

3100096008053

**TUGAS AKHIR (NE 1701)**

**METODA UNTUK MEREDUKSI EMISI NO<sub>x</sub>  
PADA GAS BUANG MOTOR DIESEL**



RSke  
665.78  
Har  
m-1  

---

1996



PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	02-07-96
Terima Dari	H
No. Agenda Prp.	6795

Disusun Oleh :

**SUGENG HARDIANTO**  
**NRP. 4914200298**

**JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
1996**

DEPARTEMEN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
JURUSAN TEKNIK PERMESINAN KAPAL

Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111, Telp. 5947254, 5947274  
Psw. 262, 5948757, Fax. 5947254

TUGAS AKHIR ( NE. 1701 )

nama : SUGENG HARDIANTO  
nimor Pokok : 4914200298  
tanggal diberikan tugas : 12 September 1995  
tanggal diselesaikan tugas : 12 Maret 1996

JUDUL KARYA TULIS :

METODA UNTUK MEREDUKSI EMISI NO<sub>x</sub>  
PADA GAS BUANG MOTOR DIESEL

Dosen Pembimbing,

Moch. Zuhdi MF, MEng

Mahasiswa,

Sugeng Hardianto



1 copy untuk : Arsip Jurusan  
1 copy untuk : Arsip Dosen Pembimbing  
1 copy untuk : Arsip Mahasiswa Ybs.

file:taharu

# **METODA UNTUK MEREDUKSI EMISI NO<sub>x</sub> PADA GAS BUANG MOTOR DIESEL**

## **TUGAS AKHIR**

**DIAJUKAN GUNA MEMENUHI SEBAGIAN PERSYARATAN  
UNTUK MEMPEROLEH GELAR SARJANA**

**PADA :**

**JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA**

**Mengetahui / Menyetujui  
Dosen Pembimbing**



**Ir. AGUK ZUHDI, M.Eng.**

**Nip. 131 646 637**

**SURABAYA  
MARET, 1996**

**Kupersembahkan buat,  
Ayah, Ibu serta adik-adikku  
Irawan dan Vika**

## KATA PENGANTAR

Puji syukur atas rahmat, hidayat dan kehadiran Allah SWT, sehingga tugas akhir yang merupakan syarat untuk memperoleh gelar kesarjanaan S1 ini dapat terselesaikan.

Dengan selesainya tugas akhir ini, kami ucapkan terima kasih sebanyak-banyaknya kepada :

1. Orang tua dan adik-adik kami yang tercinta yang telah banyak memberi dukungan sepenuhnya, baik lahir maupun batin.
2. Bapak Ir. M Orianto, BSE. MSc selaku ketua jurusan Teknik Sistem Perkapalan, beserta seluruh staf dosen dan karyawan.
3. Bapak Ir. Agung Zuhdi, MEng, selaku pembimbing tugas akhir yang sangat membantu kami.
4. Bapak Ir. Amiadji selaku dosen wali
5. Bapak Agus Purwanto yang banyak membantu dalam penelitian
6. Rekan-rekan mahasiswa Teknik Sistem Perkapalan khususnya angkatan '91
7. Rekan Gunawan yang memberikan banyak fasilitas

Dalam penulisan tugas akhir ini, kami menyadari banyak sekali kekurangan karena itu sarann-saran sangat kami butuhkan demi lebih sempurnanya tugas akhir ini.

Surabaya, Maret 1996

Penulis

## ABSTRAK

Dimasa yang akan datang kepedulian manusia terhadap lingkungan akan semakin besar ditandai dengan munculnya peraturan-peraturan dari berbagai negara tentang pembatasan kandungan tertentu yang dikeluarkan dari gas buang baik yang keluar dari mesin-mesin pabrik maupun kendaraan bermotor. Salah satu emisi gas buang yang sangat merugikan manusia tersebut adalah Nitric oxide.

Dalam penelitian ini akan dipelajari salah satu metoda untuk mereduksi emisi NO<sub>x</sub> tersebut pada gas buang motor diesel, yaitu metoda perlambatan injeksi bahan bakar. Selain mempelajari keefektifan metoda tersebut dalam mereduksi NO<sub>x</sub>, juga di pelajari pengaruh perlambatan injeksi tersebut terhadap unjuk kerja mesin.

# DAFTAR ISI

Lembar judul	
Lembar pengesahan	
Kata pengantar	i
Abstrak	ii
Daftar isi	iii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar belakang	I-1
1.2 Ide study	I-1
1.3 Tujuan	I-2
1.4 Manfaat hasil tugas akhir	I-2
<b>BAB II DASAR TEORI</b>	
2.1 Umum	II-1
2.2 Terbentuknya nitric oxide emission pada Motor Diesel	II-2
2.3 Dampak emisi NOx	II-9
2.4 Metoda untuk mereduksi emisi NOx	II-13
<b>BAB III METODOLOGI DAN INSTRUMENTASI</b>	
3.1 Metoda perlambatan injeksi	III-4

3.2 Pengambilan dan pengukuran sampel NOx

III-6

**BAB IV ANALISA DATA**

4.1 Emisi NOx

IV-2

4.2 Konsumsi bahan bakar dan aliran energi

IV-4

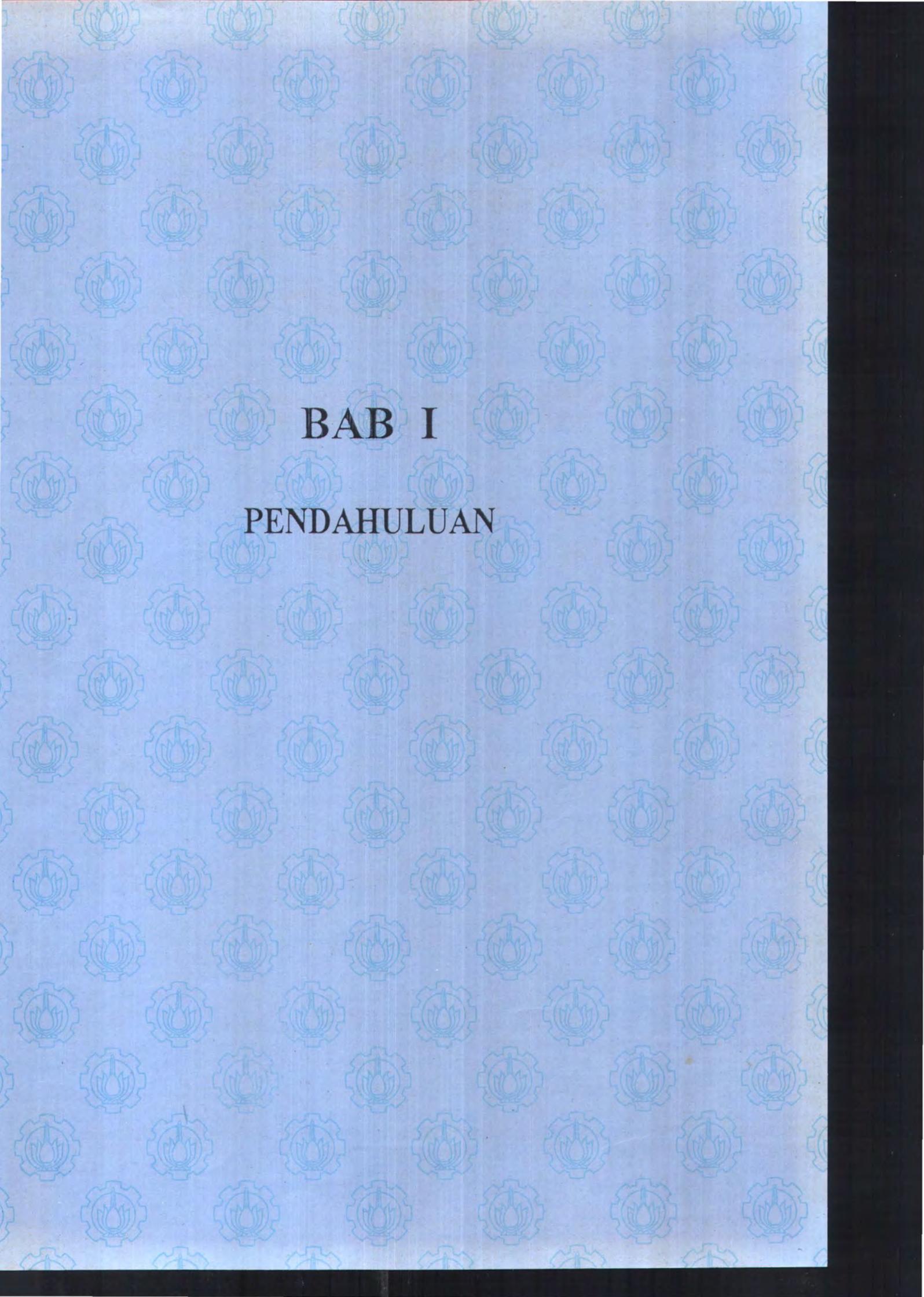
4.4 Effisiensi

IV-8

**BAB V PEMBAHASAN**

**BAB VI KESIMPULAN**

**DAFTAR PUSTAKA**



**BAB I**  
**PENDAHULUAN**

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1. Latar Belakang

Saat ini dunia dihadapkan pada masalah lingkungan yang sangat serius yang dikenal dengan Green House effect yang ditimbulkan oleh carbon dioksida, asap yang mengandung hidro carbon dan oksida nitrogen. Efek dari polusi ini adalah semakin menipisnya lapisan ozon yang mengakibatkan sinar ultra violet matahari dapat secara langsung mengenai permukaan bumi sehingga suhu permukaan bumi akan semakin naik.

Emisi gas buang dari kapal dengan penggerak utama motor diesel merupakan salah satu penyumbang polusi udara secara global. Untuk ini kita perlu melakukan berbagai riset agar emisi gas buang yang dikeluarkan aman bagi lingkungan.

Emisi yang dikeluarkan oleh gas buang motor diesel adalah antara lain CO (Carbon monoksida), SO<sub>2</sub>(Sulfurdioksida), Pb(Timah), NO<sub>x</sub>(Nitrogen oksida), NH<sub>3</sub>(Natrium hidroksida), Nitrogen sulfida, partikel debu dan hidrocarbon.

## 1.2. Ide Study

Akibat yang ditimbulkan oleh polutan tersebut sangat membahayakan kehidupan makhluk hidup (manusia, hewan, tumbuhan) sehingga perlu diadakan penelitian untuk mengurangi emisi gas buang tersebut yang dalam penelitian ini

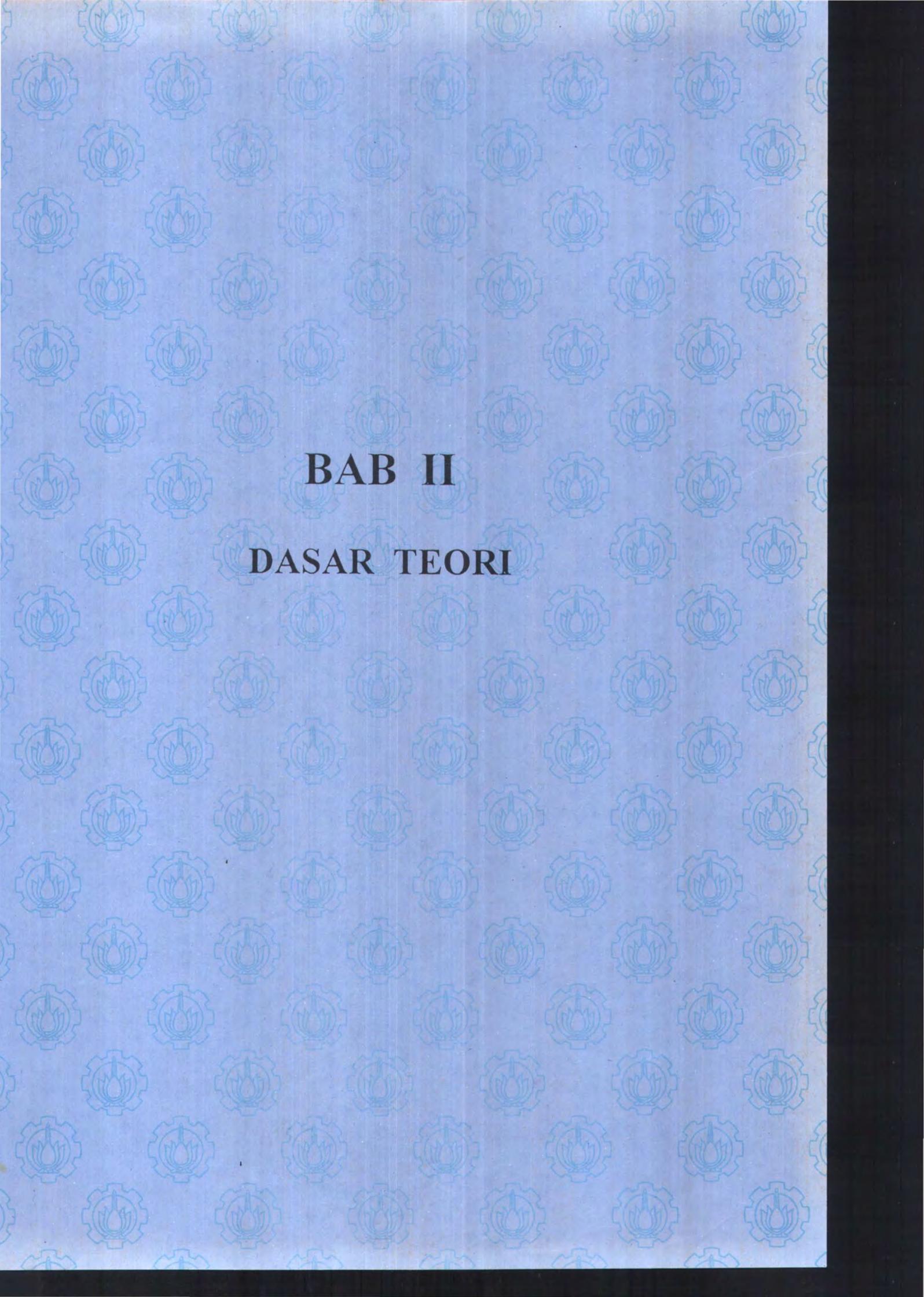
akan lebih dikhususkan untuk mengurangi emisi NOx yang dikeluarkan oleh motor diesel.

### **1.3. Tujuan**

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan suatu karakteristik engine yang menghasilkan gas buang dengan kandungan NOx relatif rendah dan dapat mengeluarkan daya optimum serta pemakaian bahan bakar secara efisien.

