

**PERBEDAAN KONSUMSI BAHAN BAKAR DAN KADAR EMISI
GAS BUANG PADA MOTOR DIESEL YANG MENGGUNAKAN
WATER INJECTION DAN YANG TIDAK MENGGUNAKAN
WATER INJECTION**

SKRIPSI

*Diajukan Sebagai Salah Satu Persyaratan Menyelesaikan
Program Studi Strata Satu (S1) Kependidikan
Di Jurusan Teknik Otomotif Fakultas Teknik
Universitas Negeri Padang*



OLEH :

FEBRI WAHYU

2006/74211

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN TEKNIK OTOMOTIF
JURUSAN TEKNIK OTOMOTIF
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2011**

HALAMAN PERSETUJUAN SKRIPSI

**PERBEDAAN KONSUMSI BAHAN BAKAR DAN KADAR
EMISI GAS BUANG PADA MOTOR DIESEL YANG
MENGUNAKAN WATER INJECTION DAN YANG TIDAK
MENGUNAKAN WATER INJECTION**

Nama : FEBRI WAHYU
NIM / BP : 74211
Program Studi : Pendidikan Teknik Otomotif
Jurusan : Teknik Otomotif
Fakultas : Teknik Universitas Negeri Padang

Disetujui Oleh

Pembimbing I

Pembimbing II

Drs. Daswarman, M.Pd
NIP. 19520504 1984031 002

Drs. Erzeddin Alwi, M.Pd
NIP. 19600303 198503 1 001

Mengetahui

Ketua jurusan teknik otomotif

Drs. Hasan Maksum, MT
NIP. 1966 0817 199103 1 007

HALAMAN PENGESAHAN

**Dinyatakan Lulus Setelah Dipertahankan Didepan Tim Penguji Skripsi
Program Studi Pendidikan Teknik Otomotif Jurusan Teknik Otomotif
Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang**

**Judul : Perbedaan Konsumsi Bahan Bakar dan Kadar Emisi Gas
Buang Pada Motor Diesel Yang Menggunakan *Water Injection*
dan Yang Tidak Menggunakan *Water Injection***

Nama : Febri Wahyu

NIM / BP : 74211 / 2006

Program Studi : Pendidikan Teknik Otomotif

Jurusan : Teknik Otomotif

Fakultas : Teknik Universitas Negeri Padang

Padang , Mei 2011

Tim Penguji

	Nama	Tanda Tangan
1. Ketua	: Drs. Daswarman, M.Pd	1. _____
2. Sekretaris	: Drs. Erzeddin Alwi, M.Pd	2. _____
3. Anggota	: Drs. Faisal Ismet, M.Pd	3. _____
4. Anggota	: Drs. Martias, M.Pd	4. _____
5. Anggota	: Donny Fernandez, S.Pd, M.Sc	5. _____

ABSTRAK

FEBRI WAHYU :Perbedaan Konsumsi Bahan Bakar dan Kadar Emisi Gas Buang Pada Motor Diesel Yang Menggunakan *Water Injection* dan Yang Tidak Menggunakan *Water Injection*

Kata kunci : Konsumsi Bahan Bakar, Gas Buang Nitrogen Oksida (NO_x), *Water Injection*

Perkembangan teknologi otomotif semakin meningkat dan seiring perkembangan teknologi, kebutuhan akan energi juga semakin meningkat, salah satu energi tersebut adalah minyak bumi. Ketersediaan minyak bumi semakin menipis dan Indonesia hanya mampu memproduksi kurang dari 1 juta barel per hari sementara kebutuhannya mencapai 1,2 juta barel per hari. Selain permasalahan tersebut saat ini di Indonesia saat ini kurang lebih 70% pencemaran udara disebabkan emisi kendaraan bermotor. Untuk mengatasi masalah tersebut telah dilakukan berbagai penelitian dan membuat berbagai inovasi dalam teknologi otomotif. Penelitian ini bertujuan untuk melihat perbedaan serta mengungkapkan jumlah perbedaan yang ditimbulkan dari penggunaan *water injection* terhadap konsumsi bahan bakar dan kandungan emisi gas buang NO_x pada motor diesel. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental.

Pengujian penelitian dilakukan pada mesin diesel Mitshubishi L300 dalam berbagai putaran mesin, yaitu 700 rpm, 1200 rpm, dan 1700 rpm. Untuk melihat perbedaan yang ditimbulkan oleh *water injection*, data diambil dari pengujian mesin diesel sebelum dipasang *water injection* dan sesudah dipasang *water injection* pada mesin tersebut. Kemudian data yang diperoleh dianalisis dengan uji perbedaan (t-test). Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsumsi bahan bakar dan emisi gas buang NO_x pada putaran 700 rpm, 1200 rpm dan 1700 rpm dengan dan tanpa menggunakan *water injection* menunjukkan perbedaan. Adapun hasil dari t-test nya ialah $t_{hitung} 3,332 > t_{tabel} 2,132$ untuk emisi gas buang NO_x dan $t_{hitung} 5,014 > t_{tabel} 2,132$ untuk konsumsi bahan bakar. Dimana setelah menggunakan *water injection* kadar emisi gas buang NO_x menjadi turun dan konsumsi bahan bakar lebih irit. Hal ini diakibatkan karena jumlah udara yang masuk ke dalam silinder lebih banyak dan lebih dingin. Namun demikian, menurut teorinya campuran bahan bakar dan udara di dalam silinder haruslah seimbang, tidak boleh kelebihan udara atau campuran kurus maupun kekurangan udara atau campuran kaya agar campuran udara dan bahan bakar dapat efektif seluruhnya berubah menjadi tenaga sehingga kendaraan akan menjadi lebih efisien.

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syuklur penulis panjatkan atas kehadairat Allah SWT, karena atas Berkat dan Rahmat dari-Nya penulis dapat menyelesaikan penelitian dengan judul “**Perbedaan Konsumsi Bahan Bakar dan Kadar Emisi Gas Buang Pada Motor Diesel Yang Menggunakan *Water Injection* dan Yang Tidak Menggunakan *Water Injection***”. Penelitian ini merupakan salah satu persyaratan untuk menyelesaikan program studi strata satu (S1) di Jurusan Teknik Otomotif Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang. Dalam penulisan penelitian ini penulis banyak mendapat masukan, saran dan bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu, penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Bpk. Drs. Daswarman, M.Pd selaku pembimbing I dalam penelitian ini sekaligus Penasehat Akademik (PA) penulis dalam perkuliahan
2. Bpk. Drs. Erzeddin Alwi, M.Pd selaku pembimbing II dalam penelitian ini
3. Bpk. Drs. Hasan Maksum. MT selaku ketua Jurusan Teknik Otomotif FT UNP
4. Bpk. Drs. Martias, M.Pd selaku sekretaris Jurusan Teknik Otomotif FT UNP
5. Papa dan Mama serta adik-adik tercinta dan keluarga yang selalu mendo’akan dan memberikan dukungan kepada penulis baik berupa moril maupun materil
6. Seluruh dosen dan staf jurusan Teknik Otomotif yang telah memberikan bantuan, bimbingan dan masukan dalam penelitian ini
7. Dan teman-teman seperjuangan jurusan Teknik Otomotif khususnya angkatan 2006 yang telah ikut serta berpartisipasi membantu penulis dalam menyelesaikan penelitian ini

8. Serta semua pihak yang telah membantu yang mungkin tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari dalam penelitian ini masih banyak kekurangan di dalamnya. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritikan dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan penulisan maupun isi dari penelitian ini.

