

22857/H/05

TUGAS AKHIR
LS 1336



**PENERAPAN NON-THERMAL PLASMA TREATMENT
UNTUK MENINGKATKAN EFEKTIFITAS
KATALIS TEMBAGA DALAM MEREDUKSI EMISI NO_x GAS
BUANG MOTOR DIESEL**

RSSP

623.872 36

Mus

P-1



PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	5-4-2005
Terima Dari	H/
No. Agenda Prp.	221564

Oleh :
FAATIKHUL MUSKHAF
NRP. 4200 100 057

**JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2005**

**PENERAPAN NON-THERMAL PLASMA TREATMENT
UNTUK MENINGKATKAN EFEKTIFITAS
KATALIS TEMBAGA DALAM MEREDUKSI EMISI NO_x GAS
BUANG MOTOR DIESEL**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana
Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya**

Mengetahui / Menyetujui,

Dosen Pembimbing III,

Dosen Pembimbing II,

Ir. Aguk Zuhdi, MF. MEng.

NIP. 131 646 637



Ir. Agoes Santoso, MSc.

NIP. 131 933 295

Dosen Pembimbing I,

Ir. Indraajaya Gerianto, MSc.

NIP. 131 933 365



FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN - ITS
JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
KAMPUS ITS KEPUTIH SUKOLILO SURABAYA 60111
TELP.5994754, 5994251 – 55 PES 1102 FAX 5994754

SURAT KEPUTUSAN Pengerjaan Tugas Akhir LS 1336

Sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan ITS, maka perlu diterbitkan Surat Keputusan Pengerjaan Tugas Akhir yang memberikan tugas kepada mahasiswa tersebut dibawah untuk mengerjakan Tugas sesuai judul dan lingkup bahasan yang telah ditentukan.

Nama Mahasiswa : FAATIKHUL MUSKHAF
Nrp : 4200 100 057
Dosen pembimbing : 1. Ir. Indrajaya Gerianto, MSc.
: 2. Ir. Agoes Santoso, MSc, MPhil.
Tanggal Diberikan Tugas :
Tanggal Diselesaikan Tugas :
Judul Tugas Akhir : Penerapan Non-Thermal Plasma Treatment untuk Meningkatkan Efektifitas Katalis Tembaga dalam Mereduksi Emisi NOx Motor Diesel.

Surabaya,
Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
FT. Kelautan ITS


Ir. Suryo Widodo Adji, M.Sc
NIP. 131 879 390

Surabaya,
Yang menerima tugas:

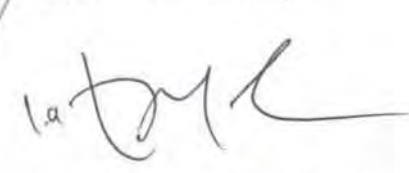
Mahasiswa

Dosen Pembimbing II

Dosen Pembimbing I


Faatikhul Muskhaf
NRP. 4200 100 057


Ir. Agoes Santoso, MSc, MPhil.
NIP. 131 933 295


Ir. Indrajaya Gerianto, MSc
NIP . 131 993 365

ABSTRAK

Beberapa pakar telah mengembangkan teknologi plasma untuk mereduksi emisi NOx pada motor diesel., beberapa diantaranya telah mencoba mengombinasikan treatment Non-thermal Plasma dengan beberapa jenis katalis seperti alumina, zeolite, dan lain sebagainya, namun belum dijumpai kombinasi NTP dengan katalis tembaga murni. Dalam tugas akhir ini akan dipresentasikan penggunaan Non-thermal Plasma treatment yang dikombinasikan dengan katalis tembaga murni untuk mereduksi emisi NOx pada motor diesel. Dengan penambahan treatment NTP diharapkan konsentrasi emisi NOx akan lebih banyak lagi yang dapat direduksi. Dalam tugas akhir ini dibuat prototip kombinasi reactor NTP dan katalis tembaga murni. Hasil dari tugas akhir ini berupa perbandingan konsentrasi kandungan emisi NOx pada tiga macam kelompok pengujian yaitu kelompok standar, kontrol katalis, dan kontrol katalis kombinasi dengan NTP. Hasil pengujian dari eksperimen yang dilakukan menunjukkan peningkatan penurunan NOx oleh katalis.

KATA PENGANTAR

Dengan menyebut nama Allah Yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya kepada umat manusia, berkat ridlo-Nyalah kami dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Ucapan terima kasih yang mendalam atas segala bentuk bimbingan dan dorongan yang telah diberikan, penulis sampaikan dengan tulus kepada :

1. Bapak dan Ibu tercinta yang telah mencurahkan kasih sayang dan dorongan materiil maupun moril sehingga penulis bisa menyelesaikan kuliah di jurusan Teknik Sistem Perkapalan, FTK-ITS.
2. Bapak Ir. Agoes Santoso, MSc. MPhil, Ir. Indrajaya Gerianto, M.Sc dan Ir Aguk Zuhdi, MF, MEng. selaku Dosen Pembimbing dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Ir. Surjo Widodo Adji, M.Sc, selaku Kepala Jurusan Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS.
4. Bapak Ir. RO. Saut Gurning, MSc selaku ketua Laboratorium Mesin Kapal, yang telah memberikan ijin untuk menggunakan mesin diesel untuk pengujian.
5. Bapak Semin Sanuri, ST, MT, GMRINA selaku ketua dan Bapak Ruslan selaku teknisi Laboratorium Mesin Fluida dan Sistem, yang telah memberikan dorongan moril dan masukan sehingga penulis dapat mengerjakan Tugas Akhir ini.

6. Seluruh staff pengajar di jurusan Teknik Sistem Perkapalan-FTK ITS yang telah menularkan ilmu pengetahuannya kepada saya, dan juga seluruh karyawan jurusan Teknik Sistem Perkapalan yang telah berjasa terhadap kelancaran kegiatan perkuliahan di kampus.
7. Temanku Arif Sukarno yang telah banyak membantu dalam pembuatan prototip, pegawai BTKL Surabaya terutama Pak Sugianto, Mbak Iin dan Pak Salim yang telah membantu dalam pengujian prototip.
8. Teman-teman angkatan 2000, teman – teman di lab. Mesin Fluida dan Sistem Tata, Eko, Herman, Fitra, Yahya, Fahrul , teman – teman di lab. Studio 3-D dan Komputasional Deni, Tos, Usman, Konco, komting, Bayu, Ayup, Basuki, Didit, Solo, teman– teman di kos Agus, Yaman, Ari, Margo, Surem, yang telah memberi semangat kepada penulis sehingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan.
9. Semua pihak yang telah berpartisipasi banyak dalam membantu penyelesaian Tugas Akhir ini yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu.

Kami menyadari bahwa laporan Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu saran dan koreksi atas laporan ini akan kami terima sebagai bahan perbaikan dikemudian hari. Akhir kata semoga dengan tersusunnya laporan Tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak didalam mengembangkan wacana ilmu pengetahuan.

Surabaya, Januari 2005

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK

KATA PENGANTAR

DAFTAR ISI

DAFTAR GAMBAR

DAFTAR TABEL

DAFTAR GRAFIK

BAB I. PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang.....	I-1
1.2 Perumusan Masalah	I-4
1.3 Tujuan Penulisan.....	I-6
1.4. Manfaat Tugas Akhir.....	I-6

BAB II. PAPER REVIEW

2.1. Tinjauan Pustaka.....	II-1
2.1.1. Emisi Gas Buang Motor Diesel.....	II-1
2.1.2. Pembentukan Emisi Nox.....	II-5
2.1.3. Review Teknologi Pengontrolan Emisi Nox Motor Diesel	II-9
2.1.4. Catalytic Converter.....	II-10
2.1.4.1. Komponen Catalytic Converter.....	II-10
2.1.4.2. Tipe-tipe Catalytic Converter.....	II-14
2.1.5. Katalisis.....	II-16
2.1.5.1. Energi Aktivasi dan Katalisis.....	II-17
2.1.5.2. Teori Katalisis.....	II-17
2.1.5.3. Mekanisme Katalisis.....	II-19
2.1.6. Plasma.....	II-20
2.1.6.1. Pengertian Plasma.....	II-20
2.1.6.2. Reaktor Plasma.....	II-24

2.1.6.3. Penerapan NTP untuk Mengatasi Emisi NOx.....	II-27
2.2. Dasar Teori.....	II-29
BAB III. METODOLOGI PENELITIAN	
3.1. Metode.....	III-1
3.2. Persiapan.....	III-5
3.3. Peralatan Uji.....	III-5
3.4. Engine Set-Up.....	III-8
3.5. Pengujian.....	III-13
BAB IV. PEMBUATAN PROTOTIP	
4.1. Reaktor Non-Thermal Plasma.....	IV-1
4.1.1. Desain Reaktor.....	IV-1
4.1.2. Sketsa Rancangan Reaktor.....	IV-3
4.2. Catalytic Converter Tembaga.....	IV-3
4.1.1. Desain Catalytic Converter.....	IV-3
4.1.2. Sketsa Rancangan Catalytic Converter.....	IV-4
4.3. Gambar Prototip.....	IV-5
BAB V. KALIBRASI PROTOTIP	
5.1. Data dan Pengolahan Hasil Pengujian.....	V-1
5.2. Analisa dan Pembahasan Data Hasil Kalibrasi Prototip.....	V-3
5.2.1. Grafik-grafik Kalibrasi Prototip.....	V-3
5.2.2. Pembahasan Grafik-grafik Kalibrasi Prototip.....	V-7
BAB VI. KESIMPULAN DAN SARAN	
6.1. Kesimpulan.....	VI-1
6.2. Saran.....	VI-2
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. <i>Metalic Honeycomb Catalytic Converter</i>	II-12
Gambar 2.2. <i>Ceramic Honeycomb Catalytic Converter</i>	II-12
Gambar 2.3. <i>Konstruksi Monolith Catalytic Converter</i>	II-13
Gambar 2.4. <i>Ceramic Pellets Catalytic Converter</i>	II-13
Gambar 2.5. <i>Proses Reaksi pada Catalytic Converter Three-way</i>	II-15
Gambar 2.6. <i>Adsorpsi dari molekul reaktan</i>	II-18
Gambar 2.7. <i>Pembentukan Complex Active</i>	II-18
Gambar 2.8. <i>Decomposisi Complex Active</i>	II-19
Gambar 2.9. <i>Produk Desorpsi</i>	II-19
Gambar 2.10. <i>Proses Pembentukan Atom dari Molekul</i>	II-22
Gambar 2.11. <i>Struktur dan proses pembentukan Plasma</i>	II-23
Gambar 2.12. <i>Kondisi molekuler gas dan Plasma</i>	II-24
Gambar 2.13. <i>Konstruksi Dielectric Barrier Discharge</i>	II-26
Gambar 3.1. <i>Flowchart pengerjaan Tugas Akhir</i>	III-2
Gambar 4.1. <i>Sketsa Reaktor NTP</i>	IV-3
Gambar 4.2. <i>Sketsa Catalytic Converter</i>	IV-4
Gambar 4.3. <i>Sketsa Prototip Reaktor NTP-Katalis Tembaga</i>	IV-5
Gambar 4.4. <i>Foto Prototip Reaktor NTP lengkap dengan Trafo</i> ..	IV-5
Gambar 4.5. <i>Foto Prototip Katalis Tembaga Dilihat dari Depan</i>	IV-6
Gambar 4.6. <i>Foto Prototip NTP-Katalis Tembaga yang Terpasang</i>	IV-6

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1.	Standar emisi NOx aturan Marpol Annex VI.....	I-2
Tabel 1.2.	Standar emisi motor diesel aturan EPA.....	I-3
Tabel 3.1.	Spesifikasi Motor Diesel Uji.....	III-6
Tabel 3.2.	Spesifikasi Water Brake Dynamometer.....	III-7
Tabel 3.3.	Data Kalibrasi Engine.....	III-10
Tabel 3.4.	Rumus-rumus Perhitungan Performa Engine.....	III-11
Tabel 3.6.	Penentuan Titik Operasi untuk Kalibrasi Prototip.....	III-13
Tabel 3.7.	Titik Operasi Engine untuk Pengujian.....	III-14
Tabel 5.1.	Hasil Pengujian Prototip	V-1
Tabel 5.2.	Hasil Pengolahan Data Kalibrasi Prototip.....	V-2



DAFTAR GRAFIK

Grafik 1.1. Grafik standar emisi NOx motor disel aturan Marpol annex VI...	I-2
Grafik 2.1. Level emisi NOx v.s. Air-Fuel ratio.....	II-3
Grafik 2.2. Konsentrasi NOx v.s. Temperatur pembakaran.....	II-7
Grafik 3.1. Pengolahan Data Kalibrasi Engine.....	III-12
Grafik 5.1. NO, NO ₂ , NOx v.s. % Daya Engine pada kondisi Standar.....	V-3
Grafik 5.2. NO, NO ₂ , NOx v.s. % Daya Engine pada Kontrol Katalis	V-4
Grafik 5.3. NO,NO ₂ , NOx v.s.% Daya Engine pada Kontrol NTP-Katalis..	V-4
Grafik 5.4. BS NOx v.s. % Daya Engine.....	V-5
Grafik 5.5. NO v.s. % Daya Engine	V-5
Grafik 5.6. NO ₂ v.s. % Daya Engine	V-6
Grafik 5.7. % Penurunan NOx v.s. % Daya Engine	V-6



BAB I

PENDAHULUAN

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang.

Motor disel masih merupakan tenaga penggerak yang dianggap paling efektif untuk digunakan sebagai sumber tenaga propulsi utama di kapal. Motor disel menyediakan berbagai keuntungan seperti kehandalan, keamanan, kemudahan operasional dan perawatan. Keuntungan-keuntungan inilah yang menjadi alasan mengapa ia menjadi primadona tenaga penggerak di kapal. Walaupun bagaimana motor disel tetap memberikan peran sebagai sumber pencemar lingkungan melalui emisi gas buangnya yang mengandung *unburned hydrocarbon, carbon monoksida dan oksida nitrogen (NOx)*.

Isu mengenai lingkungan menjadi semakin penting untuk dibicarakan dan ditindaklanjuti di dalam perancangan dan system operasional motor disel. Hal ini dikarenakan semakin ketatnya peraturan internasional maupun regional mengenai standar lingkungan di dalam menentukan batas-batas yang bisa diterima dari tingkat polusi gas buang motor disel. Emisi gas buang motor disel memberikan sumbangan yang sangat besar terhadap peningkatan pencemaran udara, sehingga perlu adanya usaha untuk mengontrol emisi yang dihasilkan motor disel.

Berbagai peraturan yang berkaitan dengan polusi pada kapal terangkum dalam "*International Convention on the Prevention of Pollution from Ships*", yang dikenal dengan MARPOL 73/78. Pada tanggal 27 September 1997, MARPOL convention telah digantikan dengan "*1997 Protocol*", yang didalamnya

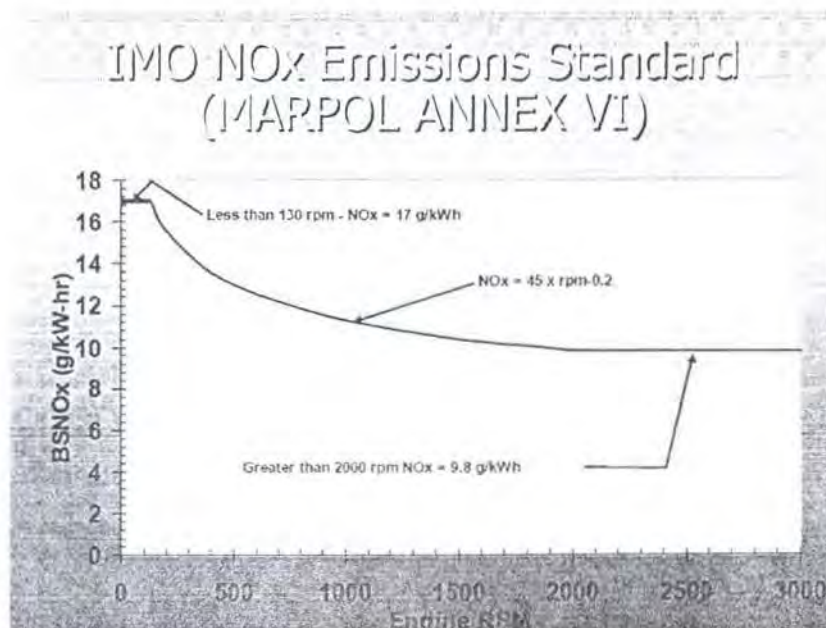
termasuk Annex VI yang berjudul “*Regulations for the Prevention of Air Pollution from Ships*”. MARPOL Annex VI memberikan batasan pada emisi NOx dan sulfur oksida dari gas buang kapal, dan membatasi pula penggunaan ozone untuk menghilangkan substansi emisi.

“1997 Protocol” pada MARPOL yang meliputi Annex VI akan diberlakukan pada 19 Mei 2005.

Berikut adalah aturan pada Annex VI berkaitan dengan emisi NOx.

Table 1. MARPOL Annex VI NOx Emission Limits	
Engine Speed (n, rpm)	NOx, g/kWh
n < 130 rpm	17.0
130 rpm ≤ n < 2000 rpm	$45 \cdot n^{-0.2}$
n ≥ 2000 rpm	9.8

Tabel 1.1. Standar emisi NOx aturan Marpol annex VI.



Grafik 1.1. Grafik standar emisi NOx motor diesel aturan Marpol annex VI.

Pada bulan Juni 2000, U.S. Environmental Protection Agency (EPA) mengajukan proposal aturan yang berkaitan dengan *on-road heavy-duty engine and vehicle* dan standar kualitas bahan bakar yang dinamai “*phase-2 standards*” yang akan diberlakukan mulai tahun 2007. Pada *phase-2 standard*, standar emisi NOx dibatasi 0.2 g/bhp-hr seperti terlihat pada table berikut (McKinon) :

Proposed Standards for HDEs	
PM	0.01 g/bhp-hr
NOx	0.20 g/bhp-hr
NMHC	0.14 g/bhp-hr

Tabel I.2. Standar emisi motor disel aturan EPA

Dari kedua aturan yang dikeluarkan oleh dua badan tersebut maka sangatlah penting ditemukan teknologi alternative dan modifikasi terhadap teknologi yang sudah ada untuk mencapai standar emisi yang ditetapkan.

Berbagai macam teknologi terus dikembangkan untuk meminimalkan emisi yang dihasilkan gas buang dari motor disel. Salah satu teknologi yang telah dikembangkan adalah pemakaian katalis untuk mengurangi emisi gas buang pada motor disel. Penggunaan *catalytic converter* yang dipasang pada saluran gas buang merupakan salah satu teknik yang digolongkan pada kelompok *after treatment*, dimana emisi gas buang HC, CO yang dihasilkan akan dioksidasi dan emisi NOx akan direduksi dengan adanya aktif metal katalis. Aktif metal katalis yang biasa digunakan adalah platinum, plutonium, palladium yang merupakan kelompok logam mulia, aktif metal lainya seperti tembaga, vanadium, iron,

cobalt, nikel, mangan, dll. Sampai saat ini penggunaan *catalytic converter* masih terbatas pada aktif metal katalis dari kelompok logam mulia seperti platinum, rhodium, dan palladium yang mempunyai keaktifan yang tinggi sebagai katalis tetapi dengan harga yang cukup mahal. Oleh karena itulah perlu adanya pengembangan teknologi *catalytic converter* dengan menggunakan aktif metal katalis yang lebih murah agar penerapannya lebih meluas dengan harga yang terjangkau.

Salah satu usaha yang sekarang sedang dikembangkan untuk meningkatkan efektifitas katalis untuk meminimalkan emisi gas buang adalah dengan penggunaan *non-thermal plasma* yang dikombinasikan dengan katalis. Diharapkan dengan teknik ini akan didapatkan katalis dengan material yang lebih murah tetapi dengan keaktifan yang lebih tinggi dalam proses katalisis.