### **1.4. Manfaat Hasil Tugas Akhir**

Dihasilkan suatu engine dengan kandungan NOx relatif rendah sehingga aman bagi lingkungan



**BAB II**  
**DASAR TEORI**

## BAB II DASAR TEORI

### 2.1. UMUM

Pencemaran udara dalam *Air pollution its Origin and control* didefinisikan sebagai kehadiran zat-zat pencemar dalam kuantitas tertentu dalam satu waktu yang kehadirannya membahayakan bagi kehidupan manusia, tumbuhan dan binatang (Wark & Warnes 1981).

Pencemaran udara juga didefinisikan dalam *Encyclopedia of Chemical Technology* sebagai suatu kondisi yang ada dimana atmosfer mengandung unsur-unsur dengan konsentrasi yang dapat mengakibatkan efek yang tidak menyenangkan yaitu dapat menyebabkan efek iritasi pada mata atau hidung dan kesulitan dalam bernafas. Pada kondisi yang lebih ekstrem polutan cukup toksic untuk manusia, hewan dan tumbuhan. Jika terdapat dalam waktu yang lama polusi udara dapat merugikan kesehatan manusia merusak material dan konstruksi bahkan pada area tertentu species tumbuhan dan hewan tidak dapat bertahan hidup (Kirk, 1978)

Menurut wisconsin Law yang dapat dibaca dalam Wark & Warnes 1981 partikel adalah zat yang terdispersi baik padat maupun cair yang besarnya melebihi satu molekul tetapi dengan garis tengah < 500 mikron. Berada di atmosfer dalam berbagai ukuran dengan sifat fisik dan kimianya. Partikel dengan garis tengah lebih

kecil dari 1 mikron biasanya disebut aerosol dapat tetap berada diudara dan mudah bergerak seperti gas.

Partikel pencemar udara biasanya disebut sesuai dengan rupa dan sifatnya misalnya :

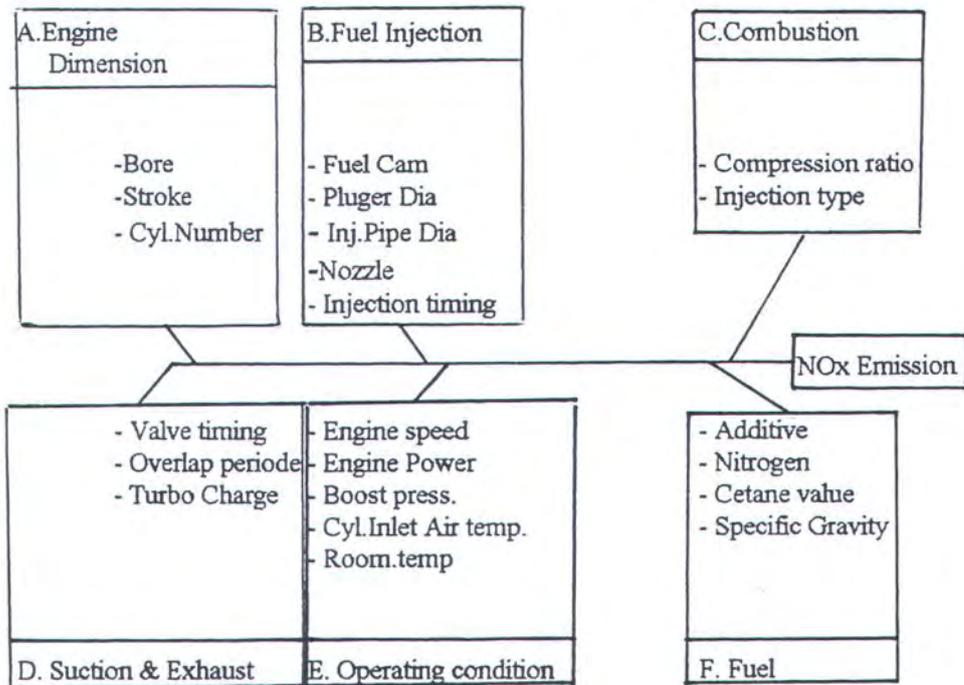
- ♦ Asap, merupakan hasil dari suatu pembakaran
- ♦ Fume , merupakan hasil dari suatu penguapan berukuran kurang dari 1 mikron
- ♦ Debu, bila garis tengahnya lebih dari 1 mikron
- ♦ Kabut, bila terdiri dari partikel cair sampai garis tengah 10 mikron

Aerosol yang sangat kecil dengan garis tengah 0,001 - 0,1mikron dapat merupakan inti dimana uap akan mengkondensasi partikulat dengan garis tengah kurang dari 2 atau 3 mikron untuk masuk kedalam paru-paru

## 2.2. TERBENTUKNYA NITRIC OXIDE EMISSION PADA MOTOR DIESEL

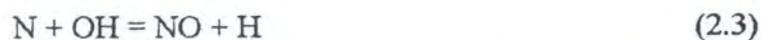
Nitrit oksida (NO) adalah gas yang tidak berwarna , NO dan Nitrogen dioksida( $\text{NO}_2$ ) secara umum disebut sebagai emisi  $\text{NO}_x$  . Pembentukan nitrit oxide mendominasi dari produksi oksida nitrogen dalam ruang bakar, prinsip pembentukan NO adalah oksidasi dari molekul Nitrogen . Nitrogen merupakan molekul yang terkandung dalam bahan bakar sehingga bahan bakar merupakan sumber daripada NO.

Faktor-faktor penentu yang mempengaruhi terbentuknya nitric oksida emission dapat diterangkan dalam gambar sebagai berikut:



Gambar 2.1. Faktor penentu Emisi NOx

Mekanisme dari pembentukan NO sangat dipengaruhi dari suhu dalam silinder dan rasio campuran antara udara dan bahan bakar. Prinsip reaksi pembentukan NO dari molekul nitrogen adalah:



Persamaan (2.1) dan (2.2) di atas disebut dengan Zeldovich mechanism, sedangkan

persamaan (2.3) disebut dengan Lavoie mechanism. Sedangkan konstanta kecepatan reaksi untuk formasi NO yang merupakan fungsi dari temperatur dapat dilihat dari tabel berikut .

Tabel 2.1 .Konstanta kecepatan reaksi untuk Zeldovich dan Lavoich mechanism

( Heywood,1989)

Reaction	Rate constant cm <sup>2</sup> /mol.s	Temperatur range K
[1] O + N <sub>2</sub> --- NO + N	$7.6 \times 10^{13} \exp[-38,000/T]$	2000-5000
[-1] N + NO --- N <sub>2</sub> + O	$1.6 \times 10^{13}$	300 - 5000
[2] N + O <sub>2</sub> --- NO + O	$6.4 \times 10^9 T \exp[-3150/T]$	300 - 3000
[-2] O + NO --- O <sub>2</sub> + N	$1.5 \times 10^9 T \exp[-19,5/T]$	1000 - 3000
[3] N + OH --- NO + H	$4.1 \times 10^{13}$	300 - 2500
[-3] H + NO --- OH + N	$2.0 \times 10^{14} \exp[-23.650/T]$	2200 - 4500

Reaksi bolak-balik tersebut mempunyai harga yang konstan masing-masing  $K_1^+$  dan  $K_1^-$  yang diberikan dalam tabel 2.1, dengan catatan keseimbangan konstan dari setiap reaksi  $K_{c1}$  adalah berhubungan dengan reaksi bolakk-balik yaitu :

$$K_{c1} = \frac{K_1^+}{K_1^-}$$

Pembentukan NO dengan menggunakan reaksi 2.1 dan reaksi 2.2 diberikan dalam persamaan dibawah ini

$$\frac{d[NO]}{dt} = k_1^+ [O][N_2] + k_2^+ [N][O_2] + k_3^+ [N][OH] - k_1^- [NO][N] - k_2^- [NO][O] - k_3^- [NO][H] \quad (2.4)$$

dimana [ ] menunjukkan konsentrasi dalam mol per cubic centyimeter dimana harga  $K_1$  dapat dilihat pada tabel 2.1. Reaksi maju (2.11) dan reaksi mundur (2.12) serta (2.13) mempunyai energi aktivasi yang besar yang dihasilkan dalam temperatur tinggi yang mempunyai hubungan langsung dengan pembentukan NO.

Konsentrasi [N] lebih sedikit dibanding dengan konsentrasi lainnya ( $\sim 10^{-8}$  fraksi mol). Pendekatan yang diberikan  $d[N]/dt$  adalah mendekati nol dan persamaan diatas digunakan untuk mengeliminir [N] .Jadi formasi NO akan menjadi:

$$\frac{d[NO]}{dt} = 2K_1^+ [[O][N_2] \frac{1-[NO]/(K[O_2][N_2])}{1+K_1[NO]/(K_2[O_2]+K_3[OH])}] \quad (2.5)$$

dimana  $K = (K_1^+/K_1^-)(K_2^+/K_2^-)$

NO terbentuk pada permulaan pembakaran dan akhir pembakaran. Dalam engine bagaimanapun juga pembakaran terjadi pada temperatur tinggi dengan daerah pembakaran yang sangat sempit ( $\sim 0.1$  mm) dan waktu yang sangat singkat, Juga tekanan tinggi dalam silinder juga terjadi dalam proses pembakaran tersebut. Jadi gas bahan bakar diberikan sebelum tekanan puncak (Top dead centre) dan ditekan pada tekanan tinggi serta dalam waktu yang singkat. Sisa gas pembakaran siap untuk langkah pembuangan. Sehingga pembentukan NO pada akhir pembakaran adalah sangat dominan dibandingkan dengan yang terjadi pada permulaan pembakaran. Oleh karena itu pembentukan NO dapat dengan mengasumsikan pendekatan dari konsentrasi O, O<sub>2</sub>, OH, H dan N<sub>2</sub> dengan nilai kesetimbangan pada tekanan lokal.

Asumsi kesetimbangan adalah sangat tepat bila menggunakan notasi

$R_1 = K_1[O]e[N]e$  dimana  $[ ]e$  menunjukkan kesetimbangan konsentrasi. Pada reaksi

(2.11) dengan reaksi sederhana juga ditunjukkan  $R_2 = K_2[N]e[O_2]e =$

$K_2[NO]e[O]e$  dan  $R_3 = K_3[N]e[OH]e = K_3[NO]e[H]e$  disubstitusikan  $[O]e,$

$[O_2]e, [OH]e, [H]e$  dan  $[N_2]_2$  untuk  $[O], [OH], [H]$  dan  $[N_2]$  dalam persamaan

(2.15)

$$\frac{d[NO]}{dT} = \frac{2R_2(1 - ([NO]/[NO])e)^2}{1 + ([NO]/[NO])e R_1/(R_2 + R_3)} \quad (2.16)$$

Nilai dari  $R_1, R_1/R_2$  dan  $R_1/(R_2+R_3)$  diberikan dalam tabel 2.2 dibawah.

Perbedaan antara  $R_1/R_2$  dan  $R_1/(R_2+R_3)$  menunjukkan relatif penting untuk menambahkan reaksi (2.13) dalam mekanisme.

Tabel 2.2 Nilai dari  $R_1, R_1/R_2$  dan  $R_1/(R_2+R_3)$   
(Heywood, 1989)

Equivalence ratio	$R_1+$	$R_1/R_2$	$R_1/(R_2+R_3)$
0.8	$5.8 \times 10^{-5}$	1.2	0.33
1	$2.8 \times 10^{-5}$	2.5	0.26
1.2	$7.6 \times 10^{-6}$	9.1	0.14

Proses pembentukan NO yang berbanding lurus dengan kenaikan suhu dapat ditunjukkan dengan melihat  $d[NO]/dt$  dimana  $[NO]/[NO]e$  adalah jauh lebih kecil.

Kemudian dari persamaan (2.6)

$$d[\text{NO}]/dt = 2R_1 = 2K_1 [\text{O}]e[\text{N}_2] \quad (2.7)$$

Kesetimbangan dari konsentrasi atom oksigen adalah :

$$[\text{O}] = \frac{K_p(\text{o})[\text{O}_2]e^{0.5}}{(RT)^{0.5}} \quad (2.8)$$

Dimana  $K_p(\text{O})$  adalah kesetimbangan konstan dari

$$1/2\text{O}_2$$

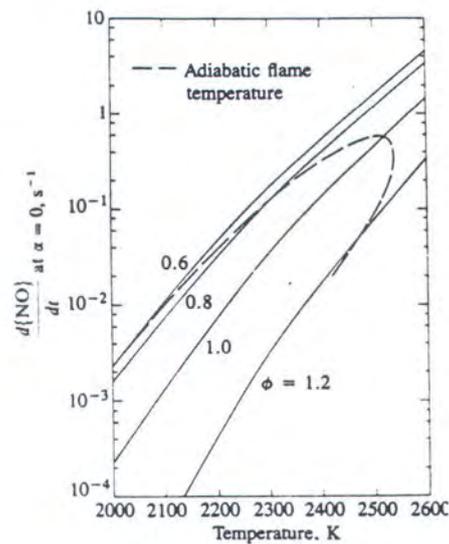
dan diberikan dengan:

$$K_p(\text{O}) = 3.6 \times 10^3 \exp \frac{(-31.09)}{T} \text{ atm}^{0.5} \quad (2.9)$$

Pembentukan NO dapat ditulis dengan menggabungkan persamaan (2.7), (2.8) dan (2.9) dengan  $K_1$  dari tabel 2.1

$$d[\text{NO}]/dt = \exp (-69,090/T)e^{0.5} [\text{N}_2]e \quad (2.10)$$

Ketergantungan  $d[\text{NO}]/dt$  pada temperatur adalah nyata, Temperatur tinggi dengan kandungan oksigen yang tinggi dapat menghasilkan NO dalam jumlah besar.



Gambar 2.2 Hubungan emisi NO<sub>x</sub> dengan temperatur  
(Heywood, 1989)

Pada gambar 2.2 ditunjukkan konsentrasi NO sebagai fungsi dari temperatur dan ratio udara- bahanbakar . Juga ditunjukkan temperatur adiabatik dicapai oleh ratio udara bahanbakar pada 700 K pada tekanan konstan 15 atm. Untuk pembakaran temperatur konstan adiabatik (diberikan model dari setiap elemen dari bahan bakar yang terbakar di silinder). Ditunjukkan bahwa pembentukan NO akan menurun pada campuran bahan bakar menjadi miskin atau menjadi kaya.

