

No : TA/TL/2005/0034

PERPUSTAKAAN FTSP UIN	
HAINAN/DESI	
TGL. TERIMA :	28 Juni 2006
NO. JUDUL :	001987
NO. INV. :	020001907081
NO. INDEK. :	

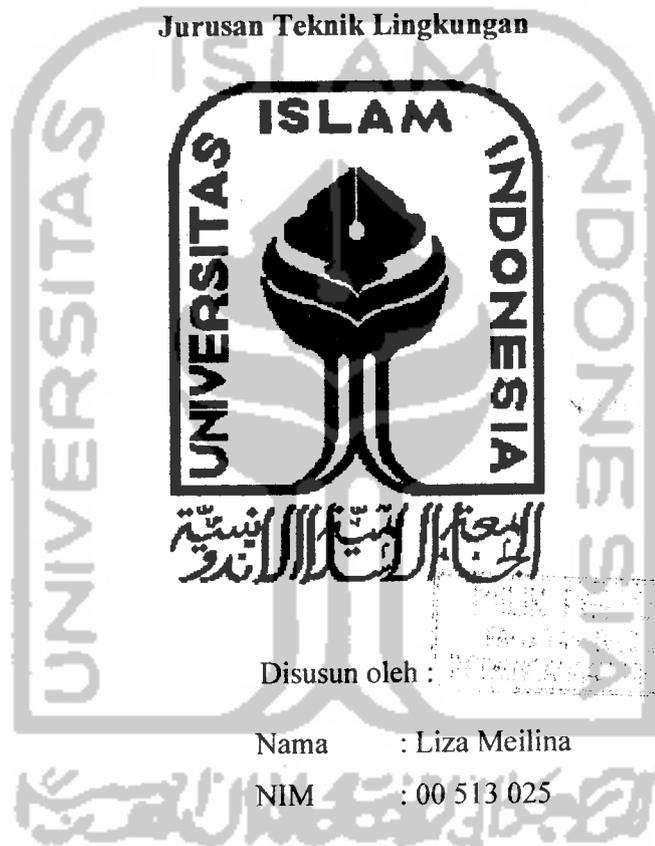
TUGAS AKHIR

“REDUKSI GAS BUANG CO dan HC DENGAN METODE LUCUTAN PLASMA TERHALANG DIELEKTRIK (LPTD)”

Untuk memenuhi sebagian persyaratan

Untuk mencapai derajat S-1 Program Studi Teknik Lingkungan

Jurusan Teknik Lingkungan



Disusun oleh :

Nama : Liza Meilina

NIM : 00 513 025

JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

YOGYAKARTA

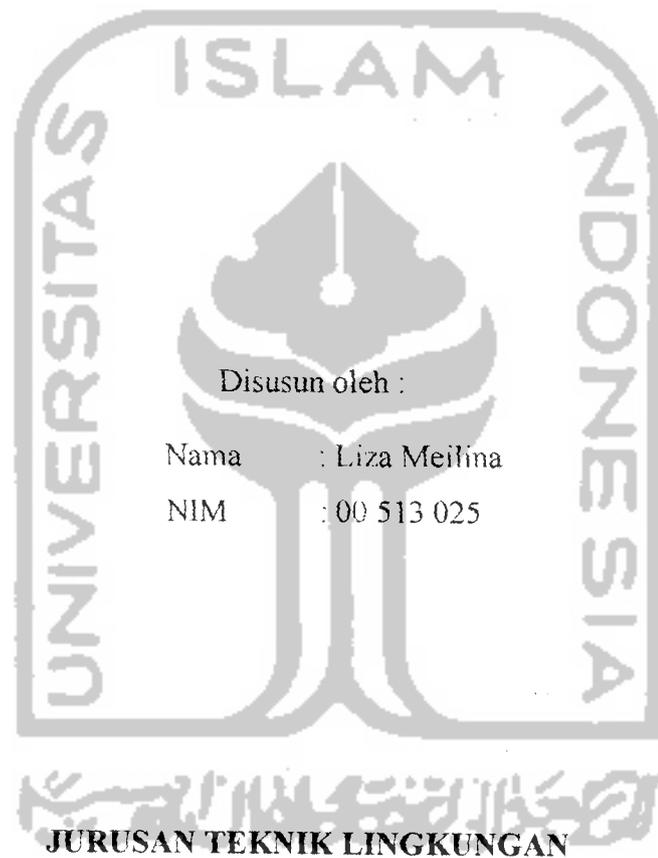
2005



TUGAS AKHIR

“REDUKSI GAS BUANG CO dan IIC DENGAN METODE LUCUTAN PLASMA TERHALANG DIELEKTRIK (LPTD)”

**Untuk memenuhi sebagian persyaratan
Untuk mencapai derajat S-1 Program Studi Teknik Lingkungan
Jurusan Teknik Lingkungan**



FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

YOGYAKARTA

2005

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

**“REDUKSI GAS BUANG CO dan HC DENGAN METODE
LUCUTAN PLASMA TERHALANG DIELEKTRIK (LPTD)”**

**Untuk memenuhi sebagian persyaratan
Untuk mencapai derajat S-1 Program Studi Teknik Lingkungan
Jurusan Teknik Lingkungan**



Dr.Ir.Kris Tri Basuki,MSc,APU
Dosen Pembimbing I

Eko siswoyo,ST
Dosen Pembimbing II

Tanggal : 4-10-05

Tanggal : 4-10-05

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

**“REDUKSI GAS BUANG CO dan HC DENGAN METODE
LUCUTAN PLASMA TERHALANG DIELEKTRIK (LPTD)”**

Disusun dan dipersiapkan oleh :

LIZA MEILINA

00 513 025

Telah disetujui dan disahkan oleh

Pusat Penelitian Pengembangan Teknologi Maju

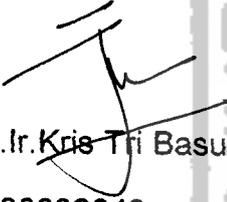
(P3TM – BATAN) Jogjakarta pada tanggaldan dinyatakan

telah memenuhi persyaratan

Mengesahkan

Kepala Bidang Teknofisokimia

Pembimbing
P3TM – BATAN


Dr. Drs. Ir. Kris Tri Basuki Msc.APU

Nip : 330002043


Dr. Drs. Ir. Kris Tri Basuki Msc.APU

Nip : 330002043

Jogjakarta,.....

Mengetahui

Kepala P3TM – BATAN Jogjakarta




Drs. Sudiarmoko.SU.APU

Nip : 330001101

ABSTRAK

Karbon monoksida (CO) dan Hidrokarbon (HC) yang dilepaskan kendaraan bermotor menjadi salah satu permasalahan lingkungan yang utama, terutama bila dikaitkan dengan pencemaran udara. Sampai saat ini belum ada teknologi yang dipakai secara massal yang mampu mereduksi kandungan CO dan HC pada emisi gas buang kendaraan secara bersamaan kecuali teknologi yang menggunakan prinsip-prinsip teknologi fisika plasma dan sebagai contoh adalah reaktor plasma non-termal model LPTD (Lucutan Plasma Terhalang Dielektrik). Prinsip kerjanya, LPTD melalui salah satu oksidator yang dihasilkannya yaitu gas ozon (O_3), mampu menguraikan emisi gas buang CO dan HC. Penelitian ini menggunakan sebuah tabung LPTD dengan luasan 157cm^2 yang membutuhkan energi 16 watt dan daya listrik 30 kVA. Adapun filter gas buang menggunakan jenis *glasswool* (silika/ SiO_2) yang memberikan variasi sebesar 25, 50 dan 75 gr. Fokus penelitian adalah emisi gas buang yang dilepaskan dari sepeda motor 4 langkah tipe Kawasaki Kaze R tahun 2000 dengan silinder tunggal 111,6 cc, SOHC, berpendingin udara serta memberikan variasi pada 2000 (40), 2500 (50), dan 3000 RPM (60 km/jam). Penelitian dilaksanakan dengan model internal untuk LPTD dan sistem *continuous* untuk sampling udara. Persentase efektifitas terbaik yang diberikan reaktor plasma LPTD dalam menguraikan gas buang CO terdapat pada filter *glasswool* sebesar 25 gr pada 2500 RPM yang memberikan nilai penurunan sebesar 33,38 %. Persentase nilai sebesar 50 % diberikan untuk HC pada filter *glasswool* 25 gr dan 2500 RPM.

Kata kunci : Plasma, LPTD, Oksidasi, Ozon

ABSTRACT

Carbon monoxida (CO) and Hydrocarbon (HC) emission from engine's exhaust have been major environmental pollution. Nowday, there's no technology applied widely to reduce Carbon monoxida (CO) and Hydrocarbon (HC) concurrently, except plasma-physics technology, and as example for non-termal plasma reactor is Dielectric Barrier Discharge (DBD). The major principle of DBD; ozone (O_3) which one of radical gasses produced by plasma reactor could remove CO and HC emissions from engine's exhaust. Ozone (O_3) is one of the strongest oxidant formed in gas. This research using a tube DBD with total area 157cm^2 and need power supply 16 watt and 30 kVA. Filter for engine exhaust using *glasswool* (silica / SiO_2) and giving variation of 25, 50 and 75 gr. As emission research focus, using Kawasaki Kaze R moped four-stroke motorcycle that was built in 2000. This motorcycle has capacity 111,6 cc single cylinder, SOHC, air-cooled engine and giving variation 2000 (40), 2500 (50), and 3000 RPM (60 km/hrs). In this research, DBD operate with internal methods, and for air sampling analyzing using continuous model. The best percentage giving by DBD for reducing CO is 33.38 % at 25 gr of *glasswool* and 2500 RPM. Result for HC show for 50 % at 25 gr of *glasswool* and 2500 RPM

Key word : Plasma, DBD, ozon, oxidant, Carbon monoxide, Hydrocarbon.

PERSEMBAHAN

LAPORAN INI DIPERSEMBAHKAN UNTUK :

AYAHANDA DAN IBUNDA TERCINTA

KAKANDA YULIA DAN ADINDA NINA DAN DODI TERSAYANG



MOTTO

' Sebab sesungguhnya sehabis kesulitan itu ada kemudahan ' (Qs.Al Insyirah : 5)

' Allah tidak akan membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya'

(Qs.Al Bagarah : 286)

' Telah aku tinggalkan ditengah kamu sekalian dua perkara, barang siapa yang mau berpegang teguh kepada keduanya tidak akan sesat selama-lamanya yaitu Al Qur'an dan Hadist'

" Dialah yang menjadikan bumi sebagai hamparan bagimu dan langit sebagai atap, dan menurunkan air (hujan) dari langit, lalu dia menghasilkan dengan hujan itu segala buah-buahan sebagai rezeki untukmu, karena itu janganlah kamu mengadakan sekutu-sekutu bagi Allah, padahal kamu mengetahui (Al.bagarah : 22)

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr.Wb

Puji syukur tiada terkira kepada yang Maha Esa pemilik sebuah alam semesta Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penyusun dapat menyelesaikan penelitian dan penyusunan laporan Tugas Akhir ini dengan baik. Shalawat serta salam tak terbatas juga saya haturkan kepada nabi besar junjungan kita nabi Muhaammad S.A.W beserta keluarga dan sahabatnya yang merupakan panutan manusia sepanjang zaman serta telah membawa kita dari zaman jahiliyah ke zaman yang terang benderang ini. Amin.

Penyusunan laporan Tugas Akhir ini merupakan salah satu persyaratan akademis guna memperoleh gelar sarjani S-1 Teknik Lingkungan di fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia Jogjakarta. Adapun judul Tugas Akhir yang saya ajukan adalah “ **REDUKSI GAS BUANG CO dan HC DENGAN METODE LUCUTAN PLASMA TERHALANG DIELEKTRIK(LPTD)** “.

Dalam penulisan laporan ini penyusun banyak mendapatkan bimbingan, bantuan, saran, arahan dan dorongan dari berbagai pihak sehingga laporan ini dapat diselesaikan dengan baik. Pada kesempatan ini tak lupa penulis juga menghaturkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Allah SWT yang memberikan ridho dan hidayah-Nya (beri hamba kesempatan untuk membahagiakan orang-orang yang tak pernah berhenti menyayangiku) serta Nabi

Muhammad S.A.W beserta keluarga, para sahabat dan pengikut-pengikut-Nya sehingga penyusun dapat menyelesaikan laporan ini.

2. Kedua orang tuaku tercinta yang selalu mendoakan demi kesuksesan dan kelancaran Tugas Akhir anaknya dan ayuk Elda, adekku Nina, dan Dodi yang telah memberikan dukungan dan doanya.
3. Bapak Dr.Ir. Kris Tri Basuki, MSc selaku dosen pembimbing I yang telah banyak membantu saya.
4. Bapak Eko siswoyo,ST selaku dosen pembimbing II yang telah banyak memberi masukan yang sangat berarti.
5. Bapak Budi, Widdi, dan staff lainnya yang telah banyak membantu penulis secara langsung maupun tidak langsung.
6. Bapak –bapak dari Bappeda yang telah memberikan izin untuk menggunakan alat gas analyzernya sehingga penelitiannya dapat berjalan dengan lancar.
7. Ibu dan Bapak-bapak yang di STTL yang telah membantu selama proses penelitian di laboratorium STTL.
8. Bapak Andik Yulianto,ST selaku koordinator Tugas Akhir.
9. Bapak Luqman Hakim,ST,MSi selaku dosen penguji.
10. Bapak Hudori, mas agus yang telah dengan sabar melayani saya dalam membuat surat adminitrasi, surat tugas, dll (semoga Allah mencatat amal kebbaikannya).
11. Nana', Cika, Ria, Wiwit, mbak diah, lala, dewi, yupit, desti dan teman-teman yang lainnya yang tak bisa disebut satu persatu terima kasih atas bantuan, doa, dan kebesamaannya yang begitu sangat berarti.

12. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu yang telah berperan baik secara langsung maupun tidak langsung.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini jauh dari sempurna dan masih banyak kekurangan, untuk itu penulis menerima saran, kritikan dan dorongan dari berbagai pihak, semoga Allah membalas budi baik yang telah diberikan. Dan berharap semoga dengan adanya laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat guna menambah pengetahuan dan wawasan bagi yang membacanya. Amin.

Wassalamu'alaikum Wr.Wb



Jogyakarta,

LIZA MEILINA

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
ABSTRAK.....	iii
ABSTRACT.....	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	iv
HALAMAN MOTTO.....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
1.6 Hipotesa.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Lingkungan Hidup.....	6
2.2 Pencemaran Udara.....	6
2.2.1 Sumber Pencemaran Udara.....	7

2.2.2 Polutan Udara.....	9
2.3 Ambien dan Emisi Zat Pencemar Udara.....	10
2.3.1 Ambien.....	10
2.3.1 Emisi.....	11
2.4 Karbon Monoksida (CO).....	11
2.4.1 Sumber Karbon Monoksida.....	12
2.4.2 Penyebaran Karbon Monoksida.....	13
2.4.3 Pengaruh Karbon Monoksida terhadap Lingkungan.....	15
2.4.3.1 Pengaruh CO terhadap Tanaman.....	15
2.4.3.2 Pengaruh CO terhadap Manusia.....	15
2.5 Hidrokarbon (HC).....	18
2.5.1 Dampak Pencemaran Hidrokarbon.....	20
2.5.2 Dampak bagi Manusia.....	20
2.5.3 Dampak bagi Tumbuhan dan Hewan.....	21
2.6 Plasma.....	22
2.7 Lucutan Senyap (<i>Silent discharge</i>).....	24
2.7.1 Dielektrik.....	26
2.7.2 Struktur dan Sifat-sifat Lucutan Mikro.....	27
2.7.3 Inisialisasi dan Ekstensi Lucutan Mikro.....	28
2.7.4 Karakteristik Arus dan Tegangan dalam Tabung Lucutan.....	28
2.7.5 Tegangan Lucutan.....	30
2.8 Teori Pembentukan Lucutan Senyap.....	31
2.9 Lucutan Plasma Terhalang Dielektrik (LPTD).....	32

2.10 Mekanisme Sistem Kerja Reaktor Plasma.....	37
2.11 Mekanisme Pembentukan O ₃ (Ozon) dalam Reaktor LPTD.....	40
2.12 Mesin Empat Langkah (<i>Four Stroke engine</i>).....	42
2.12.1 Model Pengolahan Gas Buang Untuk Mesin Empat Langkah.....	45
2.12.2 Sepeda Motor Kawasaki Kaze R Empat Langkah Tipe <i>Cub</i>	47
2.12.3 <i>Glaswool</i> atau Silika (SiO ₂).....	48

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian.....	50
3.2 Lokasi Penelitian.....	51
3.3 Waktu Penelitian.....	51
3.4 Parameter Penelitian.....	51
3.5 Desain Reaktor Lucutan Plasma Terhalang Dielektrik (LPTD).....	52
3.6 Variabel Penelitian.....	60
3.7 Metode Pelaksanaan Penelitian.....	60
3.7.1 Prosedur Pengujian/Pengukuran Gas Buang.....	60
3.7.2 Persiapan Peralatan.....	62
3.7.2 Tahap Pelaksanaan percobaan.....	65
3.8 Rancangan Penelitian.....	71
3.9 Analisa Data.....	71

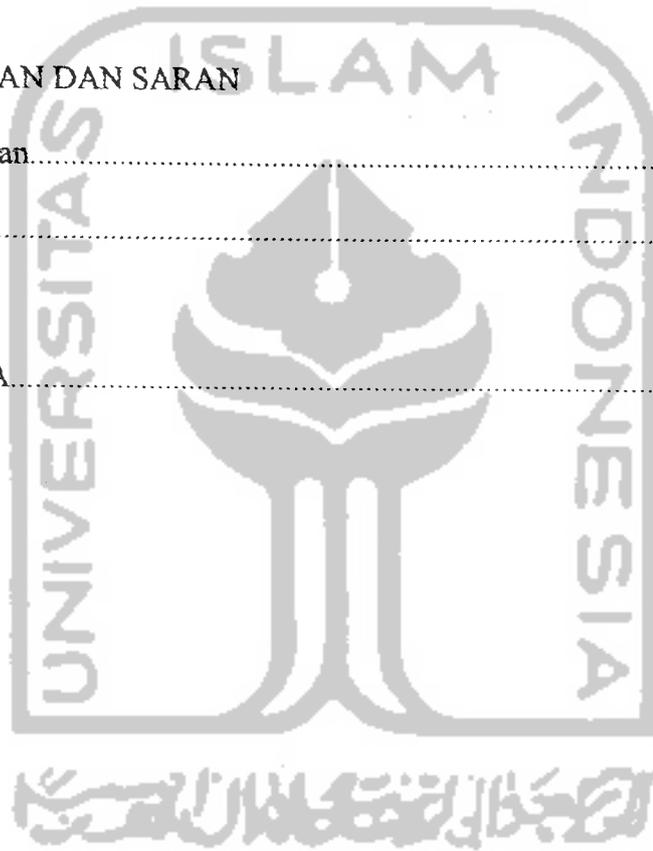
BAB IV PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengukuran Kadar CO dan HC dengan Variabel RPM Tanpa Filter Dan Pembahasannya.....	72
4.2 Hasil Pengukuran Kadar CO dan HC Sebelum dan Sesudah Pemberlakuan Plasma dengan Variabel RPM dan Filter.....	74
4.3 Lucutan Plasma Terhalang Dielektrik (LPTD).....	91
4.4 Proses yang Terjadi didalam Tabung Plasma.....	92