Akhir kata penulis ucapkan terima kasih.

Padang, Mei 2011

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR LAMPIRAN	viii
BAB 1. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Identifikasi Masalah	5
C. Batasan Masalah	6
D. Rumusan Masalah	6
E. Tujuan Penelitian	6
F. Manfaat Penelitian	7
BAB II. KAJIAN TEORI	
A. Deskripsi Teori dan Penelitian Yang Relevan	8
B. Kerangka Pikir	24
C. Hipotesis Penelitian	24
BAB III. METODE PENELITIAN	
A. Desain Penelitian	25
B. Definisi Operasional dan Variabel Penelitian	26
C. Jenis dan Sumber Data	28
D. Objek Penelitian.....	28
E. Alat dan Bahan.....	28
F. Instrumen dan Prosedur Penelitian	29
G. Teknik Pengambilan Data	31
H. Teknik Analisis Data	31
I. Pelaksanaan Penelitian.....	35

BAB IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Data Hasil Penelitian	35
B. Analisis Data Hasil Penelitian	40
C. Pembahasan Hasil Penelitian	43
D. Keterbatasan Penelitian	47

BAB V. PENUTUP

A. Simpulan	48
B. Saran	49

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Contoh Tabel Pengambilan Data	31
2. Data Hasil Pengukuran Emisi Gas Buang dan Konsumsi Bakar	35
3. Data Hasil Pengukuran Emisi Gas Buang dan Pemakaian Bahan Bakar dengan <i>Water Injection</i>	35
4. Nilai Rata-Rata emisi gas buang NO _x Tanpa <i>Water Injection</i> dan Dengan <i>Water Injection</i>	36
5. Nilai Rata-Rata Pemakaian Bahan Bakar Tanpa <i>Water Injection</i> dan Dengan <i>WaterInjection</i>	37
6. Rata-Rata Konsumsi Bahan Bakar.....	39
7. Persiapan Pengujian Perbedaan Pre-test dengan Post-test Emisi Gas Buang Nox	40
8. Persiapan Pengujian Perbedaan Pre-test dan Post-test Konsumsi Bahan Bakar	42

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Sistem <i>Direct Water Injection</i> Pada Motor Diesel.....	9
2. Skema Rangkaian <i>Water Injection</i>	11
3. Cara Kerja Motor Diesel	14
4. Hubungan Pemakaian Bahan Bakar dan Putaran Mesin.....	16
5. Gambar Siklus Pembakaran Motor Diesel	20
6. Karakteristik Pembakaran Pada Motor Diesel	22
7. Kerangka Pikir.....	24
8. Skema Penelitian	25
9. Grafik Rata-Rata Kandungan Emisi Gas Buang NOx	36
10. Grafik Rata-Rata Pemakaian Bahan Bakar	37
11. Grafik Rata-Rata Konsumsi Bahan Bakar	40

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Surat Izin Penelitian	52
2. Balasan Surat Izin Penelitian.....	53
3. Surat Keterangan Telah Melakukan Penelitian	54
4. Surat keterangan Hasil Pengujian	55
5. Dokumentasi.....	56
6. Spesifikasi Alat Uji (Mitsubishi L300)	64
7. Tabel-t	66

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Perkembangan dunia otomotif semakin meningkat hal ini dapat dilihat dari semakin banyaknya kebutuhan akan teknologi otomotif yang telah memberikan banyak manfaat bagi kehidupan manusia. Seiring dengan perkembangan teknologi, dunia industri otomotif juga terus meningkat. Meningkatnya jumlah populasi manusia dan industrialisasi di dunia telah meningkatkan kebutuhan terhadap energi (Gupta dan Roy, 2007: 1). Salah satunya adalah minyak bumi, dan sebagai sumber daya alam yang tidak bisa diperbaharui lagi maka ketersediaan minyak bumi menjadi semakin terbatas dan mengakibatkan harganya menjadi meningkat. Menurut laporan *Statistical Review of World Energy*, cadangan minyak dunia berada dilevel 1,258 triliun barrel pada akhir tahun 2008, turun dibandingkan dengan 1,261 triliun barrel pada tahun sebelumnya, atau dunia masih memiliki persediaan minyak untuk 42 tahun kedepan (Kompas.com, 2010).

Saat ini Indonesia hanya menghasilkan minyak kurang dari 1 juta barrel per hari. Nilai ini turun drastis dari 1,4 juta barrel per hari pada tahun 1999, sejak dimulainya upaya restrukturisasi perminyakan nasional, sementara itu, jumlah kebutuhan minyak nasional sekitar 1,2 juta barrel per hari (Rohadi, 2008).

Selain permasalahan di atas, penurunan kualitas udara menjadi permasalahan yang sudah cukup serius yang terjadi di dunia ini. Di Indonesia saat ini kurang lebih 70% pencemaran udara disebabkan emisi kendaraan bermotor. Kendaraan bermotor mengeluarkan zat-zat berbahaya yang dapat menimbulkan dampak negatif baik terhadap kesehatan manusia maupun terhadap lingkungan, seperti gas karbonmonoksida, nitrogen oksida, timbal/timah hitam (Pb), dan lain sebagainya (Arif, 2007).

Minyak bumi salah satunya digunakan sebagai sumber energi pada motor bakar, sehingga diharapkan motor bakar lebih efisien dalam penggunaan bahan bakar. Motor bakar memanfaatkan energi panas untuk menghasilkan energi mekanik. Energi panas tersebut diperoleh dari proses pembakaran yang terjadi baik di dalam silinder maupun di luar silinder.

Jika pembakaran berlangsung di dalam silinder maka disebut *Internal Combustion Engine* (mesin pembakaran dalam), sedangkan mesin dengan proses pembakarannya di luar silinder disebut *External Combustion engine* (mesin pembakaran luar) (<http://www.maximalshop.com>).

Kendaraan bermotor yang menggunakan mesin pembakaran dalam sebagai tenaga penggerak merupakan kontributor utama dalam masalah polusi udara di dunia (Pulkrabek, 2004: 35). Berbagai kebijakan telah dikeluarkan berkenaan dengan gas buang kendaraan. Hal ini menjadi tantangan bagi para peneliti dan pengembang kendaraan dan perangkat stationari. Berbagai usaha dilakukan untuk memenuhi regulasi gas buang, mulai dari pemasangan katalis,

Exhaust Gas Recycler (EGR), *thermal converter* dan dengan menerapkan metode reaksi kimia (Pulkrabek, 2004: 349-361).