Pada tugas akhir ini akan didemonstrasikan penerapan non-thermal plasma untuk meningkatkan keefektifan katalis tembaga dalam mereduksi emisi NO_x motor disel. Emisi NO_x merupakan fokus dari penelitian yang dilakukan oleh penulis, hal ini dikarenakan emisi yang lebih dominan dihasilkan oleh motor disel adalah emisi NO_x jika dibandingkan dengan emisi HC dan CO. Katalis tembaga diambil karena dari penelusuran penelitian sebelumnya belum ada yang mencoba selain itu juga karena harganya yang murah dan mudah didapat.

1.2. Perumusan Masalah.

1.2.1. Permasalahan.

Pada tugas akhir ini inti dari permasalahan yang akan diselesaikan adalah seberapa besar efektifitas katalis tembaga dalam mereduksi emisi NO_x dapat

ditingkatkan jika dikombinasikan dengan penggunaan non-thermal plasma. Untuk menyelesaikan permasalahan tersebut maka perlu dibuat sebuah prototype katalis-non thermal plasma untuk selanjutnya dilakukan pengujian prototype untuk mereduksi emisi NOx pada sebuah motor disel.

1.2.2. Batasan Masalah.

Karena terlalu banyak permasalahan dan begitu kompleksnya fenomena yang terjadi pada berbagai proses pembakaran dan banyaknya variable serta parameter kondisi operasi yang berpengaruh terhadap emisi NOx, maka untuk membatasi pembahasan agar tidak meluas dan untuk mempermudah tercapainya tujuan pengerjaan tugas ahir ini serta dengan mempertimbangkan tersedianya waktu dan dana yang terbatas maka perlu dibuat batasan pembahasan masalah sebagai berikut :

1. Tidak membahas reaksi kimia yang terjadi baik pada proses pembakaran mesin disel maupun proses reaksi yang terjadi pada prototype secara mendetail.
2. Parameter pengujian hanya difokuskan pada kandungan emisi gas NOx pada gas buang motor disel.
3. Titik berat pengerjaan tugas ahir dititikberatkan pada pengujian efektifitas katalis tembaga jika dikombinasikan dengan non-thermal plasma generator untuk mereduksi emisi NOx pada gas buang motor disel.
4. Bahan bakar yang digunakan pada motor disel uji adalah solar produksi Pertamina yang tersedia di pasaran.

5. Analisa terhadap hasil pengujian ditujukan untuk membandingkan kuantitas emisi NOx yang dapat direduksi oleh katalis tembaga dan kuantitas emisi NOx yang dapat direduksi jika menggunakan kombinasi katalis tembaga dengan non-thermal plasma treatment.

1.3. Tujuan Penulisan.

Tujuan yang ingin dicapai dalam pengerjaan tugas ahir ini adalah sebagai berikut :

1. Membuat prototip kombinasi katalis tembaga dengan reactor non-thermal plasma.
2. Mengetahui seberapa besar keefektifan katalis tembaga dapat ditingkatkan jika dikombinasikan dengan perlakuan non-thermal plasma.

1.4. Manfaat Tugas Ahir.

Dari pengerjaan tugas ahir ini diharapkan akan dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Memperkenalkan teknologi non-thermal plasma yang relative masih baru dalam mereduksi emisi NOx pada motor disel.
2. Kontribusi yang diberikan terhadap pengembangan teknologi plasma dalam peranannya untuk mereduksi emisi NOx motor disel.
3. Masyarakat pemerhati lingkungan dan para peneliti yang berkompeten akan menjadi tertarik untuk mengembangkan teknologi plasma untuk meminimalisasi emisi dari motor disel.

BAB II
PAPER REVIEW

BAB II

PAPER REVIEW

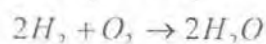
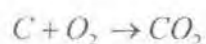
Pada bab ini akan disampaikan dua buah sub bab yaitu tinjauan pustaka dan dasar teori. Sub bab tinjauan pustaka berisi tentang penelusuran referensi yang berkaitan dengan masalah yang diangkat dalam tugas akhir ini, sedangkan sub bab dasar teori akan menguraikan mengenai desain dari prototip yang dibuat pada tugas akhir ini.

2.1. Tinjauan Pustaka.

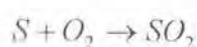
2.1.1. Emisi Gas Buang Motor Diesel.

Produk pembakaran yang tidak diinginkan seperti karbon monoksida (CO) dan hidrokarbon dihasilkan dari reaksi pembakaran bahan bakar yang tidak sempurna (Esi, 1999).. Pembakaran pada dasarnya merupakan suatu proses oksidasi dari materi yang dapat terbakar yang menghasilkan panas dan menyisakan gas buang. Pembakaran dikatakan sempurna jika semua materi yang dapat terbakar yang terkandung di dalam bahan bakar teroksidasi sempurna.

Pembakaran sempurna antara karbon dan hydrogen di udara akan menghasilkan karbon dioksida (CO₂) dan uap air (H₂O).



Jika ada unsur sulfur dalam bahan bakar maka akan menghasilkan oksida sulfur dimana reaksi pembentukanya sbb. :

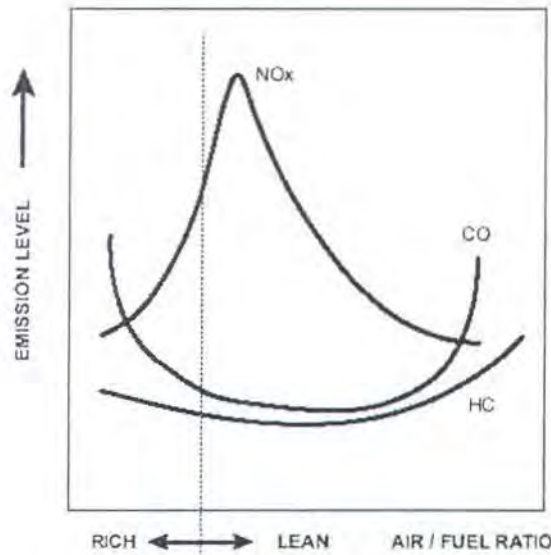


Emisi gas buang yang dihasilkan oleh motor disel meliputi *hydrocarbon* (HC), *carbon monoksida* (CO), *nitrous oxides* (NO_x), dan material partikel. Campuran beracun seperti *polyaromatic hydrocarbons* (PAH), juga ditemukan pada gas buang motor disel.

Dibandingkan dengan motor bensin, gas buang motor disel tidak banyak mengandung CO dan HC, disamping itu konsentrasi NO₂ sangat rendah jika dibandingkan NO. Jadi bisa dikatakan komponen utama gas buang motor disel yang membahayakan adalah NO dan asap hitam (**Lubis, 2003**).

Oksidasi sempurna dari bahan bakar hidrokarbon akan menghasilkan pembentukan karbon dioksida dan air, CO₂ tidak dianggap sebagai polutan, kecuali jika terjadi penambahan konsentrasi karbon dioksida di atmosfer yang akan menimbulkan efek rumah kaca (**Thevenin, 2002**). Masalah utama yang berkaitan dengan emisi yang berasal dari gas buang motor bakar dalam adalah difokuskan pada karbon monoksida (CO), hidrokarbon (HC), dan nitrogen oksida (NO_x) (**Thevenin, 2002**). CO adalah polutan yang beracun pada konsentrasi yang signifikan, hidrokarbon merupakan polutan yang potensial berpengaruh pada terjadinya efek rumah kaca, sedang NO_x memberikan dampak yang membahayakan terhadap makhluk hidup dan lingkungan.

Level emisi yang dihasilkan oleh motor bakar dalam dapat digambarkan dalam grafik berikut yang merupakan fungsi dari *air fuel ratio* (A/F ratio) (**Thevenin, 2002**) :



Grafik 2.1. Level emisi v.s. A/F ratio.

Strategi desain motor diesel untuk meminimalkan pembentukan materi partikel dalam silinder akan menaikkan emisi Nox (**Esi, 1999**)., karena strategi tersebut akan menjadikan pembakaran semakin sempurna dan konsekuensinya mengakibatkan temperature di dalam silinder semakin tinggi. Pembentukan NOx hanya tergantung pada dua faktor yaitu tersedianya oksigen dan temperatur (**Esi, 1999**). Hal ini merupakan sebuah dilema dalam mendesain sebuah motor diesel untuk mendapatkan level emisi materi patikel dan emisi NOx yang rendah.

Carbon monoxide (CO).

Karbon monoksida hanya dihasilkan dari gas buang motor. Ia dihasilkan dari proses pembakaran yang tidak sempurna yang disebabkan jumlah udara yang tidak mencukupi dalam campuran *air-fuel* atau waktu yang tidak cukup panjang dalam siklus untuk terjadinya pembakaran yang sempurna (**Mathur, 1980**).

Karbon monoksida dapat mengurangi kadar oksigen dalam darah (*chronic anoxia*), mengganggu hati dan otak, melemahkan persepsi, *asphyxiation* (Mirmanto dkk, 1999).

Hydrocarbon (HC).

Pola emisi hidrokarbon berhubungan erat dengan masalah desain dan variabel operasi (Mathur, 1980). Dua variabel yang penting dalam desain adalah desain sistem induksi dan desain ruang pembakaran (*combustion chamber*), sedangkan variabel operasi utama meliputi rasio udara-bahan bakar (*air-fuel ratio*), kecepatan, beban dan mode operasi.

Hidrokarbon dapat menyebabkan iritasi pada mata, batuk, rasa mengantuk, bercak kulit, perubahan kode genetik (Mirmanto dkk, 1999).

Nitrogen Oksida (NO_x).

Nitrogen oksida yang dihasilkan pada gas buang motor adalah kombinasi dari nitrogen monoksida (NO) dan karbon dioksida (NO₂). Nitrogen dan oksigen bereaksi pada temperatur yang tinggi, oleh karena itu ketersediaan oksigen dan temperatur yang tinggi merupakan dua alasan utama pembentukan emisi NO_x (Mathur, 1980). Dengan keberadaan oksigen dan semakin tingginya temperatur pembakaran maka semakin banyak NO_x terbentuk.

NO₂ dapat menyebabkan iritasi mata dan nasal, sakit saluran napas, berbahaya pada paru-paru, menurunkan fungsi pulmonary dan menyebabkan hati kanker setelah konsentrasinya (menurut WHO) 40 g/m³ (432%)/1 jam.

NO dapat melemahkan system pertahanan tubuh, *bronchitis*, *pneumonia*, dll (Mirmanto, 1999).

Particulate Matter .

Campuran organik dan non-organik dari molekul yang lebih berat dikeluarkan dengan ukuran yang sangat kecil 0.02 – 0.06 mikron. Kurang lebih 70% sisa pembakaran dikeluarkan dalam bentuk ini ke atmosfer dan sebagian menjadi kerak pada bagian mesin.

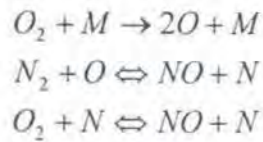
2.1.2. Pembentukan Emisi NO_x.

Untuk mengerti dan mengapresiasi perbedaan teknologi untuk mereduksi emisi NO_x, mekanisme pembentukan NO_x harus dimengerti terlebih dahulu. Nitrogen oksida dari sumber pembakaran secara kolektif diistilahkan sebagai NO_x, terdiri dari 95% NO dan 5% NO₂ (Thevenin, 2002). Oksida-oksida ini terbentuk dari dua macam sumber, pertama berasal dari oksidasi nitrogen dalam udara selama pembakaran dan yang kedua oksidasi kandungan nitrogen pada bahan bakar (Thevenin, 2002).

Pembentukan NO_x dapat terjadi dengan empat macam mekanisme (Thevenin, 2002), yaitu :

Mekanisme Zeldovich untuk pembentukan thermal NO_x.

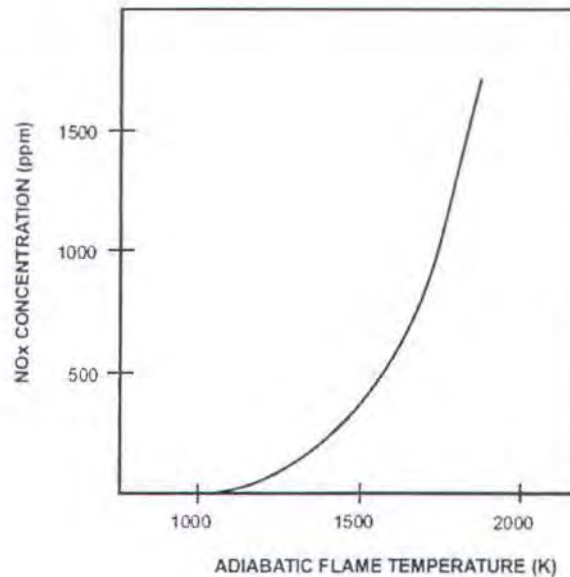
Thermal NO_x terbentuk oleh rantai radikal seperti berikut dan diistilahkan juga sebagai mekanisme Zeldovich.



M dapat berupa molekul, seperti radikal atau permukaan yang dapat berfungsi sebagai agen perpindahan energi (*transfer energy agen*). Kombinasi dari terjadinya reaksi-reaksi tersebut diatas diistilahkan sebagai pengembangan mekanisme Zeldovich (*extended Zeldovich mechanism*). Konsentrasi NO_x bertambah secara eksponensial terhadap temperatur, tidak bergantung kepada konsintrasi O.

Pada diagram berikut dapat dilihat bahwa pada temperature pembakaran sebesar 1800 K atau lebih besar, konsentrasi NO_x ekuilibrium melebihi 1500 ppm (Thevenin, 2002). Jumlah NO yang besar mungkin terbentuk juga pada temperature 1500 K, bagaimanapun juga pada temperatur ini, waktu yang dibutuhkan untuk mencapai ekuilibrium $N + O \rightleftharpoons NO$ cukup panjang.

Usaha untuk mereduksi emisi NO_x jenis ini dapat dilakukan dengan menurunkan adiabatic flame temperature sampai 300 atau 400 K (Thevenin, 2002), dimana pada kondisi ini konsentrasi NO_x sangat rendah sehingga mungkin dapat diabaikan dengan tanpa adanya treatment tambahan untuk mengeliminasi.



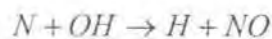
Grafik 2.2. Konsentrasi NOx v.s. Temperature Pembakaran.

Mekanisme prompt NOx.

Mekanisme kedua pembentukan NOx pada proses pembakaran adalah melalui mekanisme prompt NOx. Hydrocarbon radical dapat bereaksi dengan molekul nitrogen untuk membentuk hydrogen sianida dan atom nitrogen.



Atom nitrogen ini bereaksi dengan kelompok hidroksyl atau radikal-radikal dalam pembakaran untuk membentuk NO dan atom hydrogen.

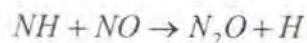
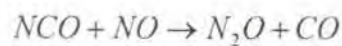


Mekanisme ini menjadi semakin menguat ketika kondisi operasi pada keadaan bahan bakar yang tinggi (*rich mixture*) **Thevenin, 2002**). Kualitas bahan bakar yang diinjeksikan akan berperan penting terhadap pembentukan prompt NOx. Tidak seperti Thermal NOx, temperature ambang untuk pembentukan prompt NOx dibawah 1600 K. Satu-satunya solusi untuk meminimalkan pembentukan prompt NOx adalah dengan menghindari terjadinya sisa

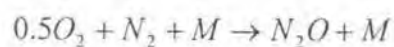
hydrocarbon radikal, hal ini berarti bahwa pembakaran harus terjadi secara sempurna. Untuk mencapai hal ini dapat digunakan *catalytic combustion* (Thevenin, 2002).

Mekanisme Nitrous Oxide.

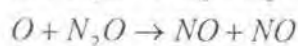
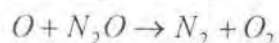
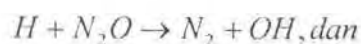
Reaksi fase gas yang menyebabkan pembentukan N_2O pada bahan bakar fosil adalah sbb :



Pada pembakaran gas alam, penambahan utama dikontribusikan oleh interaksi antara molekul nitrogen dan oksigen yang ada pada campuran bahan bakar lean pada temperatur rendah.



langkah utama untuk membuang N_2O adalah melalui reaksi-reaksi berikut :



Untuk temperature diatas 1500 K, lifetime N_2O lebih kecil dari 10 ms. Oleh karena itulah, kecuali untuk temperatur pembakaran yang rendah, pembentukan nitrous oxide tidak begitu signifikan (Thevenin, 2002).

Mekanisme fuel NOx.

Nitrogen yang terkandung dalam bahan bakar pertama-tama dikonversikan menjadi hydrogen sianida, kemudian bereaksi dengan spesies NH_x

misalnya ammonia yang pada akhirnya akan terbentuk NO dan N₂. Proses ini hanya bergantung pada kandungan N yang terkandung dalam campuran bahan bakar



Salah satu penyelesaian untuk menghindari terbentuknya NO_x adalah melalui *hydro-denitrogenation* pada bahan bakar. Alternatif penyelesaian yang kedua adalah dengan penggunaan bahan bakar yang kandungan nitrogennya rendah (Thevenin, 2002).

Untuk bahan bakar yang tidak mempunyai kandungan sulfur, maka hanya tiga mekanisme pertama yang terjadi.

2.1.3. Review Teknologi Pengontrolan Emisi NO_x motor disel.

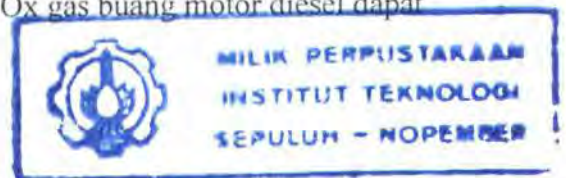
Teknologi untuk mengurangi emisi NO_x gas buang motor diesel dapat dibagi dalam 3 kelompok utama, yaitu :

1. *Fuel modifications.*

Yang termasuk dalam teknologi ini contohnya *Sinthetic Diesel* (DDC Engine, Caterpillar), *Water diesel Emulsions* (Caterpillar, City of Houston, Sacramento County Landfill), *Dimethyl Ether* (Navistar Truck Engine, Penn State Shuttle Bus), *Natural Gas* (Cummins/Westport), Diesel/Electric Hybrid (Oshkose Propulse, New York Metropolitan Transit Authority) (Melanie L).

2. *Engine design modifications.*

Yang termasuk dalam katagori ini misalnya *water injection* (California State University Lab Tests), *Injection Timing Retard* (Tullis, On-road test Under



EPA Urban Bus Retrofit Program), EGR (Caterpillar), *Changing Engine Cycle* (Rotec Freedom Air) **(Melanie L).**

3. *After-treatment technologies*

Yang termasuk dalam teknologi aftertreatment contohnya adalah *lean Nox catalyst* (Caterpillar 3116 engine, Ceryx Quadcat), SCR (Johnson Matthey, Siemes Automotive, Clean Diesel Technologies/RJM), *Nox Adsorbers* (US Department Energy, Engine Manufacturers Association), *Non-thermal Plasma* (Delphi Automotive System, Caterpillar) **(Melanie L).**

Non-thermal Plasma.

Plasma adalah gas yang terdiri dari elektron bebas, ion-ion, atom-atom, dan molekul-molekul pada berbagai variasi state eksitasi. Reaktor *non-thermal plasma* menghasilkan elektron berenergi yang akan menumbuk molekul-molekul gas sehingga menghasilkan *radical* yang secara kimia akan bereaksi dengan polutan membentuk gas yang tidak membahayakan. Plasma jika sendirian tidak bisa digunakan untuk mereduksi emisi NO_x, oleh karenanya ia harus dikombinasikan dengan katalis yang mampu mereduksi emisi Nox **(Panov et al.).**

2.1.4. Catalytic Converter.

2.1.4.1. *Komponen Catalytic Converter.*

Catalytic converter terdiri atas substrat yang memberikan kekuatan pada struktur dan kestabilan, *washcoat* yang menyediakan lapisan permukaan yang luas, dan *active phase* yang memungkinkan terjadinya reaksi heterogen. Proses

katalisis terjadi pada permukaan katalis, oleh karena itulah permukaan katalis dibuat seluas-luasnya untuk menyediakan tempat berlangsungnya reaksi.