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan.....	94
5.2 Saran.....	95

DAFTAR PUSTAKA.....	96
---------------------	----



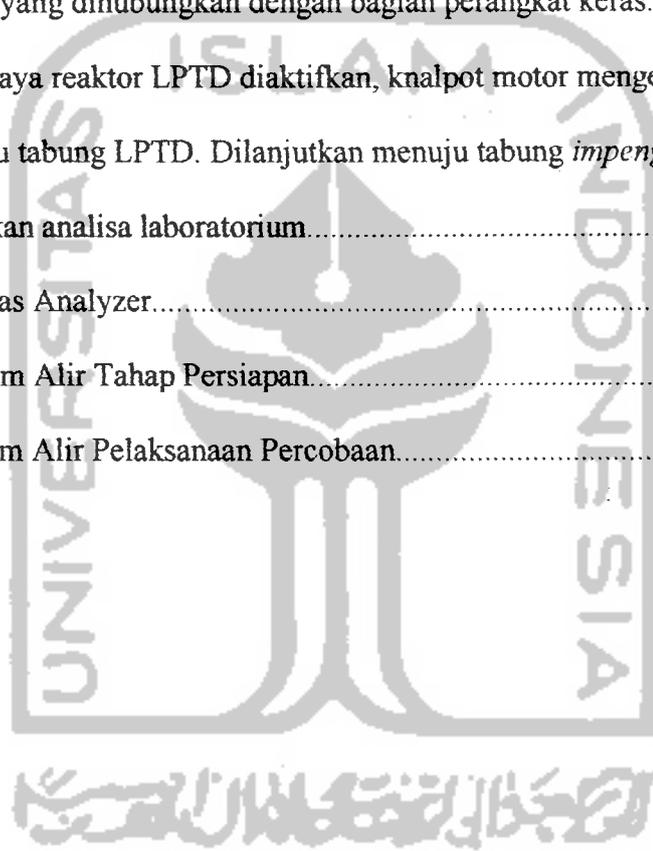
DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perkiraan Prosentasi Komponen Pencemar Udara dari Sumber Pencemar Tranportasi di Indonesia.....	8
Tabel 2.2 Toksisitas Relatif Polutan Udara.....	10
Tabel 2.3 Pengaruh Konsentrasi COHb didalam Darah Terhadap Kesehatan Manusia... 16	
Tabel 2.4 Data Ekuilibrium Antara COHb di Dalam Darah Dengan CO di Udara.....	17
Tabel 2.5 Level Toksisitas Hidrokarbon Aromatik Jenuh.....	21
Tabel 2.6 Karakteristik <i>Microdischarge</i>	38
Tabel 3.1 Parameter Penelitian.....	52
Tabel 4.1 Kadar CO dan HC Variabel RPM Tanpa Filter.....	72
Tabel 4.2 Ambang Batas Gas Emisi.....	73
Tabel 4.3 Baku Mutu Emisi.....	74
Tabel 4.4 Kadar CO dengan Variabel RPM dan Filter 25 gr glass wool.....	74
Tabel 4.5 Pengaruh Konsentrasi COHb didalam Darah Terhadap Kesehatan Manusia... 79	
Tabel 4.6 Data Ekuilibrium Antara COHb di Dalam Darah Dengan CO di Udara	80
Tabel 4.7 Kadar HC dengan Variabel RPM dan Filter 25 gr glass wool.....	80
Tabel 4.8 Level Toksisitas Hidrokarbon Aromatik Jenuh.....	82
Tabel 4.9 Kadar CO dengan Variabel RPM dan Filter 50 gr glass wool.....	83
Tabel 4.10 Kadar HC dengan Variabel RPM dan Filter 50 gr glass wool.....	86
Tabel 4.11 Kadar CO dengan Variabel RPM dan Filter 75 gr glass wool.....	87
Tabel 4.12 Kadar HC dengan Variabel RPM dan Filter 75 gr glass wool.....	89
Tabel 4.13 Penurunan kadar CO dan HC Setelah Pemberlakuan Plasma.....	91
Tabel 4.14 Penurunan Kadar CO dan HC setelah Pemberlakuan Plasma.....	91

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Konfigurasi lucutan senyap.....	25
Gambar 2.2 Kurva Paschen.....	28
Gambar 2.3 Hubungan antara arus I dan tegangan V dalam tabung lucutan.....	30
Gambar 2.4 Konfigurasi peletakan elektrode pada model <i>silent discharge</i>	33
Gambar 2.5 LPNT model Lucutan Korona.....	34
Gambar 2.6 LPNT model LPTD.....	34
Gambar 2.7 Gambar <i>Lichtenberg</i> yang mewakili lucutan mikro yang tersebar di seluruh permukaan dielektrik yang ditangkap oleh film.....	35
Gambar 2.8 Variasi konfigurasi LPTD planar dan silindris.....	36
Gambar 2.9 Jejak lucutan yang terekam pada kertas film pada reaktor plasma	38
Gambar 2.10 Sistem kerja dari mesin empat langkah konvensional.....	43
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	50
Gambar 3.2 Tabung Reaktor LPTD yang digunakan dalam penelitian.....	53
Gambar 3.3 Tabung Reaktor LPTD tanpa penutup elektroda luar sehingga terlihat lapisan dielektrik dan elektroda sebelah dalam	53
Gambar 3.4 Catu daya listrik sebagai sumber listrik reaktor LPTD	55
Gambar 3.5 Adaptor penghubung knalpot kendaraan dengan tabung filter <i>glasswool</i>	55
Gambar 3.6 Pemasangan adaptor dengan tabung filter <i>glasswool</i>	56
Gambar 3.7 Nipel pada ujung tabung filter yang dihubungkan dengan selang dan selanjutnya selang ini menuju reaktor plasma.....	57
Gambar 3.8 Tabung pembagi yang dilengkapi dengan nipel pada kedua ujungnya.....	58
Gambar 3.9 Skematik pemasangan RPM digital pada sistem kelistrikan sepeda motor...59	

Gambar 3.10 RPM digital dengan model pembacaan penunjuk jarum.....	59
Gambar 3.11 Perangkat keras (dari kiri ke kanan) berupa tabung filter <i>glasswool</i> , saluran penghubung / adaptor, saluran pembagi dan saluran untuk sensor elektronik CO dan HC.....	63
Gambar 3.12 Alur Pengambilan Sampel.....	65
Gambar 3.13 Salah satu bagian dari perangkat keras yang dipasangkan dengan knalpot Kendaraan.....	66
Gambar 3.14 LPTD yang dihubungkan dengan bagian perangkat keras.....	66
Gambar 3.15 Catu daya reaktor LPTD diaktifkan, knalpot motor mengeluarkan gas, dan menuju tabung LPTD. Dilanjutkan menuju tabung <i>impenger</i> dan siap untuk dilakukan analisa laboratorium.....	67
Gambar 3.16 Alat Gas Analyzer.....	68
Gambar 3.17 Diagram Alir Tahap Persiapan.....	69
Gambar 3.18 Diagram Alir Pelaksanaan Percobaan.....	70



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Udara adalah campuran gas yang merupakan lapisan tipis yang meliputi bumi dan merupakan gas yang tidak kelihatan, tidak berasa dan tidak berbau. Pencemaran udara datang dari berbagai sumber dan memasuki udara, air, dan tanah dengan berbagai cara. Pencemaran udara terutama datang dari kendaraan bermotor, industri, pembakaran sampah dan aktivitas gunung berapi.

Udara merupakan salah satu kebutuhan yang penting. Semua makhluk hidup membutuhkan untuk bernapas. Udara yang dibutuhkan adalah udara bersih, tidak mengandung senyawa yang berbahaya yang melebihi batas ambangnya. Senyawa yang ada di udara melebihi ambang batas atau melebihi kadar yang ada di alam dikatakan polutan. Yang termasuk ke dalam polutan udara diantaranya ialah karbon dioksida, hidrokarbon, nitrogen, oksidasi sulfur, dan lain-lain.

Proses pencemaran dapat terjadi secara langsung maupun tidak langsung. Secara langsung yaitu bahwa pencemaran tersebut langsung berdampak meracuni sehingga mengganggu kesehatan manusia, hewan, dan tumbuhan atau mengganggu keseimbangan ekologis baik air, udara maupun tanah. Proses tidak langsung yaitu beberapa zat kimia bereaksi di udara, air maupun tanah, sehingga menyebabkan pencemaran.

Permasalahan lingkungan khususnya pencemaran udara merupakan masalah serius yang dirasakan penduduk diseluruh dunia. Berbagai upaya untuk

mengatasinya telah dilakukan baik melalui konvensi internasional maupun penelitian yang dilakukan yang melahirkan berbagai produk. Salah satu diantaranya adalah modul-modul teknologi maju. Salah satu modul teknologi maju yang diajukan adalah teknologi lucutan plasma terhalang dielektrik (LPTD) atau yang dikenal pula dengan sebutan lucutan senyap. LPTD adalah lucutan plasma tak seimbang pada kondisi tekanan atmosfer yang diperoleh bila salah satu elektodenya diberi lapisan dielektrik. Lucutan pada tekanan ini ditunjukkan oleh munculnya sebegitu banyak lucutan mikro berumur pendek yang terdistribusi secara acak. Lucutan mikro ini merupakan sumber elektron yang merupakan peran utama dalam perusakan gas buang yang dilewatkan dalam sistem LPTD.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah digunakan untuk mempermudah kerangka berfikir yang sistematis. Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Apakah proses yang terjadi pada LPTD dapat mereduksi CO dan HC yang dikeluarkan oleh gas buang kendaraan 4 langkah dengan metode LPTD?
2. Apakah variasi RPM mesin kendaraan 4 langkah dapat mempengaruhi proses penguraian CO dan HC yang dikeluarkan oleh gas buang dengan metode LPTD ?
3. Apakah variasi filter pada gas buang mempengaruhi proses penguraian CO dan HC dengan metode LPTD ?

1.3 Batasan Masalah

Dari rumusan masalah yang ditentukan dan agar penelitian dapat berjalan sesuai dengan keinginan sehingga tidak terjadi penyimpangan, maka batasan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Kendaraan roda dua (merk suzuki) tipe mesin bensin 4 langkah dengan kapasitas mesin 111,6 cc sebagai objek penelitian gas buang.
2. Penggunaan 1 tabung plasma dielektrik yang didesain dan dibuat oleh BATAN, yang mempunyai luasan 157 cm^2 dan memerlukan energi 16 watt.
3. *Glasswool* digunakan sebagai filter partikulat gas buang
4. Parameter gas buang yang diperiksa adalah CO (karbonmonoksida) dan HC (hidrokarbon).
5. Ozon digunakan sebagai acuan radikal bebas dalam reaktor LPTD yang digunakan untuk memecah senyawa CO dan HC.
6. Arus listrik yang digunakan sebagai catu daya reaktor LPTD adalah arus AC tegangan tinggi 220 V yang dibuat dan didesain khusus oleh BATAN.
7. Reaktor LPTD dioperasikan dengan sistem *internal* untuk menguraikan gas buang. Model pengaliran gas buang menggunakan sistem *continuous*.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian mereduksi gas buang dengan menggunakan metode LPTD ini adalah sebagai berikut :

1. Mengkaji proses reduksi CO dan HC yang dikeluarkan oleh gas buang kendaraan 4 langkah dengan metode LPTD melalui ozon sebagai radikal bebasnya.
2. Mengkaji pengaruh variasi RPM mesin dengan proses penguraian CO dan HC yang dikeluarkan oleh gas buang kendaraan 4 langkah dengan metode LPTD.
3. Mengkaji pengaruh variasi filter pada proses penguraian CO dan HC yang dikeluarkan oleh gas buang kendaraan 4 langkah dengan metode LPTD.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah :

1. Apabila model LPTD ini berhasil, maka dapat memberi sumbangan teknologi baru dalam mengatasi pencemaran udara.
2. Teknologi ini bila berhasil juga dapat dimanfaatkan pada kendaraan mobil, dan pabrik-pabrik industri lainnya.
3. Mahasiswa dapat meningkatkan kemampuan dan pengalaman dalam suatu penelitian.

1.6 Hipotesa

Hipotesa penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Pada variasi RPM mesin, semakin tinggi RPM mesin, efektifitas dari LPTD akan semakin menurun dikarenakan beban LPTD dalam mengurai gas buang akan semakin besar
2. Pada variasi filter, semakin banyak filter yang digunakan, maka efektifitas LPTD dalam mereduksi gas buang akan meningkat dikarenakan terjadi penurunan partikel yang masuk ke dalam LPTD. Seperti diketahui sebelumnya, partikel ini dikenal sebagai faktor pengganggu.
3. Secara proses, LPTD dapat mereduksi CO dan HC yang dihasilkan dari gas buang kendaraan bermotor bensin 4 langkah melalui pembentukan radikal bebasnya yang dapat memecah senyawa tersebut menjadi senyawa yang tidak bersifat polutan bagi lingkungan sekitarnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Lingkungan Hidup

Menurut Undang-Undang Pengelolaan Lingkungan Hidup Nomor 23 Tahun 1997, yang dimaksud dengan Lingkungan Hidup adalah kesatuan ruang dengan semua benda, daya, keadaan, dan makhluk hidup termasuk manusia dan perilakunya yang mempengaruhi perikehidupan dan kesejahteraan manusia serta makhluk hidup lain.

Pencemaran lingkungan hidup adalah masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, atau komponen lain ke dalam lingkungan hidup oleh kegiatan manusia, sehingga kualitas turun sampai kualitas tertentu yang menyebabkan lingkungan tidak dapat lagi sesuai dengan peruntukannya. Pencemaran lingkungan dapat berbentuk pencemaran air, tanah maupun udara yang semuanya itu akan membawa dampak negatif terhadap manusia. Dampak pencemaran lingkungan tidak hanya berpengaruh dan berakibat kepada lingkungan alam saja, akan tetapi berakibat dan berpengaruh terhadap kehidupan tanaman, hewan dan juga manusia.

2.2 Pencemaran Udara

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 41 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara pasal 1, yang dimaksud dengan pencemaran udara adalah masuknya zat, energi, dan atau komponen lain ke dalam

udara ambien oleh kegiatan manusia, sehingga mutu udara ambien turun sampai ketinggian tertentu yang menyebabkan udara ambien tidak dapat memenuhi fungsinya.

Perubahan lingkungan udara pada umumnya disebabkan pencemaran udara, yaitu masuknya zat pencemar (berbentuk gas-gas dan partikel kecil/aerosol) ke dalam udara. Masuknya zat pencemaran udara dapat secara alamiah, juga sebagian besar disebabkan oleh kegiatan manusia, misalnya akibat aktivitas transportasi.

Udara di alam tidak pernah ditemukan bersih tanpa polutan sama sekali. Beberapa gas seperti sulfur dioksida (SO_2), hidrogen sulfida (H_2S), dan karbon monoksida (CO) selalu dibebaskan ke udara sebagai produk sampingan dari proses-proses alami seperti aktivitas vulkanik, pembusukan sampah tanaman, kebakaran hutan, dan sebagainya. Selain disebabkan polutan alami tersebut, polusi udara juga dapat disebabkan oleh aktivitas manusia.

2.2.1 Sumber Pencemar Udara

Pembangunan yang berkembang pesat dewasa ini, khususnya dalam industri dan teknologi, serta meningkatnya jumlah kendaraan bermotor yang menggunakan bahan bakar fosil (minyak) menyebabkan udara yang kita hirup disekitar kita menjadi tercemar oleh gas-gas buangan hasil pembakaran.

Sumber polusi yang utama berasal dari transportasi, dengan hasil 60 % dari polutan yang dihasilkan terdiri dari karbon monoksida dan sekitar 15 % terdiri dari hidrokarbon. Polutan yang utama adalah karbon monoksida yang mencapai hampir setengahnya dari seluruh polutan yang ada.

Tabel 2.1 Perkiraan Persentase Komponen Pencemar Udara dari Sumber Pencemar Transportasi di Indonesia.

Komponen Pencemar	Persentase
CO	70.50%
NO _x	8.89%
SO _x	0.88%
HC	18.34%
Partikel	1.33%
Total	100%

(Sumber : Wardhana, 2001)

Pencemaran udara akibat aktivitas manusia (kegiatan antropogenik), secara kuantitatif sering lebih besar. Untuk kategori ini sumber-sumber pencemaran dibagi dalam pencemaran akibat transportasi, industri, dari persampahan, baik akibat proses dekomposisi ataupun pembakaran, dan rumah tangga.

Pencemaran udara akibat kegiatan transportasi yang sangat penting adalah akibat kendaraan bermotor. Kendaraan bermotor merupakan sumber pencemaran udara yaitu dengan dihasilkannya gas CO, NO_x, hidrokarbon, SO₂ dan tetraethyl lead, yang merupakan bahan logam timah yang ditambahkan ke dalam bensin berkualitas rendah untuk meningkatkan nilai oktan untuk mencegah terjadinya letupan pada mesin.

Dalam memperkirakan dan menilai dampak yang timbul terhadap lingkungan udara, sumber (rencana kegiatan) umumnya dikelompokkan dalam beberapa golongan :

1. Sumber titik, yang termasuk di dalam kelompok ini adalah titik cerobong asap industri.

2. Sumber garis, yang merupakan integrasi dari sumber-sumber titik yang tak terhingga banyaknya, sehingga dapat dianggap menjadi sumber garis yang seluruhnya memancarkan pencemar udara contohnya adalah jalan raya yang mengemisikan CO, HC, NO_x, partikulat, SO_x.
3. Sumber area, yang sebenarnya merupakan integrasi dari banyak sumber titik dan sumber garis.