Internal combustion engine sendiri terbagi ke dalam beberapa jenis seperti motor bensin, motor diesel, motor gas, turbin gas, dan propulsi pancar gas. Penggunaan atau aplikasi motor diesel sebagai motor penggerak (primover) sangatlah berkembang pesat dan akan terus berkembang. Motor diesel banyak dipergunakan untuk keperluan transportasi seperti truk, bis, kapal, industri dan lain-lain. Untuk kepentingan pertanian motor diesel digunakan pada traktor untuk mengolah lahan pertanian, pada industri konstruksi bangunan dan pertambangan motor diesel digunakan sebagai primover untuk mesin-mesin pengeruk dan pemindah tanah, bulldozer, dan lain-lain.

Mesin diesel dengan keunggulan efisiensi bahan bakar menjadi pilihan banyak pengguna motor bakar untuk kendaraannya. Salah satu keunggulan mesin diesel adalah sistem pembakarannya menggunakan *Compression Ignition* (pembakaran-tekan), yang tidak memerlukan busi (<http://www.gudangilmu.org>).

Namun disamping keunggulan yang dimiliki, mesin diesel juga memiliki problem khusus yang berhubungan dengan pencemaran lingkungan yaitu ketebalan smoke/asap serta kandungan emisi gas buang khususnya *Nitrogen Oxide* (NOx) (<http://gudangilmu.org>). NOx menjadi masalah khusus pada motor diesel karena temperatur pembakaran motor diesel yang sangat

tinggi pada mesin pembakaran dalam yaitu sekitar 2700^0 K dimana pada temperatur ini NOx dapat terbentuk.

Untuk mengatasi masalah di atas dilakukanlah berbagai penelitian pada motor diesel agar motor diesel dapat bekerja lebih optimal. Untuk mendapatkan daya mesin yang optimal dalam meningkatkan efisiensi dan mengurangi emisi gas buang, salah satu syarat yang harus dipenuhi adalah proses pembakaran harus terjadi secara sempurna. Namun dalam kenyataannya proses pembakaran yang sempurna ini sulit untuk dicapai. Hal ini ditandai dengan adanya gejala yang kurang menguntungkan, seperti pemakaian bahan bakar yang kurang efisien dan tingginya emisi gas buang yang dihasilkan.

Melihat kondisi pencemaran udara yang diakibatkan oleh kendaraan khususnya motor diesel, maka berbagai upaya dilakukan untuk meminimalisir pencemaran udara tersebut. Upaya-upaya tersebut dapat dilihat dengan adanya penyempurnaan komponen-komponen mesin itu sendiri sampai membuat inovasi-inovasi baru yang dikembangkan sebagai penambah atau pendukung komponen-komponen yang sudah ada. Salah satu inovasinya adalah *water injection*.

Water injection merupakan teknologi yang berguna untuk mendinginkan ruang bakar (*combustion chamber*) mesin. Pendinginan bertujuan untuk mencegah *knocking* / detonasi, menurunkan kadar emisi NOx dan meningkatkan efisiensi volumetrik mesin (<http://www.wikipedia.org>). *Water injection* juga dapat meningkatkan daya mesin karena *water injection*

dapat meningkatkan efisiensi volumetrik (Pulkrabek: 390). Hal ini dapat terjadi karena temperatur udara yang dingin memiliki kerapatan yang tinggi dibanding dengan udara dengan temperatur yang tinggi sehingga jumlah massa udara yang mampu dihisap menjadi lebih banyak dan jumlah campuran bahan dan udara yang tercampur menjadi lebih banyak maka pembakaran menjadi lebih sempurna dan seiring dengan itu maka konsumsi bahan bakar akan menjadi lebih efisien.

Dengan dipasangnya *water injection* pada motor diesel diharapkan dapat menciptakan mesin yang ramah lingkungan dengan emisi gas buang yang rendah dan performa daya poros yang lebih optimal serta konsumsi bahan bakar yang lebih efisien.

Berdasarkan latar belakang di atas, maka penulis tertarik melakukan penelitian tentang “**perbedaan konsumsi bahan bakar dan kadar emisi gas buang pada motor diesel yang menggunakan water injection dan yang tidak menggunakan water injection**”.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan dari uraian latar belakang di atas maka dapat diidentifikasi beberapa masalah yaitu:

1. Di Indonesia sekarang ini kurang lebih 70% pencemaran udara disebabkan emisi kendaraan bermotor berupa zat-zat berbahaya yang dapat menimbulkan dampak negatif baik terhadap kesehatan manusia maupun terhadap lingkungan seperti gas karbonmonoksida (CO), nitrogen oksida

(NOx), timbal/timah hitam (Pb), dan lain sebagainya

2. Indonesia hanya mampu menghasilkan 1 juta barel minyak per hari sedangkan kebutuhannya mencapai 1,2 juta barel per hari
3. Pembakaran yang sempurna akan menghasilkan efisiensi bahan bakar, namun pembakaran yang sempurna sulit diperoleh, hal ini disebabkan oleh pemasukan dan kondisi udara yang sering tidak optimal sehingga campuran udara dan bahan bakar di dalam silinder tidak sempurna dan menyebabkan timbulnya emisi gas buang yang berbahaya dan konsumsi bahan bakar yang boros.

C. Batasan Masalah

Agar penelitian ini menjadi lebih terarah sehingga dapat menjawab masalah di atas dan karena keterbatasan peneliti maka penelitian ini akan dibatasi pada: **Penggunaan water injection pada motor diesel.**

D. Rumusan Masalah

1. Apakah terdapat perbedaan konsumsi bahan bakar motor diesel yang menggunakan *water injection* dan yang tidak menggunakan *water injection* ?
2. Apakah terdapat perbedaan emisi gas buang NOx motor diesel yang dipasangkan *water injection* dan yang tidak menggunakan *water injection*?

E. Tujuan Penelitian

1. Melihat perbedaan konsumsi bahan bakar dan emisi gas buang pada mesin diesel yang menggunakan *water injection* dan yang tidak menggunakan *water injection*

2. Mengungkapkan jumlah perbedaan konsumsi bahan bakar dan emisi gas buang pada mesin diesel yang dipasangkan *water injection*.

F. Manfaat Penelitian

1. Sebagai syarat untuk mendapatkan gelar sarjana pendidikan di Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang
2. Menambah wawasan tentang usaha penurunan emisi gas buang dengan pemasangan *water injection*
3. Sebagai referensi bagi penelitian lebih lanjut tentang penerapan *water injection* pada mesin diesel secara khusus dan pada motor bakar secara umum
4. Sebagai metode alternatif penanggulangan emisi gas buang pada mesin diesel
5. Sebagai referensi bagi produsen mesin diesel dalam memproduksi mesin yang lebih ramah lingkungan, efisien, hemat bahan bakar dan daya yang optimal.