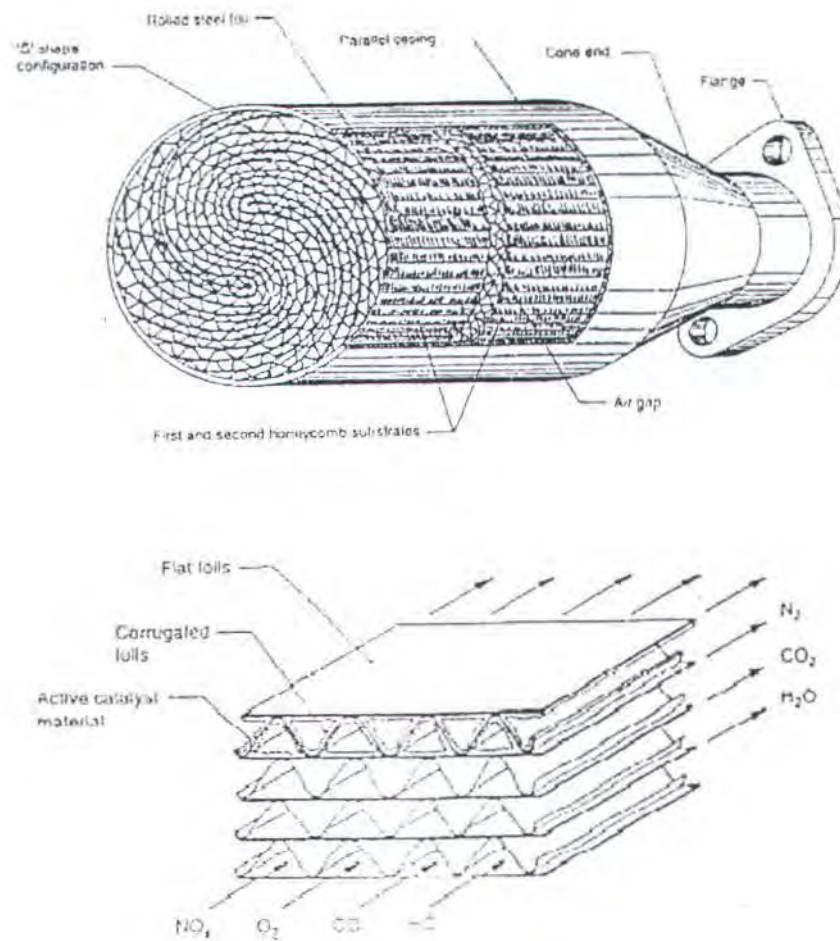
❖ Substrat.

Pada dasarnya, material substrat dapat berupa *metallic* atau *ceramic*. Monolith keramik mempunyai kelemahan yaitu rentanya terjadi keretakan pada temperature yang tinggi ataupun kejutan termal serta konduktivitas panas yang jelek. Monolith metal mempunyai kekuatan struktur yang lebih baik daripada keramik pada temperature yang tinggi dan mempunyai konduktifitas termal yang tinggi sehingga terjadinya *hot spot* dapat dihindari dan mempunyai temperature yang lebih merata (Mirmanto, 1999).

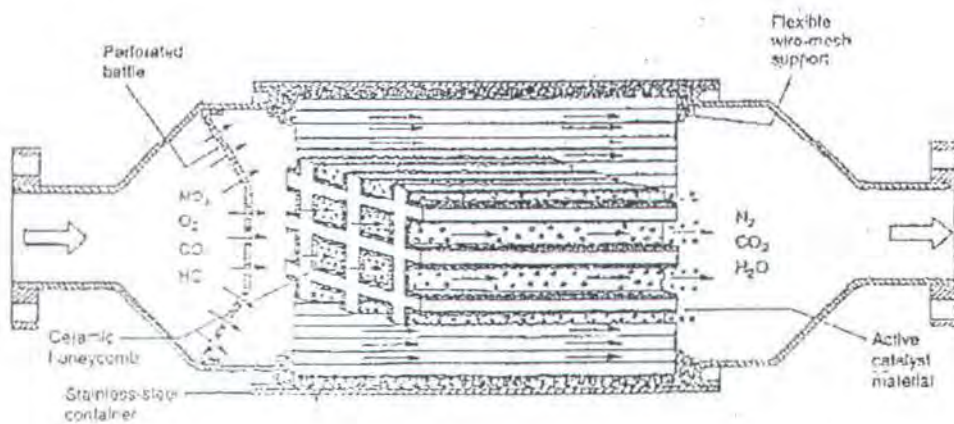
Berdasarkan konstruksinya catalytic converter dapat dibedakan menjadi beberapa macam sbb. :

Monolith honeycomb.

Catalytic jenis ini mempunyai bentuk seperti sarang tawon dimana ribuan saluran sejajar dipasang secara rapi dan merupakan tempat mengalirnya gas buang. Catalytic jenis metalic honeycomb mempunyai substrat yang terbuat dari logam yang dilapisi dengan washcoat. Catalytic jenis ini mempunyai kekuatan lebih baik dibandingkan dengan *ceramic honeycomb* tetapi harganya lebih mahal.



Gambar 2.1. *Metalic Honeycomb Catalytic Converter.*



Gambar 2.2. *Ceramic Honeycomb Catalytic Converter.*

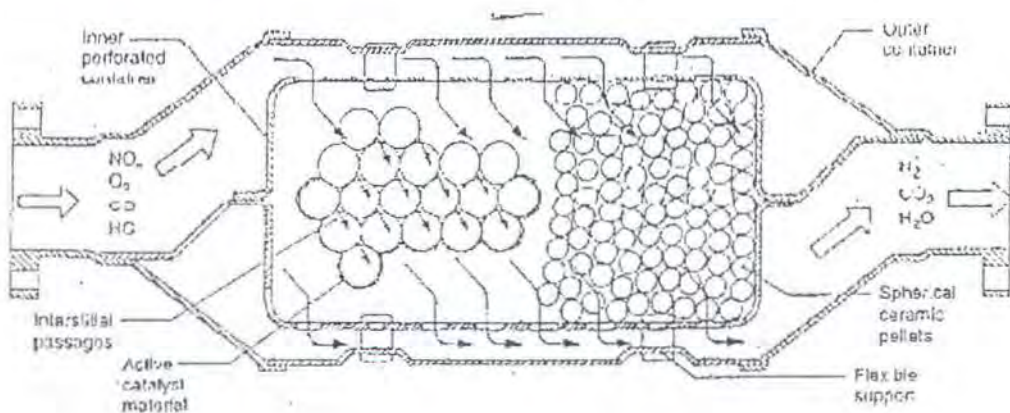
Untuk aliran gas yang tinggi maka *catalyst bed* tipe monolith honeycomb merupakan desain yang cocok karena mempunyai drop tekanan yang rendah (Thevenin, 2002), konstruksi detailnya seperti ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 2.3. Konstruksi Monolith Catalytic Converter.

Ceramics Pellets.

Catalytic converter jenis ini tersusun atas lapisan keramik seperti *magnesium-aluminium silicate*. Lapisan keramik ini (alumina) mempunyai ketahanan terhadap abrasi dan temperatur yang tinggi (Mirmanto, 1999).



Gambar 2.4. Ceramic Pellets Catalytic Converter.

❖ *Washcoat.*

Substrat monolith biasanya mempunyai permukaan yang terbatas sehingga kurang cocok untuk dilapisi dengan lapisan aktif metal. Untuk menambah luas permukaan substrat maka substrat dilapisi dengan menggunakan *washcoat*. *Washcoat* disamping memiliki permukaan yang luas, juga mempunyai dispersi logam mulia atau partikel metal oxide, biasanya digunakan alumina sebagai material washcoat (Thevenin, 2002).

Secara umum, aktifitas oksidasi yang tinggi membutuhkan ion logam dengan valensi yang bervariasi dan reaksi redox. Campuran oksida binary dan ternary masih memiliki keaktifan yang lebih tinggi daripada oksida single. Secara umum, oksida Cu, Cr, Mn, Fe, Co, dan Ni adalah kandidat yang menjanjikan (Thevenin, 2002)..

2.1.4.2. *Tipe-tipe catalityc converter.*

Terdapat empat tipe catalityc converter yang sekarang populer, yaitu :

Catalityc Converter Oksidasi.

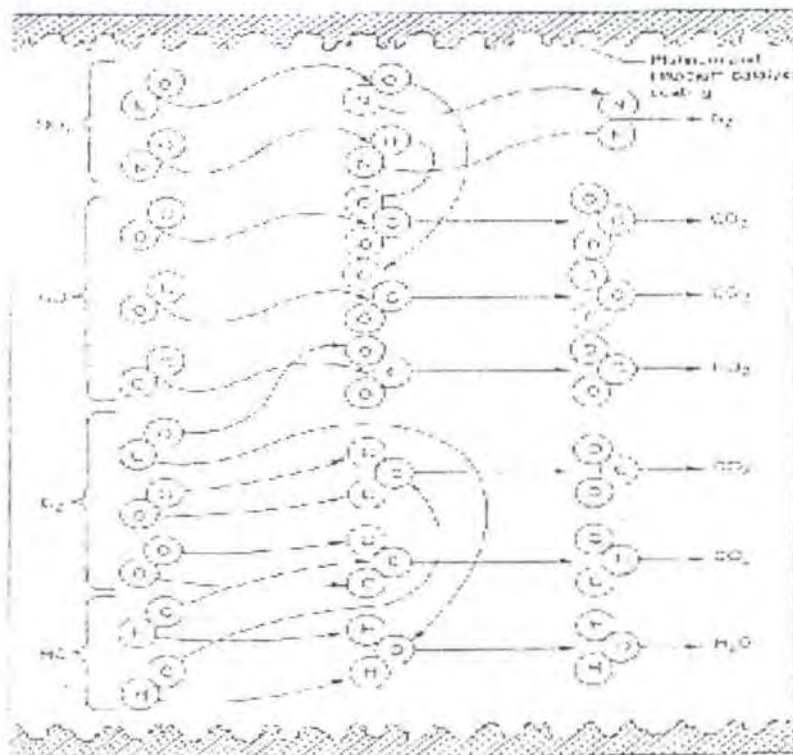
Catalityc converter ini pada dasarnya mampu mengubah HC dan CO menjadi H_2O dan CO_2 . *Catalityc* jenis ini beroperasi pada keadaan udara berlebih (*excess air setting*). Udara berlebih yang digunakan pada proses oksidasi dapat diperoleh melalui pengaturan campuran miskin (*lean mixture setting*) atau system injeksi udara sekunder. *Catalityc* ini banyak digunakan pada motor disel karena kemampuannya mengoksidasi zat-zat pertikel dengan mudah (Mirmanto, 1999).

Catalytic converter Denox (lean burn).

System ini mempunyai prinsip hampir sama dengan catalytic converter three-way tapi NOx yang ada diubah pada kondisi udara berlebih. Catalytic jenis ini mempunyai efisiensi perubahan NOx mencapai 50% (Mirmanto, 1999).

Catalytic Converter Three-way.

System ini dirancang untuk mengurangi gas-gas polutan seperti HC, CO dan NOx yang keluar dari system gas buang dengan cara mengubahnya melalui reaksi kimia menjadi CO₂, uap air H₂O, dan nitrogen N₂ (Mirmanto, 1999).. Katalis jenis ini lebih banyak digunakan pada motor bensin karena gas buangnya mempunyai kandungan HC dan CO yang relatif lebih banyak.



Gambar 2.5. Proses Reaksi pada Catalytic Converter Three-way.

2.1.5. Katalisis.

Katalis adalah suatu zat yang dapat mempercepat laju suatu reaksi kimia tanpa adanya perubahan sifat secara signifikan dari katalis. Secara umum katalis hanya mengubah laju suatu reaksi tetapi tidak mempengaruhi kesetimbangan reaksi. Ada dua tipe katalis, yaitu :

Katalis Homogen (katalis pada fase yang sama).

Katalis mengacu pada proses dengan sedikitnya satu reaktan dalam larutan yang bersifat sebagai katalis. Sebagai contoh kehomogenan katalis adalah proses industri oxo untuk membuat iso butyl aldehyd normal. Reaktan terdiri dari propylene, karbon monoxide, dan hydrogen sedangkan kobalt kompleks fase cair sebagai katalisnya.

Katalis Heterogen (katalis pada fase berbeda, biasanya gas pada solid).

Katalis ini terdiri lebih dari satu fase, umumnya fase katalisnya adalah padat sedangkan reaktan dan produk adalah fase cair dan gas.

Karakteristik dan sifat-sifat dari katalis adalah sbb. :

1. Tidak terjadi perubahan dalam masa dan komposisi kimia secara signifikan pada akhir dari suatu reaksi.
2. Secara umum, dibutuhkan sejumlah kecil katalis untuk menghasilkan reaksi yang hampir tidak terbatas.
3. Katalis bekerja atau bereaksi secara spesifik.
4. Pada umumnya katalis tidak dapat memulai suatu reaksi.

5. Katalis tidak mempengaruhi posisi akhir dari kesetimbangan , akan tetapi memperpendek waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kesetimbangan.
6. Perubahan temperature dapat mengubah laju dari reaksi katalitik.

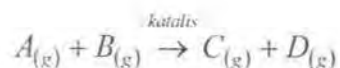
2.1.5.1. Energi Aktivasi dan Katalisis.

Pada teori tumbukan, reaksi terjadi dengan cara tumbukan antara molekul atau ion dari reaktan. Pada temperature biasa, molekul tidak cukup memiliki energi dan oleh karenanya tumbukan yang terjadi tidak efektif. Akan tetapi, bila temperature dari system naik, energi kinetic dari molekul naik. Hal ini akan menurunkan energi aktivasi. Energi aktivasi adalah sejumlah energi minimum yang dibutuhkan untuk terjadinya reaksi kimia. Katalis akan menurunkan energi aktivasi dari reaksi dengan menyediakan jalan baru.

2.1.5.2. Teori Katalisis.

Secara garis besar dapat dijelaskan dua teori katalisis, yaitu :

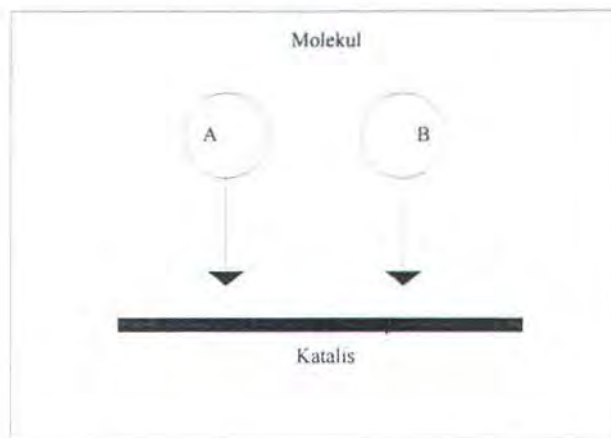
- Intermediate compound formation theory (homogeneous).
- The Adsorption Theory (heterogeneous), yaitu reaksi dua gas pada solid katalis.



Terdapat empat tahapan pada teori ini, yaitu :

- a. Adsorpsi dari molekul reaktan.

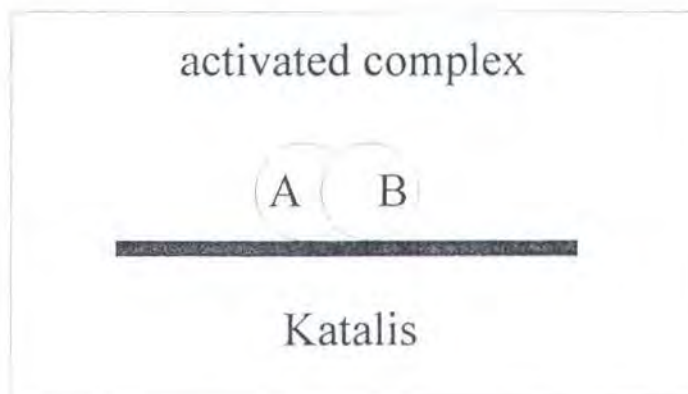
Molekul A dan B menumbuk permukaan katalis dan ditahan pada permukaan,



Gambar 2.6. Adsorpsi dari molekul reaktan.

- b. Pembentukan complex aktif.

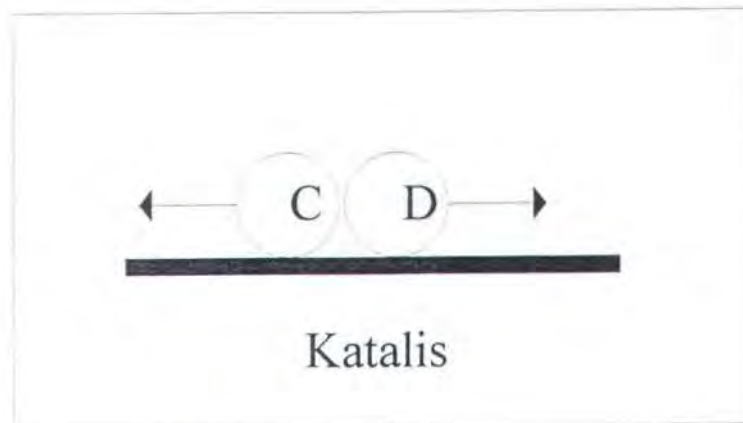
Partikel yang berdekatan saah satu bergabung membentuk intermediate complex (A-B). dimana activated compex tidak stabil itu hanya berlangsung pada keadaan yang singkat.



Gambar 2.7. Pembentukan Complex Aktif.

- c. Dekomposisi kompleks aktif.

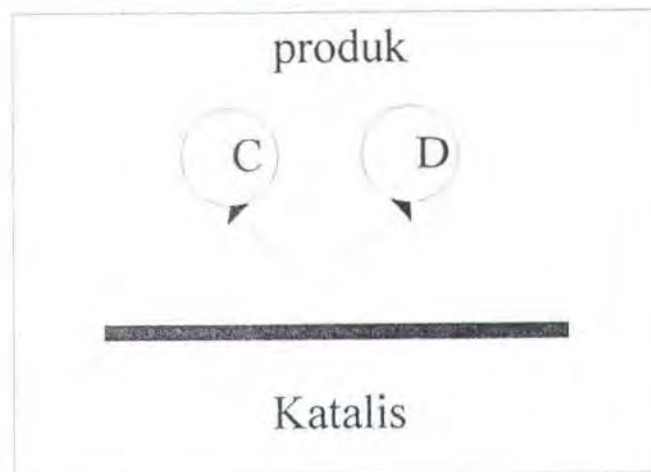
Activated compex pecah membentuk produk C dan D. partikel yang dipisahkan dari produk ditahan pada permukaan katalis dengan ikatan kimia parsial.



Gambar 2.8. Dekomposisi Komplek Aktif.

d. Pruduk desorpsion.

Partikel produk dilepaskan dari permukaan katalis.



Gambar 2.9. Produk Desorption.

2.1.5.3. Mekanisme Katalisis.

Proses katalisis heterogen terdiri lebih dari satu fase, yang mana umumnya fase katalisnya adalah padat sedangkan reaktan dan produk adalah fase cair atau gas. Ketika reaksi katalis heterogen terjadi, beberapa proses fisika dan proses kimia harus mendapat tempat dalam urutan yang tepat.

Holigen dan **Watson** dan yang lainnya telah menemukan tahapan-tahapan yang terjadi pada skala molekuler dalam cara-cara berikut ini :

1. Transfer massa reaktan dari bagian utama fluida ke permukaan luar yang kasar dari partikel katalis.
2. Difusi molekul dan /atau aliran Knudsen reaktan dari permukaan luar partikel ke struktur pori bagian dalam.
3. Penyerapan kimia dari sekurang-kurangnya satu reaktan pada permukaan katalis.
4. Reaksi pada permukaan, yang mana dapat meliputi beberapa tahap reaksi.
5. Desorpsi (secara kimia) spesies teradsorpsi dari permukaan katalis.
6. Transfer produk dari pori-pori katalis dibagian dalam ke permukaan luar yang kasar dari katalis oleh difusi molekul normal dan/atau difusi Knudsen.
7. Transfer massa produk dari permukaan bagian luar partikel ke bagian terbesar dari lapisan batas fluida.