2.2.2 Polutan Udara

Polutan udara dibagi menjadi dua yaitu :

1. Berdasarkan dari kegiatan terbentuknya pencemar terdiri dari :
 - a. Pencemar primer (yang diemisikan langsung oleh sumbernya) yaitu polutan yang mencakup 90% dari polutan udara seluruhnya.
 - b. Pencemar sekunder, yang terbentuk karena reaksi di udara antara berbagai zat.
2. Dilihat dari ciri fisik bahan pencemar dapat berupa :
 - a. Partikel (debu, aerosol, timah hitam)
 - b. Gas (CO, NO_x, H₂S, hidrokarbon)
 - c. Energi (suhu dan kebisingan)

Ada 5 (enam) polutan utama yang ditimbulkan oleh kendaraan bermotor yaitu :

1. Karbon monoksida (CO)
2. Hidrokarbon (HC)
3. Nitrogen oxides (NO_x)
4. Sulfur dioksida (SO_x)

5. Partikel

Toksisitas kelima kelompok polutan tersebut berbeda-beda dan tabel 2.2 menyajikan toksisitas relatif masing-masing kelompok polutan tersebut.

Tabel 2.2 Toksisitas Relatif Polutan Udara.

Polutan	Level Toleransi		Toksisitas Relatif
	ppm	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	
CO	32.0	10.000	1.00
HC		19.300	2.07
SO _x	0.50	1.430	28.0
NO _x	0.25	514	77.8
Partikel		375	106.7

(Sumber : Fardiaz, 1992)

Ternyata polutan yang paling berbahaya bagi kesehatan adalah partikel-partikel, diikuti berturut-turut dengan NO_x, SO_x, hidrokarbon, dan yang paling rendah toksisitasnya adalah karbon monoksida.

2.3 Ambien dan Emisi Zat Pencemar Udara

2.3.1 Ambien

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 41 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara Pasal 1, yang dimaksud dengan udara ambien adalah udara bebas di permukaan bumi pada lapisan troposfir yang berada di dalam wilayah yuridiksi RI yang dibutuhkan dan mempengaruhi kesehatan manusia, makhluk hidup dan unsur lingkungan hidup lainnya. Baku mutu udara ambien adalah ukuran batas/kadar zat, energi dan/ atau yang seharusnya ada dan/ atau unsur pencemar yang ditanggung keberadaannya dalam udara ambien.

2.3.2 Emisi

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 41 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara Pasal 1, yang dimaksud dengan emisi, sumber bergerak, dan ambang batas emisi gas buang kendaraan bermotor adalah sebagai berikut :

1. Emisi adalah zat, energi, dan/ atau komponen lain yang dihasilkan dari suatu kegiatan yang masuk dan/ atau dimasukkan ke dalam udara ambien yang mempunyai dan/ atau tidak mempunyai potensi sebagai unsur pencemar.
2. Sumber emisi adalah setiap usaha dan/ atau kegiatan yang mengeluarkan emisi dari sumber bergerak, sumber spesifik, sumber tidak bergerak, maupun bergerak tidak spesifik.
3. Ambang batas emisi gas buang kendaraan bermotor adalah batas maksimum zat atau bahan pencemar yang boleh dikeluarkan langsung dari pipa gas buang kendaraan bermotor.

2.4 Karbon Monoksida (CO)

Karbon monoksida (CO) adalah suatu komponen tidak berwarna, tidak berbau dan tidak berasa yang terdapat dalam bentuk gas pada suhu di atas -192°C . komponen ini mempunyai berat sebesar 96.5 % dari berat air dan tidak larut di dalam air.

2.4.1 Sumber Karbon Monoksida

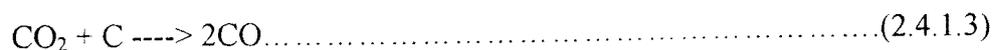
Sumber karbon monoksida yang terdapat di alam terbentuk dari salah satu proses sebagai berikut :

1. Pembakaran tidak lengkap terhadap karbon atau komponen yang mengandung karbon. Oksidasi tidak lengkap terhadap karbon atau komponen yang mengandung karbon terjadi jika jumlah oksigen yang tersedia kurang dari jumlah yang dibutuhkan untuk pembakaran sempurna dimana dihasilkan karbon monoksida. Secara sederhana pembakaran karbon dalam minyak bakar terjadi melalui beberapa tahap sebagai berikut :



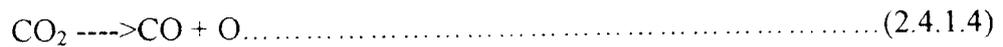
Pencampuran yang tidak rata antara minyak bakar dengan udara menghasilkan beberapa tempat atau area yang kekurangan oksigen. Semakin rendah perbandingan antara udara dan minyak bakar, semakin tinggi jumlah karbon monoksida yang dihasilkan.

2. Reaksi antara monoksida dan komponen yang mengandung karbon pada suhu tinggi. Reaksi ini dapat menghasilkan karbon monoksida dengan reaksi sebagai berikut :



3. Pada suhu tinggi, karbon dioksida terurai menjadi karbon monoksida dan O. Pada kondisi dimana jumlah oksigen cukup melakukan pembakaran lengkap terhadap karbon kadang-kadang terbentuk juga CO. Keadaan ini disebabkan pada suhu tinggi CO₂ akan terdisosiasi menjadi CO dan O. Karbon dioksida dan CO

terdapat pada keadaan ekuilibrium pada suhu tinggi dengan reaksi sebagai berikut :



2.4.2 Penyebaran Karbon Monoksida

Penyebaran karbon monoksida di udara tergantung pada keadaan lingkungan. Untuk daerah perkotaan yang banyak kegiatan industrinya dan lalu lintasnya padat, udaranya sudah banyak tercemar gas CO. Ternyata tanah yang masih terbuka dimana belum ada bangunan di atasnya, dapat membantu penyerapan gas CO. Hal ini disebabkan mikroorganisme yang ada di dalam tanah mampu menyerap gas CO yang terdapat di udara. Angin dapat mengurangi konsentrasi gas CO pada suatu tempat karena dipindahkan ke tempat lain.

Karena kendaraan bermotor merupakan sumber polutan CO yang utama (sekitar 59,2 %), maka daerah-daerah yang berpendudukan padat dengan lalu lintas sampai memperlihatkan tingkat polusi CO yang tinggi. Konsentrasi CO di udara perwaktu dalam satu hari dipengaruhi oleh kesibukan atau aktivitas kendaraan bermotor yang ada. Konsentrasi CO di udara pada tempat tertentu dipengaruhi oleh kecepatan emisi (pelepasan) CO di udara dan kecepatan dispersi dan pembersihan CO di udara. Pada daerah perkotaan kecepatan pembersihan CO dari udara sangat lambat, oleh karena kecepatan dispersi dan pembersihan CO dari udara sangat menentukan konsentrasi CO di udara. Kecepatan dispersi dipengaruhi langsung oleh faktor-faktor meteorologi seperti kecepatan dan arah angin, turbulen udara, dan stabilitasi atmosfer.

Jika dilihat dari sumber-sumber yang memproduksi CO, maka seharusnya pencemaran CO di udara cukup tinggi. Tetapi ternyata hal ini tidak terjadi, dengan kata lain jumlah pencemaran CO di udara jauh lebih kecil dibandingkan dengan jumlah yang dilepaskan di atmosfer. Mekanisme alami dimana karbon monoksida hilang dari udara telah banyak diteliti, dan pembersihan CO dari udara kemungkinan terjadi karena beberapa proses sebagai berikut :

1. Reaksi atmosfer yang berjalan sangat lambat sehingga jumlah CO yang hilang sangat sedikit.
2. Aktivitas mikroorganisme yang terdapat dalam tanah dapat menghilangkan CO dengan kecepatan relatif tinggi dari udara.

Kecepatan reaksi yang mengubah CO menjadi CO₂ ($2\text{CO} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}_2$) yang terjadi pada atmosfer bawah hanya dapat menghilangkan sekitar 0.1 % dari CO yang ada perjam dengan adanya matahari. Berdasarkan kecepatan ini, CO di atmosfer diperkirakan mempunyai umur rata-rata 3.5 bulan.

Berbagai mikroorganisme yang terdapat di dalam tanah dapat menghilangkan CO dari udara secara cepat. Sebagai contoh suatu percobaan menggunakan pot yang diisi tanah dengan berat 2.8 kg dan yang ditempatkan dalam suatu ruangan tertentu 20 ppm CO, ternyata dalam waktu 3 jam semua CO dapat dihilangkan dari udara. Jika pot berisi tanah tersebut disterilkan terlebih dahulu, ternyata kemampuan untuk membersihkan CO dari udara hilang. Dari penelitian tersebut telah berhasil di isolasi sebanyak 200 organisme, dan ternyata yang aktif dalam pembersihan CO terutama adalah fungi yaitu sebanyak 16 spesies.

Meskipun tanah dengan mikroorganisme di dalamnya dapat berfungsi dalam pembersihan CO di atmosfer, tetapi kenaikan konsentrasi CO di udara masih terjadi. Hal ini disebabkan tanah yang tersedia tidak tersebar rata, bahkan di daerah-daerah dimana produksi CO sangat tinggi kadang-kadang persediaan tanah sangat terbatas.

2.4.3 Pengaruh Karbon Monoksida Terhadap Lingkungan

2.4.3.1 Pengaruh CO Terhadap Tanaman

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa pemberian CO selama 1 sampai 3 minggu pada konsentrasi sampai pada 100 ppm tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap tanam-tanaman tingkat tinggi. Akan tetapi kemampuan akan fiksasi nitrogen oleh bakteri bebas akan terhambat dengan pemberian CO selama 35 jam pada konsentrasi 2000 ppm. Karena konsentrasi CO di udara jarang mencapai 100 ppm, meskipun dalam waktu sebentar, maka pengaruh CO terhadap tanam-tanaman biasanya tidak terlihat secara nyata.

2.4.3.2 Pengaruh CO Terhadap Manusia

Gas CO adalah gas tidak berwarna dan tidak berbau, bersifat mematikan manusia dalam beberapa menit pada kadar lebih dari 5000 ppm. CO bereaksi dengan hemoglobin dalam darah membentuk senyawa *carboxyhemoglobin* (COHb). Hemoglobin lebih reaktif dengan CO dibanding terhadap oksigen, sehingga membentuk COHb efektif sekali pada pengusiran oksigen. Pada COHb kadar 5 sampai 10 %, persepsi visual, keterampilan manual, dan keterampilan belajar akan terganggu. Pada konsentrasi 30 ppm CO dalam waktu 8 jam akan terjadi kadar COHb

7.5 %. Pada kadar 2.5 – 3 % orang akan terkena penyakit jantung, dan tidak akan mampu menampilkan latihan-latihan tertentu sebagaimana yang dapat dilakukan oleh orang yang tidak memiliki COHb. Pada konsentrasi CO 20 ppm dalam waktu 8 jam akan menghasilkan kadar COHb 2.8 %.

Afinitas CO terhadap hemoglobin adalah 200 kali lebih tinggi dari pada afinitas oksigen terhadap hemoglobin, akibatnya jika CO dan SO₂ terdapat bersama-sama di udara akan membentuk COHb dalam jumlah yang lebih banyak daripada O₂Hb. Faktor penting yang menentukan pengaruh CO terhadap tubuh manusia adalah konsentrasi COHb yang terdapat di dalam darah, dimana semakin tinggi persentase hemoglobin yang terikat dalam bentuk COHb, semakin parah pengaruhnya terhadap kesehatan manusia.

Tabel 2.3 Pengaruh Konsentrasi COHb di dalam Darah Terhadap Kesehatan Manusia

Konsentrasi COHb dalam darah (%)	Pengaruh terhadap kesehatan
< 1.0	Tidak ada pengaruh
1.0-2.0	Penampilan agak tidak normal
2.0-5.0	Pengaruhnya terhadap system saraf sentral, reaksi panca indra tidak normal, benda terlihat agak kabur .
≥ 5.0	Perubahan fungsi jantung dan pulmonan
10.0-8.0	Kepala pusing, mual berkunang-kunang, pingsan , sukar bernapas, kematian.

*Stoker dan Seager (1972)
(Sumber : Fardiaz, 1992)

Pada konsentrasi CO tertentu di udara konsentrasi COHb di dalam darah akan mencapai konsentrasi ekuilibrium setelah beberapa waktu tertentu. Secara normal sebenarnya darah mengandung COHb dalam jumlah sekitar 0.5 %. Jumlah ini berasal dari CO yang diproduksi oleh tubuh selama metabolisme pemecahan heme yaitu komponen dari hemoglobin. Persen ekuilibrium COHb di dalam darah manusia yang mengalami kontak dengan CO dapat ditentukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\frac{Co - Hb}{O_2 - Hb} = M \frac{P_{CO}}{P_{O_2}} \dots\dots\dots(2.4.3.2.1)$$

Tabel 2.4 memperlihatkan hasil perhitungan konsentrasi COHb dalam darah menurut rumus tersebut.

Tabel 2.4 Data Ekuilibrium Antara COHb di Dalam Darah Dengan CO di Udara

Konsentrasi CO di udara (ppm)	Konsentrasi ekuilibrium COHb di dalam darah (%)
10	0.99
20	1.96
30	2.91
50	4.76
70	6.54
90	8.25
100	9.09

(Sumber : Fardiaz,1992)

2.5 Hidrokarbon (HC)

Hidrokarbon merupakan ikatan yang tersusun oleh penyusun utamanya adalah karbon ($A_r = 12$) dan atom hydrogen ($A_r = 1$). Ikatan yang dibentuk dapat berupa ikatan-ikatan lurus (ikatan rantai) atau ikatan cincin (ikatan tertutup). Ada dua kemungkinan HC sebagai pencemar udara :

1. HC sebagai emisi akan menjadi bahan pencemar udara apabila HC tidak tercampur rata pada saat pembakaran, sehingga tidak bereaksi dengan oksigen maka HC ini akan keluar dengan gas buangan hasil pembakaran.
2. Kemungkinan lain yang menyebabkan HC menjadi pencemar udara yaitu pada saat HC yang tidak ikut terbakar dengan oksigen mengalami *cracking* akibat suhu yang tinggi dari hasil pembakaran.

Ikatan karbon, jumlah atom karbon dalam senyawa hidrokarbon akan menentukan bentuk hidrokarbon, apakah berupa padat, cair atau gas. Pada suhu kamar umumnya HC suku rendah (jumlah atom C sedikit) akan berbentuk gas, HC suku menengah (jumlah atom C sedang) akan berbentuk cairan dan HC suku tinggi (jumlah atom C banyak) akan berbentuk padatan. Selain berdasarkan bentuk ikatannya (ikatan lurus dan bercabang), hidrokarbon juga dapat dibagi berdasarkan jumlah ikatan rangkap antara lain :

1. ikatan rangkap Satu
2. ikatan rangkap dua dan tiga

Ikatan lurus adalah ikatan yang membentuk rantai dengan pola terbuka. Dan salah satu yang tergolong dalam hidrokarbon ikatan lurus adalah hidrokarbon alifatik. Sedangkan hidrokarbon alisiklik dan aromatik memiliki lingkaran cincin.

Ikatan cincin, rantai lingkaran pada hidrokarbon aromatik berikatan konjungkat, yaitu ikatan tunggal dan rangkap selang-seling. Semua hidrokarbon siklik yang tidak termasuk aromatik digolongkan ke dalam hidrokarbon alisiklik. Hidrokarbon alisiklik dan aromatik mempunyai sifat-sifat yang berbeda nyata. Sifat hidrokarbon alisiklik lebih mirip dengan hidrokarbon alifatik.

Ikatan rangkap dua dan tiga merupakan senyawa kelompok alkena dengan rumus senyawa C_nH_{2n} (untuk ikatan rangkap dua) dan kelompok senyawa alkuna dengan rumus senyawa C_nH_{2n-2} (untuk ikatan rangkap tiga). Kedua ikatan rangkap ini disebut juga ikatan jenuh karena jumlah atom hidrogennya kurang bila dibandingkan dengan senyawa alkana.

Sifat fisis alkena hampir sama dengan alkana. Pada suhu kamar suku-suku rendah berwujud gas, suku-suku sedang berwujud cair, sedangkan suku-suku tinggi terwujud padat. Alkena dapat mengalami polimerisasi untuk membentuk molekul besar dari molekul sederhana. Sifat fisis alkuna sama dengan alkana dan alkena. Reaksi alkuna mirip dengan alkena. Untuk menjenuhkan ikatan rangkapnya, alkuna membutuhkan pereaksi dua kali lebih banyak dibandingkan dengan alkena.

Sifat senyawa hidrokarbon, hidrokarbon dalam bentuk cairan akan membentuk semacam kabut minyak, dalam bentuk padatan akan membentuk asap pekat yang setelah melalui proses pengumpulan akan menjadi debu. Untuk kedua kasus tersebut HC termasuk ke dalam kelompok pencemar partikel. Hidrokarbon yang sering menimbulkan masalah dalam polusi udara adalah yang berbentuk gas pada suhu atmosfer normal atau hidrokarbon yang sangat bersifat volatile (mudah berubah menjadi gas) pada suhu tersebut. Kebanyakan komponen-

komponen tersebut mempunyai struktur yang sederhana, yaitu mengandung 12 atom karbon atau kurang permolekul.

2.5.1 Dampak Pencemaran Hidrokarbon

Pencemaran hidrokarbon memiliki berbagai dampak yang berpengaruh baik itu pada manusia maupun kepada tumbuhan dan hewan. Jumlah hidrokarbon yang menyebabkan polusi udara cukup banyak. Analisa menggunakan khromatografi gas menunjukkan bahwa sekitar 56 hidrokarbon sering terdapat di udara. Jumlah tersebut mungkin dapat lebih banyak lagi jika alat yang digunakan mempunyai sensitifitas lebih tinggi karena beberapa hidrokarbon mungkin terdapat dalam jumlah kecil sekali sehingga sukar dideteksi dengan alat yang ada.

Hidrokarbon merupakan pencemar utama yang diemisikan oleh kendaraan bermotor dari lalu lintas di dalam perkotaan. Dibeberapa kota besar, sumber ini merupakan sumber karbon yang paling dominan, sebagai pencemar primer dan yang memberikan kontribusi terbesar dalam pencemaran oksidan fotokimia.

2.5.2 Dampak bagi Manusia

Beberapa penelitian terhadap hewan dan manusia menunjukkan bahwa hidrokarbon alifatik dan alisiklis mempunyai pengaruh yang tidak diinginkan terhadap manusia hanya pada konsentrasi beberapa ratus sampai beberapa ribu kali lebih tinggi dari konsentrasi yang terdapat di atmosfer. Pada konsentrasi kurang dari 500 ppm tidak menunjukkan pengaruh apapun.