BAB II

KAJIAN TEORI

A. Deskripsi Teori Dan Penelitian Yang Relevan

1. Water Injection

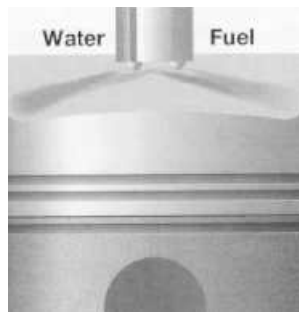
Water injection adalah salah satu metode pendinginan ruang bakar (*combustion chamber*) pada motor bakar (*combustion engine*) dengan cara memasukkan air (H_2O) ke dalam ruang bakar mesin. Menurut Pulkrabek (2004: 391) *water injection* dapat dilakukan dengan tiga cara, yaitu :

- a. Memasukan air melalui udara yang lewat, baik melalui sistem pemasukan (*intake system*) maupun secara langsung ke ruang bakar
- b. Mengemulsikan air dengan bahan bakar
- c. Menggunakan saluran masuk udara dengan tingkat kelembaban tinggi (*high humidity inlet air*).

Menurut Bedford et al, 2000 *Water Injection* juga dapat dilakukan dengan cara memasukan air melalui saluran masuk (*intake manifold*) mesin dimana pada saluran masuk tersebut dipasang sebuah mekanisme nozzle untuk menyembrotkan air. Karena adanya mekanisme nozzle tersebut, air yang keluar akan berbentuk butiran-butiran halus, teknik ini disebut juga teknik fumigasi.

Menurut Wartsila NSD, 2000S *Water Injection* dapat dilakukan dengan cara langsung memasukan air ke dalam ruang bakar, metode ini disebut *Direct Water Injection* (DWI), Emulsi yaitu mencampurkan air dan minyak dalam kadar tertentu. DWI membutuhkan sebuah nozzle

yang dipasang pada kepala silinder, nozzle tersebut dihubungkan dengan sebuah pompa air melalui saluran tekanan tinggi. Pada saat tertentu pompa akan menekan air menuju nozzle untuk dimasukkan ke dalam ruang bakar mesin, tekanan pemompaan air berkisar antara 200-400 bar, dan DWI mampu menurunkan NO_x sebesar 50-60 %



Gambar 1. Sistem *Direct Water Injection* pada Motor Diesel
(Wartsila NSD, 2000: 41)

Water injection dengan cara emulsi terbukti mampu menurunkan kadar emisi NO_x sebesar 20-30% dan *Particulate Matter* (PM) (Wartsila NSD, 2000). Kekurangannya adalah jumlah campuran konstan pada berbagai kondisi mesin (Bedford, 2000).

Dan *Water injection* melalui saluran masuk udara dengan kelembaban tinggi dapat menurunkan emisi NO_x sebesar 10-30% (Wartsila NSD, 2000). Kelemahan penggunaan saluran masuk untuk injeksi uap air adalah resiko terjadinya korosi / erosi pada saluran masuk dan katub (Pulkrabek, 2004: 391).

Water injection atau anti-detonant sistem merupakan metode yang digunakan untuk mendinginkan ruang bakar mesin dengan cara menyemprotkan air ke dalam silinder atau ke dalam campuran bahan bakar udara (en.wikipedia.org).

Water injection berfungsi untuk:

- a. Mengurangi kadar emisi nitrogen oksida (NO_x)

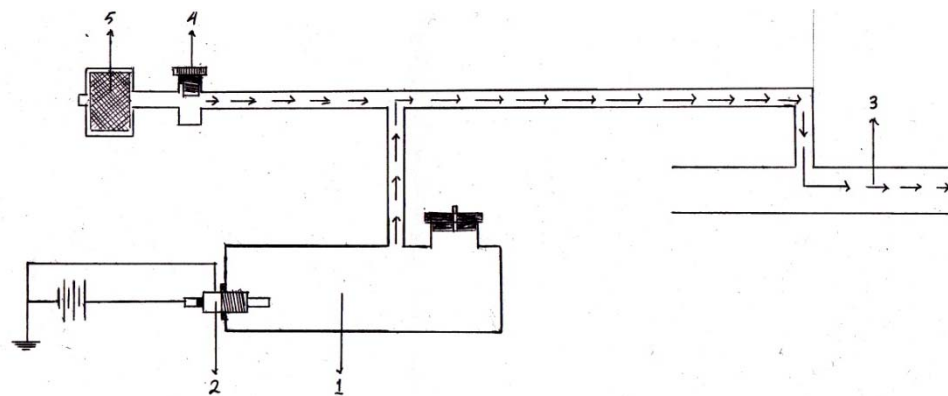
Air yang dimasukkan melalui metode *water injection* akan menurunkan temperatur silinder sehingga mencegah terjadinya pembentukan NO_x. Menurut Pulkrabek (2004: 339-340) NO_x terbentuk akibat temperatur ruang bakar yang terlalu tinggi sehingga memungkinkan terjadinya ikatan antara molekul N₂ dengan O₂ yang terkandung dalam udara yang dihisap mesin.

- b. Mencegah terjadinya detonasi / *knocking*

Detonasi adalah kejadian yang ditimbulkan akibat fenomena penyalan sendiri (*self ignition*) pada campuran bahan bakar dan udara. Detonasi dapat menyebabkan terjadinya kerusakan pada mesin (Pulkrabek, 2004: 158). Penyalan sendiri terjadi akibat temperatur dalam silinder telah melebihi temperatur menyala sendiri *self-ignition temperature* (SIT) campuran udara dan bahan bakar. *Water injection* bekerja dengan cara menyerap panas yang ada di dalam silinder sehingga dapat mencegah penyalan sendiri (detonasi).

c. Meningkatkan efisiensi volumetrik mesin

Untuk menghasilkan tenaga yang besar mesin perlu membakar lebih banyak campuran udara dan bahan bakar. Untuk melakukan hal tersebut mesin perlu menghisap udara dengan jumlah maksimum dalam setiap siklus kerja mesin. Massa udara yang mampu dihisap mesin secara ideal sebanding dengan kerapatan udara atmosfer dikali dengan volume langkah (*displacement volume*) silinder mesin (Pulkrabek, 2004: 69). Udara dengan temperatur yang lebih rendah memiliki kerapatan (*density*) yang lebih tinggi dibanding udara dengan temperatur tinggi. Sehingga dengan menghisap udara yang lebih dingin maka mesin mampu memasukan massa udara yang lebih banyak ke dalam ruang silinder mesin.



Gambar 2: Skema Rangkaian *Water injection*

Keterangan gambar :

1. Tangki penyimpanan dan pemanasan air
2. Elemen pemanas air
3. Saluran masuk udara kemesin (intake manifold)
4. Regulator
5. Saringan udara

Adapun cara kerja dari *water injection* yang terlihat dari gambar di atas adalah air dalam tangki dipanaskan sampai mendidih dan menghasilkan uap air oleh elemen pemanas, sumber arus dari elemen pemanas ialah baterai mobil itu sendiri.