2.1.6. Plasma.

2.1.6.1. Pengertian Plasma.

Kita mempelajari tentang materi di bangku sekolah dimana materi dibagi menjadi 3 kelompok utama, yaitu padat, cair, dan gas. Kita semua tidak asing dengan ketiga materi tersebut karena ketiganya merupakan komponen pembentuk planet yang kita tinggali, tubuh kita, dan semua yang dapat kita sentuh. Sebagian manusia merasa asing dengan apa yang diistilahkan dengan

“materi keempat”, yang dinamai plasma, dan biasanya kata plasma diasosiasikan dengan plasma darah sebuah istilah dalam biologi yang tidak ada kaitanya dengan materi fisik plasma.

Jika kita mempunyai sebuah materi yang dingin, atom-atom mikroskopisnya atau molekulnya terkunci secara kokoh pada tempat yang relative satu dengan lainnya dalam struktur yang teratur, dan materi ini disebut materi padat.

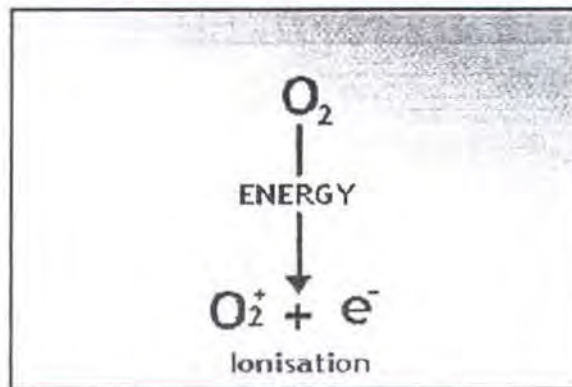
Jika kita memompakan energi ke materi tersebut, contohnya dengan memanaskanya atau dengan menyinarinya dengan intens cahaya, temperturnya akan meningkat dan atom-atomnya mulai bergerak, menggetarkan tempat struktur dimana atom tersebut berada. Dengan semakin bertambahnya energi maka gerakan atom akan semakin menguat sehingga cukup untuk memecahkan struktur atom dan mulai bergerak secara acak tetapi tetap berdekatan dengan atom lainnya. Materi padat melebur dan tingkatan materinya berubah menjadi materi cair.

Jika energi terus diberikan kemateri cair tersebut maka energi tersebut akan menyebabkan atom-atom bergerak menjauh satu dengan lainnya dengan tetap bergerak secara acak sehingga cairan tersebut menguap menjadi gas.

Pada ketiga tingkatan materi tersebut, atom-atom dan molekul-molekulnya secara elektrik bersifat netral dimana setiap atom mempunyai jumlah proton dan electron yang sama besarnya. Jika kita melanjutkan untuk menambahkan masukan energi ke dalam materi, maka pada batas ambang tertentu materi secara tiba-tiba akan mulai memancarkan cahaya. Pada saat

tersebut materi tersebut bukan lagi materi gas tetapi telah berubah tingkatan materinya menjadi materi plasma (materi keempat).

Yang terjadi adalah bahwa energi mengubah atom-atom dan molekul-molekul menjadi dua atau lebih atom yang bermuatan. Sebagai contoh jika sebuah elektron lepas dari orbitnya pada suatu atom netral maka akan terbentuk dua buah atom bermuatan yaitu elektron bebas dan ion positif yang merupakan atom yang kehilangan sebuah elektronnya.

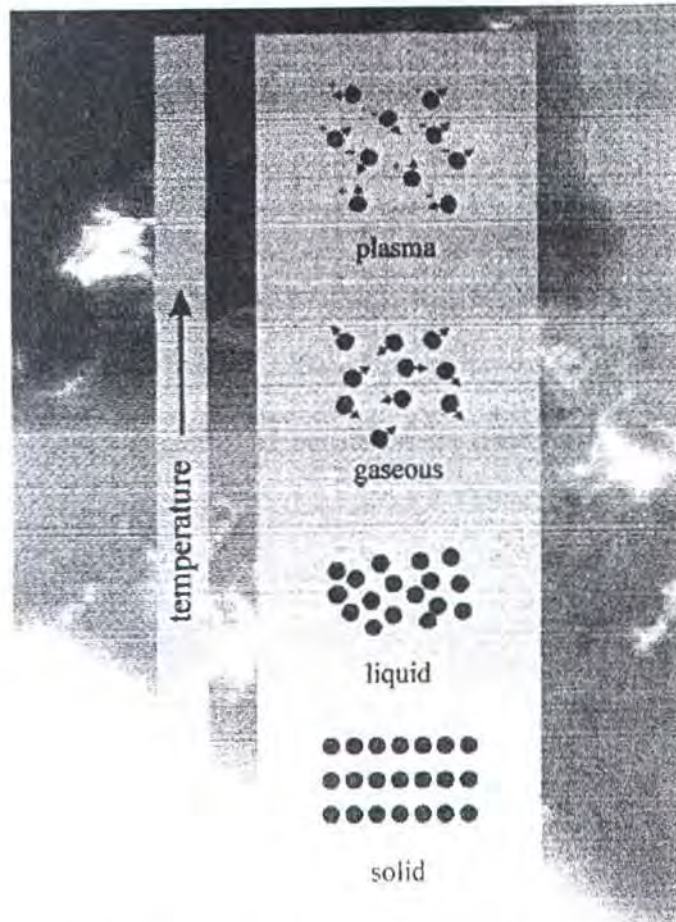


Gambar 2.10. Proses Pembentukan Atom dari Molekul.

Kondisi plasma yang terdiri atas komponen muatan listrik negatif dan positif yang bergerak bebas membuat plasma sering diistilahkan sebagai “gas yang terionisasi”. Plasma jika kerapatannya cukup maka atom-atom plasma dapat bergerak secara homogen dan plasma sangat responsive terhadap medan listrik dan medan magnet.

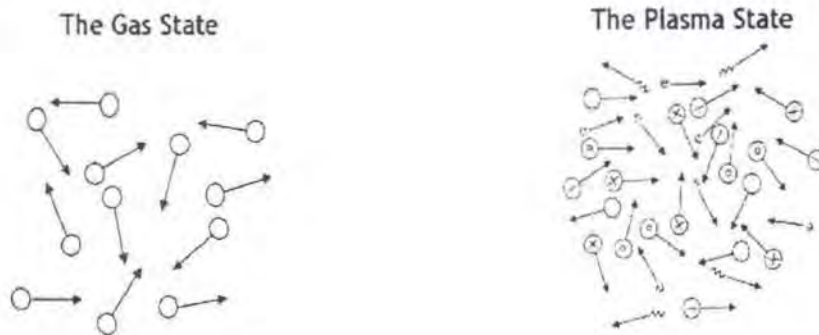
Pada level mikroskopis, plasma mempunyai spesies yang lebih kaya dan lebih bervariasi serta kompleks dibandingkan dengan state materi lainnya (padat, cair, gas). Plasma dapat terdiri atas ratusan spesies mikroskopis yang berbeda yang terbentuk karena adanya tumbukan antarkomponen pembentuk plasma, misalnya elektron bebas menumbuk atom atau molekul netral yang menghasilkan

berbagai ion yang berbeda, *chemically reactive radicals*, pecahan molekul (*molecular fragment*) yang kesemuanya bergerak dan berinteraksi dan akan memberikan pancaran cahaya yang menyebabkan plasma berpendar.



Gambar 2.11. Strktur dan Proses Pembentukan Plasma.

Plasma didefinisikan sebagai kumpulan dari ion, electron bebas, dan atom bebas (Sugiarto, 2002)



Gambar 2.12. Kondisi molekuler Gas dan Plasma.

2.1.6.2.Reaktor Plasma.

Dari sudut pandang kondisi fisiknya plasma dapat dibagi menjadi 2 macam, yaitu thermal plasma dan non-thermal plasma (**Slone**). Thermal plasma dibuat dengan memanaskan sistem dengan temperature lebih dari 2000°C (**Slone**). Kebutuhan temperatur yang sangat tinggi untuk membentuk plasma membuat thermal plasma tidak efisien dan membutuhkan pengaturan panas yang rumit dan hal ini dianggap tidak praktis untuk berbagai aplikasi, oleh karenanya non-thermal plasma menjadi lebih berkembang.

Pembuatan non-thermal plasma dilakukan dengan mengarahkan energi listrik untuk membentuk elektron bebas yang kemudian bereaksi dengan spesies gas membentuk plasma.

Contoh pembuatan plasma dengan energi listrik ini dapat dilakukan dengan menghadapkan dua buah elektrode di udara, seperti kita ketahui bahwa udara adalah isolator yaitu materi yang tidak dapat menghantarkan listrik. Namun, jika pada kedua electrode tersebut diberikan tegangan listrik yang cukup tinggi kurang lebih, lebih besar dari 10 kilovolt, sifat konduktor akan muncul pada udara tersebut, yang bersamaan dengan itu pula arus listrik akan mulai mengalir

(*electrical discharge*) dimana fenomena ini disebut sebagai *electrical breakdown*. Mengalirnya arus listrik menunjukkan akan adanya ionisasi yang mengakibatkan terbentuknya ion serta elektron pada udara diantara dua electrode tersebut. Semakin besar tegangan listrik yang diberikan pada elektrode maka akan semakin banyak jumlah ion dan electron yang terbentuk.

Aksi reaksi yang terjadi antara ion dan electron dalam jumlah yang banyak ini menimbulkan kondisi udara diantara dua electrode ini tidak netral, inilah yang disebut sebagai plasma atau lebih tepatnya *non-thermal plasma*. Non-thermal plasma sering disebut juga sebagai *non-equilibrium plasma*.

Salah satu teknik untuk menciptakan plasma adalah dengan menggunakan dielectric barrier discharge. *Dielectric barrier discharge* (DBD) atau sering hanya disebut *barrier discharge* atau *silent discharge* mempunyai aplikasi yang sangat luas dalam berbagai industri seperti pada industri produksi Ozone, yang digunakan untuk mentreatment air dan udara. Sekarang penggunaan DBD semakin melebar seperti pada laser CO₂, lampu excimer, atau panel display plasma seperti pada televisi. Pemrosesan seperti pengendalian polusi dengan menggunakan DBD merupakan hal yang menjanjikan untuk masa mendatang (Kogelschatz, 2000).

DBD dapat memproduksi non-thermal plasma pada kondisi tekanan atmosfer tanpa mengakibatkan adanya temperatur yang tinggi seperti yang terjadi pada *electrical arc*. Dengan DBD hal ini dapat dicapai dengan cara yang lebih sederhana dibandingkan dengan teknik yang lain seperti *low pressure discharge*, *fast pulsed high pressure discharge* atau *electron beam injection* (Kogelschatz,

2000). Fleksibilitas konfigurasi DBD yang berkaitan dengan bentuk geometris, media operasi, dan parameter operasi merupakan keunggulan dari DBD.

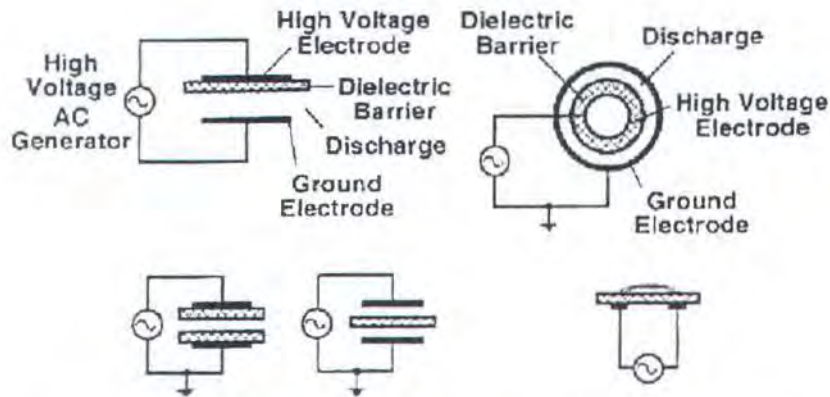


Fig. 1 Different DBD configurations (reproduced from ref. 3).

Gambar 2.13. Konstruksi Dielektrik Barrier Discharge.

Kunci utama pada DBD sehingga DBD dapat berfungsi dengan baik adalah keberadaan dielectric pada *discharge gap* yang mempunyai dua fungsi utama pada system, yaitu ketika terjadi *breakdown* ia akan mengarahkan aliran arus listrik melewati discharge gap dan mendistribusikan discharge ke seluruh permukaan elektrode (Kraus et-al, 2000)..

Karena DBD menggunakan energi listrik untuk membentuk plasma, maka plasma yang dihasilkan merupakan *non-thermal plasma*, yang berarti bahwa elektron panas dihasilkan pada *discharge*. Elektron-elektron panas tersebut akan mengakibatkan terjadinya reaksi kimia pada plasma sementara temperatur partikel yang lebih berat (molekul, atom dan ion) tetap pada temperatur rata-rata gas yang melewati *discharge gap*. Kelebihan ini dikombinasikan dengan kemampuan untuk melewati volume gas yang besar membuat DBD mempunyai daya tarik

tersendiri untuk dikombinasikan dengan katalis dimana pengaturan temperatur biasanya mempunyai peranan yang penting (Kraus et al, 2000).

2.1.6.3. Penerapan Non-thermal Plasma untuk Mengatasi Emisi Nox.

Penggunaan plasma untuk mengatasi polutan dari gas buang motor disel khususnya NOx adalah dengan mengombinasikanya dengan katalis untuk mereduksi NOx. Plasma terbentuk dari kumpulan elektron bebas, ion dan atom, aksi-reaksi pada ion dan electron dalam plasma seperti reaksi ionisasi, *excitasi*, dan *discociasi* dengan gas berlanjut dengan terbentuknya spesies aktif (ion, electron, molekul yang mudah bereaksi) yang memiliki sifat radikal sangat mudah bereaksi dengan senyawa-senyawa yang ada disekitarnya (Sugiarto, 2002). Spesies aktif yang terbentuk ini kemudian bereaksi dengan gas NOx yang mengubahnya menjadi senyawa yang lebih mudah tereduksi. Pada proses ionisasi, ikatan electron pada atom terlepas dari atomnya. Sebagai contoh ionisasi atom Argon dapat diekspresikan sbb. :

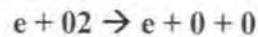


Transfer energi memungkinkan elektron untuk melompat ke tingkatan energi yang lebih tinggi dalam sebuah atom. Proses ini dikenal sebagai eksitasi. Tingkatan eksitasi dari sebuah atom secara konvensional ditunjukkan dengan sebuah tanda asterisk :

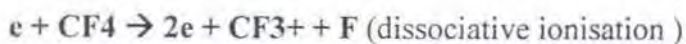


Selain itu proses yang dapat terjadi adalah disosiasi molekul. Jika oksigen, sebagai contoh, adalah gas yang diberi tegangan, molekul oksigen dapat

didisosiasi menjadi dua atom oksigen dimana gas monoatomik seperti argon tidak dapat didisosiasi.



Hasil dari disosiasi adalah semakin bertambahnya kemampuan bereaksi karena hasil yang diperoleh biasanya lebih reaktif daripada molekul asalnya. Disosiasi dapat terjadi dengan atau tanpa dibarengi oleh proses ionisasi (quorumtech.com), sebagai contoh:



Jika treatment plasma diterapkan pada gas buang motor diesel yang banyak mengandung oksigen dan ketiga reaksi tersebut terjadi pada gas buang tersebut maka spesies aktif yang terbentuk diantaranya adalah spesies radikal seperti atom O, atom N, dan jika ditambahkan komponen HC maka akan terbentuk HC radikal (**Panov et-al**). Karena aksi-reaksi yang terjadi tersebut maka gas buang setelah melewati reaktor plasma akan lebih banyak mengandung NO₂ daripada NO, dimana NO₂ akan lebih mudah diurai menjadi gas N₂ karena molekul NO₂ lebih mudah untuk direduksi (**Panov et-al**). Jadi peranan utama treatment plasma adalah dengan mengonversikan gas nitrogen monoksida (NO) menjadi gas nitrogen dioksida (NO₂) yang lebih mudah direduksi (**Panov et- al**). Sehingga diharapkan dengan komposisi NO_x yang lebih banyak mengandung NO₂ dibandingkan dengan NO maka akan lebih banyak NO_x yang dapat direduksi oleh katalis. Hal ini dirasa efektif karena NO_x yang diemisikan oleh motor

pembakaran dalam adalah gabungan dari nitrogen monoksida NO dan nitrogen dioksida NO₂ dimana 90% dari komposisi NO_x terdiri atas NO (Lubis, 2003).

2.2. Dasar Teori.

Brake specific NO_x (BS NO_x).

Jika kadar NO_x dalam satuan ppm dikonversi dalam satuan $\frac{gr}{kWh}$, maka cara perhitunganny sesuai rumusan dari SAE Handbook (SAE J1003) adlah sbb. :

$$BS\ NO_x \left(\frac{gr}{kWh} \right) = \frac{NO_x\ mass\ \left(\frac{gr}{kWh} \right)}{P(kW)}$$

$$NO_x\ mass\ \left(\frac{gr}{kWh} \right) = 0.092 \times NO_x\ con.\ (ppm) \times exh.\ mass\ \left(\frac{kg}{min} \right)$$

$$Exh.\ mass = air\ mass + fuel\ mass\ \left(\frac{kg}{min} \right)$$

$$Air\ mass = \frac{Ev.N.Vd.\rho_{udara}}{Z} \left(\frac{kg}{min} \right)$$

keterangan :

Mass exh. : Laju aliran massa gas buang $\left(\frac{kg}{min} \right)$.

Air mass : Laju aliran massa udara $\left(\frac{kg}{min} \right)$.

Fuel mass : Laju aliran massa bahan bakar.

Ev : Efisiensi volumetrik, asumsi 100%=1.

Vd : Volume displacement total (m³).

ρ_{udara} : 1.1614 kg/m³.

N : putaran motor (RPM)

Z : 2 untuk otor 4 tak, 1 untuk motor 2 tak.

Perhitungan Power Input pada Discharge.

Cara yang biasa dilakukan untuk menghitung daya adalah dengan melakukan pengukuran tegangan dan arus *discharge*, dan perhitungan daya dapat dilakukan menurut rumusan berikut (Kraus et al, 2000) :

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T U(t).I(t).dt$$

dengan mensubstitusikan $I(t) = \frac{dQ(t)}{dt}$ maka persamaan di atas menjadi :

$$P = \frac{1}{T} \oint U(Q).dQ = C_M \cdot f \oint U(U_C).dU_C$$

keterangan :

f : frekuensi

C_M : kapasitansi terukur.

$U_C = \frac{Q}{C_M}$; tegangan yang berkorespondensi terhadap C_M .

Perhitungan Medan Listrik pada Gap.

Medan listrik untuk *gas gap* dihitung menggunakan pembagian tegangan kapasitif pada reaktor DBD. Intensitas medan listrik untuk *gas gap* (E_{gas}) dapat dihitung dengan rumusan berikut (Kim et al, 2003) :

$$E_{gas} = \frac{\epsilon_r \cdot V_{app}}{\epsilon_r \cdot d + 2l}$$

keterangan :

ϵ_r : Permittifitas relative barrier

V_{app} : Nilai rms supplied voltage.

d : Jarak gas gap

t : Ketebelan barrier.