Tabel berikut ini akan menunjukkan level toksisitas dari beberapa hidrokarbon aromatik jenuh. Konsentrasi yang berbahaya tersebut jauh di atas rata-rata konsentrasi normal hidrokarbon di daerah perkotaan, yaitu sekitar 3.2 ppm untuk metana dan 0.03 – 0.10 ppm untuk hidrokarbon lainnya.

Tabel 2.5 Level Toksisitas Hidrokarbon Aromatik Jenuh

Hidrokarbon	Konsentrasi (ppm)	Pengaruh
Benzena (C ₆ H ₆)	100	Iritasi membran mukosa
	3000	Lemas setelah ½ - 1 jam
	7500	Pengaruh berbahaya setelah ½ - 1 jam
Toluena (C ₇ H ₈)	20000	Kematian setelah 5 – 10 menit
	200	Sedikit pusing, lemah, dan berkunang-kunang setelah 8 jam
	600	Kehilangan koordinasi, bola mata terbalik setelah 8 jam

(Sumber : Fardiaz,1992)

Hidrokarbon aromatik lebih berbahaya dibandingkan dengan hidrokarbon alifatik dan alisiklis. Uapnya lebih bersifat iritasi pada membran mukosa, dan luka dibagian dalam dapat terjadi jika menghisap uap komponen aromatik. Tetapi pada konsentrasi kurang dari 25 ppm biasanya tidak berpengaruh.

2.5.3 Dampak bagi Tumbuhan dan hewan

Apabila HC berupa gas maka akan tercampur bersama bahan pencemar lainnya. Kalau HC berupa cairan maka HC tersebut akan membentuk kabut minyak (*droplet*) yang keberadaannya di udara akan sangat mengganggu lingkungan. Sedangkan kalau bahan pencemar HC berupa padatan maka udara akan tampak

seperti asap hitam. Seringkali pencemaran udara oleh HC merupakan gabungan dari ketiga macam bentuk HC tersebut.

2.6 Plasma

Plasma adalah kumpulan dari atom-atom dan molekul-molekul gas netra, partikel-partikel bermuatan dalam bentuk ion-ion positif, ion-ion negatif dan elektron-elektron serta foton. Sebagian plasma dihasilkan melalui lintasan arus yang melewati gas netral. Plasma adalah zat keempat disamping zat klasik : padat, cair, dan gas. Plasma ini ditemukan pada tahun 1928 oleh ilmuwan Amerika, Irvinh Langmuir (1881 – 1957) dalam eksperimennya melalui lampu tungsten filament.

Plasma ini sangat mudah dibuat, caranya dengan pemanfaatan tegangan listrik. Contoh : hadapkan dua elektode di udara bebas. Seperti kita ketahui udara adalah isolator, materi yang tidak menghantarkan listrik. Namun, apabila pada dua elektrode tadi diberikan tegangan listrik yang cukup tinggi (10 kV), sifat konduktor akan muncul pada udara tersebut, yang bersamaan dengan itu pula arus listrik mulai mengalir (*electrical discharge*), fenomena ini disebut *eletrical breakdown*.

Mengalirnya arus listrik menunjukkan akan adanya ionisasi yang mengakibatkan terbentuknya ion serta elektron pada udara diantara dua elektrode tadi. Semakin besar tegangan listrik yang diberikan pada elektode, semakin banyak jumlah ion dan elektron yang terbentuk. Aksi-reaksi yang terjadi antara ion dan elektron dalam jumlah banyak ini menimbulkan kondisi udara diantara dua electrode ini netral, inilah plasma. Singkat kata plasma adalah kumpulan dari electron bebas, ion dan atom bebas.

Mengatasi polusi dengan plasma sebenarnya bukan sebuah hal yang baru. Pada tahun 1907 Frederick Cottrel memperkenalkan electrostatic precipitator (EP) untuk mengatasi polusi akibat aerosol (sampah udara) dari asap pabrik hasil pembakaran. EP dapat digunakan untuk mengumpulkan aerosol. Prinsip kerja dari EP adalah perpaduan dari medan electrostatic dan aliran ion yang dihasilkan oleh corona discharge. Mekanisme kerjanya adalah partikel aerosol ditangkap atau dikumpulkan oleh aliran ion, kemudian kumpulan partikel tadi diangkat oleh medan electrostatic lalu dipisahkan. Sekarang EP banyak digunakan untuk mengatasi aerosol dari asap pabrik termasuk diantaranya, di Indonesia. Namun, asap hasil pembakaran dari pabrik maupun kendaraan bermotor tidak hanya mengandung aerosol saja, tetapi didapati juga gas NO_x , SO_x , CO, dan Dioxin yang diketahui sangat berbahaya pada kesehatan. Kita mengenal hujan asam (HNO_3 dan H_2SO_4) yang dapat mengakibatkan kanker. Juga gas CO yang dapat mematikan apabila kita menghirupnya secara langsung. Kita juga dapat merasakan bertambahnya suhu bumi akibat penambahan CO_2 .

Baru-baru ini kita mendengar Dioxin yang muncul dari pembakaran sampah plastik, yang walaupun kadarnya sedikit namun berbahaya bagi kesehatan kita. Hal ini mendorong Dr Seiichi Masuda dari Tokyo University untuk mencari teknologi yang dapat mengatasi gas beracun hasil pembakaran pabrik. Pada tahun 1986 Seiichi Masuda mempublikasikan teknologi plasma sebagai teknologi untuk mengatasi kandungan gas NO_x , SO_x dari asap pembakaran pabrik.

Prinsip dari teknologi plasma dalam mengatasi kandungan gas NO_x atau SO_x sangatlah mudah. Seperti dijelaskan pada penjelasan di atas, plasma terbentuk dari

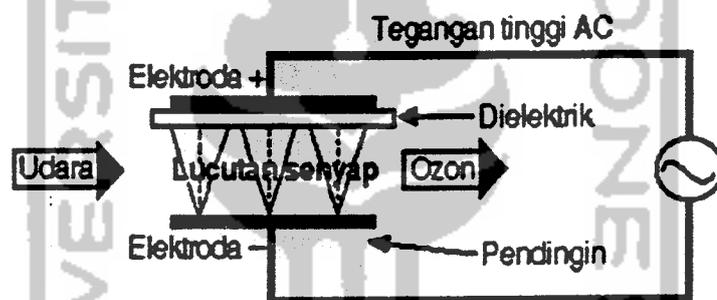
kumpulan electron bebas, ion serta atom. Aksi-aksi pada ion dan electron dalam plasma seperti reaksi ionisasi, excitasi, dan dissociasi dengan udara bebas sekitarnya berlanjut dengan terbentuk species aktif (ion, electron, molekul yang mudah bereaksi) seperti ozone, OH, O, NH₃ yang memiliki sifat radikal sangat mudah bereaksi dengan senyawa-senyawa yang ada sekitarnya. Species aktif yang terbentuk ini kemudian bereaksi dengan gas NO_x dan SO_x kemudian mengubah serta menguraikannya.

Dewasa ini di jepang teknologi plasma berkembang sangat pesat. Dimana teknologi plasma memiliki beberapa kelebihan yaitu pembuatan peralatan dan pemeliharaan (*maintenance*) yang sangat mudah, namun memiliki efektivitas penguraian yang cukup tinggi. Struktur yang mudah dari peralatan teknologi plasma memungkinkan untuk dipasang pada kendaraan bermotor, untuk menguraikan kadar NO_x yang timbul pada asap kendaraan hasil dari pembakaran bensin atau solar. Selain unruk mengatasi NO_x dan SO_x teknologi plasma dapat dipergunakan juga untuk menguraikan berbagai macam senyawa beracun seperti : Dioxin, gas VOC (*Volatile Organic Compounds*) seperti CFC, trichloroethylene, toluene, benzene, serta gas dari hasil pembakaran lainnya.

2.7 Lucutan Senyap (*Silent discharge*)

Lucutan senyap merupakan plasma tak seimbang. Pembagian plasma tak seimbang ke dalam kelompok lucutan tertentu bergantung pada jenis gas kerja, besar tekanan dan geometri elektroda yang dipakai, yang semua ini tentunya akan mempengaruhi karakteristik parameter fisisnya.

Lucutan senyap dicirikan dengan adanya sekurang-kurangnya satu lapis dielektrik yang ditempatkan diantara celah lucutan dan elektroda. Gambar 2.1 memperlihatkan skema konfigurasi lucutan senyap dengan dielektrik yang menutup salah satu elektroda. Adanya dielektrik merupakan kunci fungsi dari keistimewaan lucutan senyap dimana dielektrik dapat berfungsi sebagai sumber filamen arus yang berisi elektron energenik (1 – 10 eV). Lucutan merupakan daerah tenaga ideal untuk terjadinya eksitasi dari partikel atom dan molekul sehingga mampu untuk memisahkan ikatan-ikatan kimia suatu partikel.



Gambar 2.1 Konfigurasi lucutan senyap

Lucutan senyap hanya dapat dioperasikan dengan tegangan tinggi arus bolak-balik (AC) karena arus yang mampu melewati dielektrik hanya dalam bentuk simpangan. Arus bolak-balik menyebabkan elektron berpindah dari satu elektroda ke elektroda yang lain. Elektron yang mencapai kecepatan tertentu cukup mampu untuk memisahkan beberapa molekul oksigen menjadi atom yang radikal.

2.7.1 Dielektrik

Dielektrik merupakan bahan nonkonduktor bermuatan listrik. Semua muatan terikat pada atom atau molekul yang ada di dalam bahan dielektrik. Pada bahan dielektrik medan listrik yang diberikan menyebabkan pergeseran muatan dan bukan aliran muatan. Secara rata-rata elektron-elektron di dalam atom suatu dielektrik dipindahkan terhadap inti oleh suatu medan yang bekerja, sehingga menimbulkan dipol yang mempunyai momen listrik yang searah dengan medan listrik. Tegangan yang dihasilkan di dalam dielektrik disebut polarisasi listrik P dan dirumuskan sebagai berikut.

$$P = D - E\epsilon_0 \dots \dots \dots (2.7.1.1)$$

Dengan

D = pergeseran muatan

E = Kuat medan listrik

ϵ_0 = konstanta elektrik

Medan listrik di dalam dielektrik sama dengan medan listrik di dalam sebuah rongga berbentuk jarum yang terletak di dalam bahan dielektrik dengan syarat sumbu rongga sejajar dengan arah medan listrik.

Intensitas medan maksimum pada sebuah dielektrik yang dapat menahan untuk tidak terjadi dadal (*breakdown*) disebut kekuatan dadal. Setiap bahan dielektrik mempunyai kekuatan dadal tertentu. Ketika medan listrik di dalam melebihi kekuatan dadal maka akan terjadi percikan dan dielektrik dikatakan mengalami dadal (*breakdown*).

Dielektrik dalam lucutan senyap berfungsi untuk membatasi muatan sehingga muatan dapat mengalir melalui masing-masing lucutan mikro dan menyebarluaskan lucutan mikro ke seluruh permukaan luasan elektroda.

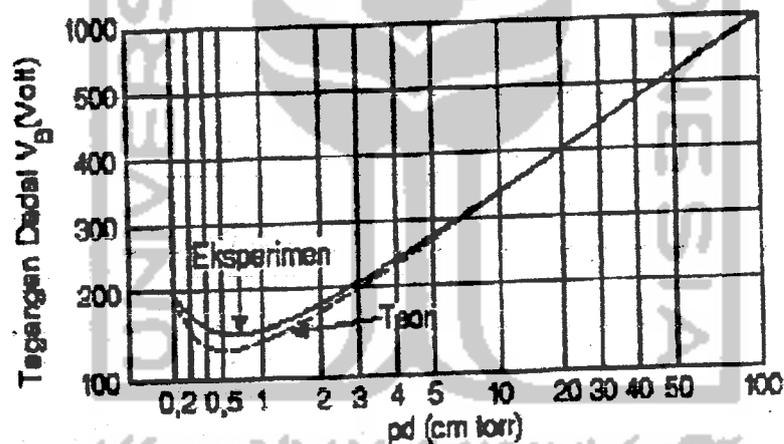
2.7.2 Struktur Lucutan dan Sifat-sifat Lucutan Mikro

Lucutan senyap dicirikan dengan adanya sekurang-kurangnya satu lapis dielektrik yang ditempatkan diantara celah lucutan dan elektroda. Dielektrik ini sangat penting untuk mempengaruhi sifat lucutan. Bila sistem dioperasikan pada tekanan atmosfer dengan gas udara atau oksigen, maka arus total merupakan jumlah lucutan-lucutan mikro yang masing-masing berumur nano detik dan terdistribusi secara statistik. Jarak celah lucutan mempunyai pengaruh yang sangat kuat terhadap lucutan mikro. Pengaruh lain seperti tekanan, komposisi gas, kelembaban, sifat dan tebal dielektrik serta besar tegangan satu daya juga mempunyai pengaruh terhadap lucutan mikro.

Setiap lucutan mikro terdiri dari arus filamen berbentuk silinder dengan jari-jari sekitar $100 \mu\text{m}$ dan menyebar di permukaan bidang lucutan pada dielektrik. Arus filamen dapat mencapai kerapatan arus sebesar 1000 A/cm^2 . walaupun kerapatan arus filamen cukup tinggi, muatan yang dipindahkan sebesar $\pm (10^{-10} - 10^{-9}) \text{ C}$ dan kerapatan tenaga sekitar 10 mJ/cm^2 di dalam lucutan mikro yang berlangsung dalam orde 2 – 5 nano detik (ns). Suhu elektron dapat mencapai sekitar 50.000° K yang setara dengan 5 Ev.

2.7.3 Inisialisasi dan Ekstensi Lucutan Mikro

Dadal elektrik (*brekdown*) gas diantara dua elektroda sejajar diperlihatkan oleh kurva Passchen, seperti ditunjukkan pada gambar 2.2. Paschen mengemukakan bahwa persyaratan dadal memenuhi kurva yang unik untuk setiap gas yang hanya bergantung pada perkalian antara tekanan P dan jarak celah d . Pada suhu kamar, tegangan Paschen V_s adalah tegangan konstan terkecil yang diperlukan untuk mengawali dadal di dalam celah. Jika V_s dibagi dengan nd maka medan tereduksi Paschen E/n diperoleh karena diketahui $E = V/d$.



Gambar 2.2 Kurva Paschen

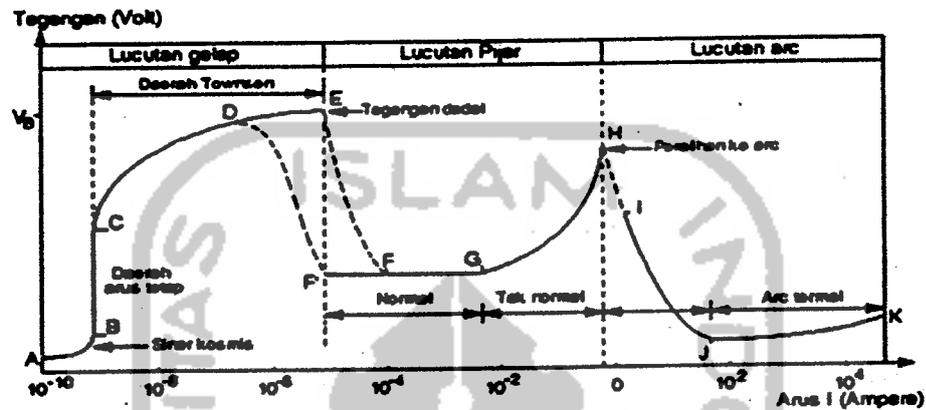
2.7.4 Karakteristik Arus dan Tegangan Dalam Tabung Lucutan

Lucutan listrik plasma dapat dibentuk dalam ruang antara dua lempeng elektroda yang diberi beda tegangan. Jika suatu gas dimasukkan ke dalam tabung tersebut dan dipanaskan dengan cara memperbesar tegangan antar elektroda, maka

elektron akan dipercepat ke arah anoda dan ion positif ke arah katoda sehingga akan terjadi aliran arus listrik.

Tabung lucutan berfungsi sebagai komponen yang impedansinya dapat bervariasi menurut besar tegangan tinggi sumber daya dari luar. Ketika tegangan sumber rendah maka arus yang mengalir rendah karena impedansi tabung nilainya masih besar. Jika tegangan dinaikkan terus berlahan-lahan maka dapat mencapai tegangan dadal, yaitu ketika impedansinya menjadi sangat kecil dan kondisi peralihan ini disebut kondisi dadal (*breakdown*) dari tabung lucutan. Setelah kondisi dadal akan terjadi arus lucutan I yang besarnya berubah-ubah menurut beda tegangan tabung. Selanjutnya jika tegangan dan tahanan luar diatur, maka akan didapat karakteristik hubungan antara arus I dan tegangan V seperti ditunjukkan pada gambar 2.3. gambar 2.3 menunjukkan bahwa pertama kali arus yang ditimbulkan adalah disebabkan karena adanya radiasi sinar kosmis (A - B). Jika tegangan lucutan terus dinaikkan mulai titik C akan terjadi kenaikan arus. Pada saat tegangan mencapai dadal V_B dititik D, di dalam tabung mulai terjadi ionisasi berantai sehingga arus akan bertambah cepat dengan hampir tidak terjadi perubahan tegangan (D - E). Jika arus bertambah terus, mulailah dalam tabung tampak nyala terang disertai terjadinya penurunan tegangan, pada daerah ini disebut lucutan korona atau lucutan pijar subnormal (D - F' atau E - F). Lucutan senyap terjadi di daerah ini yaitu di daerah arus ($10^{-6} - 10^{-4}$) ampere. Penambahan arus selanjutnya tidak mengubah tegangan elektrodanya, dalam keadaan ini nyala tabung menjadi lebih terang dan daerah ini dinamakan lucutan pijar normal (F' - G). Jika arus terus bertambah maka tegangan akan naik (G - H). Kemudian akan turun kembali (H - J) dan selanjutnya tegangan

akan relatif tetap (J – K). Daerah (G – H) merupakan daerah lucutan pijar tidak normal, (H – J) merupakan daerah peralihan lucutan pijar ke lucutan arc dan (J – K) adalah lucutan arc termal (lucutan bara).



Gambar 2.3 Hubungan antara arus I dan tegangan V dalam tabung lucutan

2.7.5 Tegangan Lucutan

Besaran yang sangat penting untuk mendiskripsikan secara makroskopik lucutan terhalang dielektrik adalah tegangan lucutan V_L . tegangan lucutan merupakan tegangan rata-rata yang menyeberang celah lucutan selama fase lucutan aktif. Fase lucutan aktif terjadi setelah tegangan celah V_C mencapai tegangan lucutan. Selama fase ini, tegangan celah mendekati konstan $V_C = V_L$.