Saat mesin bekerja akan menghisap udara dari luar melalui saluran masuknya, serta juga menghisap uap air dari dalam tangki pemanas karena saluran masuk ini juga dihubungkan dengan tangki tempat pemanasan air dengan jalan melobangi saluran masuk dan memasang pipa penghubung ke tangki, dan pipa penghubung itu sendiri selain dihubungkan dengan tangki juga dihubungkan dengan saluran udara murni, dimana saringan udaranya diletakan pada tempat yang bersih dan dingin, hal ini bertujuan agar uap air bercampur semaksimal mungkin dengan udara.

2. Motor Diesel

Mesin diesel adalah salah satu jenis motor bakar torak pembakaran dalam (*internal combustion engine*). Mesin diesel mengubah energi kimia yang terkandung dalam bahan bakar menjadi energi thermal yang kemudian diubah menjadi energi mekanis yang umumnya berupa kerja poros.

Pengubahan energi kimia menjadi energi thermal dilakukan dengan proses pembakaran, pada mesin diesel pembakaran dilakukan dengan menginjeksikan bahan bakar ke dalam ruang bakar pada akhir langkah

kompresi. Pembakaran pada mesin diesel tidak terjadi secara terus menerus, akan tetapi berlangsung secara periodik pada setiap siklus.

Pada motor diesel empat langkah pembakaran terjadi sebanyak satu kali dalam empat kali langkah piston dari titik mati atas (TMA) ke titik mati bawah (TMB) atau sebaliknya.

Untuk menghasilkan sebuah usaha motor diesel empat langkah melalui proses sebagai berikut:

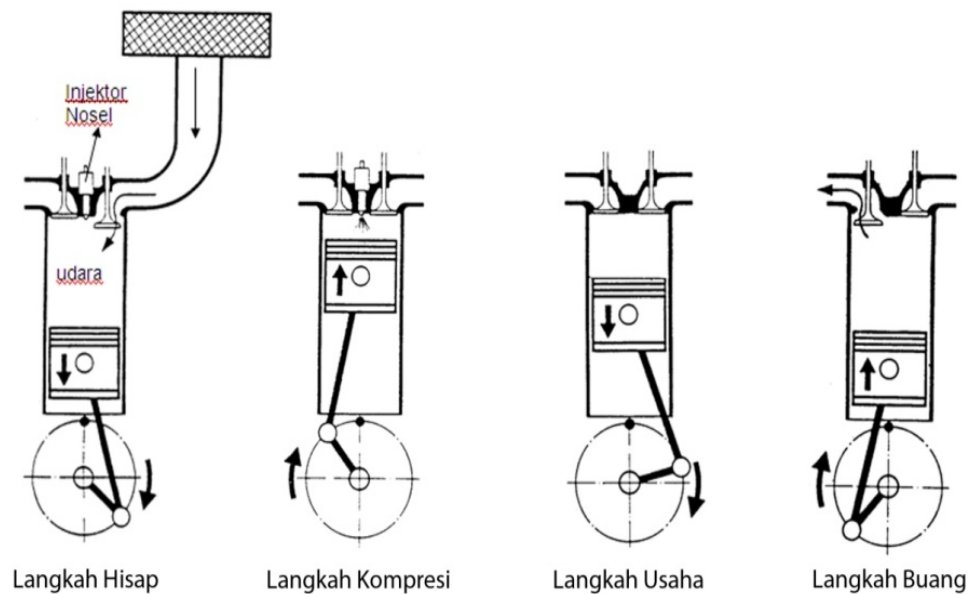
- a. Langkah hisap, piston dari TMA ke TMB, pada saat yang bersamaan saluran masuk terbuka sehingga udara dari atmosfer dihisap masuk ke dalam ruang silinder
- b. Langkah kompresi, setelah piston mencapai TMB, piston akan mulai bergerak kembali menuju TMA

Pada saat piston bergerak menuju TMA saluran masuk dan saluran buang tertutup, sehingga udara yang berada di dalam ruang silinder volumenya menjadi mampat dan meningkatkan temperatur sampai sekitar 700-900°C, serta tekanan sampai sekitar 2000 bar (Swiss Contact, 2003: 2). Perbandingan kompresi dibuat antara 12 sampai 24 : 1 (Pulkrabek, 2004: 297). Sekitar 30°-10° engkol sebelum piston mencapai TMA bahan bakar diinjeksikan ke dalam ruang bakar.

- c. Langkah usaha, ledakan yang dihasilkan dari proses pembakaran mendesak piston bergerak menuju TMB, selama proses pembakaran

katup masuk dan katup buang tertutup. Tekanan pembakaran yang dihasilkan mencapai 4-12 MPa

- d. Langkah pembuangan, pada langkah ini katup masuk dalam keadaan tertutup dan saluran buang terbuka, dan piston bergerak dari TMB menuju TMA mendesak gas sisa pembakaran keluar menuju saluran buang. Setelah proses pembuangan selesai mesin akan memulai kembali siklus selanjutnya dari langkah hisap dan seterusnya.



Gambar 3. Cara kerja Motor Diesel
(Swiss Contact, 2003: 2)

3. Konsumsi Bahan Bakar

Konsumsi bahan bakar erat kaitannya dengan efisiensi kendaraan. Tingkat konsumsi sebuah *engine* terhadap bahan bakar seringkali menjadi salah satu bahan pertimbangan dalam pemilihan sebuah *engine*. Usaha yang dilakukan para ahli otomotif saat ini adalah mendapatkan *engine*

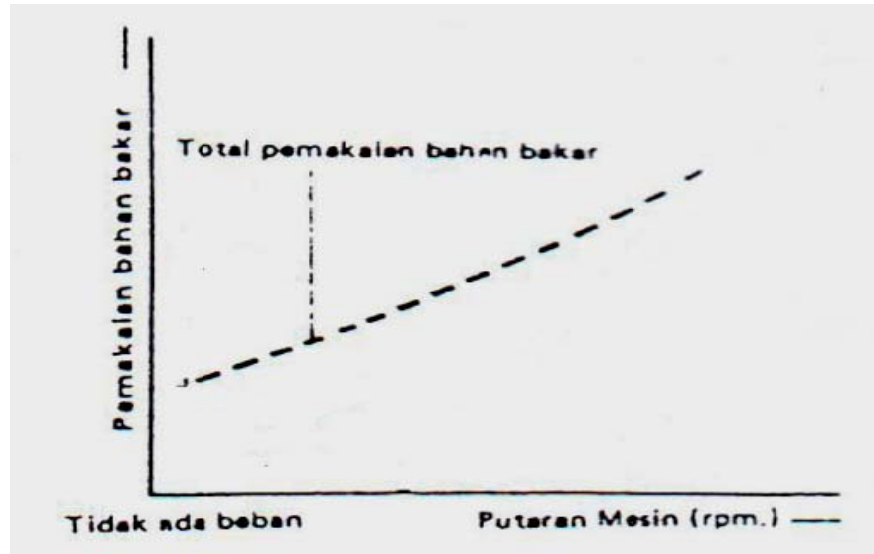
dengan konsumsi bahan bakar rendah (irit/hemat) dengan menghasilkan tenaga yang maksimal.