Karakteristik dari pembentukan NO dapat didefinisikan sebagai :

$$\tau NO^{-1} = \frac{1}{[NO]} d[NO]/dT \quad (2.11)$$

[NO]<sub>e</sub> dapat didapatkan dari kesetimbangan konstan

$$K_{NO} = 20.3 \times \exp (-21,650/T)$$

Untuk reaksi :



Sedangkan  $[\text{NO}]_e = (K_{\text{NO}}[\text{O}_2]_e[\text{N}_2]_e)^{0.5}$  persamaan (2.10) dan (2.11) dapat dikombinasikan dan memberikan:

$$\tau_{\text{NO}} = \frac{8.10^{-16} T^{\exp(58,3/T)}}{p^{0.5}} \quad (2.12)$$

dimana T dalam kelvin dan p dalam atmosphere

### 2.3. DAMPAK EMISI NO<sub>x</sub>

Nitrogen oksida dapat menyebabkan kerusakan secara langsung pada material. Dampak pencemaran NO<sub>x</sub> dapat dilasifikasikan kedalam

1. Terhadap kesehatan manusia
2. Terhadap organisme lain
3. Terhadap material
4. Terhadap iklim
5. Penyebab terjadinya hujan asam

#### 2.3.1. DAMPAK EMISI NO<sub>x</sub> TERHADAP MANUSIA

Pada umumnya pengaruh yang ditimbulkan banyak menimpa alat pernafasan berupa gangguan infeksi akut dari alat-alat pernafasan yaitu bronchitis

kronis. Penyakit paru-paru yang memberikan pembatasan ventilasi, pulmonary emphysema, bronchial, asma dan kanker paru-paru. Sebaliknya penyakit pernafasan yang bersifat akut meliputi : Influenza, sakit tenggorokan, bronchitis maupun sinusitis akuta (Slamet Ryadi, 1982).

Selain itu Nitrogen oksida akan dapat terserap dalam darah dan bereaksi dengan Haemoglobin yang samahalnya dengan karbonmonoksida akan menghalangi penyerapan oksigen pada saat pernafasan.

### 2.3.2. DAMPAK EMISI NO<sub>x</sub> TERHADAP ORGANISME LAIN

Kombinasi hidrokarbon (HC) yang tidak terbakar dan oksida nitrogen jika bereaksi dengan sinar matahari dapat membentuk smog. Smog dapat merusak tanaman dan mengganggu kesehatan.

Pada konsentrasi 0.5 ppm pada periode 10-12 hari dapat menekan pertumbuhan tanaman seperti kacang dan tomat. Selain menyebabkan bercak pada daun juga menyebabkan kerusakan pada bunga-bunga dan tanaman hias lain.

Juga dapat menurunkan pH air hujan sehingga dapat menyebabkan kematian pada ikan-ikan dan kehidupan lain di danau. Rendahnya pH (tingkat keasaman) air dapat menyebabkan pengendapan dan pengumpulan lendir pada lamela insang sehingga kegiatan pernafasan menjadi terhambat. Reproduksi pada beberapa jenis ikan akan gagal pada pH kurang dari 5,5. Penurunan plankton dan fauna didasar sumber air juga ditengarai aibat rendahnya pH.

Selain efeknya terhadap deposisi asam juga memperkaya nutrisi pada tanah. Demineralisasi ini dapat berperan pada menurunnya produksi hasil pertanian dan hutan atau perubahan pada vegetasi alam.

### 2.3.3. DAMPAK EMISI NO<sub>x</sub> TERHADAP MATERIAL

Benda mati yang dapat mengalami akibat pencemaran udara untuk mudahnya sebagai contoh dapat ditemukan pada berbagai barang dari logam, bahan bangunan maupun tekstil.

Kerusakan pada material adalah mahal sekaligus tragis khususnya bagi struktur yang rusak oleh polusi udara, padahal bernilai seni tinggi seperti patung marmer di Athena, patung Liberty, Taj Mahal dan lain-lain.

Berbagai pencemar yang banyak menimbulkan pengaruh merugikan terhadap benda mati sehari-harinya dapat dilihat dalam tabel dibawah ini:

Tabel 2.3 Pengaruh pencemaran NO<sub>x</sub> terhadap beberapa material

(Ryadi, 1982)

Benda	Akibat yang ditimbulkan
Metal	Pengkaratan pada permukaan
Bahan bangunan	perubahan warna/pucat
Lukisan/gambar	perubahan warna serta menjadi bulukan
Kulit	Permukaan mudah bertepung
Kertas	Getas
Tekstil	kekuatan pada bagian-bagiannya berkurang, mudah getas
Karet	Pecah, retak

#### 2.3.4. DAMPAK EMISI NO<sub>x</sub> TERHADAP IKLIM

Telah lama diketahui bahwa polusi udara dapat menyebabkan perubahan pada iklim lokal sebagai contoh asap dari pabrik dapat meningkatkan hujan pada daerah tersebut.

Setiap hari bumi disinari oleh panas matahari dan perlahan panas dipantulkan kembali ke atmosphere dan membentuk keseimbangan. Keseimbangan ini dapat rusak oleh adanya polusi udara dan dapat menyebabkan efek rumah kaca. Efek rumah kaca menyebabkan suhu di bumi naik sehingga dapat mencairkan es yang ada di kutub.

#### 2.3.5. EMISI NO<sub>x</sub> PENYEBAB TERJADINYA HUJAN ASAM

Hujan asam terbentuk dari 2 polutan gas yaitu Nitrogen oksida dan sulfur oksida (SO<sub>x</sub>) yang bereaksi dengan air. Nitrogen oksida bereaksi dengan air membentuk asam nitrat dan sulfur oksida membentuk asam sulfat. Gas-gas tersebut terakumulasi di awan dan terhujankan, proses ini disebut rain-out atau deposisi basah.

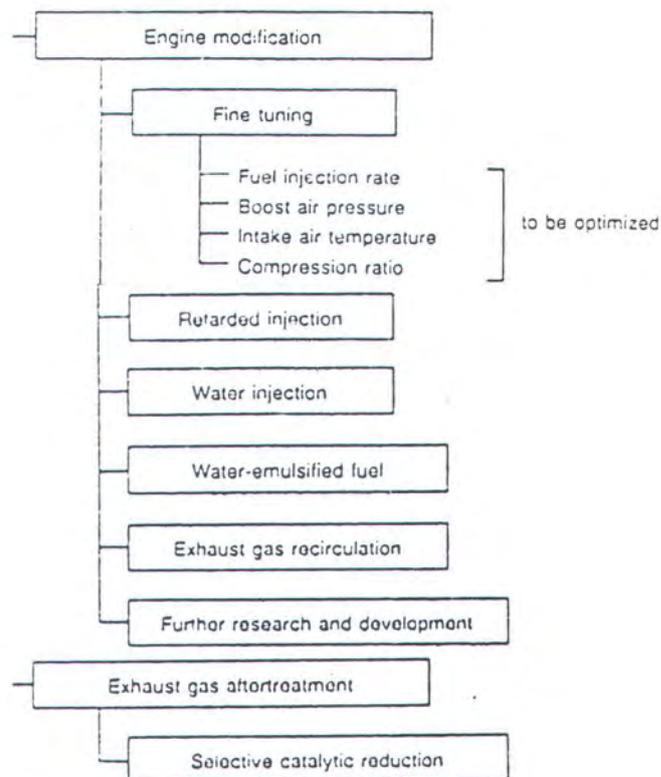
Oksida Nitrogen dan Sulfur juga membentuk partikulat nitrat juga membentuk partikulat sulfat yang melayang-layang di udara seperti debu. Proses ini disebut deposisi kering, jika ada air hujan yang turun melewati partikel tersebut sehingga partikel tersebut larut dan turun ke bumi disebut wash out.

## 2.4. METODA UNTUK MEREDUKSI EMISI NO<sub>x</sub>

Metoda untuk mereduksi emisi NO<sub>x</sub> pada dasarnya dapat diklasifikasikan menjadi 2 yaitu :

- Modifikasi engine
- Pengolahan gas buang

Dalam gambar dibawah ditunjukkan secara skematis perlakuan untuk mereduksi emisi NO<sub>x</sub> tersebut.



Gb.2.8 Metoda untuk mereduksi emisi NO<sub>x</sub>

---

## 2.4.1. MODIFIKASI ENGINE

### 2.4.1.1. FINE TUNING

#### a). Pengaturan Kecepatan Injeksi Bahan bakar (*Fuel Injection Rate*)

Jumlah bahan bakar yang masuk kedalam silinder atau ruang bakar harus optimum dan tepat pada waktunya . Hal ini dapat dilakukan dengan pemilihan dengan tepat nozzle saluran bahan bakar . Ketidaktepatan dalam pemilihan nozzle tersebut akan menimbulkan aliran panas (bahan bakar terbakar sebelum waktunya) yang dapat meningkatkan suhu ruang bakar sehingga akan meningkatkan emisi NOx.

#### b). Tekanan Udara Masuk. (*Boost Air Pressure*)

Jika tekanan udara masuk ditingkatkan maka suhu dalam ruang bakar akan menurun , karena dengan kenaikan tekanan maka pembilasan dalam ruang bakar akan lebih sempurna. dengan menurunnya suhu ruang bakar maka emisi NOx dapat dikurangi.

Meningkatkan  $P_{max}$  dan volume udara masuk akan menyebabkan penurunan tingkat pemakaian bahan bakar (*specific fuel consumption*) dan temperatur gas buang sehingga kepekatan dari asap gas buang juga akan ikut turun.

#### c). Suhu Udara Masuk (*Intake Air Temperatur*)

Penurunan suhu udara masuk dapat dilakukan sedemikian rupa misal dengan meletakkan dengan tepat dari intake manifold, karena suhu udara masuk akan berpengaruh secara langsung terhadap suhu ruang bakar.

d). Rasio Kompresi (*Compression Ratio*)

Apabila rasio kompresi ditingkatkan maka *heat released* sebelum Titik Mati Atas (TMA) akan meningkat sehingga suhu akan meningkat yang juga akan meningkatkan emisi NOx.

#### 2.4.1.2. PERLAMBATAN INJEKSI (*RETARDED INJECTION*)

Emisi NOx dapat dikontrol dengan menurunkan suhu pada ruang bakar, hal ini dapat dilakukan dengan beberapa cara antara lain dengan memperlambat fuel injection timing, metoda inilah yang akan kita pakai dalam penelitian ini karena metoda ini mempunyai beberapa keunggulan yang akan diterangkan pada bab selanjutnya. Selain pengukuran kandungan Nox nya juga akan dilihat perubahan-perubahan dari parameter lain sehingga dapat dilihat keuntungan dan kerugian dan dicari titik optimal dari engine tersebut.

#### 2.4.1.3. INJEKSI AIR (*WATER INJECTION*)

Metoda ini dapat dilakukan dengan 2 cara : Yang pertama yaitu dengan menginjeksikan air yang sudah dikabutkan kedalam sistem pemasukan udara (*intake air system*) dan yang kedua dengan menginjeksikan air tersebut secara langsung kedalam ruang bakar.

Tetapi metoda ini mempunyai banyak kekurangan yaitu dapat menyebabkan korosi pada komponen-komponen antara lain piston, ring piston, cylinder liner, Intake dan exhaust valve, Juga kemungkinan terkontaminasinya minyak pelumas

dengan air. Sehingga hal ini akan dapat mempercepat umur (*life time*) dari komponen sehingga tidak ekonomis.

#### 2.4.1.4. EMULSI BAHAN BAKAR-AIR (*WATER-EMULSIFIED FUEL*)

Jika emulsi bahan bakar-air diinjeksikan kedalam ruang bakar , air dalam bahan bakar tersebut akan mengalami penguapan , sehingga panas laten dari gas pembakaran dapat diserap oleh uap air tersebut yang berarti akan menurunkan suhu yang juga akan menurunkan emisi NO<sub>x</sub>.

Banyak dibutuhkan peralatan untuk metoda ini , peralatan emulsifier yang merupakan penghasil dari emulsi bahan bakar-air terdiri dari beberapa komponen antara lain : pompa, heater, filter, viscometer dan homogenizer.

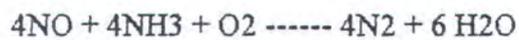
#### 2.4.1.5. SIRKULASI GAS BUANG (*EXHAUST GAS RECIRCULATION*)

Dalam metoda ini sebagian gas buang akan disirkulasikan kembali melalui pipa saluran udara masuk, selain untuk mengurangi kandungan O<sub>2</sub> yang masuk dalam ruang bakar juga untuk mengurangi suhu gas pembakaran.

#### 2.4.2. PENGOLAHAN GAS BUANG (*EXHAUST GAS AFTER TREATMENT*)

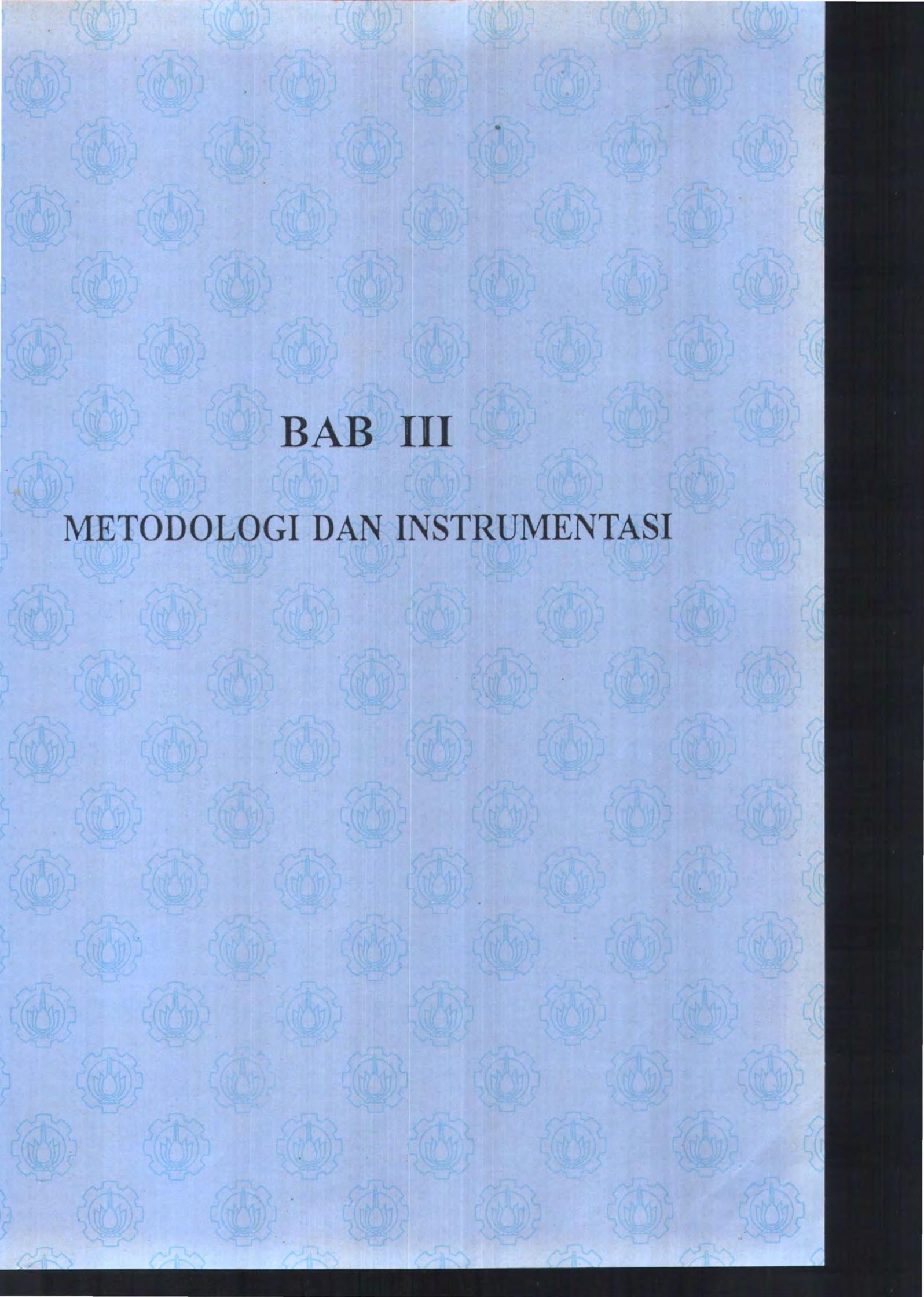
Yaitu suatu metoda yang digunakan uuntuk menurunkan emisi NO<sub>x</sub> setelah emisi tersebut terdapat dalam gas buang, salah satu metodenya yaitu Selective