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

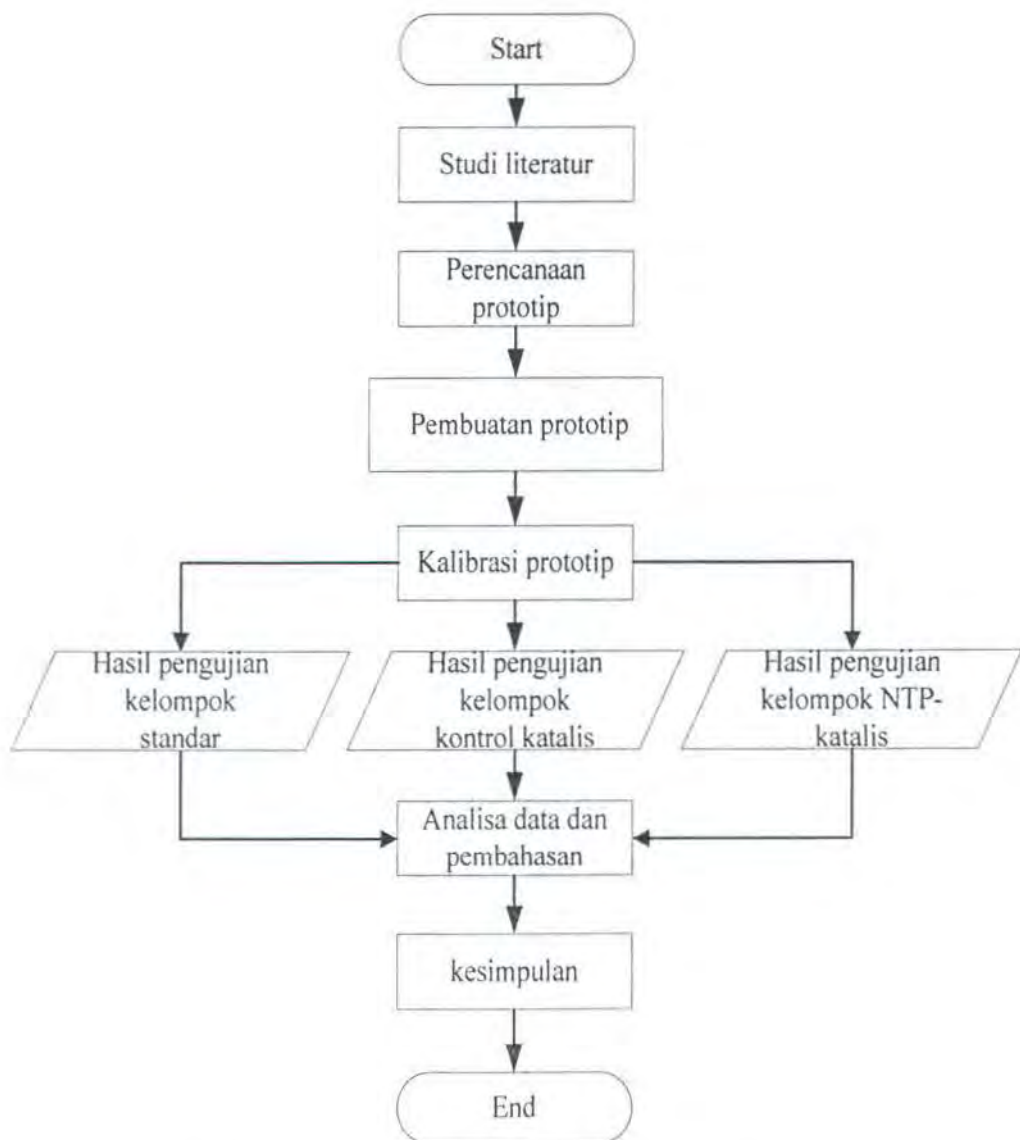
3.1. Metode.

Metode yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan dalam tugas akhir ini adalah dengan menggunakan eksperimen. Dari hasil eksperimen atau pengujian nantinya akan dilakukan perbandingan dari hasil pengujian emisi NO_x dengan pemberian katalis tembaga pada gas buang dan hasil pengujian emisi NO_x dengan perlakuan non-thermal plasma dan katalis tembaga pada gas buangnya.

Studi Literatur.

Cara ini dimaksudkan untuk memperoleh data/informasi serta berbagai rumusan yang diperlukan dengan menggunakan buku-buku dan sumber informasi lain yang berkaitan dengan tema penulisan tugas akhir. Studi literatur juga diperoleh dari berbagai informasi yang tersedia dari website yang didapat dengan browsing melalui internet.

Dengan adanya studi literature diharapkan dasar teori yang digunakan sebagai landasan dalam pengerjaan tugas akhir dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah.



Gambar 3.1. Flowchart pengerjaan tugas akhir.

Perencanaan Pembuatan Prototip.

Sebagai bagian dari persiapan pengujian maka akan direncanakan pembuatan prototip, dalam hal ini perencanaan prototip meliputi dua macam yaitu prototip reactor plasma dan prototip catalytic converter.

Perencanaan prototip meliputi penentuan spesifikasi bahan yang akan digunakan, penentuan dimensi serta proses pembuatan prototip. Hasil dari perencanaan prototip ini berupa spesifikasi bahan dan gambar rancangan prototip.

Pembuatan Prototip.

Setelah didapatkan gambar rancangan prototip serta spesifikasi bahan, maka selanjutnya dilakukan pengumpulan bahan dan dilanjutkan dengan proses pembuatan.

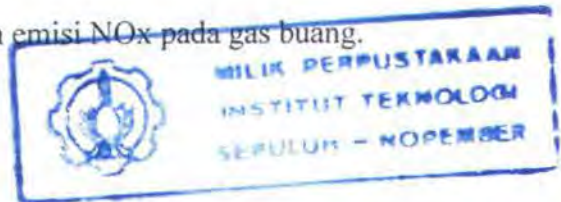
Engine Set-up.

Engine sebagai media kalibrasi (kalibrator) prototype harus terlebih dahulu dilakukan kalibrasi. Hasil kalibrasi akan menghasilkan data karakteristik engine yang mendukung dan menyatakan unjuk kerja (performance engine tersebut).

Pengujian Prototip.

Pengujian dilakukan pada emisi NO_x yang terkandung pada gas buang sebuah motor disel. Pengujian yang dilakukan meliputi tiga macam pengujian yaitu pengujian emisi NO_x pada kondisi standar, pengujian dengan kondisi gas buang ditreatment dengan *catalytic converter* tembaga (kontrol katalis), serta kondisi gas buang ditreatment dengan reaktor plasma yang dikombinasikan dengan *catalytic converter* (kontrol katalis dan NTP).

Dalam tugas akhir ini kondisi pengujian dilakukan dengan mode variasi beban motor dengan putaran yang konstan. Hal ini diambil dengan alasan bahwa titik berat pengujian adalah pengukuran emisi gas buang NOx, dimana NOx akan terpengaruh oleh temperatur motor sedangkan temperature akan dipengaruhi oleh besarnya beban motor. Sehingga dengan variasi beban ini maka konsentrasi NOx juga akan bervariasi sehingga trend konsentrasi NOx pada setiap pembebanan dapat dianalisa. Pada setiap kondisi pengujian gas buang akan divariasikan tiga variasi pembebanan motor disel pada setiap variasi putaran, putaran pada saat pengujian direncanakan sebanyak dua variasi. Parameter yang akan diambil sebagai data pengujian meliputi putaran motor disel, beban motor disel, temperature gas buang, serta kandungan emisi NOx pada gas buang.



Hasil Pengujian.

Data hasil pengujian yang diperoleh akan terbagi dalam tiga kelompok data sesuai dengan kondisi pengujian, yaitu data pengujian kelompok standar, kelompok kontrol katalis serta data pengujian kelompok katalis dengan NTP.

Data-data yang diperoleh meliputi putaran motor disel, beban motor disel, temperature gas buang, dan kandungan emisi NOx pada gas buang .

Analisa Data dan Pembahasan.

Data-data yang diperoleh dari pengujian akan direpresentasikan dalam bentuk grafik-grafik untuk memudahkan penganalisaan dan pembahasan serta untuk membaca trend yang terjadi. Selanjutnya data dari hasil ketiga kelompok

pengujian akan dibandingkan satu dengan lainnya dan dikaitkan pula dengan landasan teori yang ada sebagai bahasan hasil pengujian.

3.2. Persiapan.

Benda Uji.

Benda uji yang digunakan pada penelitian ini dikelompokkan menjadi tiga macam benda uji yaitu benda uji untuk kelompok standar, kelompok kontrol katalis dan benda uji untuk kelompok kontrol katalis dan non-thermal plasma.

Yang dipakai sebagai benda uji untuk kelompok standar adalah knalpot engine yang tidak diberi perlakuan apapun. Benda uji kelompok kontrol katalis adalah knalpot engine yang sudah dilengkapi dengan prototype katalis tembaga-NTP. Karena pada pengujian ini adalah pengujian kelompok control katalis maka reactor non-thermal plasma tidak diaktifkan, hal ini dilakukan dengan memutus suplai tegangan untuk reactor non-thermal plasma. Pada pengujian kelompok kontrol katalis-NTP, yang digunakan sebagai benda uji adalah knalpot engine yang sudah dipasang prototype katalis tembaga-NTP. Pada pengujian ini reaktor non-thermal plasma diaktifkan dengan menghubungkan suplai tegangan.

3.3. Peralatan Uji.

Peralatan uji yang digunakan pada penelitian ini dapat dibagi menjadi dua macam kelompok yaitu alat uji dan alat ukur.

Alat Uji.

Alat uji yang digunakan pada penelitian ini adalah motor diesel YANMAR TF 300 H-di yang terdapat di laboratorium Motor Bakar Dalam jurusan Teknik Sistem Perkapalan FTK – ITS Surabaya.

Spesifikasi mesin diesel yang dimaksud adalah sbb. :

ITEM	
Tipe mesin	YANMAR model TF 300 H-di
langkah	4 langkah
Jumlah silinder	1
Saat Pengabutan	21 ⁰ sebelum TMA
Volume silinder	1472 cc
Continous rating	26 HP pada 2200 RPM
Maximum rating	30 HP pada 2400 RPM
Perbandingan kompresi	15.5
Arah putaran poros	Berlawanan arah jarum jam dilihat dari arah roda gila
Pompa bahan bakar	Jenis Bosch
Tekanan injektor	200 Kg/cm ² .
Sistem pelumasan	Pelumasan paksa dengan katup regulator hidrolis
Vol. tangki pelumas	9.8 liter
System pendingin	Hopper dengan pendingin air
Dimensi motor	(PxLxT) 954.5x486.5x795.5 (mm)
starting	Engkol tangan
Berat kosong	260 kg
Berat kotor	363 kg
Diameter bore x strike	125 x 120 (mm)

Tabel 3.1. Spesifikasi Motor Diesel Uji

Alat Ukur.

Alat ukur yang digunakan pada eksperimen ini adalah sbb. :

1. Water Brake Dynamometer.

Water brake dynamometer digunakan untuk memberikan beban kepada engine sekaligus untuk mengukur beban engine pada waktu pengujian.

Spesifikasi dynamometer adalah sbb. :

ITEM	
Merk	Hofman
Type	A F4 16
Daya	900 kW
Putaran	5000 RPM
Torsi maksimum	6207 Nm
Panjang lengan	0.359 m

Tabel 3.2. Spesifikasi Water Brake Dynamometer.

2. Gelas Ukur.

Gelas ukur digunakan untuk mengukur jumlah bahan bakar yang dikonsumsi oleh engine pada waktu pengujian dilakukan.

3. Stop Watch.

Stop watch digunakan untuk mengukur waktu yang dibutuhkan oleh engine untuk mengkonsumsi sejumlah bahan bakar dengan volume tertentu (ditentukan penguji)

4. Thermometer.

Thermometer digunakan untuk mengukur temperature gas buang mesin diesel uji.

5. Motor Vehicle Gas Analyzer.

Alat ini digunakan untuk mengukur emisi gas NOx motor diesel yang diuji setelah gas buang dilewatkan prototype. Direncanakan alat uji NOx didapatkan dari Balai Teknik Kesehatan Lingkungan (BTKL) Surabaya.

3.4. Engine Set Up.

Engine sebagai media kalibrasi (kalibrator) untuk prototype harus terlebih dahulu dilakukan kalibrasi. Hasil kalibrasi akan menghasilkan data karakteristik engine yang mendukung dan menyatakan unjuk kerja (performance engine tersebut).

Langkah – langkah Melakukan Kalibrasi Engine.

Kalibrasi engine dilakukan pada putaran engine sebesar 1300 RPM.

Tahap persiapan

1. Memeriksa Instalasi engine test bed dan kelengkapannya.
2. Menyiapkan peralatan yang dibutuhkan saat melakukan kalibrasi engine.
3. Menyiapkan bahan bakar ke dalam gelas ukur sehingga dapat diamati laju penggunaan bahan bakar.

Tahap Pengukuran/Pencarian daya maksimal

1. Menstart engine kira-kira 15 menit pada putaran idle speed tanpa beban.
2. Putaran engine dijaga konstan dengan cara meningkatkan putaran/gas mesin pada setiap penambahan beban.

3. Beban diatur pada beban pertama sebesar 20 N
4. Melakukan pengukuran terhadap besar pembebanan yang terdapat pada water brake dynamometer, volume bahan bakar yang dikonsumsi mesin di gelas ukur (ditentukan sebesar 50 cc), waktu mengkonsumsi bahan bakar.
5. Memberi penambahan beban secara perlahan-lahan sebesar 5 N sampai pada kondisi mesin tidak mampu lagi menerima pembebanan.

Data Kalibrasi Engine.

Karakteristik / performance engine akan didapat setelah kalibrasi selesai dilakukan. Karakteristik engine akan berupa karakteristik SFOC, MEP, Effisiensi thermal.

Data awal kalibrasi engine adalah sebagai berikut :

- Putaran Engine ditentukan sebesar 1300 RPM.
- Penambahan beban secara bertahap ditentukan sebesar 5 N.
- Volume bahan bakar ditentukan sebesar 50 cc.

Data yang akan diukur dari kalibrasi engine adalah sebagai berikut :

- Gaya rem (P_R)
- Waktu yang dibutuhkan untuk mengkonsumsi bahan bakar sebanyak 50 cc.
- Temperature gas buang ($^{\circ}\text{C}$).
- Temperatur inlet dan outlet air pendingin ($^{\circ}\text{C}$).

Data yang akan dihitung dari kalibrasi engine adalah sebagai berikut :

- Momen puntir.
- Daya Efektif.
- Tekanan Efektif Rata-rata.
- Kecepatan Aliran Bahan Bakar.
- SFOC (*specific fuel oil consumption*).

Dari pengujian untuk mengkalibrasi motor diesel didapat data-data yang terangkum dalam table berikut :

Putaran 1300 RPM				
No	Volume Fuel (cc)	Beban (N)	Temperatur Gas buang (°C)	Waktu Konsumsi Fuel (s)
1	50	20	175	176
2	50	25	185	171
3	50	30	193	145
4	50	35	210	138
5	50	40	235	104

Tabel 3.3. Data kalibrasi engine.

Pengolahan Data Kalibrasi.

Untuk mengolah data maka proses perhitungan dilakukan dengan memakai persamaan-persamaan seperti tertera pada dasar teori.

ITEM	RUMUS
Momen Puntir	$Mp = P_R \cdot l$ (Nm) P_R : Gaya rem (N); $l = 0.359$ m (Hofman)
Daya Efektif	$Ne = Mp \cdot \omega \cdot 10^{-3}$ (kW) Mp : Momen puntir (Nm); $\omega = 2 \cdot \pi \cdot n$ (s^{-1})

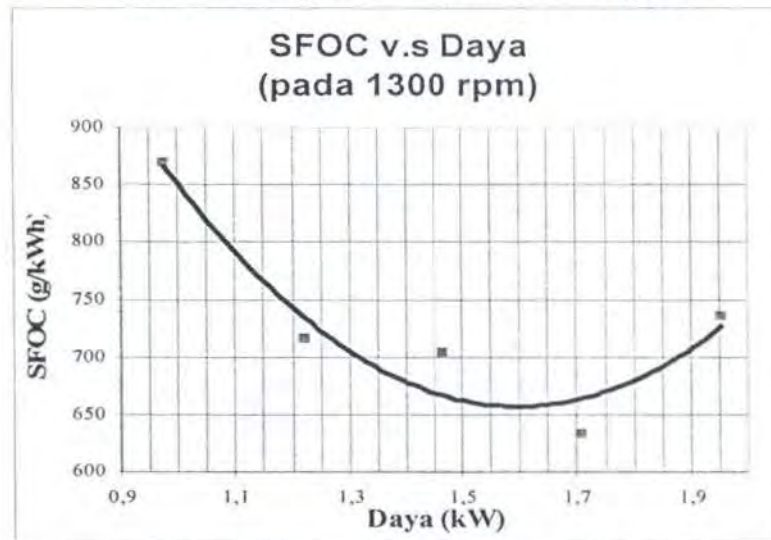
Tekanan Efektif Rata ²	$Pe = \frac{Ne.i}{V_L.n} 10^3 \text{ (N/m}^2\text{)}$ i = 4 (engine 4 stroke); n = 1 (jumlah silinder) V_L : volume silinder (1472 cc)
Kecepatan aliran fuel	$m_{BB} = \rho_{BB} \cdot \frac{V_{BB}}{t_{BB}} \text{ (Kg/s)}$ $\rho_{BB} = 830 \text{ (Kg/m}^3\text{)}$: masa jenis bahan bakar
SFOC	$b_e = \frac{m_{BB}}{Ne} 3,6.10^6 \text{ (g/Kw.h)}$

Tabel 3.4. Rumus-rumus perhitungan performa engine.

Dari kalibrasi engine akan dapat ditentukan besar pembebanan yang akan diberikan pada saat melakukan kalibrasi prototype.

Putaran = 1300 RPM							
No	vol fel (m ³)	gaya rem (N)	waktu (s)	torsi (Nm)	daya ef (kW)	rate mass fuel(kg/s)	SFOC(g/kWh)
1	0.00005	20	176	7.18	0.976958667	0.000235795	868.8838795
2	0.00005	25	171	8.975	1.221198333	0.00024269	715.4318727
3	0.00005	30	145	10.77	1.465438	0.000286207	703.0968404
4	0.00005	35	138	12.565	1.709677667	0.000300725	633.2238625
5	0.00005	40	104	14.36	1.953917333	0.000399038	735.2094365

Tabel 3.5. Pengolahan data kalibrasi engine.



Grafik 3.1. Pengolahan data kalibrasi engine.

Dari grafik dapat diamati bahwa beban 100% terjadi pada daya motor sebesar 1.7 kW. Untuk kalibrasi protoip hanya akan digunakan satu macam putaran saja yaitu pada putaran 1300 RPM, hal ini dikarenakan pengambilan putaran pada saat kalibrasi motor diesel mempunyai perbedaan terlalu dekat, sehingga diawatirkan akan menyulitkan penganalisaan pada hasil pengujianya, selain itu data yang dihasilkan dari pengujian diawatirkan tidak akan jauh berbeda antara dua putaran tersebut atau dengan kata lain menghasilkan data yang mirip. Oleh karena itu maka titik operasi untuk kalibrasi prototip dilakukan pada satu putaran saja, untuk tiap kelompok pengujian akan diambil 3 titik pengujian.

Titik-titik operasi motor diesel untuk kalibrasi prototip diambil nilai 100% , 75%, 50%,25% dan 10% daya maksimum motor.

Titik operasi engine untuk kalibrasi prototip dapat ditentukan sbb. :

% Daya	Daya (kW)	1300 RPM	
		Torsi (Nm)	Gaya Rem(N)
100%	1.7	12.49	34.80
75%	1.275	9.37	26.10
50%	0.85	6.25	17.40
25%	0.425	3.12	8.70
10%	0.17	1.25	3.48

Tabel 3.6. Penentuan titik operasi untuk kalibrasi prototip.

3.5. Pengujian.

Jenis pengujian yang dilakukan adalah jenis engine test bed dimana motor diesel yang diuji dihubungkan langsung dengan *water brake dynamometer*. Pada pengujian ini akan dilakukan 2 variasi putaran untuk setiap kelompok

pengujian, pada setiap putaran akan dilakukan variasi pembebanan sebanyak 3 variasi. Jadi nantinya akan didapatkan 12 buah titik sampling dalam pengujian.