Tegangan lucutan merupakan besaran rata-rata yang sangat bergantung pada komposisi gas, tekanan, dan jarak celah. Disamping itu juga bergantung pada dielektrik, logam elektroda dan tegangan catu daya.

2.8 Teori Pembentukan Lucutan Senyap

Lucutan senyap terdiri dari berbagai filamen arus yang berlangsung selama dalam selang waktu periode tegangan. Filamen lucutan dadal pada tekanan atmosferik dalam konfigurasi lucutan terhalang dielektrik atau lucutan senyap pertama kali ditemukan oleh buss pada tahun 1932. Tiga fenomena terpisah yang terjadi selam silus hidup dari sebuah pola filamen arus adalah :

- a. Pembentukan lucutan dadal elektrik.
- b. Terjadinya pulsa arus atau transport muatan lewat celah lucutan.
- c. Eksitasi secara simultan dari atom dan molekul yang ada yaitu yang mengawali reaksi-reaksi kinetik.

Dengan memperbesar penyedia daya, secara berlahan lucutan mulai terjadi ketika medan dadal Paschen dicapai dan selanjutnya proses mengembang dalam keadaan filamen arus tereksitasi. Besarnya filamen arus dalam jangka waktu lucutan mikro yang bergantung pada jenis gas yang digunakan dan besarnya tekanannya. Keseluruhan arus mengalir dalam filamen dan terjadi penukaran tenaga antara elektron yang dipercepat dengan atom dan atau molekul dalam lucutan mikro. Elektron dan ion yang bertenaga pada lucutan mikro akan menumbuk partikel atom dan partikel lainnya sehingga akan terjadi pembentukkan berbagai proses hasil tumbukan oleh partikel elektron maupun ion.

Pada tekanan rendah diameter filamen-filamen arus bertambah besar dan cenderung menjadi banyak dan menyebar. Apabila tekanan terus diturunkan akan

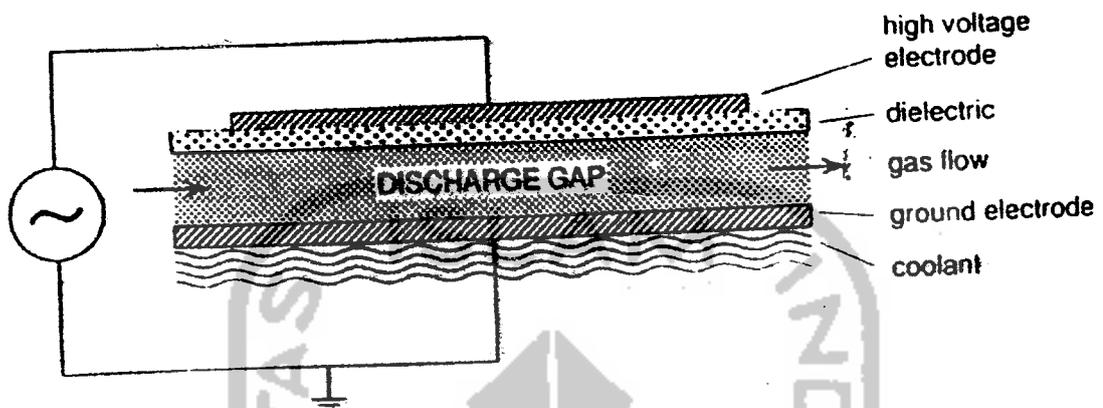
terjadi transisi *continue* dari susunan filamen dan lucutan senyap tampak cenderung menghambur kebentuk lucutan bara. Medan dadal bertambah untuk celah lucutan yang lebih kecil atau kerapatan yang lebih rendah. Keuntungan besar dari lucutan senyap adalah dapat dipengaruhinya tenaga rerata elektron dengan menambah besarnya perkalian *nd*.

2.9 Lucutan Plasma Terhalang Dielektrik (LPTD)

Teknologi plasma non-termal yang bekerja pada temperatur rendah (*non equilibrium*) telah mulai diketahui pada tahun 70-an. Pada teknologi ini, kita dapat menciptakan elektron berenergi tinggi yang bersumber dari sumber listrik tegangan tinggi. Teknologi plasma non-termal dibedakan menjadi dua kelompok dasar yaitu *electron-beam irradiation* atau lebih dikenal sebagai Mesin Berkas Elektron (MBE) dan *electrical corona discharge* (Jang, et al.,-). Karena teknologi plasma selalu berkaitan dengan energi lucutan listrik, maka teknologi plasma selalu disinonimkan dengan kata "lucutan".

Lucutan Plasma Non-Termal (LPNT) atau sinonim dengan lucutan senyap (*silent discharge*). LPNT adalah lucutan plasma tidak seimbang pada tekanan atmosferik yang muncul bila salah satu elektrodanya diberi lapisan dielektrik (isolator). Lucutan pada tekanan ini ditunjukkan oleh munculnya begitu banyak lucutan mikro berumur pendek yang terdistribusi secara acak. Lucutan mikro ini merupakan sumber elektron yang merupakan peran utama dalam perusakan susunan

molekul gas buang yang dilewatkan dalam sistem LPNT. Model dasar dari *silent discharge* yang menunjukkan peletakan elektrode yang ditunjukkan pada Gambar 2.4



Gambar 2.4 Konfigurasi peletakan elektrode pada model *silent discharge*

Lucutan Plasma Non Termal (LPNT) sendiri mempunyai banyak jenis dan variasi dimana salah satunya yaitu Lucutan Korona dan LPTD (Lucutan Plasma Terhalang Dielektrik). Perbedaan secara mendasar diantara keduanya adalah pada penempatan elektrode. Untuk tipe yang pertama (korona/corona), LPNT ini terbentuk dari pipa yang dikelilingi semacam jarum yang berfungsi sebagai elektrode yang ditunjukkan Gambar 2.5, sedangkan untuk tipe kedua (LPTD), menggunakan susunan elektrode berbentuk planar atau silinder dengan sekurang-kurangnya terdapat satu lapisan dielektrik yang diletakan diantara elektroda yang ditunjukkan Gambar 2.6.



Gambar 2.5 LPNT model Lucutan Korona Gambar 2.6 LPNT model LPTD

Secara sederhana, lapisan dielektrik ini dapat disebut sebagai lapisan penahan antara elektroda dengan gas yang dimasukkan ke dalam reaktor plasma. Diantara elektroda dan udara tidak bersentuhan secara langsung, namun dibatasi oleh suatu lapisan tipis yang disebut sebagai lapisan dielektrik. Dielektrik adalah bahan non konduktor yang bermuatan listrik. Bila tidak terdapat lapisan ini, dikhawatirkan, lucutan elektron tidak dapat merata, dan potensi kerusakan bahan elektroda akan semakin besar karena bersentuhan secara langsung dengan gas-gas yang ada di atmosfer karena reaktor plasma ini bekerja pada tekanan atmosferik. Dalam tekanan atmosferik diketahui kandungan udara terdiri dari Nitrogen (78 %), Oksigen (21 %) dan gas gas lain hingga 1 %.

Bahan dielektrik yang digunakan pada umumnya adalah gelas, kuarsa, keramik, atau polimer. Jarak antara kedua elektrode berkisar antara 1 – 3 mm, dan inilah yang disebut sebagai *gap* atau celah. Dari celah inilah muncul lecutan listrik. Karena prinsip kerja dari LPTD adalah melewati gas pada kedua elektrode maka, bila ingin memperbesar jarak antar kedua elektrode lebih dari 3 mm, diperlukan tegangan

listrik yang semakin besar. Ketebalan bahan dielektrik ikut mempengaruhi poses LPTD. Semakin tebal, maka lecutan akan semakin kecil, dan ini menyebabkan penurunan efisiensi.

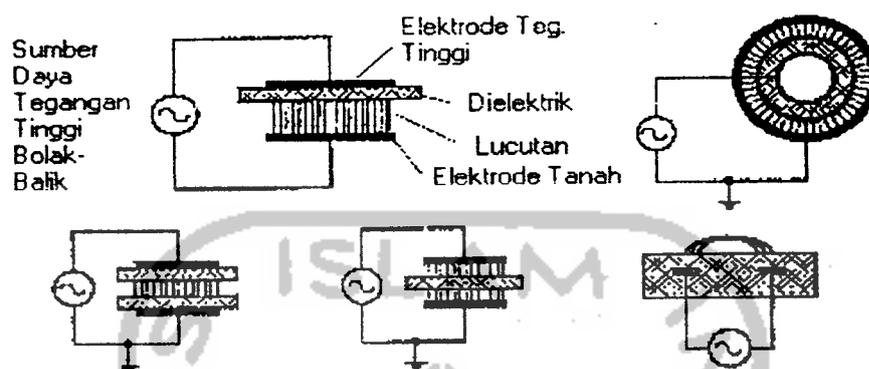
Salah satu sifat yang menarik dari LPTD adalah dioperasikannya pada tekanan atmosferik sehingga mudah untuk diaplikasikan atau hanya dilakukan penelitian. Proses yang terjadi pada LPTD adalah lucutan dadal (*breakdown*), dimana hal ini terdiri dari banyak arus filamen yang disebut sebagai lucutan mikro atau lucutan *streamer* (Usada dkk, 2004) yang bekerja secara independen, dimana posisinya tersebar diseluruh permukaan dielektrik dengan lama lucut dalam orde nanodetik. Hal ini dapat terlihat dari jejak lucutan yang tertangkap pada kertas film yang disebut sebagai gambar *Lichtenberg*. Kertas fil ini dipasang diseluruh permukaan dielektrik yang ditunjukkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Gambar *Lichtenberg* yang mewakili lucutan mikro yang tersebar diseluruh permukaan dielektrik yang ditangkap oleh film

Variasi pada pembuatan LPTD juga terdapat dua jenis yaitu planar dan silindris seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.8, sedangkan korona hanya satu tipe. Terlepas dari semua kekurangannya, salah satu keunggulan lucutan korona bila

dibandingkan dengan sistem LPTD adalah lucutan korona mempunyai kapasitas daya yang lebih besar dan lebih efektif dalam reduksi gas buang.



Gambar 2.8 Variasi konfigurasi LPTD planar dan silindris

Diantara berbagai macam lucutan senyap, LPTD merupakan lucutan plasma yang unggul karena mudah dibuat, lucutan yang merata dipermukaan, dan ini berperan dalam mengurangi penggunaan elektroda (terjadi penghematan), bila dibandingkan dengan Lucutan Korona. Seperti diketahui, Lucutan Korona adalah lucutan yang dihasilkan pada sistem pasangan elektrode dengan salah satu elektrodanya menggunakan elektrode jarum, sehingga kemungkinan besar terjadi keausan pada elektroda jarum tersebut. Inilah salah satu kelebihan LPTD, namun pelepasan elektron berenergi lebih besar pada Lucutan Korona, sehingga efisiensinya lebih tinggi bila dibandingkan dengan LPTD.

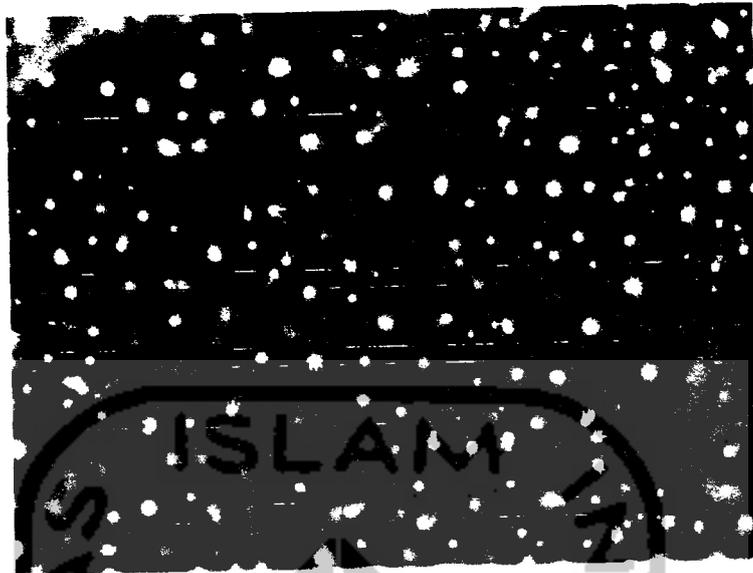
LPTD yang digunakan untuk mereduksi gas buang sangat rentan dengan pengotoran. Karena bila suatu padatan masuk ke dalam reaktor LPTD, padatan ini akan menempel dan menutupi lapisan dielektrik sehingga lucutan listrik tidak dapat terjadi. Yang perlu diteliti selanjutnya adalah bagaimana mengatasi biaya operasional untuk kerusakan yang diderita elektrode dan proses pembersihan pada bahan

dielektrik dari kemungkinan tertempelnya partikel gas buang yang menghambat proses lucutan, dimana dalam hal ini, keduanya memerlukan riset dan penjelasan lebih lanjut.

2.10 Mekanisme Sistem Kerja Reaktor Plasma

Dalam sistem operasi kerja reaktor plasma, lucutan listrik dihasilkan dari suatu celah (*gap*) tipis berjarak 1-3 mm. Ada juga yang menyatakan 0,5 – 5 mm. Elektroda bertegangan tinggi dibungkus dengan sebuah lapisan dielektrik dan *ground electrode* yang dihubungkan dengan sumber arus listrik AC tegangan tinggi. Dari kedua celah inilah lucutan listrik membentuk suatu aliran elektron berenergi tinggi dalam orde yang sangat singkat (1-2 nano sekon). Reaktor plasma non- termal dapat dioperasikan pada kondisi atmosferik berkisar 0,3 – 3 bar.

Lucutan elektron atau *microdischarge* terdiri dari sebuah silinder tipis kolom plasma yang tersebar diseluruh permukaan lapisan dielektrik. Hal ini terbukti dari jejak lucutan yang terekam pada kertas film yang ditunjukkan pada Gambar 2.8. Dari jejak yang terekam inilah kita bisa mengetahui karakteristik dari susunan *microdischarge* yang ditunjukkan pada Tabel 2.6



Gambar 2.9 Jejak lucutan yang terekam pada kertas film pada reaktor plasma

Tabel 2.6 Karakteristik *Microdischarge*

Durasi	1 - 10 ns
Radius filamen	0.1 mm
Peak current	0,1 A
Current density	100 - 1000 A/cm ²
Total charge	100 - 1000 pC
Densitas electron	$10^{14} - 10^{15} \text{ cm}^{-3}$
Energi electron	1 - 100 eV
Gas temperature	25 - 100° C

Sumber : Chang, 1995

Setiap *microdischarge* terdiri dari sebuah silinder dengan diameter 100 μm yang muncul pada celah (*gap*) 1-3 mm diseluruh permukaan dielektrik. Setiap *microdischarge* membawa beban sebesar $10^{-10} - 10^{-9}$ coulomb dengan densitas energi sekitar 10 mJ/cm^3 . Dengan densitas energi sebesar ini maka temperatur

elektron ditentukan medan listrik berkisar pada 50.000 Kelvin. Pada suhu sebesar ini, setiap elektron diperkirakan mempunyai energi sebesar 5 eV. Data data ini diperoleh melalui foto kecepatan tinggi *intensifier* (Kogelsatz, 1988). Karena suhu yang ada pada reaktor plasma non-termal berpotensi sangat tinggi, maka pada lapisan elektroda sebelah dalam wajib dipasang *coolant* (pendingin) untuk mengantisipasi munculnya panas yang begitu tinggi pada tabung reaktor plasma. Penempatan pendingin ini ditunjukkan pada Gambar 2.1 pada halaman sebelumnya.

Hal-hal lain di luar sistem reaktor yang sangat mempengaruhi kinerja dari reaktor plasma non-termal adalah sebagai berikut :

- Tekanan
- Komposisi gas
- kelembaban udara

Penggunaan arus AC tegangan tinggi (arus DC tidak bisa digunakan) pada reaktor plasma untuk model lucutan plasma non-termal adalah suatu keharusan dikarenakan kapasitas pasangan dielektrik mengharuskan aliran listrik bolak balik untuk menggerakkan arus elektron berenergi tinggi yang terus bergerak (bergeser) dari kedudukan semula. Bergeser ini artinya kita memerlukan arus aliran eletron yang bekerja secara dua arah. Salah satu hal yang sangat penting adalah ketersediaan daya listrik pada reaktor plasma dan daya ini mempunyai kesesuaian dengan desain reaktor plasma. Setelah simpanan energi yang terkumpul cukup banyak pada lapisan dielektrik, maka dengan segera akan terjadi proses loncatan elekton berenergi tinggi

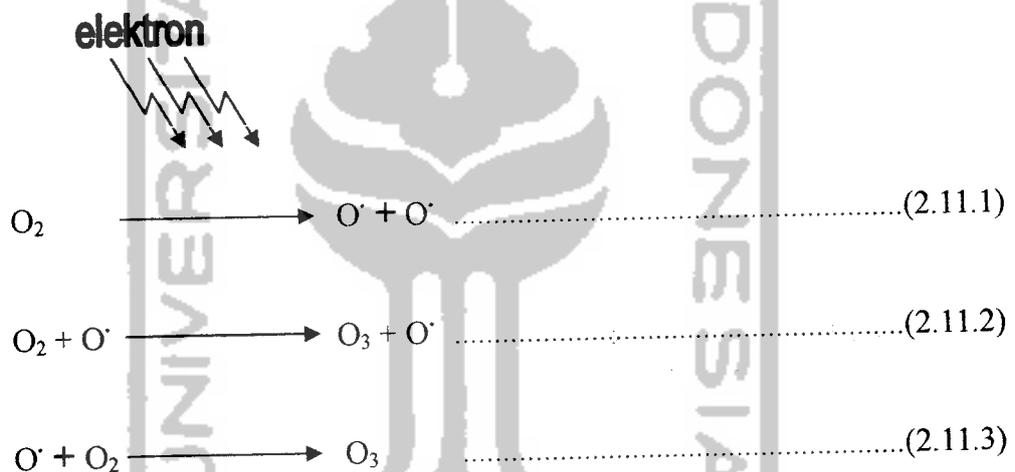
yang prosesnya disebut sebagai lucutan dadal atau *breakdown* diantara kedua elektrode. Lucutan dadal ini berupa *microdischarge* atau elektron berenergi tinggi. Elektron inilah yang merubah O₂ dan gas gas lain di dalam reaktor plasma non-termal menjadi ozon yang mempunyai sifat oksidator yang sangat kuat.