Catalytic Reduction (SCR) yaitu metoda untuk mereduksi NOx dalam mesin diesel yang mengubah nitrogen oxide tersebut untuk dijadikan Nitrogen dan Air dengan menggunakan gas ammonia, ammonia cair, urea dan sebagainya. Ammonia ditambahkan pada gas buang yang mengandung NOx yang dilewatkan dalam sebuah reaktor setelah dihomogenkan. Maksud dari peng-homogen-an adalah agar larutan NOx dalam gas buang dapat kontak dengan specific catalytic pada suhu 300-400 derajat sehingga dihasilkan Nitrogen dan Air. Reaksinya adalah sebagai berikut :



Dari beberapa metoda yang digunakan untuk mereduksi emisi NOx pada gas buang motor diesel, Metoda perlambatan injeksi (Retarded Injection) mempunyai beberapa kelebihan dibanding dengan metoda lain. Kelebihan dari metoda ini antara lain tidak memerlukan modifikasi khusus pada mesin dan relatif lebih mudah untuk dilakukan, juga pada metoda ini tidak diperlukan tambahan peralatan tertentu sehingga lebih ekonomis,

Berdasarkan pertimbangan diatas maka metoda perlambatan injeksi inilah yang akan digunakan dalam penelitian ini. Selain diteliti pengaruhnya terhadap kandungan emisi NOx juga diamati pengaruhnya terhadap parameter lain yaitu : Tingkat pemakaian bahan bakar, Keseimbangan energi dan gejala-gejala lain yang mungkin ditimbulkan dengan perubahan Fuel injection timing.



**BAB III**

**METODOLOGI DAN INSTRUMENTASI**

## BAB III

### METODOLOGI DAN INSTRUMENTASI

Penelitian ini dilakukan dengan metoda eksperimental, yaitu dengan melakukan pengukuran NO<sub>x</sub> dan pengujian terhadap mesin diesel jenis low speed diesel 3 silinder. Setiap pengujian yang sama akan dilakukan pada setiap fuel injection yang telah ditentukan. Untuk spesifikasi mesin dapat dilihat dalam tabel 3.1. Penentuan dari sudut Injection timing didasarkan pada injection timing standard yang telah terpasang pada mesin yang selanjutnya dilakukan perubahan pada injection timing tersebut yaitu pada sudut 12, 14 dan 16 derajat BTDC. Cara untuk merubah injection timing dapat dilihat pada sub bab 3.1. Selanjutnya mesin di set-up seperti pada gambar 3.1.

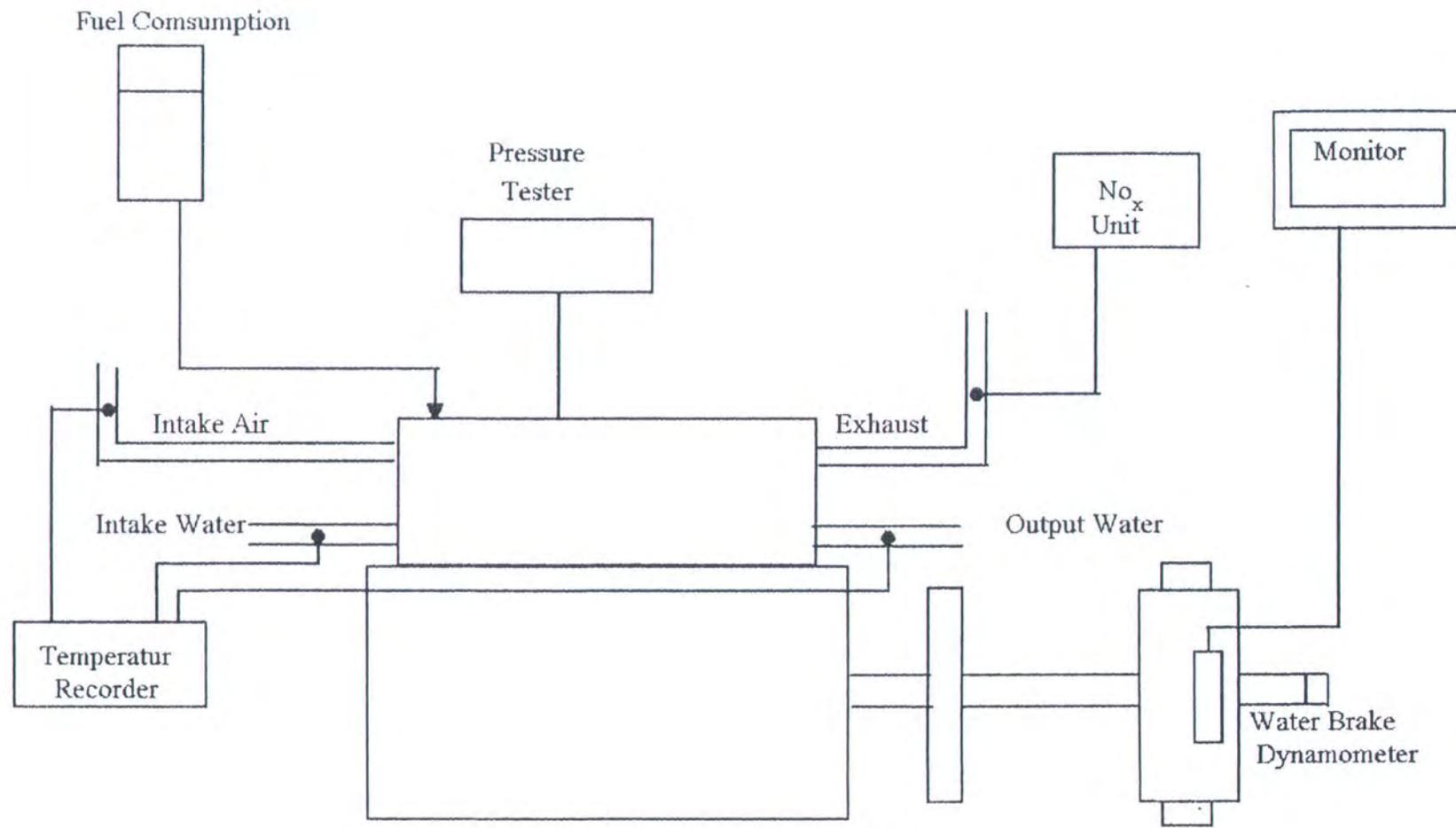
Mesin dikopel dengan waterbrake dynamometer yang dilengkapi dengan kontrol pembebanan. Konsumsi bahan bakar diukur dalam tabung pengukur bahan bakar. Parameter lain yang diamati dengan menggunakan thermometer yaitu temperatur air pendingin masuk dan keluar, temperatur gas buang, temperatur udara ruang uji, temperatur minyak pelumas, Juga diukur waktu aliran air pendingin, volume aliran udara hisap dan tekanan ruang bakar yang diukur dengan menggunakan pressure tester.

Selanjutnya mesin diputar pada kecepatan konstan 400 rpm yang merupakan service speed motor dan daya yang dikeluarkan dijaga tetap pada 4.24

sampel dilakukan selama 60 menit, untuk cara pengambilan sampel dan pengukuran NOx dapat dilihat dalam sub bab 3.2. Setelah dilakukan pengambilan sampel selesai maka langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian mesin untuk mengamati parameter yang terpengaruh dengan perubahan injection timing, pengujian dilakukan dengan cara memberikan pembebanan secara bertahap pada kecepatan konstant 400 rpm dan setiap pembebanan dicatat parameter-parameter yang perlu diamati. Langkah-langkah diatas dilakukan untuk setiap perubahan injection timing.

Tabel 3.1. Karakteristik mesin

Merk	JASTRAM
Type	KRG-3
Konstruksi	In Line 3 silinder 4 langkah
Daya Nominal	66 Kw/800 rpm
Dia Silinder	180 mm
Stroke	230 mm
Vol langkah	$0.01755 \text{ m}^3 = 17,55 \text{ liter}$



Gambar 3.1 Engine set-up

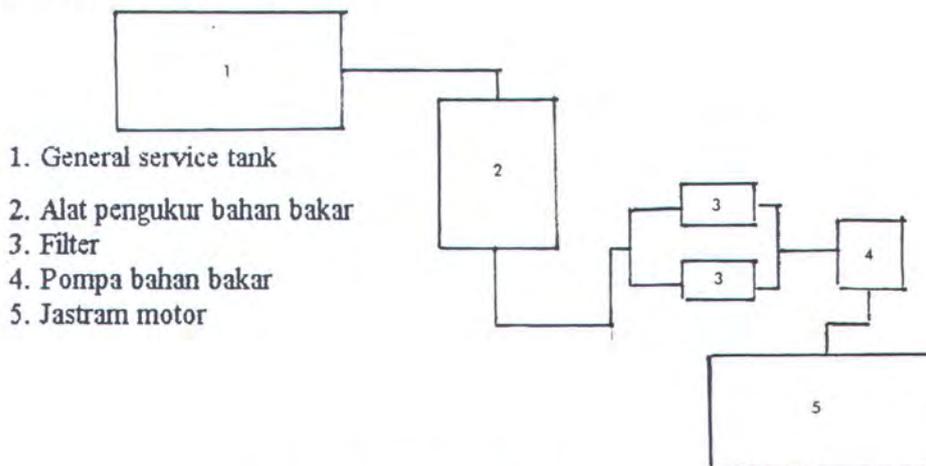
Bahan bakar yang digunakan adalah Diesel Fuel yang dikeluarkan oleh Pertamina dengan spesifikasi sebagai berikut :

Tabel 3.2 Karakteristik bahan bakar

( Petroleum Hand Book,1960)

Flash point	150 F
Viscosity SSU 100 F	33 - 45
Cetane Number	43
Sulfur	0,75 %
Sedimen and Water	0,05 %

### Skema kerja sistem bahan bakar



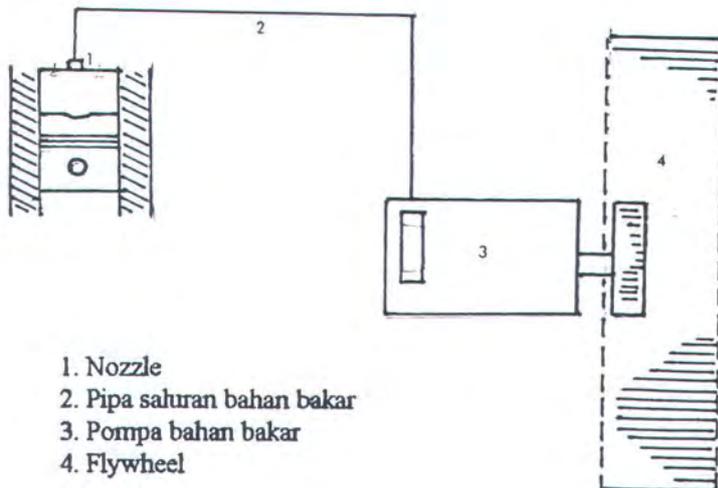
Gambar 3.2. Skema bahan bakar

### 3.1 METODA PERLAMBATAN INJEKSI

Salah satu cara untuk menurunkan emisi NOx yaitu dengan menurunkan suhu pada ruang bakar. Ada beberapa metoda untuk menurunkan suhu ruang bakar

antara lain dengan memperlambat injeksi bahan bakar kedalam silinder, metoda ini dikenal dengan metoda perlambatan injeksi ( Retarded injection).

Cara untuk memperlambat injeksi bahan bakar adalah melalui pompa bahan bakar pada mesin tersebut.



Gambar 3.3. Metoda perlambatan Injeksi

Pada gambar 3.3 roda pompa bahan bakar berfungsi untuk mentransmisikan daya yang diberikan flywheel menjadi daya yang digunakan untuk menggerakkan pompa, sehingga mampu mensupply bahan bakar kedalam silinder. Antara roda dan flywheel mempunyai perbandingan tertentu sehingga pompa bahan bakar dapat menginjeksikan bahan bakar sesuai waktu yang telah ditentukan.

Melalui roda pompa injeksi ini dengan jalan menggeser searah jarum jam atau sebaliknya kita dapat mengatur waktu penginjeksian bahan bakar sesuai yang diinginkan. Agar pergeseran yang dilakukan pada pompa roda injeksi sesuai dengan derajat yang diinginkan, maka dapat dihitung melalui flywheel, Pada flywheel

---

terdapat tanda dalam derajat antara 10 - 20 derajat. Dengan flywheel kita tentukan derajat derajat yang kita inginkan sehingga kita dapat menghitung besar pegeseran melalui perbandingan diameter antara roda pompa injeksi dan flywheel sehingga dapat diketahui pegeseran ang tepat.