Pada pengujian diambil sampling data pada titik operasi engine sbb. :

Kelompok Uji	Putaran Engine	Beban Engine
Kondisi Standar	1300 RPM	Load 1 = 18 N Load 2 = 26 N Load 3 = 35 N
Kontrol Katalis	1300 RPM	Load 1 = 18 N Load 2 = 26 N Load 3 = 35 N
Kontrol Katalis + NTP	1300 RPM	Load 1 = 18 N Load 2 = 26 N Load 3 = 35 N

Tabel 3.7. Titik Operasi Engine untuk Pengujian.

Prosedur Pengujian.

Sebelum melakukan pengujian maka dilakukan terlebih dahulu pemeriksaan terhadap instalasi engine dan dynamometer serta pencatatan terhadap temperature udara kamar. Selanjutnya dilakukan prosedur pengujian dengan urutan-urutan sbb. :

1. Motor diesel dihidupkan.
2. Melakukan pemanasan engine selama 15 menit untuk mencapai kondisi operasional.
3. Menaikan putaran engine sesuai dengan putaran yang direncanakan.
4. Memberikan pembebanan terhadap engine dengan cara mengatur bukaan katup secara perlahan-lahan sesuai dengan nilai yang direncanakan.

5. Pada setiap pembebanan pengujian, dilakukan pencatatan data-data sbb. :

- Putaran motor diesel yang direncanakan.
- Beban motor diesel yang diuji.
- Volume bahan bakar.
- Waktu yang dibutuhkan untuk mengkonsumsi bahan bakar yang direncanakan volumenya.
- Temperature gas buang.
- Temperature air pendingin yang masuk.
- Temperature air pendingin yang keluar.
- Emisi NOx.

Setelah pengujian selesai dilakukan dan semua sampling data telah diambil maka motor diesel dimatikan dengan terlebih dulu mengurangi putaran engine sampai kondisi idle.

Perhitungan dan Analisa Data.

Berdasarkan data yang diperoleh dari pengujian kelompok control katalis dan pengujian kelompok control katalis-NTP maka akan dapat dilakukan perhitungan terhadap komponen-komponen sbb. :

- Torsi
- Daya efektif.
- Specific fuel consumption (SFC).
- Massa bahan bakar.

- Massa udara.
- Konsentrasi emisi gas NO_x.
- Brake specific NO_x (BS NO_x).

Untuk memudahkan proses penganalisaan maka data hasil pengujian akan direpresentasikan dalam bentuk grafik. Grafik-grafik yang akan dibuat meliputi :

- Konsentrasi gas NO_x v.s. temperature gas buang.
- Konsentrasi gas NO_x v.s torsi motor diesel.
- SFC v.s. Daya motor diesel.
- BS NO_x v.s. Torsi
- BS NO_x v.s. Daya motor diesel.

:

BAB IV
PEMBUATAN PROTOTIP

BAB IV

PEMBUATAN PROTOTIP

4.1. Reaktor Non-thermal Plasma.

4.1.1. Desain Reaktor.

Struktur reactor non-thermal plasma direncanakan menggunakan struktur *wire-cylinder conductor*. Konduktor direncanakan menggunakan bahan dari tembaga. Kedua konduktor tersebut dihubungkan dengan sumber tegangan tinggi sebesar 15 kV. Sumber tegangan tinggi menggunakan transformator lampu sign (lampu reklame), hal ini dikarenakan spesifikasi tegangan keluaran trafo dapat dengan mudah diketahui dari spek trafo sehingga tidak perlu lagi melakukan pengukuran tegangan suplai ke reactor mengingat kapasitas voltmeter konvensional tidak mampu mengukur tegangan sampai skala kilovolt.

Kedua konduktor pada DBD dinamai electrode (anoda dan katoda), pada permukaan anoda akan dilapisi dengan bahan dielektrik dalam hal ini yang digunakan sebagai bahan dielektrik adalah bahan *glass*. Bahan glass ini dilapiskan pada konduktor kawat tembaga.

Untuk pengamanan digunakan bahan penyekat (isolator) menggunakan material campuran resin dengan semen dengan perbandingan 2 berbanding 1, hal ini untuk mencegah terjadinya induksi tegangan ke body reactor sebagai bagian dari langkah pengamanan.

Antara permukaan dielektrik dengan permukaan katoda diberi jarak kurang lebih 8 mm untuk membuat lubang guna lewatnya gas buang. Space atau ruang untuk lewatnya gas buang direncanakan berjumlah lima buah, sehingga terdapat lima buah wire-cylinder conductor yang dipasang.

Perhitungan Intensitas Medan Listrik.

$$E_{gap} = \frac{\epsilon_r V_{app.}}{(\epsilon_r d + 2t)} \quad (\text{Kim Yongho, et al})$$

keterangan :

E_{gap} : Intensitas medan listrik (kV/cm)

ϵ_r : Permittivitas relative barrier (bahan glass = 9.32)

d : Gas gap distance (8 mm)

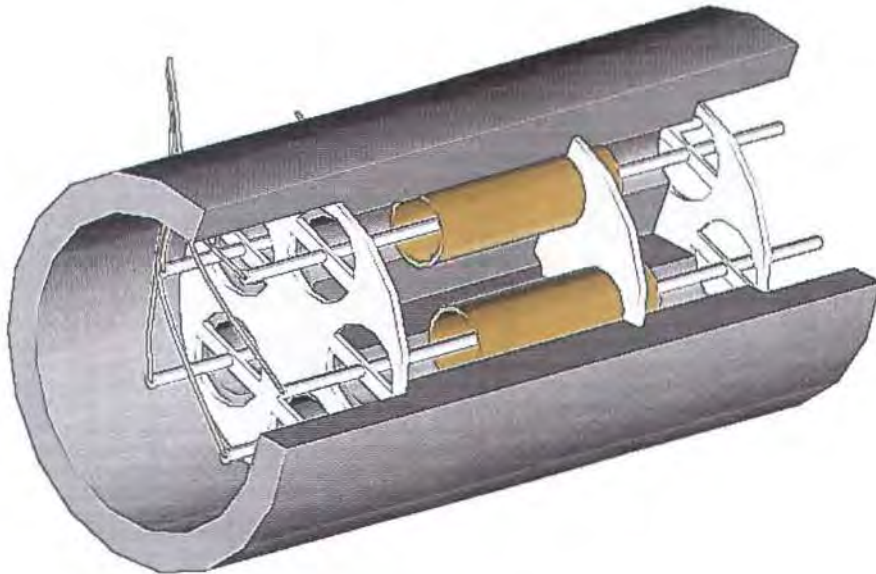
t : Ketebalan glass (1 mm)

$$E_{gap} = \frac{\epsilon_r V_{app.}}{(\epsilon_r d + 2t)}$$

$$E_{gap} = \frac{9.32 \times 15 \text{ kV}}{(9.32 \times 0.8 + 2 \times 0.1)}$$

$$E_{gap} = 12.912 \text{ kV/cm}$$

4.1.2. Sketsa Reaktor NTP.



Gambar 4.1. Sketsa reactor NTP.

Spesifikasi :

- Konduktor : Pipa tembaga diam. 3/8 inch, panjang = 60 mm.
Kawat tembaga dengan luasan penampang 1.5 mm^2 .
- Isolator : Bahan blok resin-semen.
- Dielektrik : Bahan glass, tebal 1 mm.
- Dimensi casing : p = 200 mm, diam. = 100 mm
- Tegangan supply : 15 kV.

4.2. Catalytic Converter Tembaga.

4.2.1. Desain Catalytic Converter.

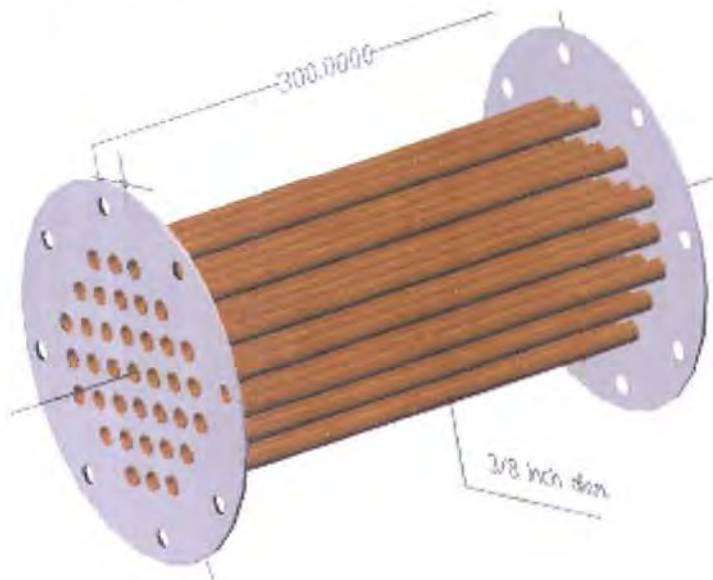
Struktur dari catalytic converter tembaga menggunakan struktur *parallel passage* dalam hal ini berupa pipa-pipa yang dipasang secara sejajar pada sebuah

muffler berbentuk silinder. Pipa tembaga yang digunakan berdiameter 3/8 inchi dengan panjang pipa 30 cm. Jumlah pipa yang dipasang berjumlah 37 buah. Jarak antarpusat pipa sejauh 2 cm.

Ujung-ujung pipa tembaga diikat pada dua buah keping pelat yang dipasang saling berhadapan. Diameter casing catalytic converter sebesar 15 cm.

4.2.2. Sketsa *Catalytic Converter*.

Gambaran umum prototype catalytic converter tembaga yang direncanakan adalah sebagai berikut :

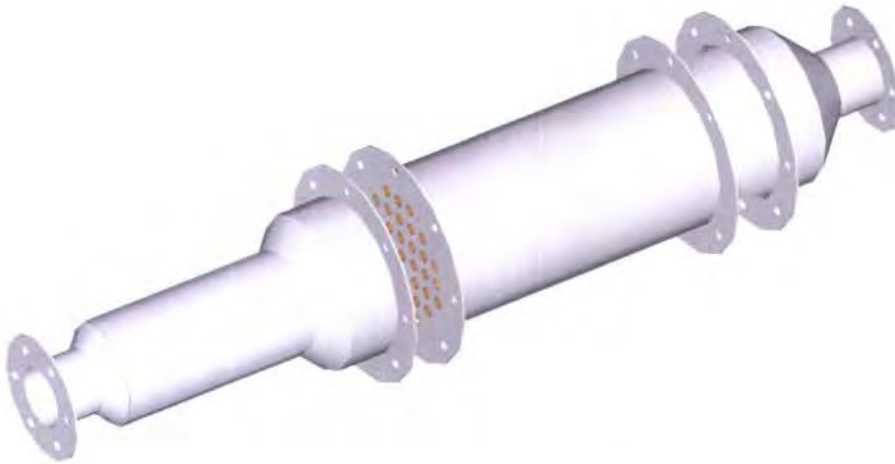


Gambar 4.2. Sketsa Catalytic Converter..

Spesifikasi :

- Katalis : Pipa tembaga diameter 3/8 inch.
 Panjang 300 mm
 Jumlah pipa 38 buah.
 Jarak antarpipa 20 mm.

- Casing : Bahan baja diameter 150 mm.
 Panjang 300 mm.
 Diameter flens 214 mm.



Gambar 4.3. Skets prototip reaktor NTP-Katalis tembaga.

4.3. Gambar Prototip.



Gambar 4.4. Foto prototip reaktor NTP lengkap dengan trafo.



Gambar 4.5. Foto prototip katalis tembaga dilihat dari sisi depan.



Gambar 4.6. Foto prototip NTP-katalis tembaga yang terpasang pada saluran gas buang engine.

BAB V
KALIBRASI PRPTOTIP

BAB V

KALIBRASI PROTOTIP

5.1. Data dan Pengolahan Hasil Pengujian.

Hasil kalibrasi prototip yang dilakukan pada motor diesel YANMAR model TF H-di dengan putaran 1300 RPM dengan variasi load, diperoleh data yang terangkum dalam tabel sbb. :

No	Volume Fuel (cc)	Beban (N)	Waktu Kons. Fuel (s)	Temp. Gas buang (°C)	NOx		Nox (ppm)
					NO (ppm)	NO ₂ (ppm)	
Hasil Pengujian Kelompok Standar							
1	50	18	176	175	0.3557	0.2961	0.6518
2	50	26	171	185	0.4896	0.2812	0.7708
3	50	35	138	210	0.6831	0.2961	0.9792
Hasil Pengujian Kelompok Kontrol Katalis							
1	50	18	170	175	0.8469	0.6236	1.4705
2	50	26	175	185	0.5276	0.2523	0.7799
3	50	35	210	210	0.7509	0.2746	1.0255
Hasil Pengujian Kelompok Kontrol Katalis dan NTP.							
1	50	18	170	175	0.7137	0.3639	1.0776
2	50	26	175	185	0.4160	0.2448	0.6608
3	50	35	210	210	0.5053	0.2895	0.7948

Tabel 5.1. Hasil Pengujian Prototip.

Dari data-data di atas kemudian dilakukan perhitungan menggunakan rumusan-rumusan yang tertulis pada table 3.4, yang hasilnya terangkum dalam table sbb. :

No	Vol. bb (m ³)	Beban (N)	Waktu kons. (s)	Temp. Exh. °C	Torsi (Nm)	Daya Ef. (kW)	SFC (g/kWh)	m udara (kg/min)	m bb (kg/min)	m exh. (kg/min)	NO2 (ppm)	NO (ppm)	Nox (ppm)	BS Nox (g/kWh)
Kelompok Standar														
1	0.00005	18	176	175	6.462	0.87926	848.864	1.11123	0.00024	1.11146	0.2961	0.3557	0.6518	0.06897
2	0.00005	26	171	185	9.334	1.27005	873.684	1.11123	0.00024	1.11147	0.2812	0.4896	0.7708	0.08156
3	0.00005	35	138	210	12.565	1.70968	1082.61	1.11123	0.0003	1.11153	0.2961	0.6831	0.9792	0.10362
Kelompok Kontrol Katalis														
1	0.00005	18	176	175	6.462	0.87926	848.864	1.11123	0.00024	1.11146	0.6236	0.8469	1.4705	0.1556
2	0.00005	26	171	185	9.334	1.27005	873.684	1.11123	0.00024	1.11147	0.2523	0.5276	0.7799	0.08252
3	0.00005	35	138	210	12.565	1.70968	1082.61	1.11123	0.0003	1.11153	0.2746	0.7509	1.0255	0.10852
Kelompok Kontrol Katalis-NTP														
1	0.00005	18	176	175	6.462	0.87926	848.864	1.11123	0.00024	1.11146	0.3639	0.7137	1.0776	0.11402
2	0.00005	26	171	185	9.334	1.27005	873.684	1.11123	0.00024	1.11147	0.2448	0.416	0.6608	0.06992
3	0.00005	35	138	210	12.565	1.70968	1082.61	1.11123	0.0003	1.11153	0.2895	0.5053	0.7948	0.0841

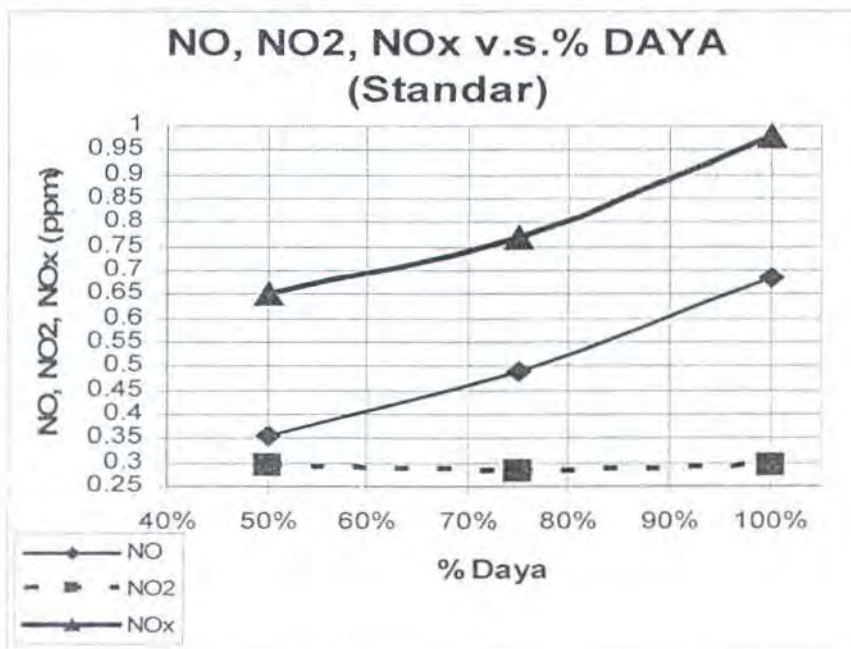
Tabel 5.2. Hasil Pengolahan data kalibrasi prototip.

5.2. Analisa dan Pembahasan Data Hasil Kalibrasi Prototip.

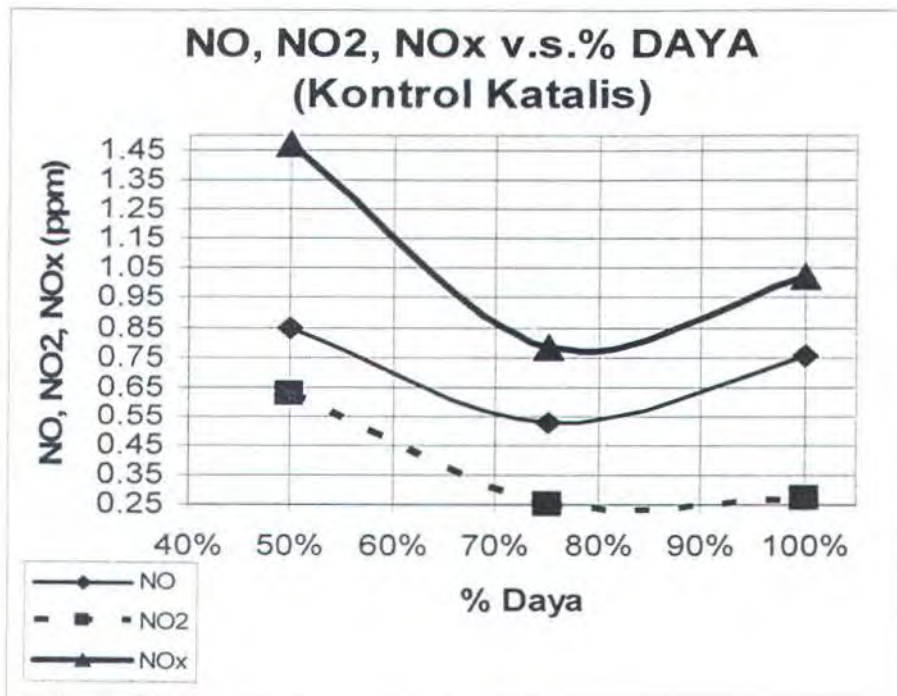
Pada subbab ini akan diulas mengenai trend dari beberapa grafik performance prototip berkaitan dengan pengurangan emisi NOx gas buang motor diesel yang disertai dengan pembahasan mengenai trend-trend yang terjadi.