2.11 Mekanisme Pembentukan O₃ (Ozon) dalam Reaktor LPTD

Diketahui dari penjelasan sebelumnya, bahwa reaktor plasma menciptakan suatu elektron radikal bebas yang bersifat oksidator. Radikal ini dapat berupa O, OH dan HO₂ dimana pembentukannya sangat kompleks, dan sukar dipastikan kuantitas masing masing senyawa ini dalam reaktor plasma. Radikal inilah yang akan memecah senyawa oksida nitrogen dan oksida belerang pada gas buang serta berbagai senyawa organik atau VOCs (*Volatile Organics Compounds*) berbahaya lainnya. Sampai saat ini sifat oksidator ozon hanya bisa dikalahkan oleh bubuk fluorine. Ozon ini dapat menggantikan senyawa kimia yang secara umum dipakai sebagai oksidator yaitu *peroxides*, *permanganates*, *dichromates* dan *chlorine*, atau senyawa *chlorine* lainnya. Keunggulan oksidator ozon adalah tidak menimbulkan residu sisa reaksi, hal ini tentunya berbeda dengan oksidator lainnya yang lazim digunakan untuk memecah suatu senyawa kimia yang biasanya berupa solid, cairan maupun larutan yang masih menyisakan residu dalam reaksi kimia

Penghancuran senyawa organik di dalam reaktor plasma dilakukan oleh radikal bebas atau UV foton. Reaktor plasma menyediakan berbagai radikal seperti N₂* ($A^3\dot{O}_u^+$), N₂* ($B^3\Pi_g$), O₂($a^1\Delta_g$), O(1D), O(3P), H, OH, dan N. Dari spesies radikal ini

yang dihasilkan dari tubrukan antar elektron pada *microdischarge filaments*. Setelah terjadi tubrukan antar elektron inilah akan diikuti berbagai urutan reaksi lanjutan antara senyawa radikal yang biasanya akan menghasilkan tambahan radikal seperti O, OH atau HO₂ untuk mendekomposisikan berbagai senyawa polutan (Kogelschatz, 2000). Sebagian radikal ini langsung berikatan dengan gas-gas di sekitarnya. Sebagai contoh adalah reaksi pembentukan ozon yang bergerak secara simultan adalah sebagai berikut :



Proses reaksi kimia dan fisika dalam pembentukan ozon sangat kompleks. Ozon terbentuk hanya pada *microdischarge*, bukan terbentuk diantara *microdischarge*. Ketika voltase *breakdown* (dadal) telah terbentuk, terjadi proses ionisasi sangat cepat menghasilkan suatu lapisan pembawa muatan untuk arus listrik. Karena reaksi ini terjadi dalam kondisi atmosferik, maka lapisan pembawa muatan listrik ini adalah udara-udara yang ada dalam kondisi atmosferik di dalam reaktor plasma tersebut. Udara inilah yang berubah menjadi radikal bebas, dan sebagian radikal ini akan

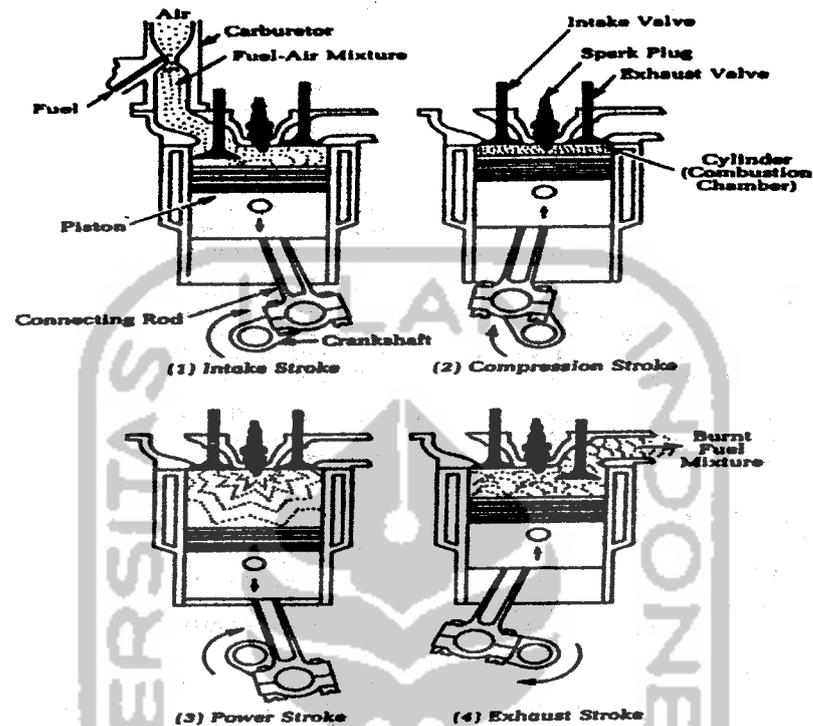
mengikat senyawa gas lain di dalam tabung reaktor plasma, gas yang terikat dengan radikal bebas ini akhirnya pecah susunan kimianya.

2.12 Mesin Empat Langkah (*Four Stroke engine*)

Penggunaan bahan bakar fosil sebagai sarana transportasi menggunakan suatu alat yang dapat mengubah energi panas yang berasal dari pembakaran bahan bakar fosil menjadi energi mekanik, dan alat itu yang dikenal sebagai mesin bakar. Mesin bakar ini berdasarkan sistem kerjanya dibedakan menjadi dua kelompok dasar yaitu mesin dengan piston dan mesin turbin atau jet. Mesin berpiston ini sampai sekarang hanya terdapat empat tipe yaitu mesin dua langkah (menggunakan bensin dengan campuran oli khusus), mesin 4 langkah konvensional (menggunakan bahan bakar bensin murni), mesin empat langkah model *rotary* atau *wankel* (menggunakan bahan bakar bensin murni) dimana khusus untuk tipe mesin ini, lisensinya hanya dipegang oleh perusahaan mobil Mazda dari Jepang sehingga populainya sangat sedikit, dan yang terakhir adalah tipe mesin diesel (menggunakan bahan bakar solar) yang lazim digunakan untuk kendaraan berat dan kapal laut.

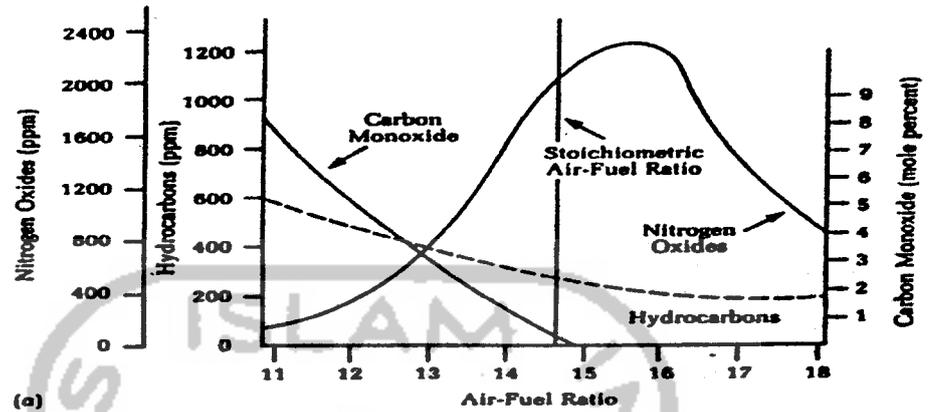
Yang dimaksud istilah dengan mesin empat langkah maupun mesin dua langkah pada suatu mesin adalah untuk menggambarkan bagaimana suatu piston bekerja untuk menghasilkan suatu gerak pada kruk-as kendaraan. Pada mesin empat langkah, piston bekerja naik-turun sebanyak empat kali, dimana pada pergerakan piston ketiga itulah kruk-as mempunyai energi untuk menggerakkan kendaraan. Dari kruk-as inilah, mesin terhubung dengan transmisi yang menggerakkan roda kendaraan

untuk berputar, sehingga kendaraan dapat berjalan. Untuk penjelasan dari operasi sistem kerja mesin empat langkah konvensional dapat melihat Gambar 2.10



Gambar 2.10 Sistem kerja dari mesin empat langkah konvensional

Pada mesin empat langkah konvensional, satu kilogram bensin bila dicampur dengan 15 kilogram, dapat menciptakan energi maksimum. Istilah ini dikenal sebagai *air fuel ratio* (A/F Ratio), dimana kondisi idealnya adalah 15 : 1, namun kebanyakan kendaraan mempunyai perbandingan kurang dari 15 : 1. Bila perbandingan di bawah angka *air fuel ratio*, ini menunjukkan pembakaran yang tidak sempurna, efeknya adalah muncul gas yang bersifat polutan selain karbon dioksida dan air yang dilepaskan dari knalpot kendaraan. Kaitan antara *air fuel ratio* dengan polutan NO_x , HC, CO yang dilepaskan knalpot kendaraan bermotor ditunjukkan pada Grafik 2.1 di bawah ini :



Grafik 2.1 Hubungan antara air fuel ratio dengan gas polutan yang dilepaskan dari kendaraan bermotor.

Istilah RPM atau *rotation per minute* adalah menunjukkan seberapa banyak putaran kruk-as dalam satu menit ketika mesin empat langkah dalam kondisi menyala. RPM tiap kendaraan adalah berbeda, maka RPM tidak bisa dijadikan patokan dasar ketika kita menghitung suatu daya kendaraan untuk bergerak yang dihitung dengan menggunakan satuan dk atau daya kuda. Sebagai contoh, mobil biasa pada 3000 rpm biasanya bergerak dengan kecepatan 60 km/jam, namun mobil formula satu, pada RPM yang sama mungkin telah berjalan diatas 100 km/jam. Yang pasti, semakin tinggi RPM, maka daya kendaraan akan semakin besar, dan ini tentunya dengan konsumsi bahan bakar dan udara akan meningkat, diikuti pelepasan gas buang yang semakin besar pula.

Berdasarkan penggunaan kendaraan sehari-hari, terdapat suatu kondisi mesin dalam keadaan ideal yaitu apabila kendaraan berjalan pada kecepatan antara 40 – 60 km/jam. Hal ini dapat dilihat pada panel indikator kecepatan pada kendaraan, dimana

antara angka 40 – 60 km/jam yang tertera pada panel, diberi indikator warna biru dari produsen kendaraan tersebut sebagai penanda batas kinerja mesin dalam keadaan optimal. Sebagai contoh adalah sepeda motor jenis *cub* (atau bebek) Yamaha Vega yang ada di Indonesia. Pada *range* kecepatan inilah secara umum kendaraan dijalankan pada kondisi lalu lintas perkotaan. Ketika kendaraan berjalan dalam kondisi ideal, maka pergerakan kruk-as tidak mengalami fluktuasi perubahan yang besar dan tajam. Seperti kita ketahui, apabila pergerakan kruk-as sangat fluktuatif maka konsumsi bahan bakarnya akan meningkat, namun daya yang dihasilkan tidak membesar secara signifikan. Menurut sebagian kalangan ahli mesin, RPM kendaraan pada *range* 40 – 60 km/jam adalah berkisar 2000, 2500, dan 3000 RPM.

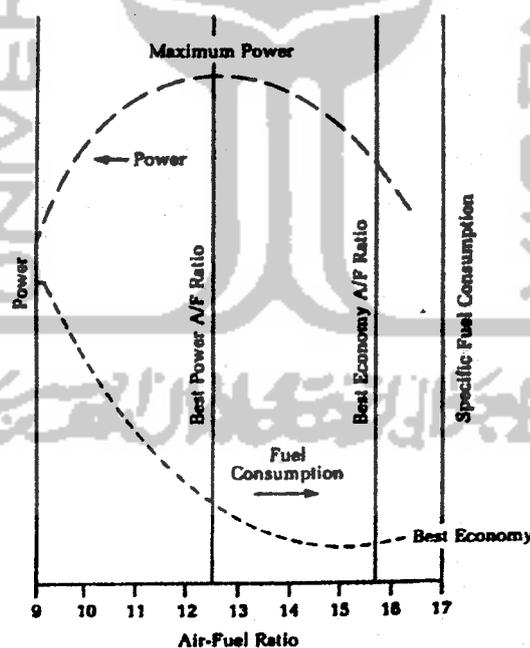
RPM yang terpasang pada kendaraan terdapat dua jenis, yaitu sistem digital dan analog. Untuk digital, RPM dihubungkan dengan sistem kelistrikan kendaraan melalui CDI (*Capacitor Discharge Ignition*). Sedangkan untuk sistem analog, pada kruk-as kendaraan dihubungkan dengan roda gigi yang diteruskan melalui dengan kabel menuju pada *speedometer* kendaraan. Dari kabel yang berputar inilah RPM versi analog dapat terbaca putaran mesin. Versi RPM digital tentunya lebih akurat dan tidak terjadi bias karena tidak ada unsur mekanik pada sensornya.

2.12.1 Model Pengolahan Gas Buang Untuk Mesin Empat Langkah

Emisi gas buang yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar bensin pada mesin empat langkah sangat tergantung susunan senyawa kimia. Bensin yang digunakan maupun kondisi mesin itu sendiri. Dalam bensin dikenal dengan nilai



oktan, dimana semakin tinggi angka menunjukkan semakin mudah bensin untuk terbakar, dan ini juga dapat diartikan bahan bakar tersebut mengandung bahan pengotor yang sangat kecil, bahkan ada beberapa yang bebas dari pengotor seperti timbal dan sulfur. Kondisi mesin dengan aneka macam teknologi, juga membuat efisiensi pembakaran tiap kendaraan berbeda. Mesin yang rutin dilakukan *tune-up* dan tidak terlalu tua usianya dapat dipastikan mempunyai kinerja dengan efisiensi yang tinggi. Semakin tinggi kinerja mesin, semakin tinggi pula nilai oktan yang diperlukan dalam pembakaran mesin tersebut, dan kadar gas polutan yang dihasilkan akan semakin sedikit. Berikut ini adalah Grafik 2.2 yang menunjukkan keterkaitan antara A/F ratio (*Air Fuel ratio*), tenaga dan efisiensi mesin :



Grafik 2.2 Hubungan antara air fuel ratio yang mencakup tenaga dan efisiensi mesin kendaraan bermotor

Kontrol untuk mengurangi kadar gas polutan pada kendaraan bermotor dapat ditempuh dengan 5 cara, dimana tidak semuanya cocok diterapkan untuk semua tipe

mesin kendaraan. Sebagai contoh mesin diesel yang tidak mempunyai karburator seperti halnya mesin empat dan dua langkah yang digunakan sebagai pengabut bahan bakar. Kelima cara tersebut adalah : (1) *Blowby* (modifikasi pada *crankcase* kendaraan agar tidak bocor, biasanya dipasang alat PCV atau *Positive Crankcase Ventilation*, dan sejak 1963 semua kendaraan telah dipasang alat ini untuk menurangi kadar *blowby emissions*) (2) Mengurangi penguapan dalam tangki bahan bakar, (3) Mengurangi kadar penguapan dalam karburator, (4) Teknologi modifikasi mesin dan sistem knalpot kendaraan, (5) Perawatan mesin secara berkala atau I / M (*Inspection and Maintenance*) atau bisa juga mesin tersebut dilakukan *tune-up* secara rutin.

2.12.2 Sepeda Motor Kawasaki Kaze R Empat Langkah Tipe *Cub*

Penelitian ini menggunakan objek penelitian sepeda motor tipe *cub* empat langkah dalam kondisi standar kecuali mesin telah mengalami *oversize* 0,25. Spesifikasi kendaraan berdasarkan "Buku Pedoman Pemilik" adalah sebagai berikut :

- Merek / jenis : Kawasaki Kaze R / *Cub*
- Tahun pembuatan / perakitan : 1999 / 2000
- Daya maksimum : 6,6 kW (9,0 PS) @ 8.500/r/min (rpm)
- Torsi maksimum : 9,3 N-m (0,95 kg-m) @ 3.500/r/min (rpm)
- Berat kosong : 105 kg

- Tipe mesin : empat langkah, SOHC, silinder tunggal, pendingin udara
- Volume langkah : 111 mL
- Diameter x langkah : 53,0 x 50,6 mm
- Perbandingan kompresi : 9,3 : 1
- Sistem Pengapian : CDI
- Saat pengapian : 6,5° BTDC @ 1.200/r/min (rpm)
: 27° BTDC @ 1.200/r/min (rpm)
- Baterai : 12V / 5 Ah

2.12.3 Glaswool atau Silika (SiO₂)

Silika mempunyai nama sinonim silikon dioksida. Silika adalah bahan dasar pembuatan kaca. Sifat utamanya adalah *non combustible*. Silika digunakan secara luas sebagai bahan dasar pembuatan kaca, keramik, komponen semen hidrolis, sumber dari ferro silika dan senyawa silikon yang penting, penguat bahan dasar karet yang digunakan dalam industri tekstil, bahan pengisi kosmetik, insulator (penyekat) panas, peredam suara (dalam bentuk *glasswool*), filter gas buang pada knalpot kendaraan (dalam bentuk *glasswool*), salah satu penyusun kertas, insektisida, anti bahan pengembang pada makanan, dan untuk keperluan farmasi. Silika dapat pula

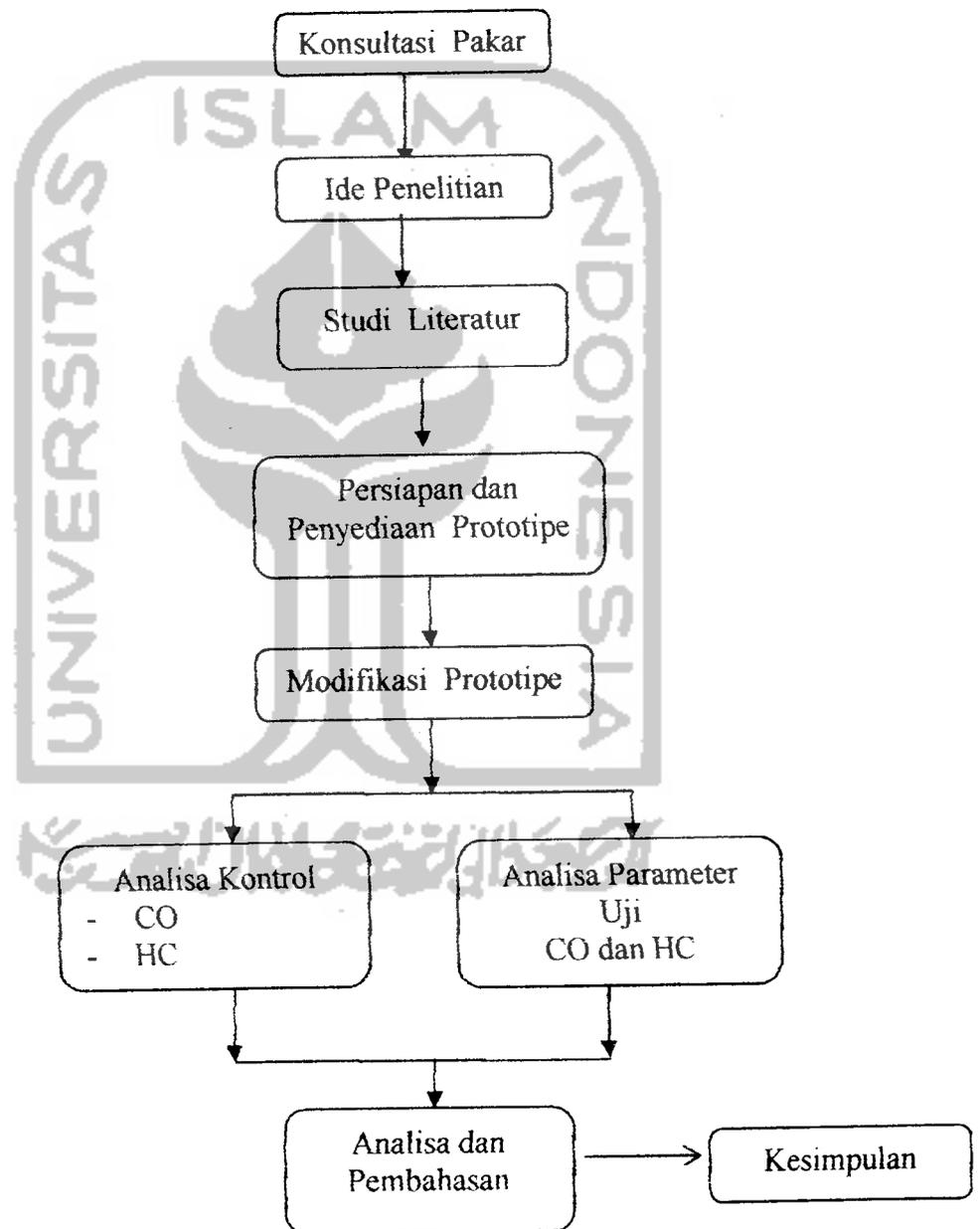
berfungsi sebagai bahan penyatu (*fused*) pada *ablative material* mesin roket, pesawat luar angkasa, atau dibuat dalam bentuk *fiber* sebagai bahan penguat plastik.