### 3.2 PENGAMBILAN SAMPEL DAN PENGUKURAN NO<sub>x</sub>

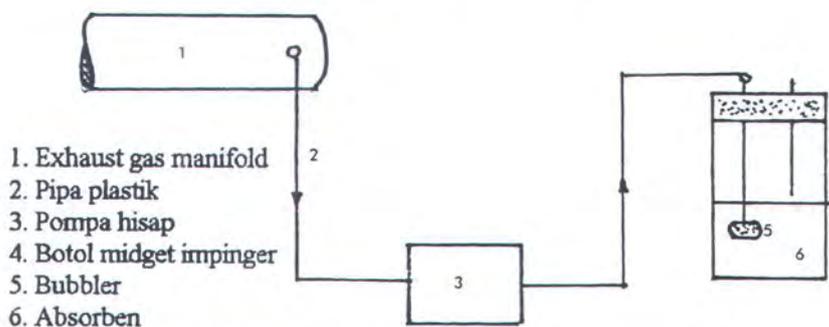
Metoda yang dipakai dalam penelitian ini adalah metoda Grietz Saltzman karena metoda ini banyak dipergunakan untuk mengukur NO<sub>x</sub> di Indonesia.

Metoda ini didasarkan pada reaksi antara NO<sub>2</sub> dengan sulfanilic acid untuk membentuk diazonium salt, kemudian direaksikan dengan N-(1-Naphthyl) ethylene diamine dihydrochloride untuk membentk warna merah oranye. Gas buang diambil dari exhaust gas manifold selama kurang lebih 60 menit dan dengan bantuan bubbler diserap oleh reagen absorben. Setelah terbentuk warna maka diukur dengan menggunakan spektrofotometer pada gelombang 540 nm. Konsentrasi NO<sub>x</sub> dapat diketahui dari kurva kalibrasi.

### 3.2.1 PENGAMBILAN SAMPEL

Pengambilan sampel dimulai dengan pembuatan reagen yang terdiri atas absorben, Sulfanilic acid dan NED Dihydrochloride. Absorben adalah larutan yang digunakan untuk menangkap  $\text{NO}_x$  dari gas buang yang terdiri dari 4 gr NaOH dan 1 gr sodium arsenite yang dilarutkan dalam 1 liter aquadest, Sedangkan sulfanilic acid dan NED Dyhydrochloride adalah larutan yang ditambahkan pada waktu pengukuran  $\text{NO}_x$ , sulfanilic acid terdiri atas 1 gr sulfanilic acid ditambah 5 ml HCL pekat diencerkan dengan aquadest sampai 100 ml dan NED Dyhydrochloride terdiri atas 100 mg NED Dyhydrochloride dilarutkan dalam aquadest sampai 100 ml.

Setelah semua larutan disiapkan maka dimulai pengambilan sampel dengan merangkaikan peralatan seperti terlihat pada gambar 3.4



Gambar 3.4 Skema prosedur pengambilan sampel

Langkah pengambilan sampel :

- Masukkan 25 ml reaksi penyerap (absorben) kedalam tabung midget impinger
- Rangkaikan peralatan seperti dalam gambar 4.5 dan hisap gas buang selama kurang lebih 60 menit dengan laju aliran udara 1000 cc/menit.

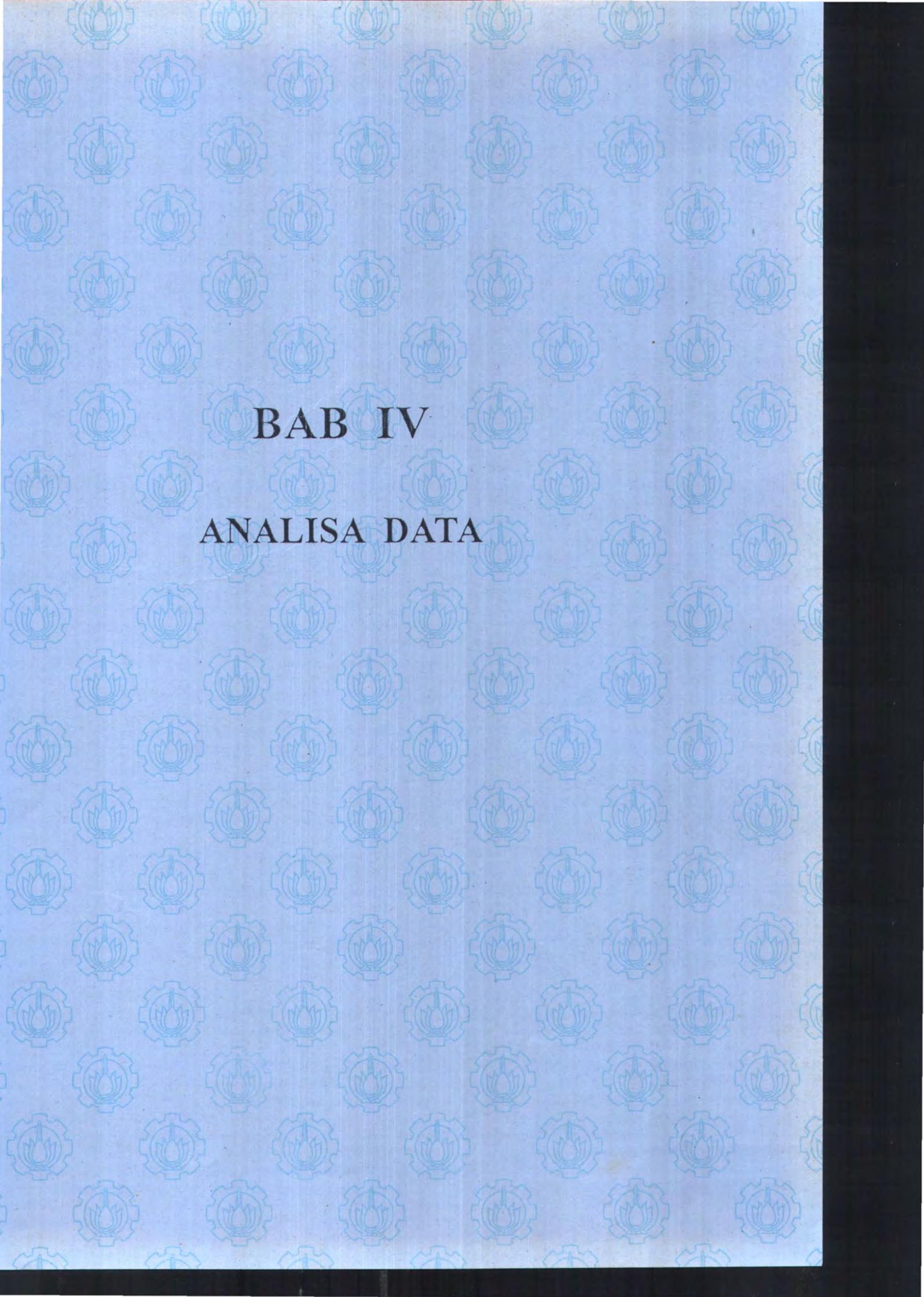
- 
- Setelah pengambilan sampel selesai masukkan contoh gas dalam botol dan awetkan dalam termos es.

Yang perlu diperhatikan :

- Peralatan hendaknya dipasang sedemikian rupa sehingga contoh yang terambil menggambarkan keadaan yang sebenarnya.
- Disarankan inlet peralatan dengan ketinggian 150 cm dari permukaan pengukuran.

### 3.2.2 PENGUKURAN NO<sub>x</sub>

Peralatan yang diperlukan dalam pengukuran NO<sub>x</sub> yaitu spektrofotometer, alat ukur dan timbangan analit, pipet ukur ukuran 10 ml - 50 ml. Selanjutnya 25 ml sampel ditambah dengan 0.5 sulfanilic acid dikocok dan dibiarkan selama 2 menit, selanjutnya ditambah dengan 0.5 NED dyhydrochloride dikocok dan dibiarkan selama 2 jam setelah itu larutan dapat dibaca dengan menggunakan spektrofotometer panjang gelombang 540 nm.



**BAB IV**  
**ANALISA DATA**

## BAB IV

### ANALISA DATA

Unjuk kerja dari mesin diesel JASTRAM dengan merubah fuel injection timing telah dipelajari pada Lab Permesinan Kapal ITS. Parameter yang diamati yaitu NO<sub>x</sub> , konsumsi bahan bakar, kesetimbangan aliran energi serta efisiensi. Parameter-parameter tersebut tidak dapat dianalisa secara terpisah karena masing-masing saling mempengaruhi.

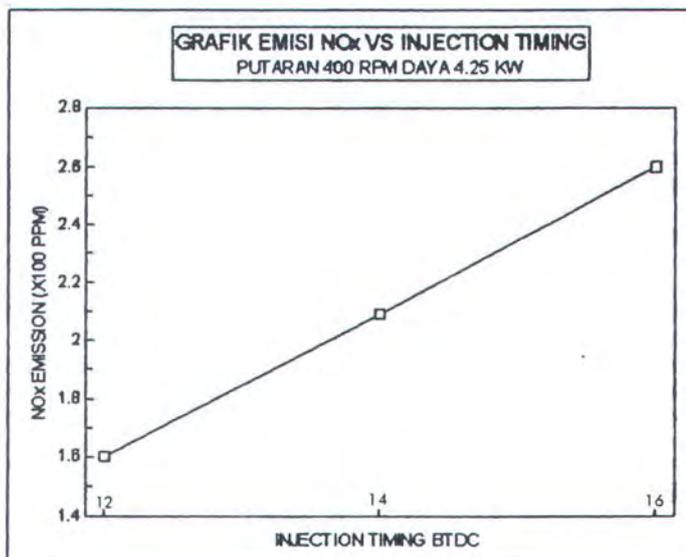
Peraturan untuk membatasi jumlah emisi gas buang sudah berkali-kali mengalami pergantian dan dimasa yang akan datang peraturan ini akan semakin diperketat. Beberapa negara yang digunakan sebagai standar dalam penelitian ini yaitu Eropa, USA dan Jepang dengan target peraturan yang akan diberlakukan setelah tahun 1997. Dalam tabel 4.1 menunjukkan peraturan emisi NO<sub>x</sub> berapa negara yang diberikan dalam gram per Daya yang dikeluarkan untuk mesin heavy duty.

Tabel 4.1 Peraturan emisi NO<sub>x</sub> jenis Heavy Duty pada beberapa negara  
(Aguk, 1995)

Tahun	USA (g/HPh)	EROPA G/KWh	JEPANG G/KWh
	NO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>
'1990	6	14.4	
'1991	5		
'1992		8	
'1994	5		6
'1997	4	7	
'2000			4.5

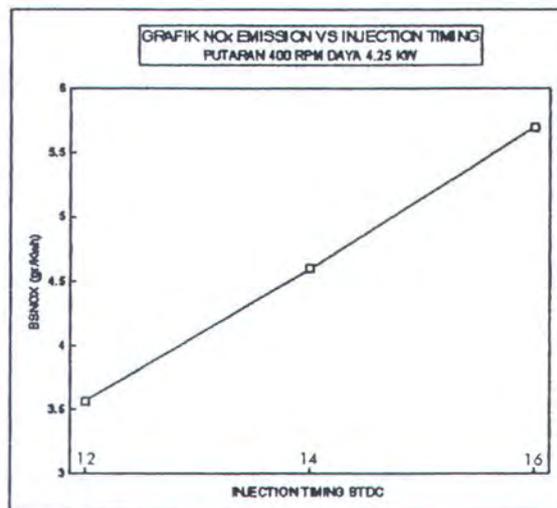
4.1. EMISI NO<sub>x</sub>

Gambar 4.1 menunjukkan hasil penelitian yang dilakukan terhadap emisi NO<sub>x</sub>, garis vertikal menunjukkan emisi NO<sub>x</sub> dalam part permillion (ppm) dan garis horisontal adalah perubahan injection timing dalam derajat sudut engkol. Data didapat dengan memutar mesin pada kecepatan konstan 400 rpm dengan daya konstan 4.25 Kw sedangkan perubahan injection timing dilakukan pada tiga titik yaitu 12, 14 dan 16 derajat sudut engkol BTDC. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan sudut injection timing yang semakin kecil maka NO<sub>x</sub> juga akan menurun. Penurunan emisi NO<sub>x</sub> kurang lebih 15 % pada setiap sudut engkol perlambatan penginjeksian bahan bakar. Pengurangan emisi NO<sub>x</sub> dengan memakai metoda perlambatan injeksi sangat tergantung dari jenis mesin yang digunakan karena pada setiap jenis mesin mempunyai range untuk perubahan sudut engkol injeksi bahan bakar tidak sama.

Gambar 4.1 Emisi NO<sub>x</sub>

Pada penelitian ini jenis mesin yang digunakan adalah slow speed diesel. Mesin jenis ini mempunyai range untuk perubahan sudut injeksi bahan bakar yang sangat terbatas dibanding jenis High speed yang mempunyai range untuk perubahan injeksi bahan bakar lebih panjang, sehingga dapat lebih leluasa dalam pengaturan perubahan sudutnya, dari perbedaan ini kemungkinan jenis High speed untuk mendapatkan emisi NOx lebih rendah lebih besar ( *Danjoh, 1993* ). Terbatasnya perubahan injeksi yang dapat dilakukan pada jenis Slow speed diesel karena sedikit perubahan injeksi yang dilakukan sangat mempengaruhi mesin antara lain terhadap putaran mesin yang menjadi tidak konstan dan knocking yang berlebihan sehingga metoda perlambatan injeksi harus dilakukan sedemikian rupa sehingga timbulnya efek yang merugikan tersebut dapat ditekan sekecil mungkin.