5.2.1. Grafik-grafik Kalibrasi Prototip.

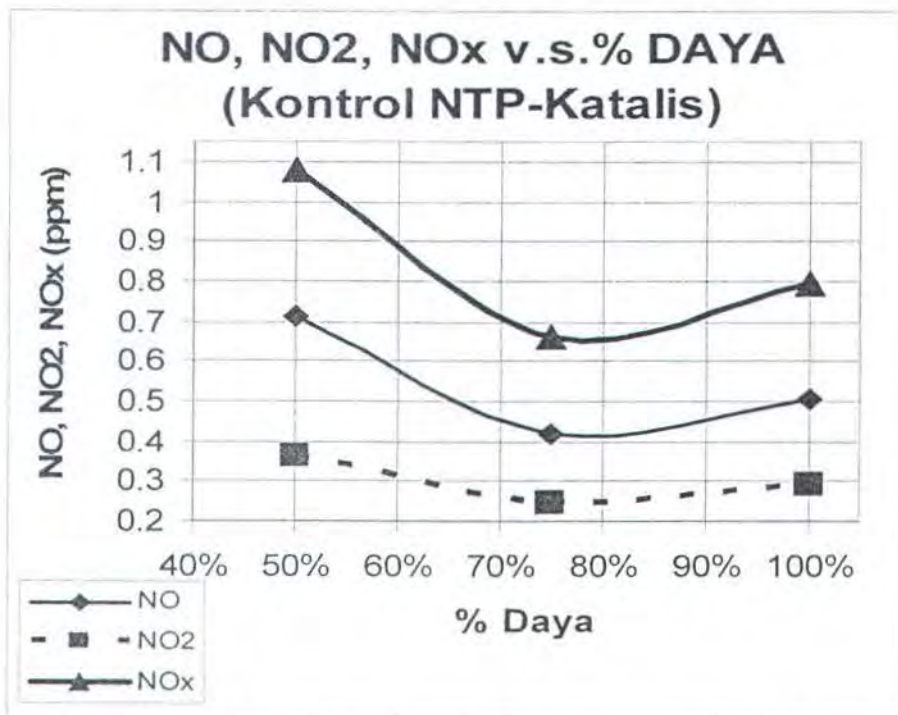
Berikut akan disampaikan beberapa grafik, diantaranya grafik NO, NO₂, dan NOx v.s. % Daya Engine untuk kondisi pengujian standar, control katalis, dan control NTP-katalis Tembaga, untuk membandingkan trend dari konsentrasi NO dan NO₂ pada setiap kondisi pengujian. Selain itu dibuat juga grafik BS NO, Konsentrasi NO, dan konsentrasi NO₂ v.s. %Daya untuk membandingkan trend dari konsentrasi NO dan NO₂ dari ketiga kondisi pengujian.



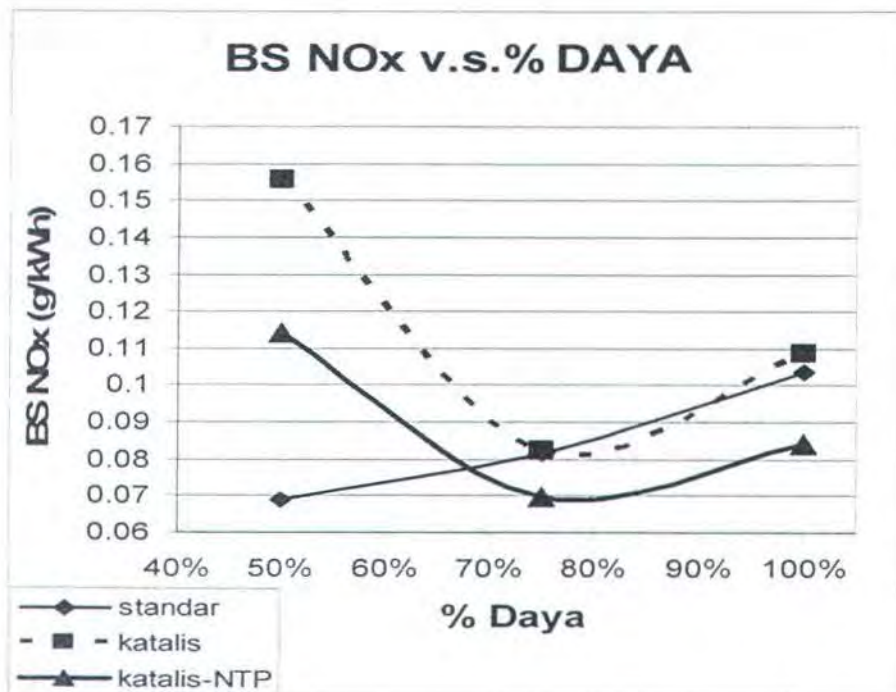
Grafik 5.1. NO, NO₂, NOx terhadap % Daya Engine pada Kondisi Standar.



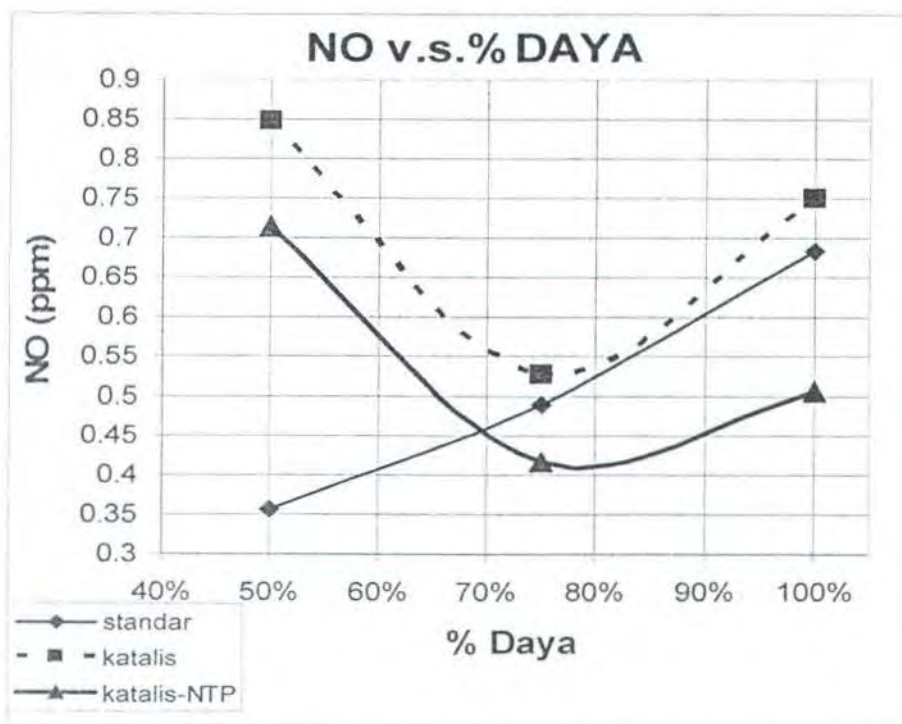
Grafik 5.2. NO, NO₂, NO_x terhadap % Daya Engine pada Kontrol Katalis.



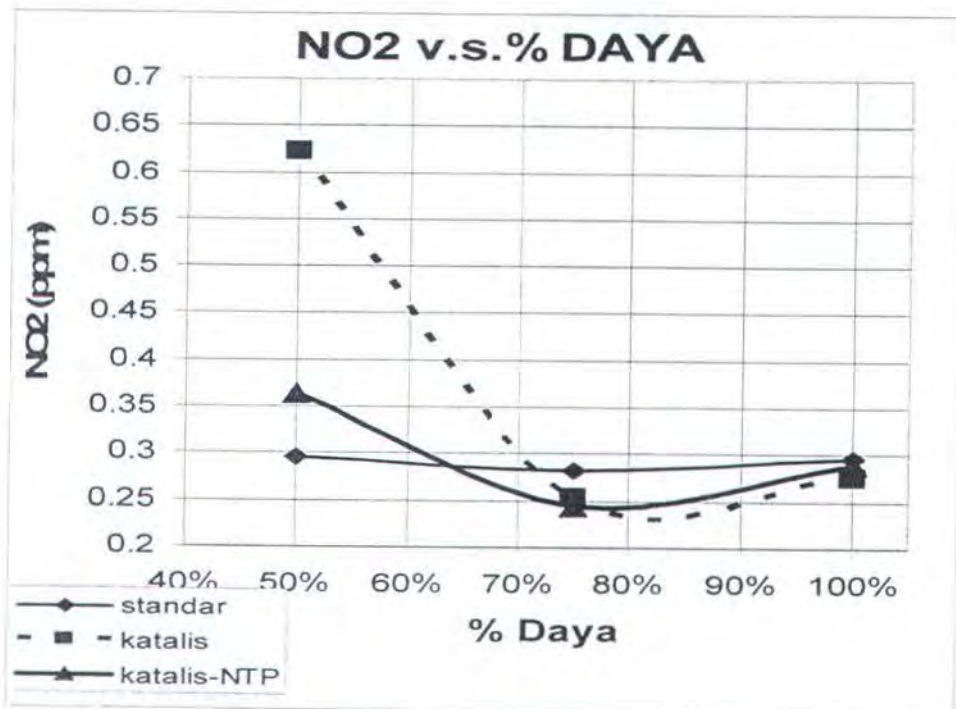
Grafik 5.3. NO, NO₂, NO_x terhadap % Daya Engine pada Kontrol NTP-Katalis.



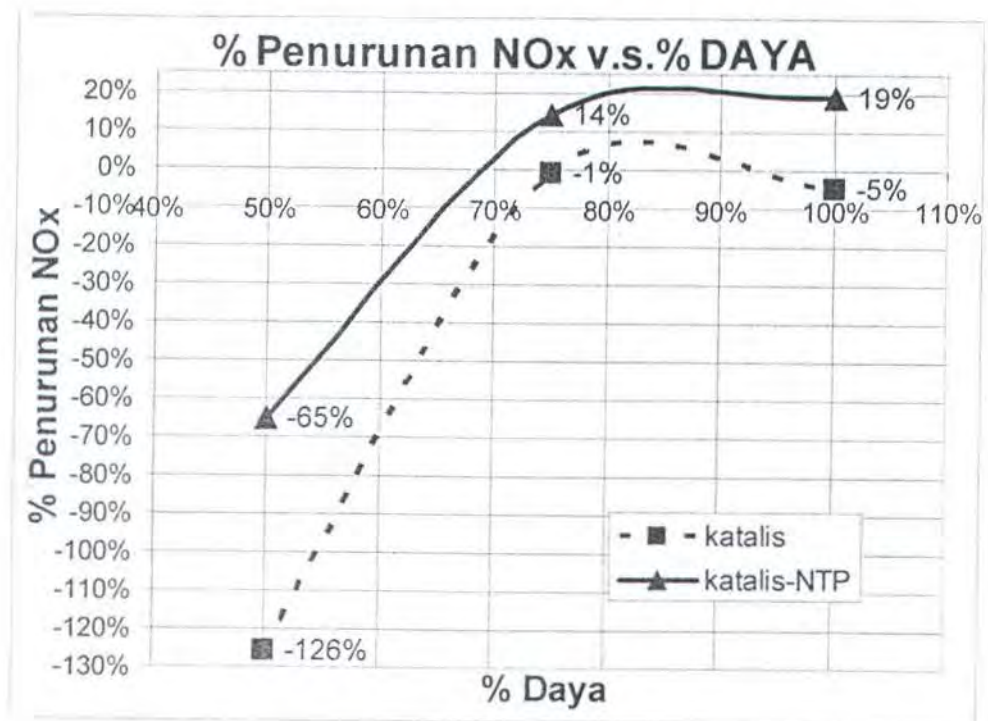
Grafik 5.4. BS NO_x terhadap % Daya Engine.



Grafik 5.5. NO terhadap % Daya Engine.



Grafik 5.6. NO₂ terhadap % Daya Engine.



Grafik 5.7. % Penurunan NO_x terhadap % Daya Engine.

5.2.2. Pembahasan Grafik-grafik Kalibrasi Prototip.

Pada kondisi pengujian standar, konsentrasi NO meningkat seiring dengan peningkatan daya engine. Lainn halnya dengan NO₂ dimana konsentrasinya relatif konstan pad setiap penambahan daya engine. Hal ini berarti bahwa peningkatan konsentrasi NO_x pada gas buang motor diesel lebih disebabkan karena penambahan konsentrasi NO daripada NO₂. Hal ini disebabkan karena dengan penambahan daya engine maka temperatur pembakaran akan semakin tinggi, dimana pada temperatur tinggi rate pembentukan NO_x akan semakin tinggi pula (**Thevenin, 2003**). Pembentukan NO lebih signifikan daripada pembentukan NO₂ karena jika terdapat jumlah oksigen yang mencukupi pada temperatur yang tinggi maka akan lebih banyak NO yang terbentuk (**Mathur, 1980**), sementara NO₂ lebih banyak terbentuk karena oksidasi dari molekul NO. Penambahan daya akan semakin menaikkan temperatur pembakaran sehingga sehingga dengan semakin bertambahnya daya engine maka konsentrasi NO_x akan semakin meningkat secara linear (**Mathur, 1980**).

Dari grafik-grafik yang ditampilkan, hampir seluruhnya menunjukkan adanya peningkatan konsentrasi NO_x, bahkan untuk NO seluruh titik pengujian menunjukkan konsentrasinya lebih besar jika dibandingkan dengan kondisi pengujian standar ketika katalis tembaga terpasang pada saluran gas buang. Hal ini disebabkan karena material tembaga (Cu) lebih bersifat sebagai oksidator karena ia termasuk salah satu unsur yang mempunyai sifat oksidator yang kuat setelah Emas (Au), Platina (Pt), dan Air raksa (Hg) (**Seno, etal, 1996**), sedangkan untuk mereduksi NO_x katalis tembaga membutuhkan CO sebagai reduktanya

(Mathur, 1980). Oleh karena itulah konsentrasi NO_x lebih banyak ketika pada saluran gas buang terpasang katalis tembaga karena dengan kehadiran tembaga justru mempercepat reaksi oksidasi Nitrogen yang terkandung dalam gas buang, sementara CO yang digunakan sebagai reduktan untuk mereduksi NO_x konsentrasinya sangat sedikit terkandung dalam gas buang motor diesel, karena karakteristik operasional motor diesel yang mempunyai *air-fuel ratio* yang tinggi (Thevenin, 2003).

Untuk NO₂ masih terdapat penurunan konsentrasi pada range daya engine 70% sampai 100% pada pengujian kontrol katalis, hal ini menunjukkan bahwa NO₂ lebih mudah direduksi daripada NO (Panov et-al), dimana konsentrasi NO justru meningkat dari kondisi pengujian standar pada seluruh operasional daya engine yang diujikan.

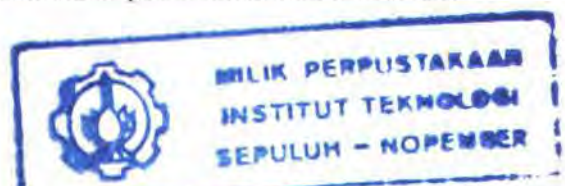
Pada grafik BS NO_x v.s. % Daya, menunjukkan bahwa penggunaan katalis tembaga tidak efektif untuk menurunkan emisi NO_x pada motor diesel, karena sama sekali tidak ada penurunan dari kondisi pengujian standarnya seperti yang telah dibahas diatas, hal ini mungkin disebabkan karena rendahnya temperatur gas buang saat pengujian, karena dari eksperimen terdahulu menunjukkan bahwa katalis tembaga akan aktif menurunkan NO_x mulai temperatur 350⁰C dan optimum pada temperatur 400⁰C (Mc Kinon, 2000) yang mencapai efisiensi penurunan NO_x sampai 33%. Walaupun begitu untuk range daya 50% sampai dengan 85% daya pada operasional engine menunjukkan trend penurunan konsentrasi NO_x dari konsentrasi awal pada daya 50% pada kelompok kontrol katalis. Untuk trend daya engine >85% konsentrasi NO_x sulit untuk diprediksikan

karena kurangnya titik pengujian untuk pengambilan sampel, jika lebih banyak sampel pengujian yang diambil maka trend konsentrasi NOx akan semakin jelas dan mudah diprediksikan.

Dari grafik BS NOx v.s. % Daya, dapat diamati penambahan reaktor Non-thermal Plasma yang dikombinasikan dengan katalis tembaga dapat membantu katalis tembaga untuk mengurangi konsentrasi NOx yang terkandung dalam gas buang. Dapat diamati pada grafik untuk konsentrasi NOx pada pengujian kontrol NTP-Tembaga yang seluruhnya berada dibawah grafik konsentrasi NOx kontrol katalis, yang berarti bahwa pengkombinasian katalis tembaga dengan reaktor NTP mampu meningkatkan kemampuan katalis tembaga dalam mengurangi konsentrasi NOx.

Terlihat pada grafik % penurunan NOx terhadap % Daya engine, bahwa penerapan NTP-Katalis Tembaga menurunkan konsentrasi NOx lebih banyak jika dibandingkan dengan hanya memakai katalis tembaga saja, secara berturut-turut prototip NTP-Katalis tembaga mampu menurunkan konsentrasi NOx sebesar - 65%, 14%, dan 19%, pada 50%, 75%, dan 100% daya engine, yang jika dibandingkan dengan penggunaan katalis tembaga saja jauh lebih baik diman penggunaan katalis tembaga justru menaikkan konsentrasi NOx, yaitu secara berturut-turut kenaikanya sebesar 126%, 1% dan 5% pada 50%, 75%, dan 100% daya engine.

Data-data tersebut membuktikan bahwa pengkombinasian reaktor NTP dengan katalis Tembaga mampu meningkatkan efektifitas katalis dalam mereduksi emisi NOx, sebab peningkatan persentase penurunan NOx tersebut



tidaklah dihasilkan oleh NTP karena NTP tidak bisa menurunkan konsentrasi NO_x, ia hanya mampu mengonversikan NO menjadi NO₂ (**Panov. Et-al**).

Dari grafik persentase penurunan NO_x dapat diamati bahwa kombinasi NTP-katalis Tembaga hanya mampu menurunkan emisi NO_x untuk daya engine lebih besar dari 68%, dimana untuk daya engine 75% penurunan NO_x sebesar 14% dan untuk 100% daya engine penurunan sebesar 19%, sedang untuk 50% daya engine justru terjadi kenaikan sebesar 65%, hal ini lebih disebabkan karena material katalis Tembaga yang kurang efektif untuk menurunkan emisi NO_x pada motor diesel, ia lebih cocok jika diterapkan pada motor bensin yang lebih banyak mengandung HC dan CO pada gas buangnya daripada pada motor diesel (**Thevenin, 2003**).

Pengkombinasian NTP reaktor terhadap katalis tembaga tidak banyak memberikan pengaruh terhadap konsentrasi NO₂ seperti terlihat pada grafik, hal ini karena NTP tidak mengubah NO₂, ia lebih kepada mengonversikan NO menjadi NO₂ sehingga konsentrasi NO berkurang karena sebagian diubah oleh reaktor NTP seperti terlihat pada grafik NO terhadap % Daya, dimana secara berturut-turut penurunan konsentrasi NO sebesar 15% dan 26% untuk daya engine 75% dan 100%, sedang untuk daya 50% terjadi kenaikan sebesar 101% dari konsentrasi NO_x pada pengujian standar, fenomena ini terjadi karena ketidakcocokan tembaga sebagai katalis reduksi NO_x untuk motor diesel bukan karena pengaruh NTP-nya, yang hal ini diperkuat data bahwa pengkombinasian NTP mampu menurunkan konsentrasi NO_x dari konsentrasi pada pengujian dengan katalis saja pada daya yang sama.

BAB VI
KESIMPULAN DAN SARAN

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan.

Dari analisa data dan pembahasan yang telah dijabarkan di atas, maka dapat diambil beberapa point kesimpulan yang terangkum sebagai berikut :

1. Prototip Non-Thermal Plasma yang dikombinasi dengan katalis tembaga telah terwujud, dimana penambahan reaktor Non-thermal Plasma terhadap katalis tembaga mampu meningkatkan efektifitasnya dalam mereduksi emisi NOx.
2. Pada putaran engine 1300 rpm dan pada daya motor diesel 50%, 75%, dan 100% secara berturut-turut efektifitas katalis tembaga meningkat sebesar 61%, 14%, dan 19% dengan kondisi pereduksian optimum pada range daya engine 75% sampai dengan 85%.

6.2. Saran.

Hasil pengujian prototip NTP-Katalis tembaga membuktikan pengkombinasian reactor NTP mampu meningkatkan keefektifan katalis tembaga, walau begitu masih banyak kekurangan baik dalam desain maupun pengujianya, oleh karena itulah perlu pengembangan lebih lanjut terhadap prototip NTP-Katalis.