Menurut Suyanto dalam Mohlis (2007) konsumsi bahan bakar adalah ukuran banyak sedikitnya bahan bakar yang digunakan suatu mesin untuk diubah menjadi panas pembakaran dalam jangka waktu tertentu.

Pembakaran yang sempurna akan menghasilkan tingkat konsumsi bahan bakar yang ekonomis karena pada pembakaran sempurna campuran bahan bakar dan udara dapat terbakar seluruhnya dalam waktu dan kondisi yang tepat.

Pembakaran yang sempurna bisa didapat dengan memaksimalkan jumlah campuran udara dan bahan bakar di dalam slinder, karena jumlah bahan bakar yang dapat terbakar akan menentukan temperatur dan tekanan untuk menghasilkan usaha pada akhir pembakaran.

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi pemakaian bahan bakar pada kendaraan bermotor, salah satunya adalah putaran mesin. Putaran mesin ini biasanya dinyatakan dalam satuan RPM (Rotasi Per Menit). Pada umumnya bila putaran mesin bertambah maka jumlah bahan bakar yang dipakai cenderung bertambah. Hubungan antara pemakaian bahan bakar dan putaran mesin ini dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 4. Hubungan pemakaian bahan bakar dan putaran mesin
(Toyota Step 2, 1972:3-18)

Untuk mengukur banyaknya bahan bakar yang terpakai maka digunakan gelas ukur yang merupakan fluks volume dari bahan bakar dikali dengan massa jenis bahan bakar yang menghasilkan fluks massa atau dinyatakan dalam kg/jam. Fluks massa bahan bakar dapat ditulis dalam persamaan sebagai berikut :

$$f = \frac{\Delta V}{\Delta t} X \rho_{bb} \text{ (kg / jam)} \quad \text{Bahrul, (1995: 26)}$$

4. Emisi Gas Buang (NOx)

Nitrogen yang ada di atmosfer berada dalam keadaan molekul diatomic (N_2) yang stabil pada temperatur rendah. Pada temperatur tinggi beberapa nitrogen diatomik (N_2) pecah menjadi nitrogen monoatomik ($2N$). Gas-gas dalam reaksi pembakaran bersifat stabil pada temperatur

rendah menjadi reaktif dan menjadi kontributor tersusunnya NO_x pada temperatur tinggi, termasuk oksigen dan uap air (Pulkrabek, 2004).

Ada dua jenis NO_x yaitu nitrogen monoksida (NO) dan nitrogen dioksida (NO₂), karena oksida nitrogen mempunyai 2 macam bentuk yang sifatnya berbeda, yaitu gas NO₂ dan gas NO. Sifat gas NO₂ adalah berwarna dan berbau, sedangkan gas NO tidak berwarna dan tidak berbau. Warna gas NO₂ adalah merah kecoklatan dan berbau tajam menyengat hidung ([http:// kesehatan lingkungan.blogspot.com](http://kesehatanlingkungan.blogspot.com)). Gas NO₂ memiliki toksisitas 4x lebih kuat dari gas NO. Paru-paru yang terkontaminasi oleh gas NO₂ akan membengkak sehingga penderita sulit bernafas yang dapat mengakibatkan kematian.

Menghirup gas selama 10 menit menyebabkan sukar bernafas. Gas NO_x menyebabkan timbulnya peroxyacetyl nitrates (PAN) dan kabut fotokimia (*fotochemical*) (<http://putraprabu.wordpress.com>).

5. Pembakaran

a. Definisi Pembakaran

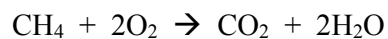
Pembakaran adalah reaksi kimia yang terjadi selama proses oksidasi dan pelepasan energi dalam jumlah besar. Proses oksidasi yang terjadi dalam proses pembakaran adalah antara bahan bakar dengan oksidator. Bahan bakar yang digunakan dalam proses pembakaran adalah hidrokarbon (HC). Sedangkan oksidator yang umum digunakan dalam proses pembakaran adalah oksigen. Energi

yang dilepaskan dari proses pembakaran biasanya berupa cahaya dan panas.

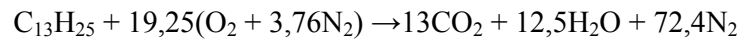
Pembakaran adalah reaksi kimia atau reaksi persenyawaan bahan bakar dengan oksigen dan diikuti oleh sinar dan panas (Toyota Step, 1972: 2-2). Pembakaran spontan adalah pembakaran dimana bahan mengalami oksidasi perlahan-lahan sehingga kalor yang dihasilkan tidak dilepaskan, akan tetapi dipakai untuk menaikkan suhu bahan secara pelan-pelan sampai mencapai suhu nyala. Pembakaran sempurna adalah pembakaran dimana semua konstituen yang dapat terbakar di dalam bahan bakar membentuk gas CO₂, air (H₂O), dan gas SO₂, sehingga tak ada lagi bahan yang dapat terbakar tersisa.

b. Reaksi Kimia Pembakaran

Pada proses pembakaran pada mesin diesel, reaksi kimia antara unsur bahan bakar dan oksigen terjadi dengan cepat. Jumlah energi yang dilepaskan dalam pembakaran akan maksimal apabila bahan bakar bereaksi dengan oksigen dalam jumlah stokiometri. Secara stokiometri oksigen hanya cukup untuk mengubah seluruh karbon dalam bahan bakar menjadi karbondioksida dan seluruh hidrogen menjadi H₂O, tanpa sisa oksigen. Sehingga persamaan reaksi untuk bentuk hidrokarbon paling sederhana, metana CH₄, yang dibakar dengan oksigen yang stokiometri adalah:



Reaksi kimia proses pembakaran bahan bakar solar ($C_{13}H_{25}$) dan udara yang sesuai dengan kaidah-kaidah kimia adalah:



Dalam persamaan reaksi molekul bereaksi dengan molekul, sehingga dalam menyetarakan suatu persamaan reaksi, yang digunakan adalah kuantitas molar bukan kuantitas massa. Dalam proses pembakaran zat yang ada sebelum terjadi reaksi kimia disebut reaktan, dan zat yang ada sesudah terjadinya reaksi kimia disebut produk.

Komposisi udara nitrogen 78%, oksigen 21%, argon 1% dan sisanya CO_2 , Ne, CH_4 , He, H_2O dan lain-lain. Karena hal tersebut untuk setiap oksigen yang bereaksi dalam pembakaran selalu terdapat nitrogen sebesar 3,76 bagian, serta zat-zat lain sesuai perbandingan komposisinya di atmosfer.