Untuk memperoleh perbandingan yang sesuai dengan standard seperti pada tabel 4.1 perlu adanya perhitungan BSNOx. Pada penelitian ini BSNOx dihitung berdasar pada SAE J 1003 Jun 90 dan hasil perhitungan diperlihatkan pada gambar 4.2



Gambar 4.2. Emisi NOx

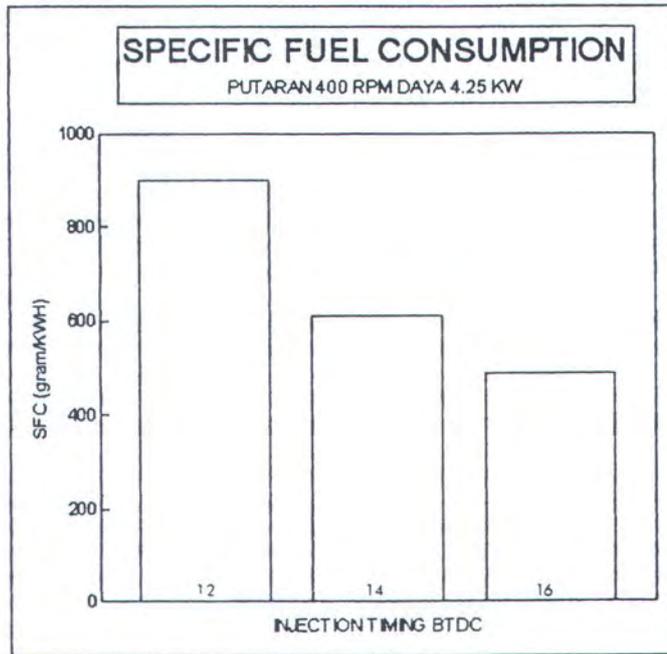
Dari gambar ditunjukkan dalam arah vertikal adalah BSNO<sub>x</sub> dan horisontal adalah perubahan injeksi bahan bakar dalam derajat sudut engkol. Untuk mendapatkan BSNO<sub>x</sub> sesuai standar maka akan dilakukan matching antara injection timing dengan pemakaian bahan bakar secara efisien karena perubahan injeksi bahan bakar akan mempengaruhi konsumsi bahan bakar, sehingga hasil akhir yang diharapkan adalah sudut injection timing dimana pada titik tersebut tercapai emisi NO<sub>x</sub> yang sesuai dengan standar dengan pemakaian bahan bakar yang optimum.

#### 4.2. KONSUMSI BAHAN BAKAR DAN ALIRAN ENERGI

Berikut akan ditunjukkan pengaruh yang ditimbulkan dengan perubahan injection timing terhadap konsumsi bahan bakar dan aliran energi yang terjadi didalam mesin tersebut. Terlebih dulu akan dianalisa untuk konsumsi bahan bakar.

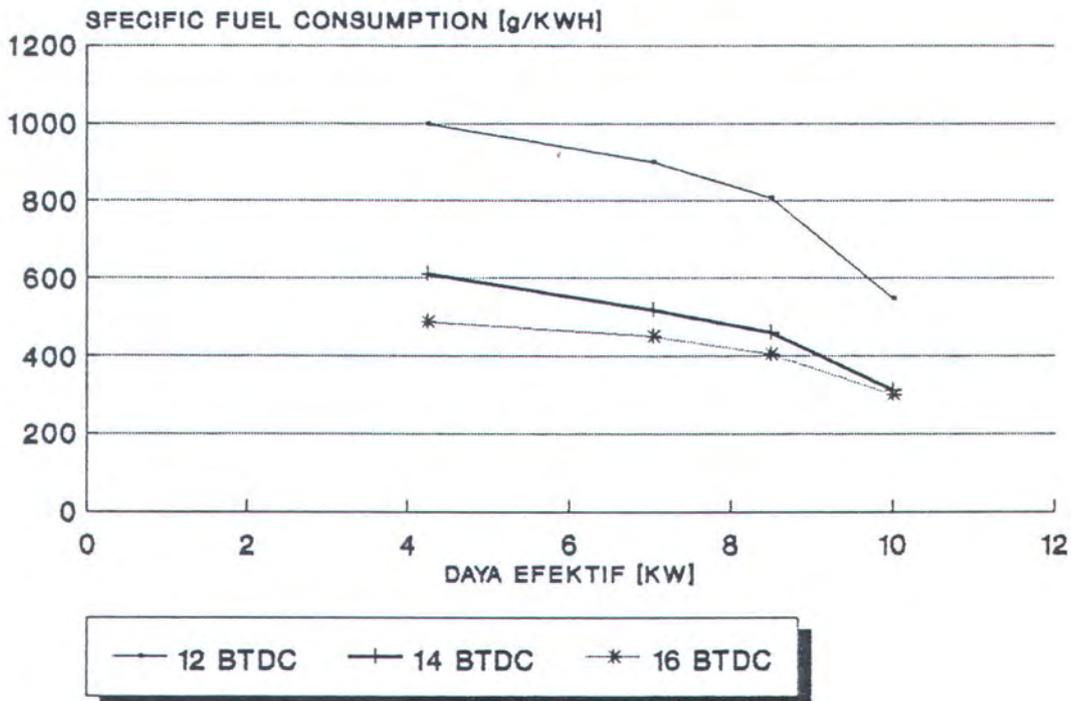
Konsumsi bahan bakar akan dianalisa dalam gram/kwh dan injection timing dalam derajat BTDC. Analisa yang pertama dilakukan mesin pada putaran konstan dengan daya tetap yang dapat dilihat pada gambar 4.3.

Dari gambar 4.3 ditunjukkan perubahan konsumsi bahan bakar sehubungan dengan dirubahnya sudut injeksi bahan bakar. Konsumsi bahan bakar menunjukkan penurunan dengan sudut injeksi yang semakin besar. Analisa kedua dilakukan dengan memberikan pembebanan secara bertingkat untuk tiap injection timing yang telah ditentukan dan mesin diputar pada kecepatan konstan 400 rpm. Grafik akan ditampilkan dalam gambar 4.4.



Gambar 4.3 Konsumsi bahan bakar

**GRAFIK DAYA VS SFC**  
PUTARAN 400 RPM



Gambar 4.4 Konsumsi bahan bakar

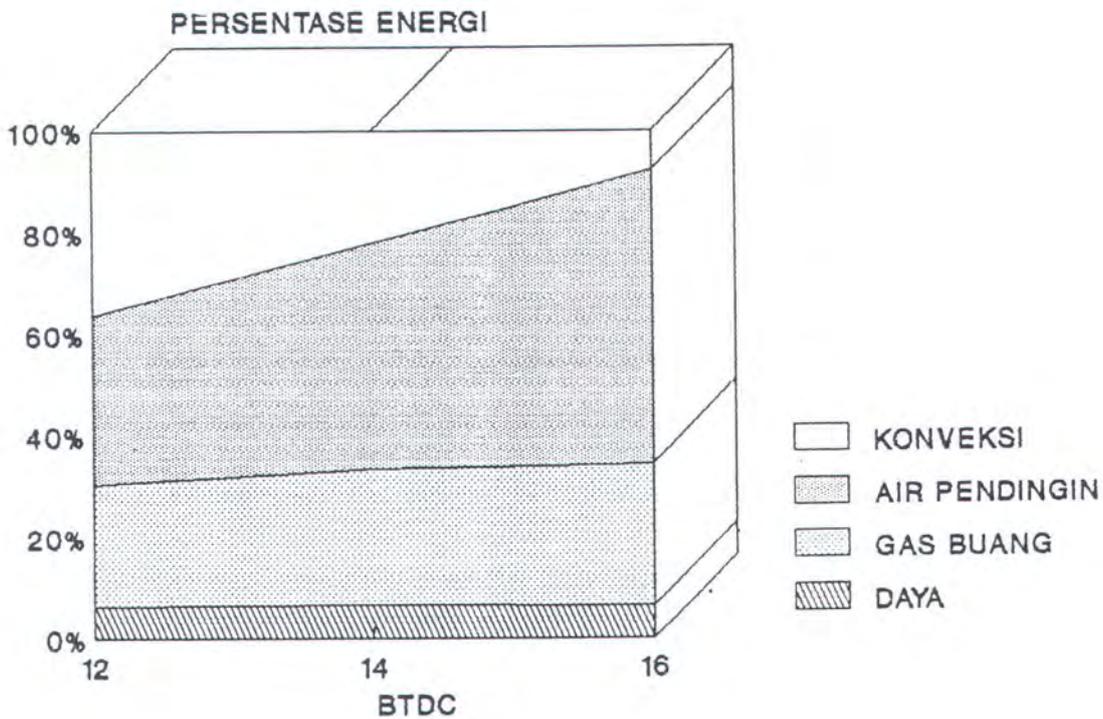
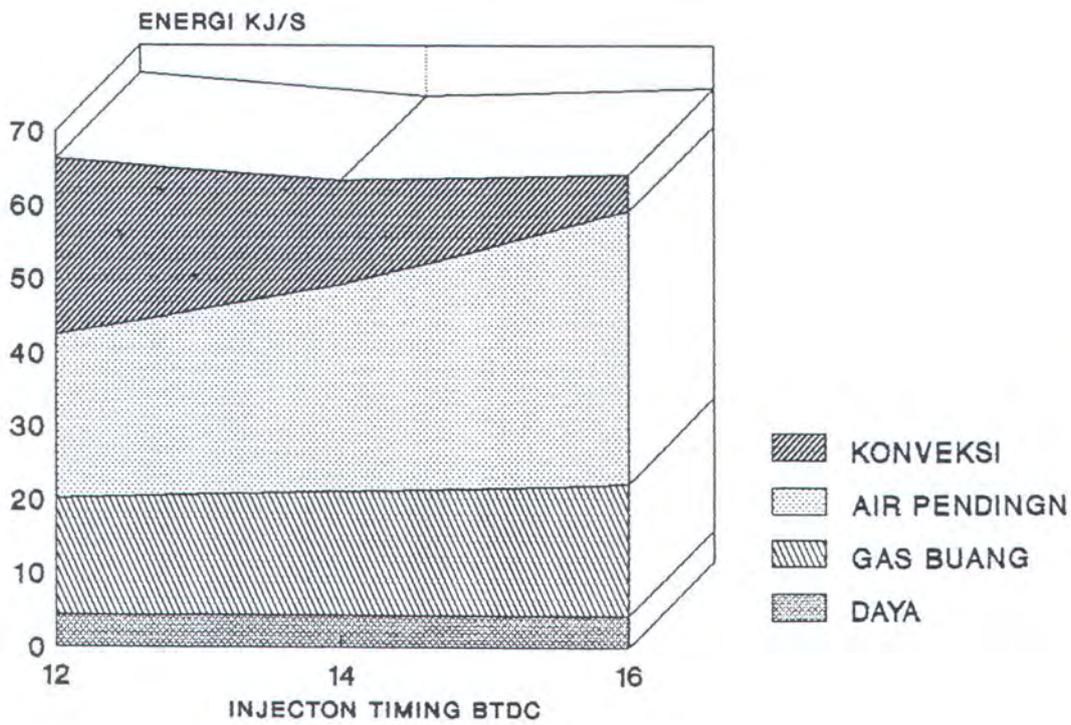
Dalam gambar terlihat bahwa dengan memperlambat injeksi bahan bakar akan berpengaruh pada konsumsi bahan bakar. Pada injeksi bahan bakar yang semakin lambat konsumsi bahan bakar menunjukkan kecenderungan meningkat.

Konsumsi bahan bakar erat kaitannya dengan neraca energi yang terjadi pada mesin tersebut. Pada gambar 4.5 ditunjukkan hubungan antara perubahan injection timing dan aliran energi yang terjadi di mesin antara lain aliran energi pendingin, aliran energi gas buang, aliran energi konveksi serta daya yang dikeluarkan.

Pada grafik 4.5 ditunjukkan beberapa karakteristik dari aliran energi sehubungan dengan dirubahnya injection timing. Untuk daya energi yang dikeluarkan di jaga konstan, sedangkan untuk energi yang dikeluarkan melalui gas buang menunjukkan peningkatan walaupun tidak begitu besar, perubahan paling besar ditunjukkan oleh energi air pendingin yang merupakan energi paling dominan dibanding energi lainnya yang mengalami peningkatan cukup besar dengan injection timing yang semakin besar. Untuk energi konveksi justru mengalami penurunan dengan injection timing yang semakin besar. Secara keseluruhan aliran energi menunjukkan penurunan dengan injection yang semakin besar.

Aliran energi juga dianalisa dalam prosentase. Prosentase terbesar adalah energi yang keluar melalui energi pendingin yang pada injection timing 16 BTDC sebesar (24%-55%) dan akan semakin menurun dengan perlambatan injeksi, pada 14 BTDC sebesar (23,1%-50%) dan pada 12 BTDC sebesar (15,8%-43%). Sedangkan energi paling kecil dikeluarkan dalam bentuk daya yaitu sekitar 6,9 %.

400 RPM DAYA 4.25 KW

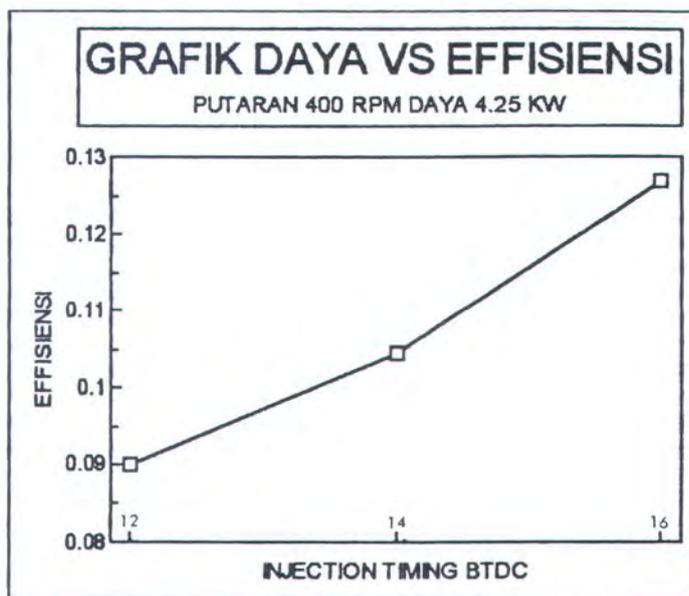


Gambar 4.5 Aliran Energi

### 4.3. EFFISIENSI

Berikut akan ditunjukkan pengaruh perubahan injection timing terhadap efisiensi pada mesin. Efisiensi menunjukkan hubungan antara daya efektif yang dikeluarkan dan konsumsi bahan bakar yang diperlukan .

