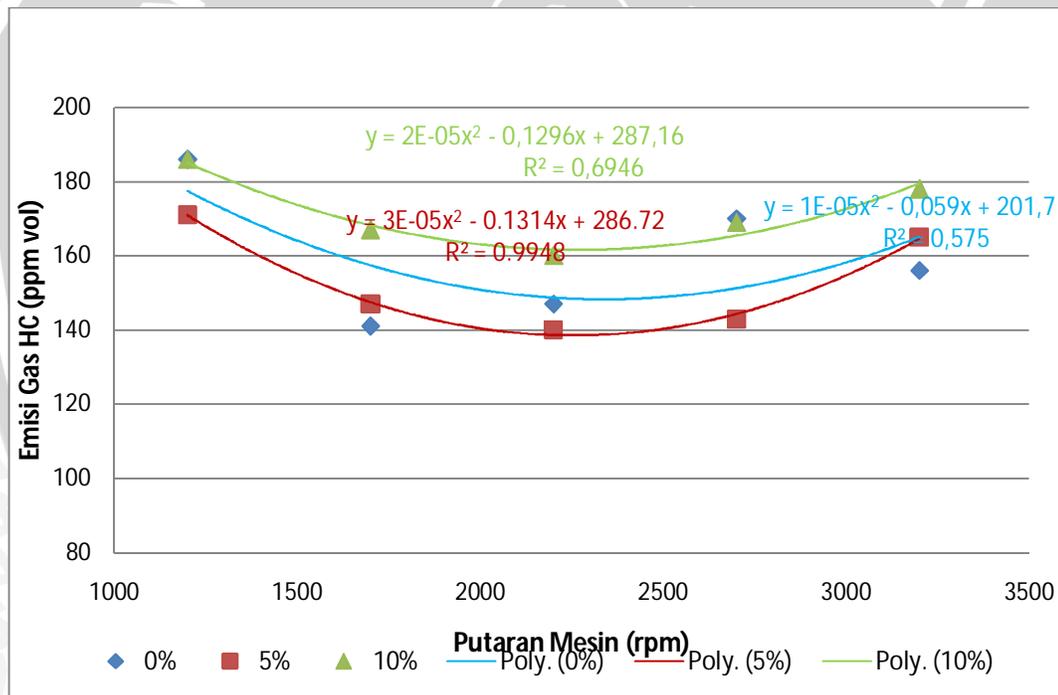
Grafik 4.6 menunjukkan bahwa emisi gas CO yang dihasilkan cenderung menurun kemudian meningkat seiring bertambahnya putaran poros. Hal ini disebabkan

karena semakin tinggi putaran poros mesin, campuran bahan bakar dengan udara akan semakin kaya dan kurang homogen sehingga pembakaran yang terjadi akan menghasilkan gas CO yang tinggi.

Motor bensin dengan keadaan standart mempunyai emisi gas CO yang paling sedikit dibandingkan dengan penambahan uap minyak kelapa 5% dan 10%. Hal ini disebabkan karena minyak kelapa ini mengandung karbon yang tinggi sehingga dengan penambahan uap minyak kelapa yang diinjeksikan melalui *intake manifold*, hasil pembakaran mengandung gas CO yang lebih tinggi.

4.2.7 Hubungan antara Putaran poros dengan emisi gas HC

Grafik hubungan antara putaran dengan kandungan emisi gas HC dengan persentase penambahan uap minyak kelapa 0%, 5% dan 10% dapat dilihat pada gambar 4.7 berikut :



Gambar 4.7 : Grafik hubungan antara putaran mesin dengan kandungan gas HC terhadap persentase penambahan uap minyak kelapa

Dari grafik 4.7 menunjukkan bahwa pada putaran 1200 - 3200 rpm emisi kadar HC yang dihasilkan cenderung menurun kemudian meningkat seiring bertambahnya putaran mesin. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi putaran, campuran bahan bakar dengan udara akan semakin homogen sehingga pembakaran yang terjadi akan

semakin sempurna. Tetapi apabila putaran poros terus bertambah campuran yang terjadi adalah campuran kaya, sehingga emisi gas HC akan meningkat.

Motor bensin dengan penambahan uap 5% mempunyai emisi gas HC yang paling rendah dibandingkan dengan keadaan standar dan dengan penambahan uap minyak kelapa 10%. Hal ini disebabkan motor bensin dengan penambahan uap minyak kelapa 5% mempunyai campuran bahan bakar dan udara yang lebih homogen daripada keadaan standart dan dengan penambahan uap minyak kelapa 10%.