Sifat dari silikon adalah bubuk kristal tidak berwarna atau berwarna putih. Tidak berbau dan tidak berasa. Tidak larut dalam air maupun dalam asam, kecuali *hydrofluoric*. Dapat melebur menjadi kaca yang memiliki koefisien pemuaian sangat rendah. Mempunyai sifat dielektrik yang tinggi namun stabil, serta tahan panas dan guncangan.



BAB III
METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Lokasi Penelitian

Pengembangan, riset, dan modifikasi 3 buah reaktor LPTD (Lucutan Plasma Terhalang Dielektrik) yang digunakan dalam penelitian ini dilakukan di P3TM (Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Maju) BATAN (Badan Tenaga Atom Nasional) Pada Balai Tekno Fisikokimia, Sub-Bidang Fisika Plasma, Jl. Babarsari P.O. Box 1008, Jogjakarta 55010. Sedangkan untuk analisis parameter kualitas udara dilakukan di laboratorium Kualitas Udara pada Kampus II Sekolah Tinggi Teknologi Lingkungan (STTL) "YLH" (Yayasan Lingkungan Hidup) Jogjakarta, Winong, Tinalan, Kotagede, Jogjakarta. Gas buang CO dan HC yang digunakan sebagai objek penelitian berasal dari sepeda motor empat langkah.

3.3 Waktu Penelitian

Waktu penelitian dilakukan selama 6 bulan yang terdiri dari tahap konsultasi pakar, ide penelitian, persiapan dan penyediaan prototipe, modifikasi prototipe, analisa kontrol dan analisa uji laboratorium, analisa data dan penyusunan laporan.

3.4 Parameter Penelitian

Pada penelitian ini ditekankan pada data parameter-parameter mencakup sebagai berikut:

Tabel 3.1 Parameter Penelitian

NO.	PARA-METER	SATUAN	BAKU MUTU EMISI	METODE UJI
1.	CO	%	4.5	Gas analyzer
2.	HC	ppm	2400	Gas analyzer

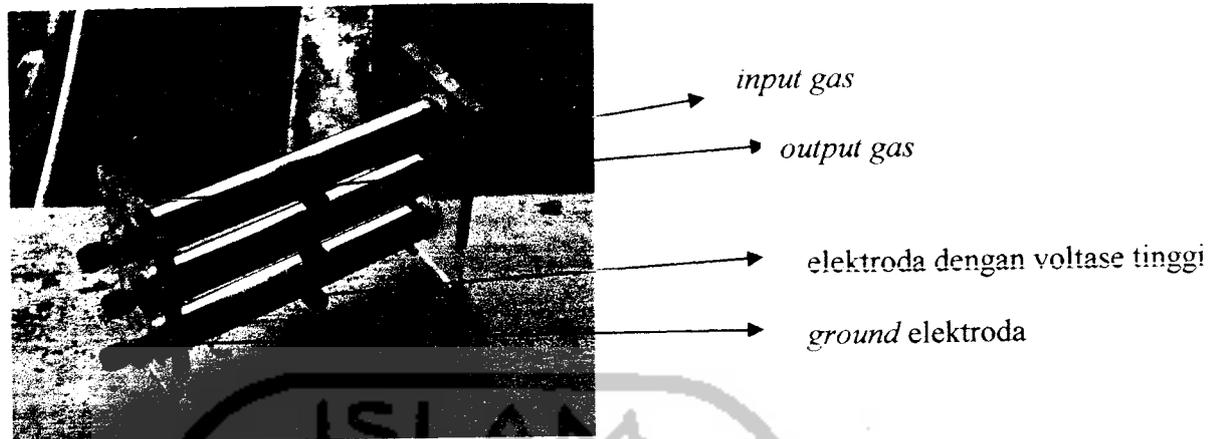
(Sumber : Kep.Gubernur D.I. Y no 167 tahun 2003)

3.5 Desain Reaktor Lucutan Plasma Terhalang Dielektrik (LPTD)

Reaktor yang digunakan adalah mesin ozonizer, namun setelah dilakukan pengembangan dan modifikasi pada mesin tersebut untuk difungsikan sebagai mesin plasma untuk penguraian gas buang. Input pada mesin ozonizer yang berfungsi menangkap oksigen (O_2) di udara ambien, diubah menjadi penangkap gas buang yang dihasilkan dari sepeda motor empat langkah. Rencana modifikasi pada mesin ozonizer beserta semua komponen pendukungnya sehingga dapat digunakan sebagai reaktor plasma non-termal untuk penguraian gas buang adalah sebagai berikut:

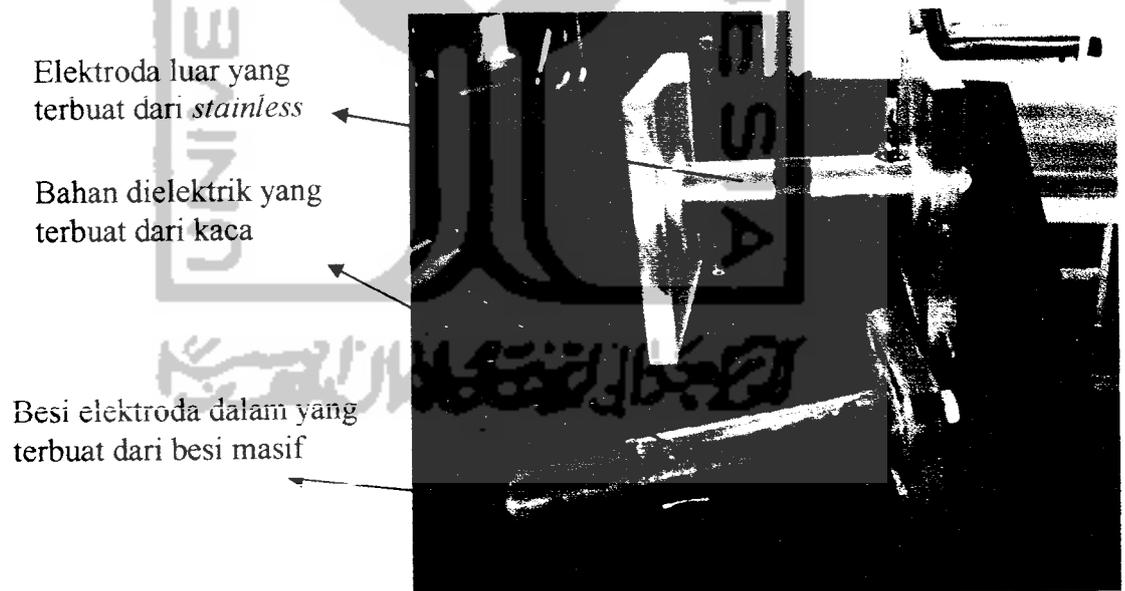
1. Reaktor LPTD (Lucutan Plasma Terhalang Dielektrik)

Penelitian ini menggunakan 3 buah reaktor LPTD yang dibuat dan didesain secara khusus oleh P3 TM BATAN, namun dalam penelitian ini, tabung yang digunakan hanya satu tabung yang ditunjukkan pada Gambar 3.2 dibawah ini :



Gambar 3.2 Tabung Reaktor LPTD yang digunakan dalam penelitian

Dalam reaktor LPTD ini terdapat tiga bagian utama, yaitu elektroda luar, elektroda dalam dan lapisan dielektrik. Berikut ini adalah gambar 3.3 yang menunjukkan sebuah tabung reaktor LPTD tanpa penutup (elektroda luar) sehingga terlihat lapisan dielektrik dan elektroda bagian dalam :



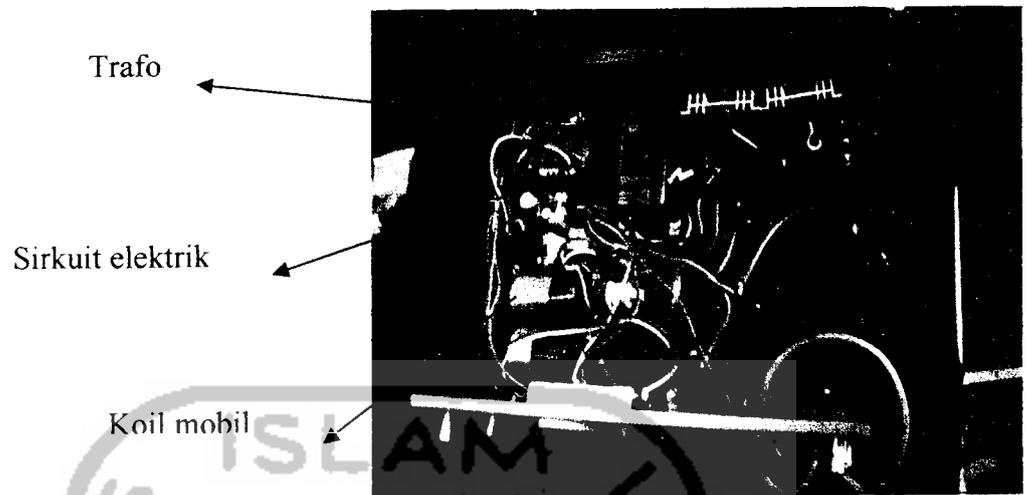
Gambar 3.3 Tabung Reaktor LPTD tanpa penutup elektroda luar sehingga terlihat lapisan dielektrik dan elektroda sebelah dalam

Dimana untuk spesifikasi dari masing masing tabung reaktor LPTD adalah sebagai berikut :

- Luas permukaan setiap tabung 157 cm^2
- Celah (*gap*) antara lapisan dielektrik dengan tabung elektroda luar 2 mm.
- Ketebalan lapisan dielektrik yang terbuat dari kaca bening 1 mm
- Ketebalan elektroda luar 0,5 mm yang terbuat dari *stainless steel*
- Diameter elektroda dalam 1,5 cm yang terbuat dari besi masif
- Panjang tabung LPTD 18 cm.

2. Catu Daya Reaktor LPTD

Reaktor LPTD memerlukan sumber arus listrik AC tegangan tinggi. Untuk setiap tabung LPTD, memerlukan voltase sebesar 30 kVA (kilo Volt Ampere) dengan arus listrik sebesar 16 watt, yang dihubungkan dengan sumber arus listrik PLN 220 V. P3TM BATAN pada Balai Tekno Fisikokimia pada Sub - Bidang Fisika Plasma, mendesain suatu alat khusus untuk digunakan sebagai catu daya listrik reaktor LPTD. Bagian utama dari alat ini adalah travo, sirkuit elektrik dan 3 buah koil mobil yang masing masing mempunyai tegangan 30 kVA. Berikut ini adalah Gambar 3.3 yang menunjukkan catu daya yang digunakan sebagai sumber energi reaktor plasma non-termal.



Gambar 3.4 Catu daya listrik sebagai sumber listrik reaktor LPTD

3. Adaptor Penghubung antara Knalpot dengan Tabung Filter

knalpot pada sepeda motor yang digunakan sebagai objek penelitian memerlukan adaptor penghubung dengan tabung filter yang berisi glasswool. Dimensi adaptor ini mengikuti output dari knalpot kendaraan dan input dari tabung filter. Berikut ini adalah gambar 3.5 yang menunjukkan dimensi dari adaptor tersebut :



Gambar 3.5 Adaptor penghubung knalpot kendaraan dengan tabung filter *glasswool*

Fungsi adaptor adalah sebagai penghubung, berikut ini adalah rangkaian adaptor dengan tabung filter :

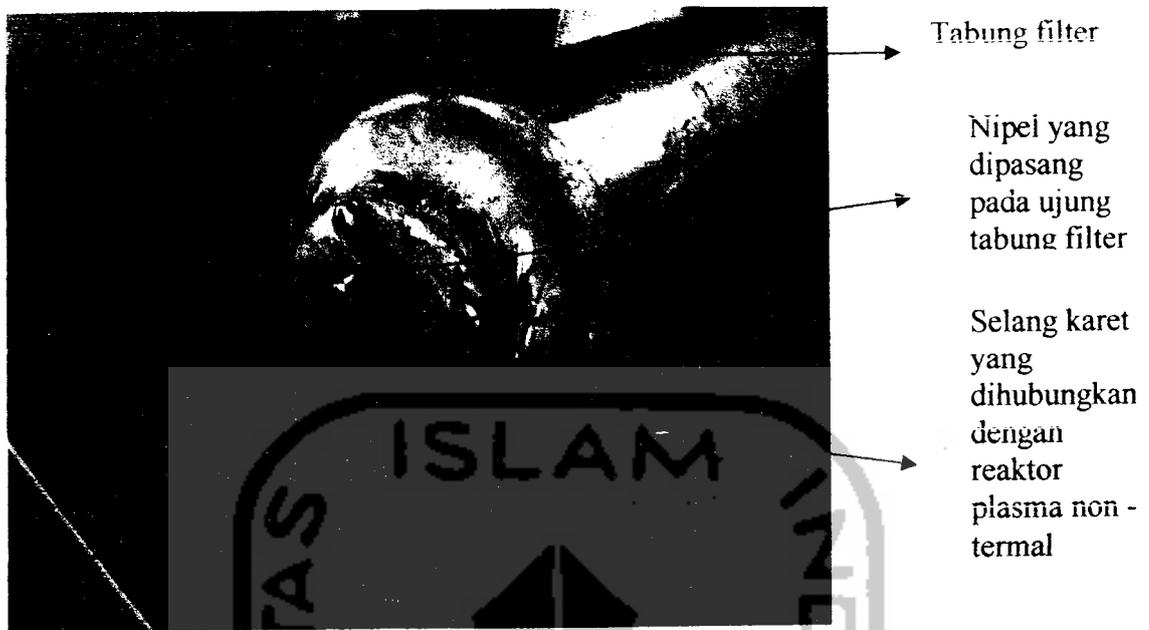


Gambar 3.6 Pemasangan adaptor dengan tabung filter *glasswool*

4. Tabung Filter *Glaswooll*

Tabung filter digunakan sebagai tempat peletakan *glasswool* yang digunakan sebagai penyaring partikulat gas buang yang dilepaskan oleh knalpot sepeda motor. *Glasswool* ini diberikan variasi sebesar 25, 50, dan 75 gram, dimana peletakan *glasswool* ini disebar secara merata di dalam tabung knalpot. Tabung filter ini terbuat dari aluminium dengan diameter mm dan panjang mm.

Tabung filter ini dilengkapi dengan nipel pada ujungnya. Nipel ini dihubungkan dengan selang karet menuju reaktor plasma. Tabung filter dilakukan modifikasi dengan pemasangan nipel pada ujung tabung agar semua gas buang yang keluar dari knalpot kendaraan tidak ada yang terbang ke udara bebas. Dari nipel inilah semua gas buang yang keluar dari tabung filter disalurkan menuju reaktor plasma.



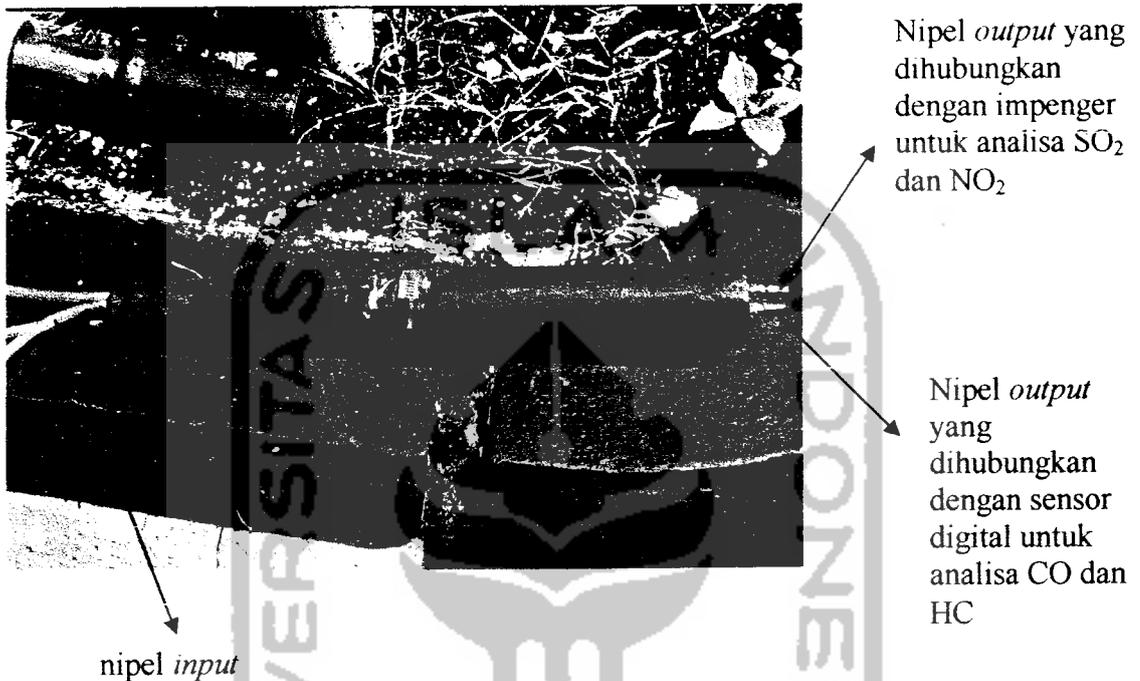
Gambar 3.7 Nipel pada ujung tabung filter yang dihubungkan dengan selang dan selanjutnya selang ini menuju reaktor plasma

5. Saluran Pembagi Gas Buang

Dalam penelitian reduksi gas buang dengan teknologi plasma non-termal menggunakan 4 parameter yaitu penurunan SO_2 , NO_2 , CO (Karbonmonoksida), dan HC (Hidrokarbon). Penelitian berjalan dalam satu waktu, berarti dalam satu kali sampling udara harus diambil empat gas sekaligus. SO_2 dan NO_2 diambil dengan menggunakan *impenger*, sedangkan CO dan HC menggunakan sensor digital khusus untuk gas buang kendaraan motor bensin. Dengan adanya dua alat analisa yang digunakan secara sekaligus, maka diperlukan suatu saluran pembagi dari tabung reaktor plasma, agar setiap alat analisa memperoleh beban gas buang yang sama.