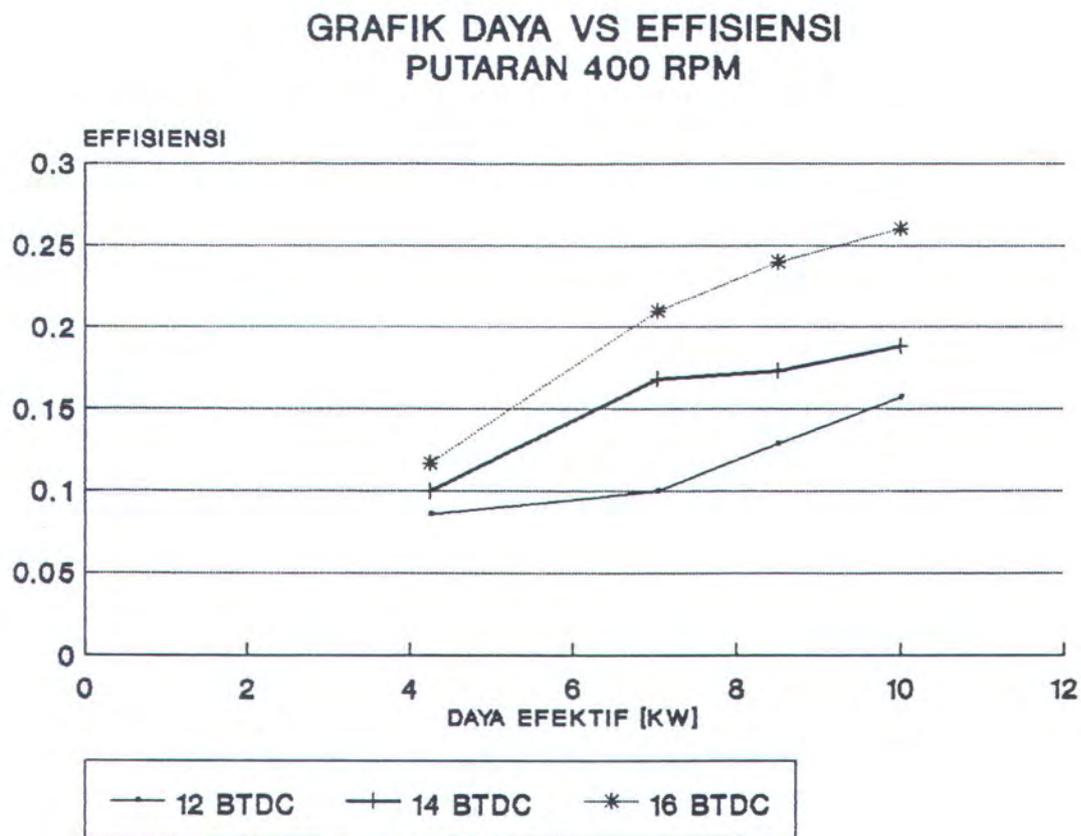
Analisa pertama dilakukan dengan mesin pada putaran dan daya konstan yaitu 400 rpm, daya 4,25 Kw, hasil analisa diperlihatkan dalam gambar 4.6



Gambar 4.6. Grafik efisiensi

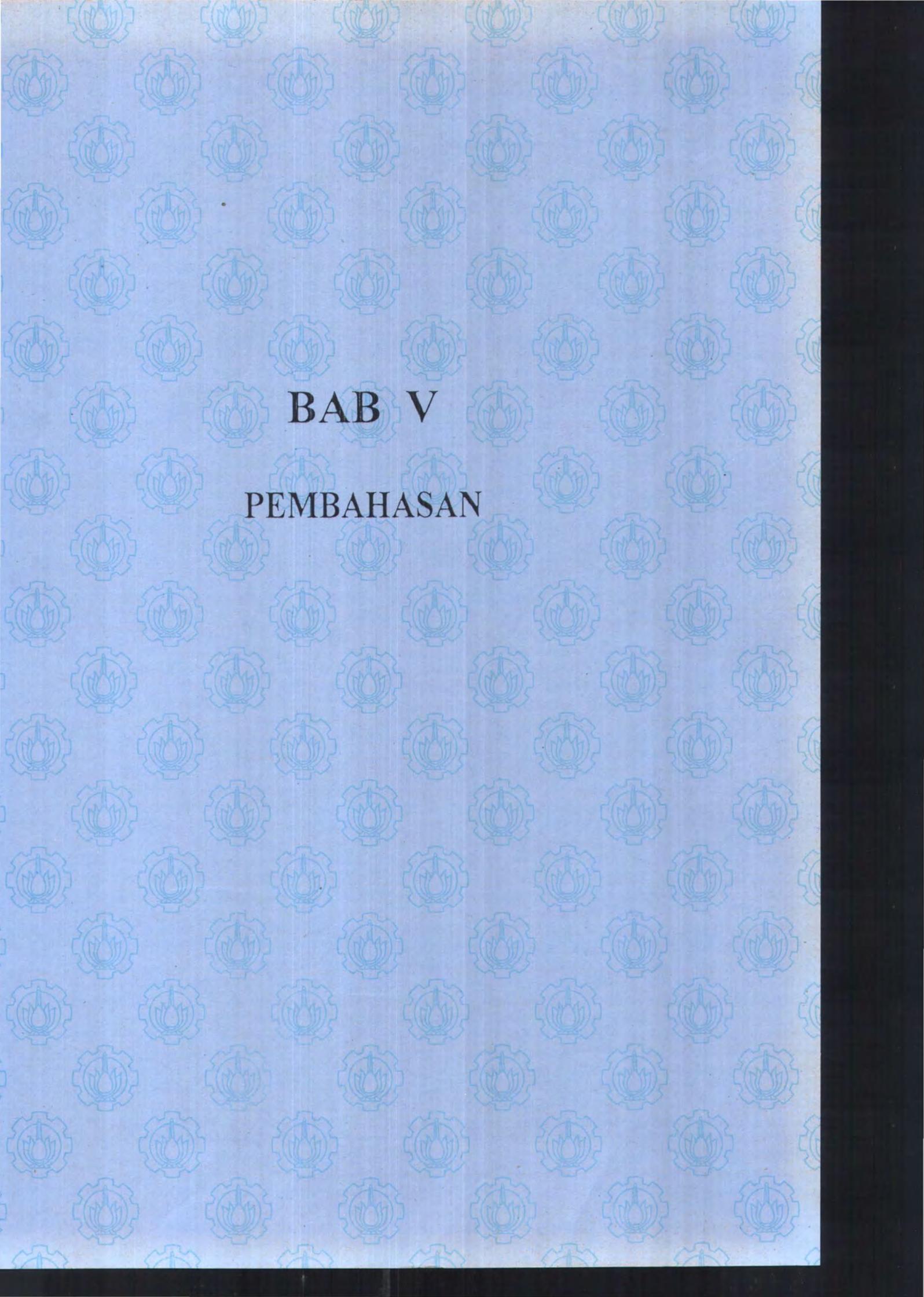
Dari gambar 4.6 tersebut efisiensi akan menunjukkan penurunan dengan metoda perlambatan injeksi, penurunan efisiensi kurang lebih 7.85 % pada setiap sudut engkol perubahan penginjeksian bahan bakar, hal ini disebabkan karena efisiensi merupakan fungsi dari pemakaian bahan bakar terhadap daya yang

dikeluarkan sehingga dengan pemakaian bahan bakar yang semakin besar maka efisiensi akan semakin menurun. Selain itu efisiensi juga dianalisa dengan memberikan pembebanan secara bertahap terhadap mesin yang diperlihatkan dalam gambar 4.7



Gambar 4.7 Grafik efisiensi

Dengan melakukan variabel beban, grafik efisiensi ditunjukkan dalam gambar 4.6, garis paling atas adalah untuk 16 derajat perlambatan injeksi sedangkan garis paling bawah adalah 12 derajat perlambatan injeksi. Dari ketiga garis tersebut menunjukkan bahwa dengan daya yang semakin besar maka efisiensi juga akan semakin meningkat, juga dapat dianalisa bahwa pada daya yang kecil ketiga garis semakin berimpit yang menunjukkan efisiensi hampir sama dan dengan daya yang semakin besar maka selisih garis juga semakin lebar yang menunjukkan perbedaan efisiensi yang semakin besar juga. Gejala ini menunjukkan bahwa dengan merubah injection timing lebih lambat maka apabila dipakai pada beban yang lebih tinggi akan mengalami kenaikan efisiensi lebih sedikit dibanding dengan pemakaian injection timing lebih awal.



**BAB V**  
**PEMBAHASAN**

## BAB V

### PEMBAHASAN

Bab ini membahas lebih lanjut pengaruh perubahan injection timing terhadap penurunan NO<sub>x</sub>, perubahan kesetimbangan panas serta kebutuhan bahan bakar. Pembahasan didasarkan pada hasil eksperimen serta referensi penelitian yang dapat digunakan sebagai rujukan. Tolok ukur dari pembahasan tidak didasarkan pada tingkat keberhasilan penurunan NO<sub>x</sub> yang maksimum akan tetapi juga ditinjau terhadap konsumsi bahan bakar yang menguntungkan. Standar yang berlaku di Eropa, USA dan Jepang setelah tahun 1997 merupakan target yang dipakai pada pembahasan ini.

Hasil pembahasan pada bab IV menunjukkan bahwa metode perlambatan dapat menurunkan NO<sub>x</sub> namun sangat disayangkan penurunan emisi ini juga diikuti dengan kenaikan konsumsi bahan bakar (Lihat gambar 4.1 dan 4.3). Gejala peningkatan konsumsi bahan bakar ini sangat erat kaitannya dengan penurunan efisiensi thermal mesin diesel seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.6. Penurunan NO<sub>x</sub> dengan metoda perlambatan injeksi bahan bakar ini dapat berlangsung karena menurunkan temperatur pembakaran sehingga penurunan temperatur ini memperkecil produksi energi bahan bakar yang bermanfaat persatuan berat sehingga memperbesar kebutuhan bahan bakar spesifik.

Akibat dari menurunnya prestasi konsumsi bahan bakar yang kurang menguntungkan ini maka perlu dicari titik optimum yang dapat dikompromikan antara kebutuhan bahan bakar dan NO<sub>x</sub> yang dihasilkan. Tabel 5.1 adalah hasil

perhitungan berdasarkan simulasi yang dapat dihasilkan berdasar standar yang berlaku pada masing-masing negara sebagai referensi

Tabel 5.1. Sudut Injeksi bahan bakar beberapa negara

	JEPANG	JASTRAM MOTOR	USA	EROPA
Injection timing BTDC	13.82	14	15.52	18.01
Specific Fuel Consumption gram/kwH	639.23	626.29	517	278

Tabel 5.1 memberikan gambaran bahwa peraturan yang semakin ketat memerlukan perlambatan injeksi bahan bakar lebih banyak sehingga konsekuensinya bahan bakar yang dikonsumsi semakin besar. Dengan daya output yang dihasilkan sama serta emisi yang dikeluarkan sesuai dengan peraturan yang diberlakukan, maka standard Eropa menunjukkan hasil konsumsi bahan bakar yang lebih baik. Ini berarti bahwa peraturan di Eropa lebih ringan dibandingkan dengan peraturan di Jepang setelah tahun 1997 yang akan datang.

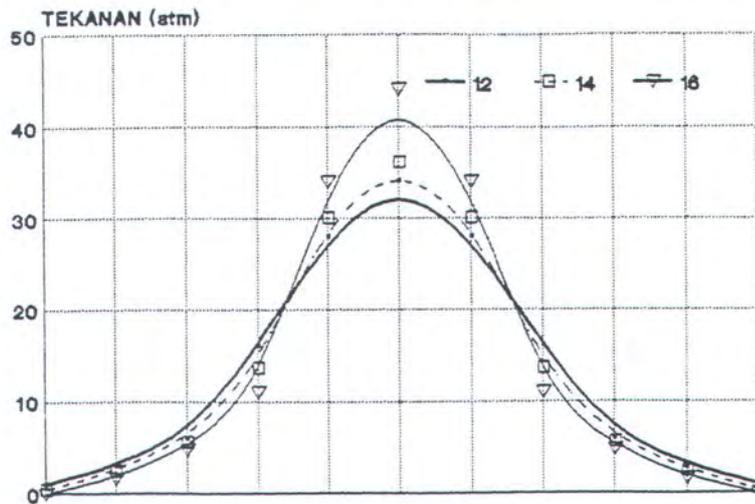
Injection timing terpasang pada motor diesel percobaan adalah 14 derajat sudut engkol, terletak antara sudut engkol Jepang dan USA yang menunjukkan bahwa tanpa merubah sudut injeksi bahan bakarpun emisi NOx yang dikeluarkan masih memenuhi syarat untuk standard Eropa dan USA dan masih bisa dirubah injecton timingnya lebih besar untuk mendapatkan tingkat pemakaian bahan bakar yang lebih kecil.

Seperti yang telah diuraikan diatas bahwa metoda penurunan NOx dapat dilakukan dengan menurunkan temperatur ruang bakar dengan jalan merubah

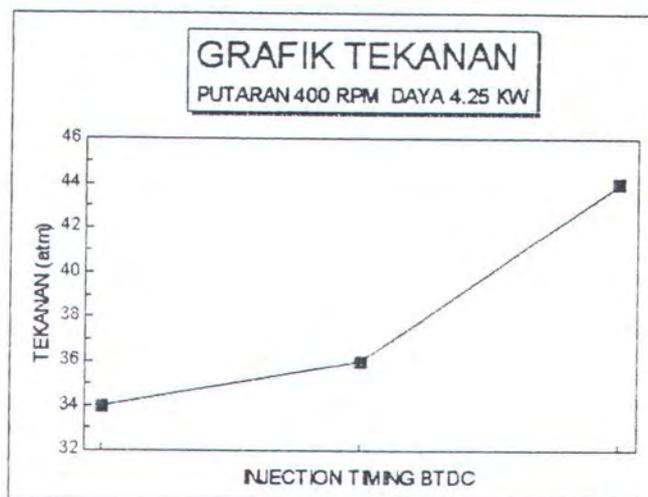
injection timing. Gambar 5.1 adalah gambar tekanan silinder nomor 1 yang diambil dengan menggunakan mechanical pressure tester pada injection timing 12, 14 dan 16 derajat sebelum titik mati atas. Sedangkan gambar 5.2 adalah tekanan maksimum yang dihasilkan pada perubahan injection timing dengan putaran mesin 400 rpm pada daya output 4.25 KW. Gambar 5.2 tersebut menunjukkan korelasi antara penurunan temperatur dengan perubahan injection timing . Hal ini dapat dijelaskan dengan hubungan dari " $PV/T = konstan$ ". Gambar 5.1 dan 5.2 menunjukkan bahwa tekanan menurun dengan perlambatan injection timing. Penurunan tekanan dengan volume konstan ini menunjukkan penurunan temperatur ruang bakar.