Motor bensin dengan penambahan uap 10% mempunyai emisi gas HC yang lebih tinggi dibandingkan dengan keadaan standar dan penambahan uap minyak kelapa 5%. Hal ini disebabkan penambahan uap minyak kelapa 10% menyebabkan campuran menjadi lebih kaya jika dibandingkan dengan penambahan uap minyak kelapa 5% dan dengan keadaan standar, sehingga kandungan gas HC lebih tinggi daripada keadaan standar dan dengan penambahan uap minyak kelapa 5%.



BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan perhitungan dan analisis data yang telah dilakukan, dengan injeksi uap minyak kelapa (*coconut oil*) pada *intake manifold* :

- Mempengaruhi ionisasi pembakaran dan kinerja mesin
- Debit uap minyak kelapa 5 % menyebabkan ionisasi pembakaran dan kinerja mesin semakin meningkat bila dibandingkan dengan standar, yaitu: ionisasi pembakaran naik sebesar 0,3895604 (v), torsi naik sebesar 0,11934 (kg.m), daya efektif naik sebesar 1,348945 (PS), SFCe turun sebesar 0,15575931 (kg/PS.hour), efisiensi naik sebesar 2,468 (%)
- Emisi gas buang dengan injeksi uap minyak kelapa 5% bila dibandingkan dengan standar menyebabkan CO naik sebesar 0,486 (%vol) dan HC turun sebesar 7 (ppm vol.).

5.2 Saran

Perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk :

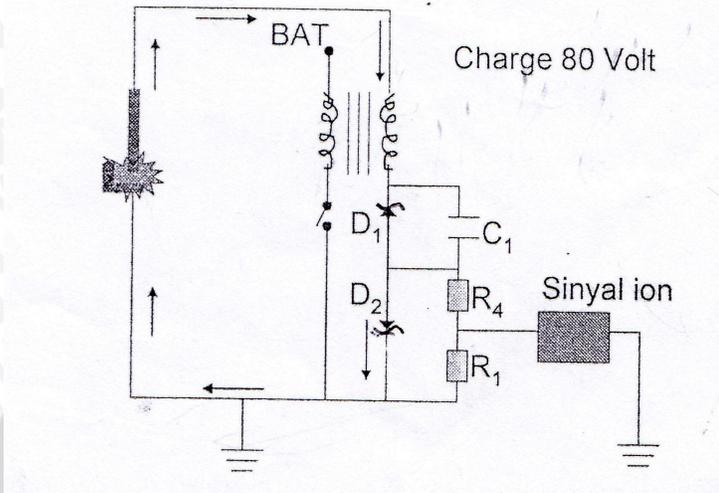
- Mengetahui pengaruh penambahan uap minyak kelapa pada *intake manifold* motor bensin empat langkah terhadap ionisasi pembakaran dan kinerjanya pada putaran yang lebih tinggi.
- Variasi debit uap minyak kelapa yang berbeda agar diketahui besarnya debit optimal.
- Mengurangi emisi gas CO yang tinggi yang dihasilkan akibat penambahan uap minyak kelapa.

DAFTAR PUSTAKA

- Arismunandar, Wiranto; 1988 : *Penggerak Mula Motor Bakar Torak*; Cetakan Kelima; Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Halliday D., Resnick R. ; 1988 : *Fisika Jilid I dan II*, Jakarta : Erlangga.
- Petrovsky, N; 1979: *Marine Internal Combustion Engine*; MIR Publisher, Moscow.
- Prastowo B ; 2007 : *Bahan Bakar Nabati Asal Tanaman Perkebunan Sebagai Alternatif Pengganti Minyak Tanah Untuk Rumah Tangga*
- Pulkrabek, Willard W; 1997: *Engineering Fundamentals Of The Internal Combustion Engine*; Prentice Hall, New Jersey.
- Seno Darmanto , Ireng Sigit A ; *Analisa Biodiesel Minyak Kelapa Sebagai Bahan Bakar Alternatif Minyak*
- Soenarta, Nakoela; 1995 :*Motor Serba Guna*; Pradya Paramitha, Jakarta
- Soetiari, Tj; 1990: *Bahan Bakar dan Proses-Proses Kimia Pembakaran*; Jurusan Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang.
- Turns, Stephen; 1996 : *An Introduction to Combustion*; John Wiley and Sons, New Jersey.
- Wardhana ; 2008 : *Bahan Bakar dan Teknologi Pembakaran*; PT.Danar Wijaya Brawijaya University Press, Malang.
- <http://mesinunimus.files.wordpress.com/2008/02/menganalisa-minyak-kelapa.pdf>
- http://www.dekindo.com/content/teknologi/Proses_Pengolahan_Minyak_Kelapa.pdf
- http://www.dkp.go.id/files/Biodiesel_Pengganti_Bahan_Bakar_Minyak.pdf
- www.edc-cu.org/workshop/bradley.ppt

LAMPIRAN

Lampiran 1. Struktur probe saat spark



Lampiran 2. Struktur probe saat pembakaran