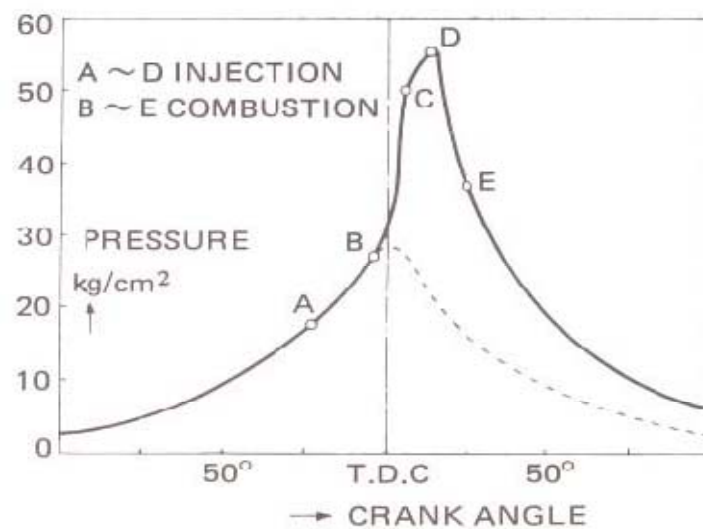
Nitrogen yang terkandung di dalam udara atmosfer tidak bereaksi dengan bahan bakar maupun dengan oksigen, karena nitrogen bersifat netral. Akan tetapi pada temperatur yang lebih tinggi, nitrogen akan mengikat oksigen untuk membentuk NO_x .

Jumlah oksigen yang bereaksi dengan bahan bakar tidak selalu stokiometri, oksigen yang bereaksi dapat berjumlah lebih banyak atau lebih sedikit dari jumlah oksigen pada reaksi stokiometri. Reaksi kimia yang mengandung oksigen lebih banyak dari jumlah oksigen stokiometri disebut campuran kurus (*lean mixture*), sedangkan reaksi

kimia dengan jumlah oksigen lebih sedikit dari jumlah oksigen stokiometri disebut campuran kaya. Pada reaksi kimia dengan jumlah oksigen lebih banyak akan menghasilkan sisa oksigen pada sisi produk reaksi, sedangkan pada reaksi dengan jumlah oksigen yang lebih sedikit akan menghasilkan gas karbonmonoksida, yang merupakan gas beracun yang tidak berwarna dan tidak berbau.

6. Sistem Pembakaran Mesin Diesel

Proses pembakaran dibagi menjadi 4 periode:



Gambar 5 : Gambar siklus pembakaran motor diesel
(Sumber: Swiss Contact, 2003: 5)

a. Periode 1: Waktu pembakaran tertunda (*ignition delay*) (A - B)

Pada periode ini disebut fase persiapan pembakaran, karena partikel-partikel bahan bakar yang diinjeksikan bercampur dengan udara di dalam silinder agar mudah terbakar (Toyota Step 2, 1972: 8-12).

b. Periode 2: Perambatan api (B-C)

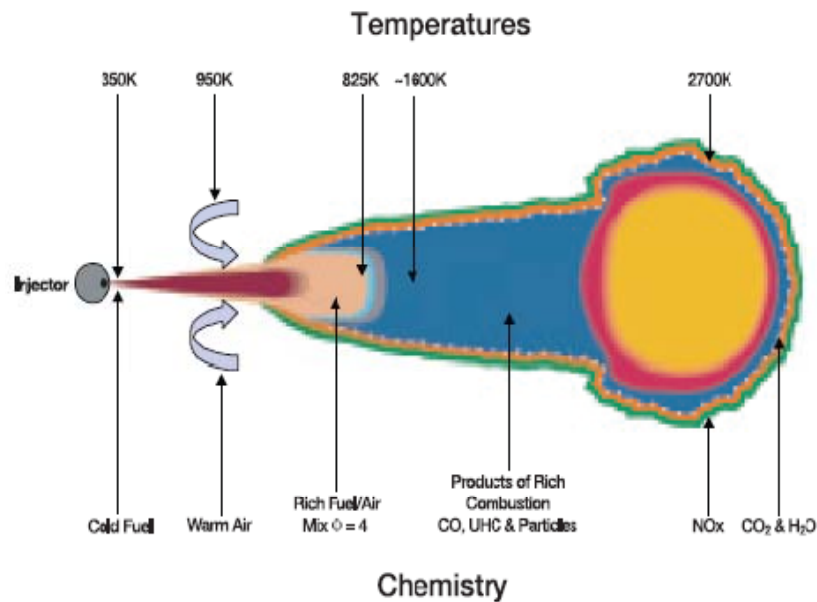
Pada periode 2 ini campuran bahan bakar dan udara tersebut akan terbakar di beberapa tempat. Nyala api akan merambat dengan kecepatan tinggi sehingga seolah-olah campuran terbakar sekaligus, sehingga menyebabkan tekanan dalam silinder naik, periode ini sering disebut pembakaran letup (Toyota Step 2, 1972: 8-12).

c. Periode 3: Pembakaran langsung (C-D)

Akibat nyala api dalam silinder, maka bahan bakar yang diinjeksikan langsung terbakar. Pembakaran langsung ini dapat dikontrol dari jumlah bahan bakar yang diinjeksikan, sehingga periode ini sering disebut periode pembakaran dikontrol (Toyota Step 2, 1972: 8-12).

d. Periode 4: Pembakaran lanjut (D-E)

Injeksi berakhir, tetapi bahan bakar belum terbakar semua. Jadi walaupun injeksi telah berakhir, pembakaran masih tetap berlangsung. Bila pembakaran lanjut terlalu lama, temperatur gas buang akan tinggi menyebabkan efisiensi panas turun (Toyota Step 2, 1972: 8-12).



Gambar 6: Karakteristik Pembakaran pada Motor Diesel
(Johnson dalam Xinqun, 2010: 8)

Dari gambar di atas terlihat proses dan karakter pembakaran pada mesin diesel, dimana pada tahap awal dimulai dengan pengkabutan bahan bakar yang berlangsung sangat cepat dan efisien dimana pada saat ini temperaturnya sekitar 350k. Tahap kedua yaitu proses penguapan dimana pada proses ini bahan bakar yang telah dikabutkan menjadi bagian yang sangat halus mulai diuapkan dan terjadi karena peningkatan temperatur udara akibat adanya langkah kompresi, dengan ratio kompresi minimal 12:1, dan proses ini berlangsung sangat cepat yang terjadi dalam 0,001 detik setelah proses pengkabutan dengan temperatur sekitar 950k.

Selanjutnya proses pencampuran bahan bakar dan udara, setelah proses penguapan bahan bakar harus dicampur dengan udara agar mudah menyala, hal ini dapat terjadi karna percepatan penginjeksian yang tinggi

dan dibantu dengan pusaran dan pergolakan di dalam ruang bakar, pada proses ini temperatur pembakaran di ruang bakar sekitar 825k. Selanjutnya proses *self-ignition* yang dapat terjadi karena adanya pencampuran bahan bakar dan udara, dimana pada proses ini campuran bahan dan udara tadi telah memijar atau telah terbakar pada beberapa tempat, dan pada saat ini pembakaran telah mencapai temperature 1600k, dan menghasilkan CO, HC, serta partikulat, ini merupakan tahap dimulai pembakaran yang nyata.