Untuk membahas bagaimana penurunan suhu ruang bakar dapat terjadi maka perlu dipelajari dahulu diagram hipotetik dari motor diesel seperti yang terlihat pada gambar 5.3. Gambar dan keterangan berikut diadopsi dari Arismunandar, 1986. Bahan bakar terbakar diruang bakar dengan perbandingan udara bahan bakar yang sebaik-baiknya, biasanya perbandingan udara bahan bakar lebih besar 1 dan keadaanya tidak uniform. Bahan bakar ini tidak langsung terbakar tetapi membutuhkan waktu persiapan untuk terbakar atau lebih umum disebut persiapan pembakaran, atau juga kelambatan penyalaan. Kelambatan penyalaan adalah waktu yang diperlukan untuk fenomena fisik misalnya perpindahan panas, penguapan, difusi serta fenomena kimia

GRAFIK TEKANAN



Gambar 5.1 Grafik tekanan



Gambar 5.2 Grafik tekanan



pembakaran cepat . Setelah itu laju kenaikan tekanannya berkurang, oleh karena meskipun bahan bakar yang disemprotkan selama C-D lebih cepat terbakar, namun jumlah bahan bakar yang ada tidak banyak lagi dan proses pembakaran tersebut berlangsung dalam volume ruang bakar yang bertambah besar, hal tersebut terjadi karena torak bergerak menuju TMB. Periode 3 yaitu periode antara C dan D dinamai periode pembakaran terkendali. Dalam periode 4 yaitu periode antara D dan E pembakaran masih berlangsung karena adanya sisa bahan bakar yang belum terbakar dalam periode sebelumnya, Periode 4 dinamai periode pembakaran sisa .

Dengan metoda perlambatan injeksi maka kita akan menggeser titik A yang merupakan titik awal penyemprotan bahan bakar lebih kekanan yang berarti mempersingkat waktu persiapan pembakaran atau ignition delay lebih pendek, sehingga jumlah bahan bakar yang terbakar pada periode tersebut relatif lebih sedikit yang menyebabkan kualitas pembakaran akan menurun yang ditandai menurunnya suhu, menurunnya suhu dapat dideteksi dengan melihat menurunnya tekanan yang dapat dilihat dari hasil percobaan gambar 5.1 dan 5.2. Sebaliknya jika injeksi bahan bakar dipercepat yang berarti derajat derajat sudut engkol lebih besar maka bahan bakar mempunyai lebih banyak waktu untuk fenomena fisik bahan bakar sehingga bahan bakar dapat terbakar lebih sempurna , dengan semakin banyaknya bahan bakar yang terbakar lebih awal maka mengakibatkan kenaikan suhu dalam ruang bakar sehingga secara keseluruhan suhu mesin akan meningkat.

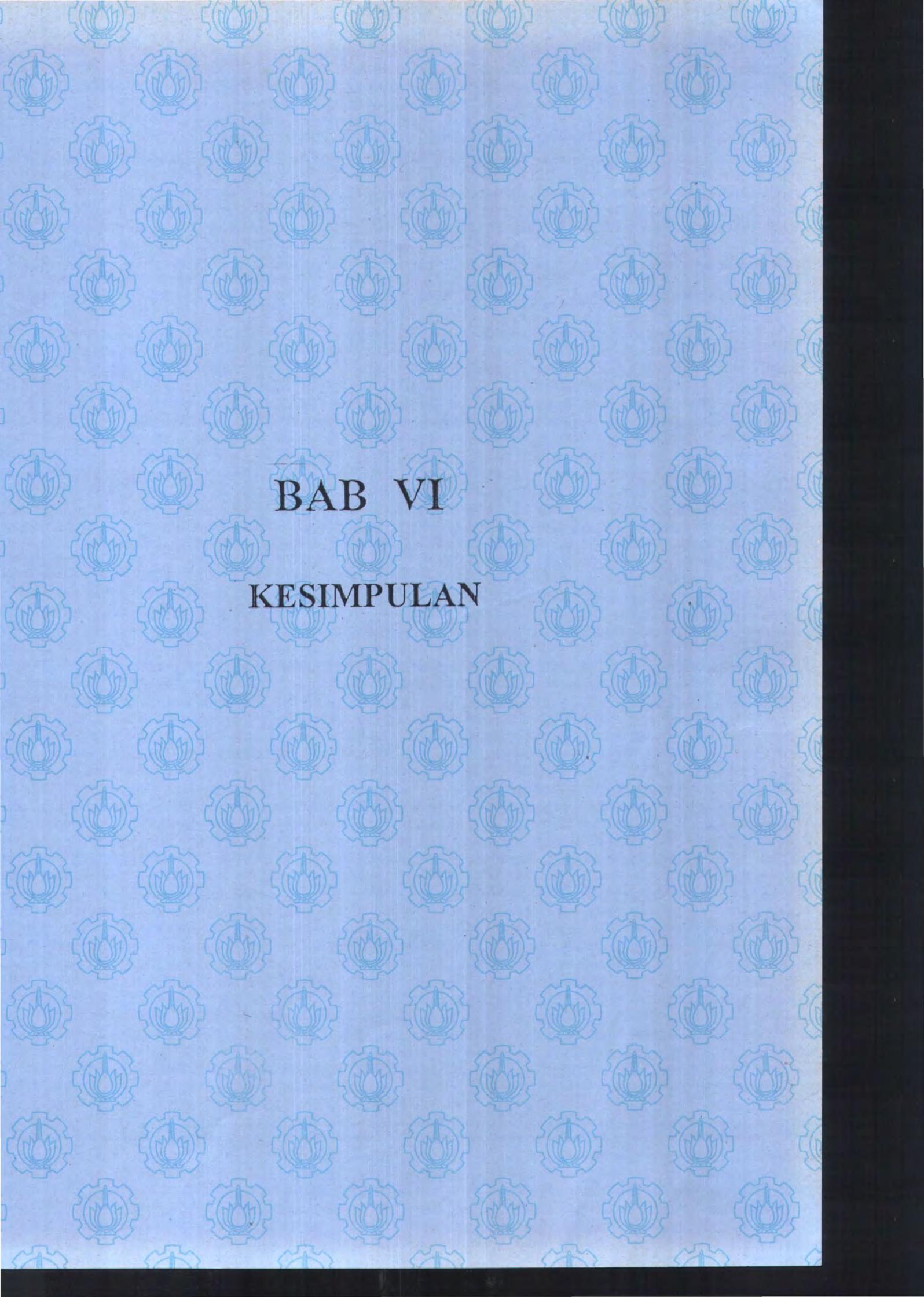
Dengan ignition delay lebih panjang yang akan menimbulkan tekanan lebih tinggi, apabila kenaikan tekanan begitu besar, maka kenaikan tekanan yang begitu tiba-tiba akan menyerupai pukulan yang hebat pada dinding ruang bakar. Peristiwa itu akan terdengar dengan keras dan terjadi pada frekwensi tertentu, biasanya

dinamai ledakan diesel atau knocking (*Arismunandar, 1986*). Knocking akan terjadi lebih besar apabila ignition delay lebih panjang dan banyaknya bahan bakar yang telah disemprotkan dalam periode 1 tersebut diatas lebih besar. Jika ledakan diesel yang dahsyat itu terjadi dalam waktu yang cukup lama, maka selain dapat merusak bagian-bagian mesin bunyi yang keras tersebut juga merupakan gangguan.

Kerusakan yang ditimbulkan akibat knocking antara lain patahnya ring piston, erosi pada mahkota piston, rusaknya gasket pada cylinder head, erosi pada cylinder head serta dapat patah serta berlubangnya piston (*Heywood, 1989*).

Ketika knocking terjadi berarti ada suatu tambahan panas yang ditransmisikan melalui dinding cylinder kemudian ke cylinder head dan piston. Dalam kondisi ini knocking bersifat tidak stabil, tambahan panas akibat knocking akan menimbulkan overheating yang akan meningkatkan aktivitas knocking sehingga semakin lama knocking akan semakin hebat. Overheating yang melebihi batas kemampuan dari material akan menimbulkan kerusakan-kerusakan seperti tersebut diatas (*Heywood, 1989*). Sehingga dengan metoda perlambatan injeksi yang dapat menurunkan suhu ruang bakar maka resiko kerusakan tersebut dapat dihindari sehingga mesin menjadi lebih tahan lama.

Pada penelitian ini efisiensi mesin relatif rendah karena mesin tidak diputar pada daya nominalnya (Lihat tabel 3.1), pada tabel disebutkan putaran mesin adalah 800 rpm dan daya yang dikeluarkan 66 KW, namun pada percobaan ini mesin dipaksa untuk bekerja pada putaran rendah 400 rpm dan daya yang dihasilkan relatif kecil 4.25 KW sehingga efisiensi yang merupakan fungsi dari pemakaian bahan bakar dan daya efektif akan turun.



**BAB VI**

**KESIMPULAN**

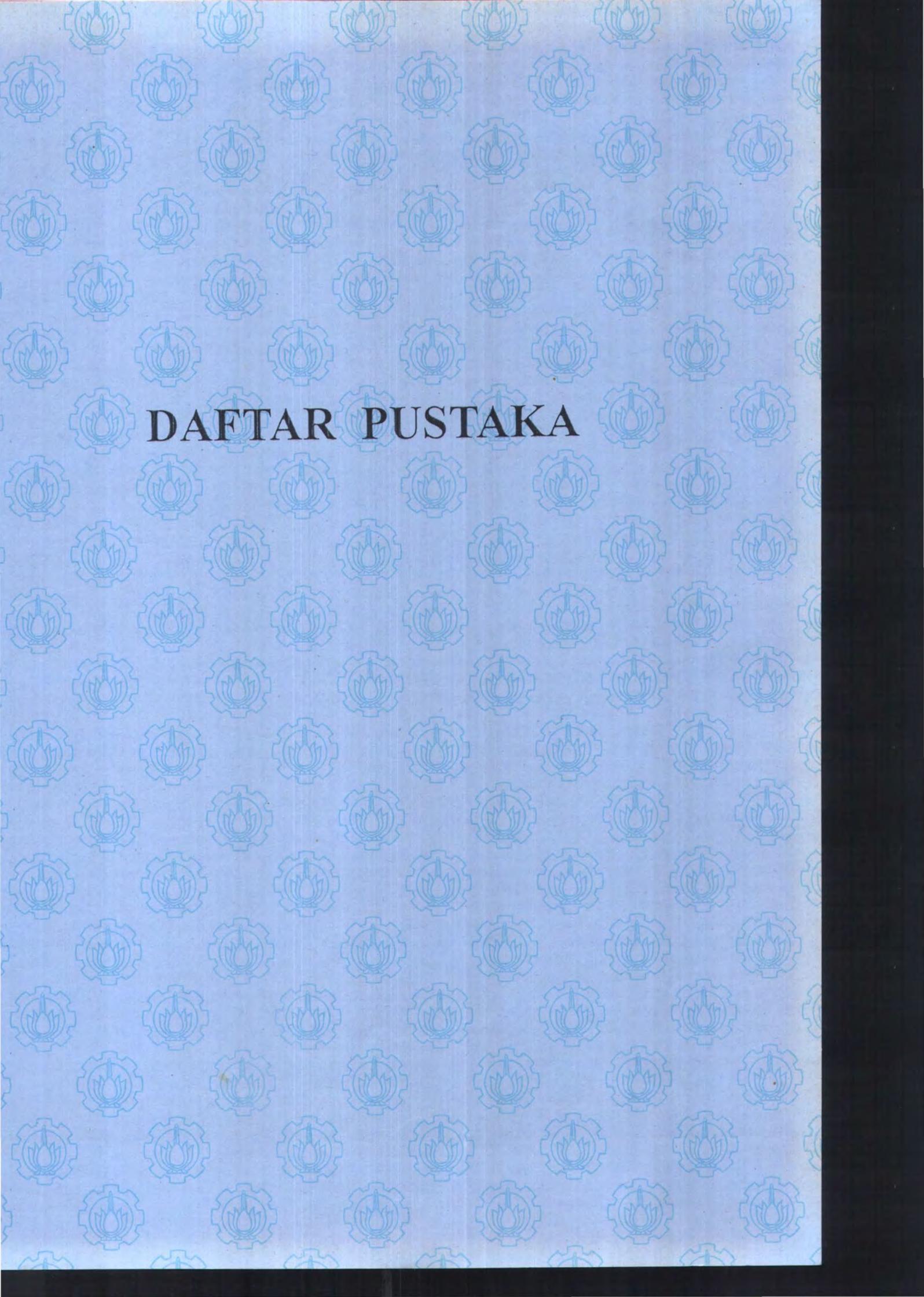
## BAB VI

### KESIMPULAN

Penelitian untuk mengurangi emisi NOx pada gas buang motor diesel dengan melakukan perlambatan injeksi telah dilakukan, selain itu juga diamati pengaruh perlambatan injeksi terhadap performance dari mesin. Setelah dilakukan penganalisaan terhadap emisi NOx dan performance mesin dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Dengan menggunakan metode perlambatan injeksi maka emisi NOx dapat diturunkan namun konsumsi bahan bakar akan semakin meningkat.
2. Injection timing terpasang pada mesin diesel percobaan masih memenuhi syarat untuk standard Eropa dan USA.
3. Sudut injeksi bahan bakar dengan konsumsi bahan bakar paling rendah didapatkan dengan menggunakan standar Eropa yaitu 18.01 derajat karena pada titik tersebut emisi NOx yang dikeluarkan telah memenuhi standar yang ditentukan dengan konsumsi bahan bakar paling rendah dibanding kedua negara lainnya.
4. Dengan sudut injection timing yang semakin kecil dapat menurunkan efisiensi karena efisiensi merupakan fungsi dari pemakaian bahan bakar dan daya efektif yang dikeluarkan.

5. Metoda perlambatan injeksi dapat memperkecil kemungkinan adanya knocking yang dapat merusak bagian-bagian mesin sehingga mesin dapat lebih tahan lama.



**DAFTAR PUSTAKA**

## DAFTAR PUSTAKA

Arismunandar, Wiranto, "Motor Diesel Putaran Tinggi", PT Pradnya Paramita, 1986.

Badan Pengendalian Dampak Lingkungan "Keputusan Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup Nomer -Kep-02/Men KLH/I/1988 tentang Pedoman Penetapan Baku Mutu Lingkungan", 1991.

Danjoh, Yuji, "Methods of Reducing Exhaust Gas Emission from Ship", NHK Bulletin 1993.

Guthrie, Virgil B, "Petroleum Product Hand Book", Mc Graw Hill New York 1960.

Heywood, John B, "Internal Combustion Engine Fundamentals", Mc Graw Hill International 1989.

Kirk-Othmer, "Air Pollution", Encyclopedia of Chemical Technology (3rd ed) Vol 1, John Willey and Sons, New York 1978.

Moeller, Therald, "In Organic Chemistry an Advanced Hand Book", John Willey and Sons Inc, New York 1961.

Slamet Ryadi, AL, "Pencemaran Udara", Usaha Nasional, Surabaya 1982.

Slamet Ryadi, AL, "Pengaruh Pencemaran Udara dalam Kesehatan Manusia", Airlangga University Press 1972.

Zuhdi, Aguk, Ir, "Unjuk Kerja dan Proses Pembakaran Mesin Diesel tipe Indirect Injection Berbahan Bakar Komposisi Etanol - Diesel Oil", ITS.