Kekurangan pertama yaitu katalis tembaga yang tidak efektif untuk mereduksi NOx pada motor diesel oleh karena itulah perlu pencarian bahan katalis lain yang lebih cocok untuk mereduksi emisi NOx. Dari percobaan-percobaan terdahulu telah banyak dicoba pengkombinasian reactor NTP dengan katalis Zeolit (80% konversi NOx)(Panov et-al), Alumina, NaI, A9 catalyst (85%) dan material katalis lainnya dengan hasil yang memuaskan. Selain itu, cara lain yang perlu dicoba adalah dengan menginjeksikan hydrocarbon sebagai bahan reductan sebelum reactor NTP, karena katalis tembaga membutuhkan reduktan agar dapat mereduksi NOx motor diesel.

Selain itu perlu juga dikaji performa protoip NTP-Katalis jika daya untuk suplai terhadap reactor NTP divariasikan, karena variasi daya akan berpengaruh terhadap kuat intensitas medan listrik yang dihasilkan.

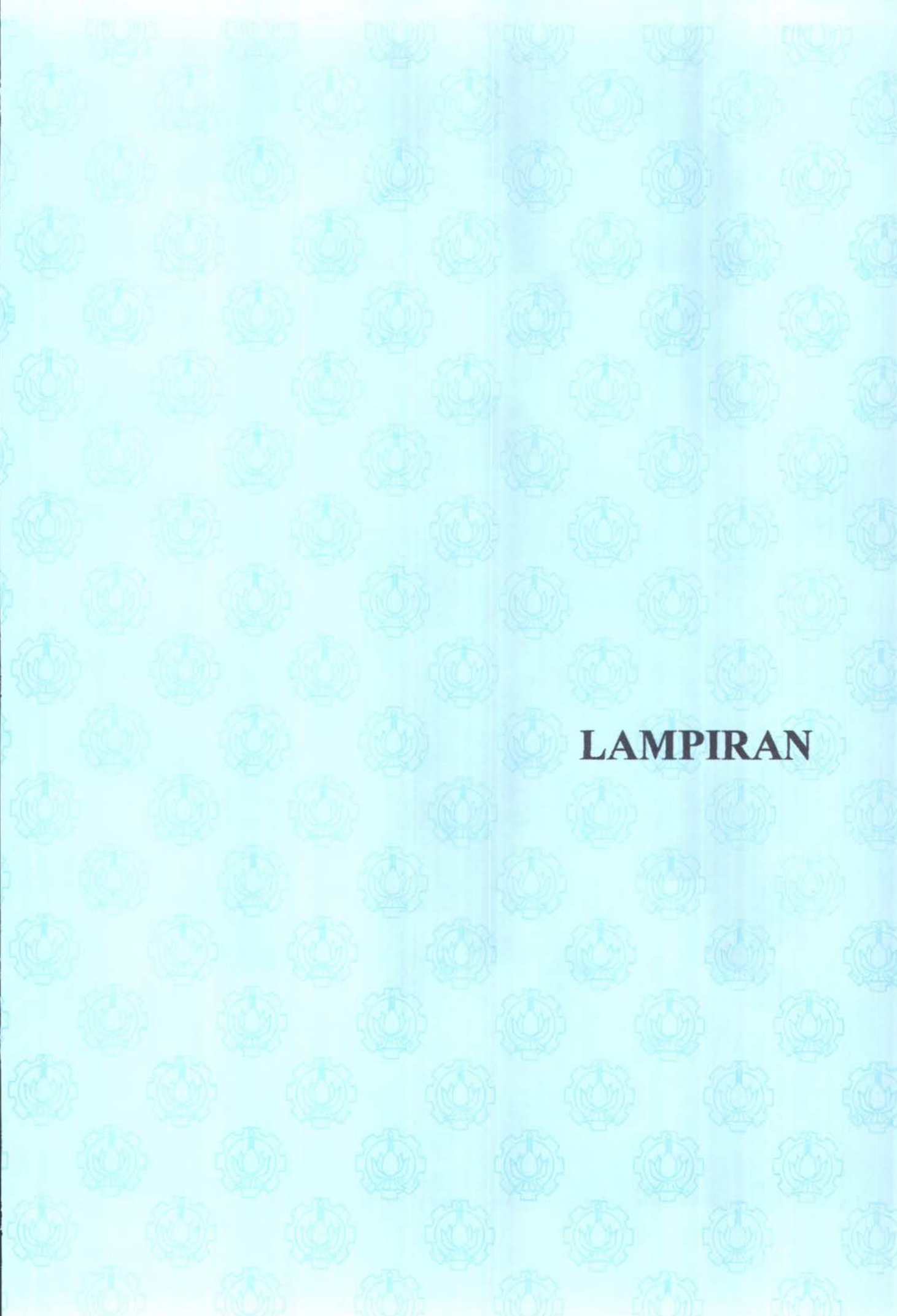


DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

- ESI International. (1999). "Diesel Emission Control Strategies Available to The Underground Mining Industry". Washington. www.epa.gov. (dikunjungi Oktober 2004)
- Kim Yong-Ho et-al. "Comparative Study of Pulsed Corona And Dielectric Barrier Discharges Using Single Streamer Modelling and NO Decomposition Experiment". Korea Institut of Machinery and Materials. Daejon. www.cse.poly.ed.hk. (dikunjungi November 2004).
- Kim Yong-Ho et-al. (2003) . "Characteristic of Dielectric Barrier Discharges with a Low Frequency Generator in Nitrogen. Korea Institute of Machinery and Materials. Korea Institut of Machinery and Materials. Daejon. www.cse.poly.ed.hk. (dikunjungi November 2004).
- Kogelschatz. (2000). "Fundamentals and Applications of Dielectric Barrier Discharges". ABB Corporate Research Ltd. Switzerland. www.mmlab.dlut.edu.cn. (dikunjungi November 2004).
- Lubis, Yunan. (2003) "Studi Eksperimen Penggunaan Tembaga sebagai Aktif Metal Katalis pada Catalytic Muffler terhadap Emisi NOx pada Diesel Engine". Tugas Akhir ITS.
- McKinon, Dale L. "Future U.S. On-Road Heavy-Duty Vehicle and Engine Emission Control Technology in Meeting Those Standards". Deputy Directions Manufacturers of Emission Control Association.

- Melanie L. Sattler, Ph.D. "Technologies for Reducing NO_x Emissions from Non-Road Diesel Vehicles: An Overview". North Central Texas Council of Governments. www.dfwcleanair.com (dikunjungi Oktober 2004)
- Mirmanto, Heru et-al. (1999). "Rancang Bangun Catalytic Converter Tembaga (Cu) pada Knalpot Kendaraan Angkutan Kota untuk Menunjang Program Langit Biru". Lemlit ITS.
- Panov, AG. et-al. "NO_x Reduction Behaviour of Alumina and Zeolite Catalysts in Combination with Non-Thermal Plasma". Pacific Northwest National Laboratory. DEERS paper.
- Seno, Heru et-al. (1996). Panduan Belajar Matematika-IPA. Primagama. Yogyakarta.
- Slone, Ralph et-al. "NO_x Reduction for Lean Exhaust Using Plasma Assisted Catalysts". Noxtech Inc. DEERS paper.
- Sugiarto, Anto Tri. (2002). "Atasi Polusi degan Plasma". Kompas Edisi 14 November. www.istecs.org (dikunjungi Oktober 2004).
- Thevenin, Philipe. (2002). "Catalytic Combustion of Methane". Departement of Chemical Engineering and Technology. Stockholm.
- Thomas S.E. etal. "Non-Thermal Aftertreatment of Particulates". AEA Technology, Plc. DEERS paper.
- Tonkyn Russel et-al. "Lean NO_x Reduction By Plasma Assisted Catalysis". Pacific Northwest National Laboratory.
- Anoname. "Plasma Etchers Technical Brief". www.quorumtechnologies.com. (dikunjungi November 2004)



LAMPIRAN







Foto reaktor NTP dengan trafo.

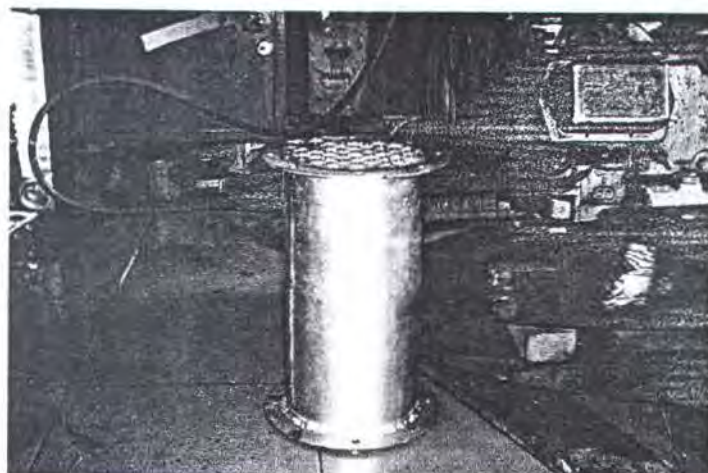


Foto prototip Catalytic converter Tembaga.

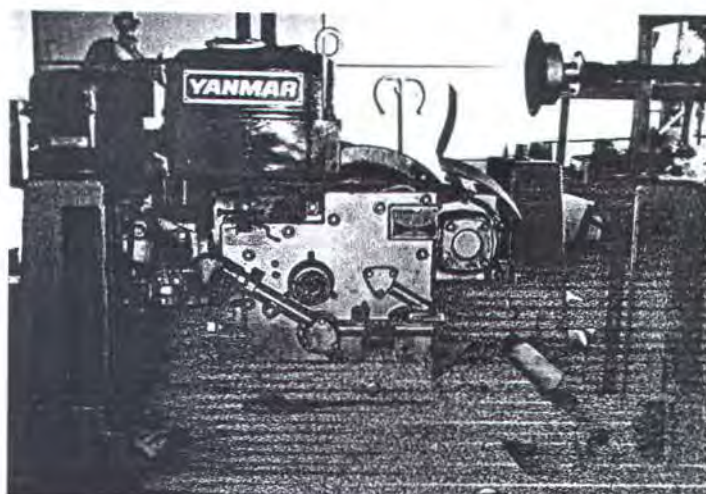


Foto motor diesel uji.

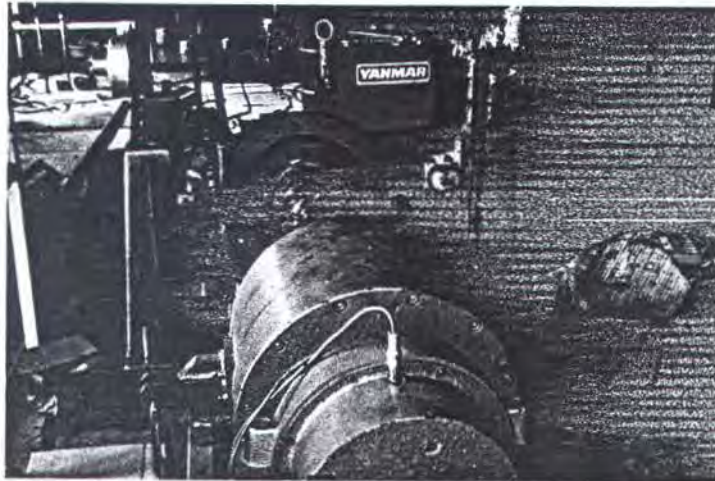


Foto water brake dynamometer Hofmann.

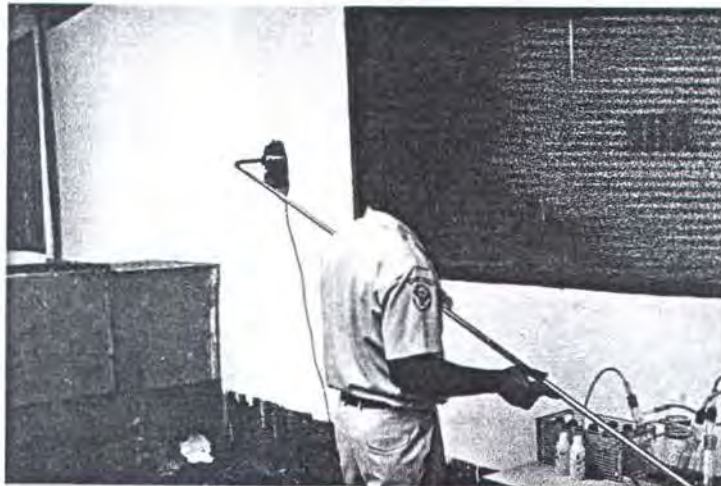


Foto pengambilan sampel NOx pada exhaust gas.

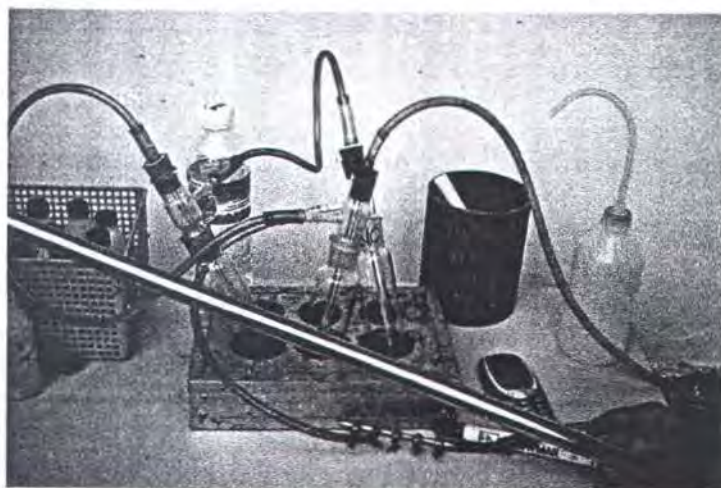


Foto tempat penyimpanan sampel NOx.

ASLI

LAMPIRAN NOMOR : PM.08.04.73.278

TANGGAL : 26 Januari 2005

HASIL PENGUJIAN CONTOH :

NO.	ASAL CONTOH	NOMOR LABORATORIUM			
		KIMIA	BIOLOGI	KFPC	UDARA
1.	NOx dari emisi mesin diesel di laboratorium Perkapalan ITS (P1)	-	-	-	386
2.	NOx dari emisi mesin diesel di laboratorium Perkapalan ITS (P2)	-	-	-	387
3.	NOx dari emisi mesin diesel di laboratorium Perkapalan ITS (P3)	-	-	-	388
4.	NOx dari emisi mesin diesel di laboratorium Perkapalan ITS (P4)	-	-	-	389
5.	NOx dari emisi mesin diesel di laboratorium Perkapalan ITS (P5)	-	-	-	390
6.	NOx dari emisi mesin diesel di laboratorium Perkapalan ITS (P6)	-	-	-	391
7.	NOx dari emisi mesin diesel di laboratorium Perkapalan ITS (P7)	-	-	-	392
8.	NOx dari emisi mesin diesel di laboratorium Perkapalan ITS (P8)	-	-	-	393
9.	NOx dari emisi mesin diesel di laboratorium Perkapalan ITS (P9)	-	-	-	394

an KEPALA
BALAI TEKNIK KESEHATAN LINGKUNGAN
SURABAYA

Sub Bagian Tata Usaha



[Handwritten signature]



LAPORAN HASIL PENGUJIAN

HASIL UJI KIMIA FISIKA GAS & UDARA

Asal sampel : Kota Surabaya
 Tanggal Pengambilan : 24 Januari 2005
 Petugas : Ibu Dwi Indarti
 dari BTKL Surabaya

Nomor	Lokasi Pengambilan
1.	NO _x dari emisi mesin diesel di Laboratorium Perkapalan ITS (P1)
2.	NO _x dari emisi mesin diesel di Laboratorium Perkapalan ITS (P2)
3.	NO _x dari emisi mesin diesel di Laboratorium Perkapalan ITS (P3)
4.	NO _x dari emisi mesin diesel di Laboratorium Perkapalan ITS (P4)
5.	NO _x dari emisi mesin diesel di Laboratorium Perkapalan ITS (P5)
6.	NO _x dari emisi mesin diesel di Laboratorium Perkapalan ITS (P6)
7.	NO _x dari emisi mesin diesel di Laboratorium Perkapalan ITS (P7)
8.	NO _x dari emisi mesin diesel di Laboratorium Perkapalan ITS (P8)
9.	NO _x dari emisi mesin diesel di Laboratorium Perkapalan ITS (P9)

No.	PARAMETER	Satuan	Nomor Laboratorium							
			386	387	388	389	390	391	392	393
1.	NO _x	ppm	0,6518	0,7708	0,9792	1,4705	0,7799	1,0255	1,0776	0,6608
2.	NO	ppm	0,3557	0,4896	0,6831	0,8469	0,5276	0,7509	0,7137	0,4160
3.	NO ₂	ppm	0,2961	0,2812	0,2961	0,6236	0,2523	0,2746	0,3639	0,2448

Perhatian : Hasil pengujian ini hanya berlaku untuk contoh di

Surabaya, 26 JAN 2005



Mengetahui :
 a.n. Kepala
 Kepala Seksi Pelayanan Teknik
 Dra. H. Siswati Kesumawardani
 NIP. 140200074

Koord. Lab. Kimia Fisika Gas &

Y.L. Sugiyanto, ST
 NIP. 140156615



JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA
KAMPUS ITS KEPUTIH SUKOLILO SURABAYA 60111
Telp. (031) 5994754, 5994251-55 Pes. 1102, Fax. 5994754

LEMBAR KEMAJUAN Pengerjaan Tugas Akhir
(LS 1336)

Nama Mahasiswa : Faatikhul Muskhaif
NRP : 4200 100 057
Dosen Pembimbing : 1. Ir. Indrajaya Gerianto, MSc.
2. Ir. Agoes Santoso, MSc. Mphil.
Judul Tugas akhir :

**Penerapan Non-thermal Plasma Treatment Untuk Meningkatkan Efektifitas
Katalis Tembaga dalam Mereduksi Emisi Nox Motor Diesel**

No	Tanggal	Kegiatan	Paraf Dosen
1	1-Aktip-02	Antena rancangan prototype	:
2	5/11/02	Bab I	:
3	10/11/02	Bab II	:
4	25/11/02	Bab III	:
5	30/11/02	Rancangan Awal	:
6	6/12/2002	Revisi rancangan c.c.	:
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			

Dosen Pembimbing I :

Surabaya,
Dosen Pembimbing II :

Ir. Indrajaya Gerianto, MSc.
NIP. 131 128 953

Ir. Agoes Santoso, MSc Mphil.
NIP. 131 933 295



LEMBAR KEMAJUAN TUGAS AKHIR

Nama / NRP : **Faatikhul Muskhaf / 4200 100 057**
Judul Tugas Akhir : **Penerapan Non-Thermal Plasma Treatment untuk Meningkatkan Efektifitas Katalis Tembaga dalam Mereduksi Emisi NOx Gas Buang Motor Diesel.**
Dosen Pembimbing : **Ir. Aguk Zuhdi, MF, MEng.**

NO	TGL	KEGIATAN	PARAF DOSEN
1	14 - 1 - 2005	Pengajuan draft tugas akhir	
2	18 - 1 - 2005	Hasil revisi draft tugas akhir	
3	20 - 1 - 2005	metodologi pengujian (bab 3)	
4	28 - 1 - 2005	Analisa data & kesimpulan (Bab 5,6)	
5	31 - 1 - 2005	Revisi Bab 5 & 6, Paper	
6	31 - 1 - 2005	Paper & Slide w/ presentasi	

Catatan (diisi oleh dosen pembimbing)

1. Tugas Akhir telah: layak / ~~tidak layak~~ (*) untuk diujikan (*) = coret yang tidak perlu
2. Catatan lain yang dianggap perlu: (bila diperlukan bisa menggunakan halaman yang kosong dibaliknya)

Aguk Zuhdi

[Signature]

[Signature]