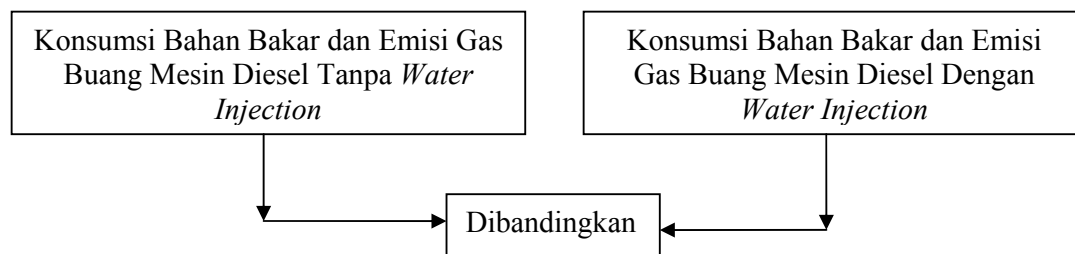
Dan proses yang terakhir yaitu proses pembakaran, akibat dari *self-ignition* temperatur dan tekanan di ruang bakar meningkat dengan cepat sehingga campuran bahan bakar dan udara terbakar, dan menghasilkan temperatur yang cukup tinggi yaitu sekitar 2700k, dimana pada temperatur ini NO_x, H₂O, serta CO₂ mudah terbentuk.

7. Penelitian yang relevan

Sigit Pramono Kurniawan tahun 2009 dengan judul penelitian pengaruh *water injection* pada performa sepeda motor empat langkah dengan hasil penelitian penambahan *water injection* mampu menaikkan performa suatu mesin dan mengurangi konsumsi bahan bakar. *Water injection* pun mampu menghilangkan gejala detonasi meskipun bahan bakar yang digunakan tergolong bahan bakar beroktan rendah.

B. Kerangka Pikir

Dari deskripsi di atas terlihat bahwa proses pembakaran sangat mempengaruhi kerja mesin dan berhubungan dengan konsumsi bahan bakar serta kadar emisi gas buangnya. *Water injection* merupakan suatu alat yang mampu meningkatkan efisiensi volumetrik dan menurunkan kadar emisi gas buang sehingga dapat disusun suatu kerangka berpikir sebagai berikut:



Gambar 7: Kerangka Pikir

C. Hipotesis Penelitian

Hipotesis merupakan jawaban sementara terhadap rumusan masalah yang dijabarkan dari landasan teori dan masih harus diuji kebenarannya. Adapun hipotesis dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Terdapat perbedaan yang signifikan konsumsi bahan bakar motor diesel yang menggunakan *water injection* dan yang tidak menggunakan *water injection*
2. Terdapat perbedaan yang signifikan emisi gas buang motor diesel yang menggunakan *water injection* dan yang tidak menggunakan *water injection*.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Setelah melaksanakan penelitian tanggal 29 Januari 2011 di Balai Riset Dan Standarisasi Padang dengan objek penelitian emisi gas buang dan konsumsi bahan bakar pada mesin diesel mobil Mitshubishi L300, telah didapatkan beberapa data yang dibutuhkan dalam penelitian ini. Dari data-data yang telah diolah maka dapat ditarik kesimpulan yaitu:

1. Dalam pengujian kadar emisi gas buang NO_x pada mesin diesel yang menggunakan *water injection* dan yang tidak menggunakan *water injection*, dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan kadar emisi gasbuang NO_x mesin diesel yang menggunakan *water injection* dan yang tidak menggunakan *water injection*, hal ini didapat dari hasil pengujian statistik yang menyatakan bahwa t hitung lebih besar dari t tabel, dengan angka yaitu: t hitung 3,332 > t tabel 2,132
2. Setelah dilakukan pengukuran konsumsi bahan bakar mesin diesel yang menggunakan *water injection* dan tanpa *water injection*, dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan konsumsi bahan bakar motor diesel yang menggunakan *water injection* dan yang tidak, hal ini dapat dilihat dari hasil pengujian statistik yang menyatakan bahwa t hitung lebih besar dari t tabel, dengan angka sebagai berikut: t hitung 5,014 > t tabel 2,132.

B. Saran

Sehubungan dengan penelitian di atas, maka saran yang ingin disampaikan adalah penggunaan *water injection* dapat menurunkan kadar emisi gas buang NOx pada motor diesel, oleh karena itu untuk kendaraan mesin diesel khususnya yang belum dilengkapi dengan teknologi emisi ramah lingkungan dapat menerapkan *water injection* ini sebagai salah satu alternatif untuk menurunkan emisi gas buang.

DAFTAR PUSTAKA

- Arif Hidayat. 2007. "*Sumber Pencemaran Udara*".<http://arifhidayat.staff.uui.ac.id/page/3/>, diakses tanggal 25 november 2010.
- Bahrul Amin. (1995). "Uji Prestasi Motor Bensin Dengan Metoda Gesekan Mekanis" Tugas Akhir Tidak Diterbitkan. Sekolah Tinggi Teknik Padang
- Bedford, F. et al. (2000). "Effects of Direct Water Injection on DI Diesel Engine". *Society of Automotive Engineers Journal* (Vol. 1 Tahun 2000). Hlm. 1 – 10
- Diesel Versus Bensin <http://www.maximalshop.com> diakses 25 november 2010
- Gupta, Harsh, & Roy, Sukanta. (2007). *Geothermal Energy: An Alternative Resouce for 21st Century*. Amsterdam: Elsevier
- M.Mohlis . 2007 . "Pengaruh Pemanasan Bahan Bakar Solar Melalui Upper Tank Radiator terhadap Konsumsi Bahan Bakar Dan Kepekatan Asap Buang Pada Mesin Isuzu Panter". *Skripsi tidak diterbitkan*.Universitas Negri Semarang
- Nitrogen Oxide dalam http://www.en.wikipedia.org/nitrogen_oksida.htm (diakses 18 Agustus 2010)
- Panduan Penulisan Tugas Akhir / Skripsi Universitas Negeri Padang 2008
- Pulkrabek, Willard W. (2004). *Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine*. New Jersey: Prentice Hall
- Rohadi Awaluddin. 2008 . *Lonjakan Harga Minyak Momen Diversifikasi Energi*. <http://www.beritaipetek.com>, diakses tanggal 25 november 2010.
- Sigit Pramono Kurniawan . 2009 ."Pengaruh *Water Injection* Pada Performa Sepeda Motor Empat Langkah ".*Skripsi tidak diterbitkan*. Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta
- Swiss Contact. (2003). *Handout Diesel SC*. Jakarta: Swiss Contact
- Syafril . 2001 .Statistika Lanjutan. Fakultas Ilmu Pendidikan UNP.
- Sistem pembakaran pada mesin motor diesel <http://www.weblog.com/e-learning> diakses 25 november 2010