Tabung pembagi ini dilengkapi tiga buah nipel *input* dan dua buah nipel *output*. Setiap nipel dihubungkan dengan selang karet. Untuk nipel *input*, disambungkan dengan nipel *output* dari reaktor plasma, sedangkan untuk nipel *output* pada tabung pembagi dihubungkan dengan *impenger* dan nipel lainnya dihubungkan dengan

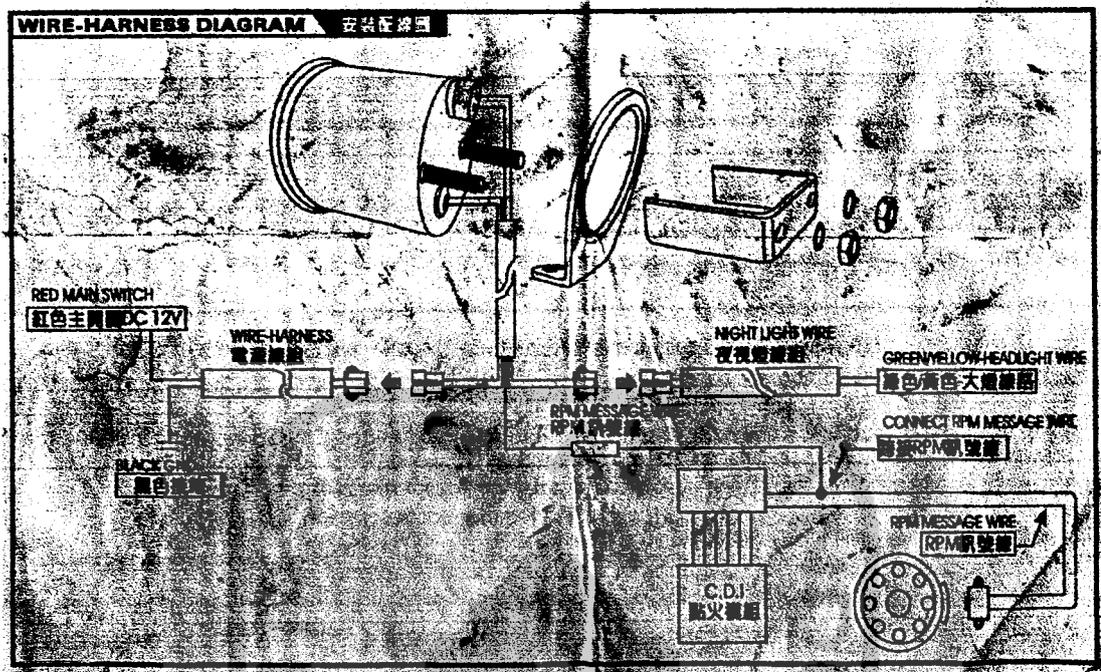
sensor CO dan HC. Tabung pembagi ini terbuat dari baja dengan diameter *input* 40 mm, diameter *ouput* 35 mm dan panjang 300 mm. Saluran *input* dilengkapi dengan empat nipel, sedangkan saluran *ouput* dilengkapi dengan dua nipel.



Gambar 3.8 Tabung pembagi yang dilengkapi dengan nipel pada kedua ujungnya

6. RPM Sistem Digital

Sepeda motor yang digunakan sebagai objek penelitian tidak dilengkapi dengan indikator mesin RPM. Oleh karena itu sepeda motor diberi kelengkapan tambahan dengan sebuah RPM digital. Adapun rangkaian pemasangan RPM ini terkoreksi dengan sistem kelistrikan sepeda motor melalui CDI, yang ditunjukkan dalam Gambar 3.9 berikut ini :



Gambar 3.9 Skematik pemasangan RPM digital pada sistem kelistrikan sepeda motor

RPM digital ini menggunakan model pembacaan model penunjuk jarum, yang ditunjukkan pada Gambar 3.10 berikut ini :



Gambar 3.10 RPM digital dengan model pembacaan penunjuk jarum

3.6 Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

1. Variabel berubah yaitu :
 - RPM (Rotation Per Minute) mesin motor pada kisaran 2000, 2500, dan 3000 RPM.
 - Berat Glass Wool yang digunakan sebagai filter partikulat seberat 25, 50, dan 75 gr
2. Variabel tetap yaitu parameter CO dan HC dalam gas buang yang dikeluarkan sepeda motor dan tegangan pada unit LPTD sebesar 16 watt.

3.7 Metode Pelaksanaan Penelitian

3.7.1 Prosedur Pengujian/pengukuran Gas Buang

Pengujian gas buang mesin dimaksudkan untuk mengukur kadar polutan yang dikeluarkan oleh asap kendaraan bermotor yang dihasilkan oleh pembakaran dalam mesin. Gas buang kendaraan bermotor terdiri atas zat yang tidak beracun seperti : Nitrogen (N_2), Karbon dioksida (CO_2), dan uap air (H_2O). Sedangkan zat yang beracun adalah Karbon monoksida, (CO), Hidrokarbon (HC), Oksida Nitrogen (NO_x), Sulfur Oksida (SO_x) dan Partikulat lainnya. Prosedur persiapan dalam pengujian dilakukan dalam tiga tahap yang meliputi sebagai berikut :

a. Kondisi tempat uji

Kondisi suhu luar untuk pengujian kendaraan dan peralatan ukur (uji) berada sekitar 0 sampai $40^{\circ}C$.

1. Tempat alat uji gas analyzer di atas stand dan letakkan pada tempat yang rata.

2. Jaga jarak antara bagian belakang analyzer dan dinding atau penghalang lain minimal 30 cm, agar sistem pendingin tidak terganggu.
3. Jangan menempatkan gas analyzer dekat sumber polusi/debu, sinar matahari langsung. Misal : Bakaran sampah, oven, kompor, pengujian lapangan tanpa ada penghalang (atap).

b. Kondisi motor

1. Kendaraan yang diuji berada di tempat yang rata.
2. Segel pada mesin harus sesuai dengan spesifik pabrik.
3. Sistem gas buang tidak boleh ada yang bocor, terlebih dahulu diperbaiki.
4. Semua alat tambahan kecuali perlengkapan operasi standard mesin harus dimatikan dan posisi tanpa beban.
5. Kendaraan dengan transmisi biasa posisi gigi harus pada posisi netral N dan kopling pada posisi bebas.
6. Kendaraan dengan transmisi otomatis, posisi tuas pemindah harus netral N atau parkir P.
7. Motor Penggerak terlebih dahulu dipanaskan hingga mencapai suhu kerja normal (80°C).
8. Choke (jika ada) keadaan tidak bekerja.
9. Putaran idling motor penggerak harus stabil.
10. Bahan bakar yang digunakan harus memenuhi persyaratan pemerintah.

c. Instruksi kerja pengukuran gas bahan bakar bensin (*Gasoline*)

1. Nyalakan tombol ON pada alat uji, tunggu pemanasan alat selama 70°C menit.

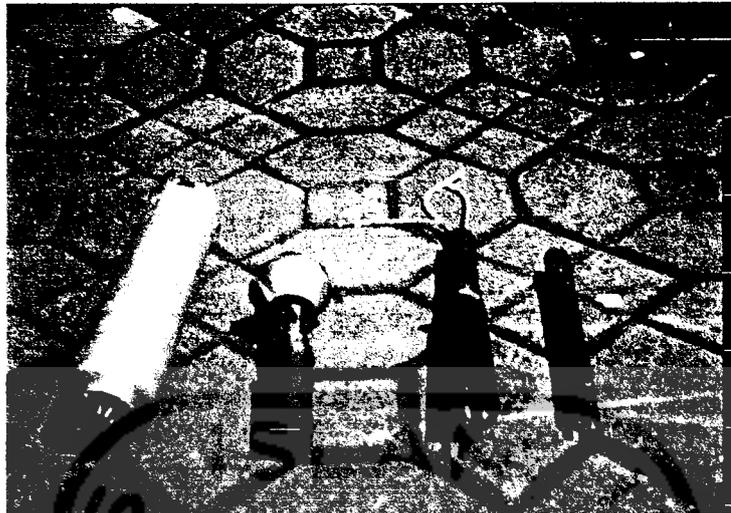
2. Setelah masa pemanasan berlangsung usai, tekan tanda tombol petrol (bensin) untuk pengujian pengambilan sampel.
3. Pilih tombol pengujian *Official Measurement* (OM) untuk memasukkan nomor kendaraan dan spesifikasi kendaraan.
4. Tekan tanda panah >>> untuk melanjutkan ke proses penyimpanan data pilih tombol 'SAVE'.
5. Tunggu selama 30 detik proses *Tester is Stabilizing*.
6. Masukkan probe ke dalam knalpot (saluran buang) kendaraan ± 30 cm tunggu pengambilan sampel untuk mendapatkan data polutan akurat yang dikeluarkan dari knalpot selama 30 detik.
7. Setelah data didapatkan, print data maka dengan sendirinya alat akan mengeluarkan hasil data tersebut dengan tampilan pada LCD yang sama.
8. Lakukan langkah-langkah di atas untuk melakukan pengujian selanjutnya.

3.7.2 Persiapan Peralatan

Persiapan penelitian ini dilakukan dalam empat tahap yang meliputi:

a. **Penyiapan Perangkat keras**

Penyiapan perangkat keras berupa : tabung penghubung knalpot dengan tabung filter *glasswool*, tabung filter *glasswool*, tabung pembagi gas buang yang ditunjukkan pada Gambar 3.11 berikut ini :



Gambar 3.11 Perangkat keras (dari kiri ke kanan) berupa tabung filter *glasswool*, saluran penghubung / adaptor, saluran pembagi dan saluran untuk sensor elektronik CO dan HC

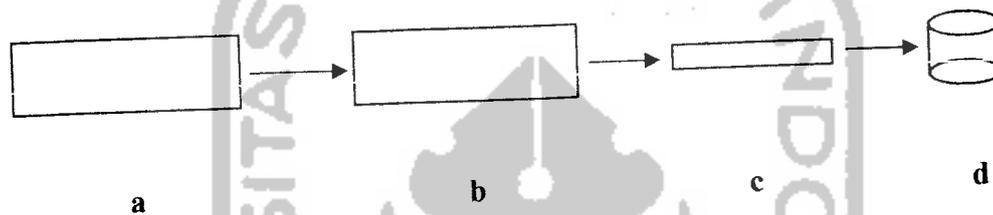
1. Tabung knalpot aluminium yang dimodifikasi dengan enam nipel pada *outlet*-nya sebanyak satu buah, yang dilengkapi dengan tiga lubang baut tipe "L". Tabung ini digunakan sebagai tabung filter *glasswool*.
2. Pembuatan pipa baja khusus, yang digunakan sebagai saluran penghubung antara tabung filter *glasswool* dengan knalpot motor sebanyak satu buah. saluran penghubung ini dilengkapi dengan tiga ulir baut tipe "L" dengan diameter \varnothing 5 mm. Pipa ini disebut sebagai pipa adaptor.
3. *Glasswool* khusus gas buang yang digunakan sebagai filter partikulat sebanyak :
 - 25 gr x 27 buah
 - 50 gr x 27 buah
 - 75 gr x 27 buah
4. Selang karet bening \varnothing lima milimeter sepanjang 1,5 m.

5. Baut tipe "L" \varnothing 5 mm sebanyak 3 buah untuk mengunci saluran penghubung/adaptor dari knalpot sepeda motor dengan tabung filter *glasswool*.
 6. Pembuatan saluran pembagi yang terbuat dari baja, yaitu pipa baja satu inci, dengan panjang sepuluh cm yang pada ujungnya dimodifikasi dengan diberi dua nipel *output* , dan empat nipel *input*.
 7. Klem besi satu buah
 8. Karet bekas ban dalam sepeda motor sebagai isolator kebocoran knalpot sebanyak satu buah.
- b. Penyiapan unit LPTD sebagai reaktor untuk menguraikan gas buang :
1. Satu set LPTD yang terdiri dari tiga tabung LPTD dipasang secara paralel
 2. Koil mobil bensin tiga buah.
 3. Satu set alat catu daya listrik khusus untuk LPTD sebesar 220 V .
 4. Kabel listrik sepuluh meter.
 5. Selotip isolator satu buah.
- c. Pemasangan unit LPTD dengan perangkat keras :
1. Satu set unit LPTD secara lengkap.
 3. Karet ban dalam sepeda motor sebagai penyekat gas.
 4. Selang karet bening dengan ukuran \varnothing 5 mm panjang 1 m.
- d. Pemasangan unit LPTD, perangkat keras, dengan alat analisa gas buang (*impenger*) sebagai tabung analisa sampel :
1. 1 set unit LPTD yang terpasang dengan perangkat keras.
 2. Karet ban dalam sepeda motor sebagai penyekat gas.

3. Selang karet bening dengan ukuran ϕ 5 mm panjang 1 m.
4. Saluran penangkap satu buah.
5. Tabung analisa sampling (*impenger*) delapan buah.

3.7.3 Tahap Pelaksanaan Percobaan

Percobaan dilaksanakan sesuai dengan alur pengambilan sampel sebagai berikut :

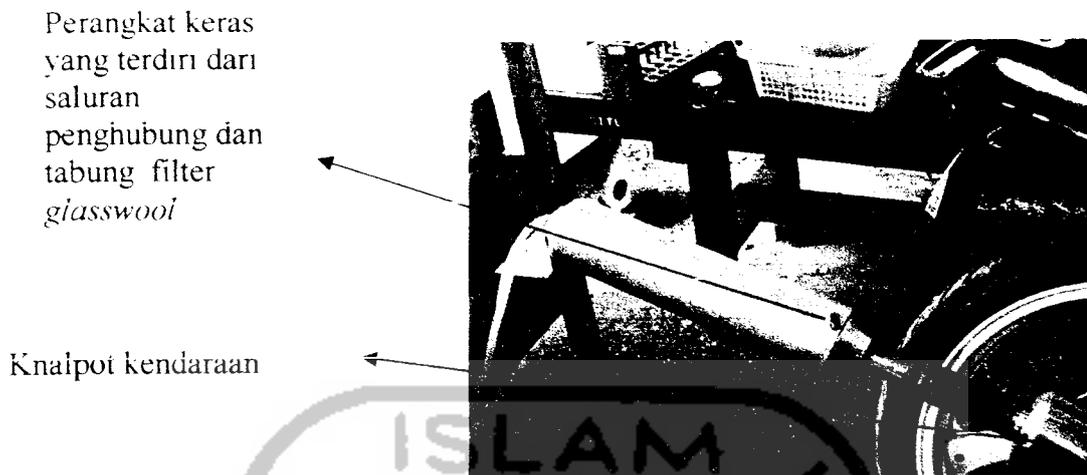


Gambar 3.12 Alur Pengambilan Sampel

Keterangan :

- a. Knalpot
- b. Perangkat Keras (saluran penghubung, tabung filter)
- c. LPTD
- d. Saluran Penangkap

1. Kendaraan (motor) dipanaskan selama lima menit untuk mengkondisikan ruang bakar mesin dalam keadaan langsam (sekitar 1500 RPM).
2. Salah satu bagian dari perangkat keras yaitu saluran penghubung dan tabung filter *glasswool* dipasangkan pada knalpot motor, yang ditunjukkan pada Gambar 3.14 dibawah ini :



Gambar 3.13 Salah satu bagian dari perangkat keras yang dipasangkan dengan knalpot kendaraan

3. LPTD dihubungkan dengan perangkat keras, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.15 berikut ini :



Gambar 3.14 LPTD yang dihubungkan dengan bagian perangkat keras

4. Semua selang tabung LPTD dihubungkan dengan *nipel* pada saluran pembagi, dan saluran pembagi dihubungkan dengan saluran penangkap gas buang.

5. LPTD dihubungkan dengan catu daya listrik, dan segera diaktifkan. Gas buang yang dihasilkan knalpot kendaraan masuk ke dalam tabung filter *glasswool*, kemudian menuju tabung reaktor LPTD, dilanjutkan ke saluran pembagi, dan berakhir di saluran penangkap untuk parameter SO_2 dan NO_x serta saluran sensor elektronik untuk parameter CO dan HC, yang ditunjukkan pada Gambar 3.15 berikut ini :



Gambar 3.15 Catu daya reaktor LPTD diaktifkan, knalpot motor mengeluarkan gas, dan menuju tabung LPTD.

6. Untuk pengambilan sampel tanpa perlakuan (sampel kontrol) gas buang diambil pada knalpot melewati tabung filter tanpa *glasswool* dan tanpa reaktor LPTD.
- Untuk pengambilan sampel pada variabel bebas RPM maka setiap RPM dilakukan variasi dengan variabel bebas lainnya. Contohnya adalah pada keadaan variabel bebas 2000 RPM dilakukan variasi :
- Glass wool* 25 gr dengan tegangan 16 watt.
 - Glass wool* 50 gr dengan tegangan 16 watt.
 - Glass wool* 75 gr dengan tegangan 16 watt.

7. Dihubungkan dengan corong penangkap gas buang.
8. Dari corong penangkap gas buang dihubungkan dengan alat penangkap gas yang akan diukur kadar CO dan HC dengan alat digital gas analyzer, yang ditunjukkan pada Gambar 3.16 berikut ini :



Gambar 3.16 Alat Gas Analyzer

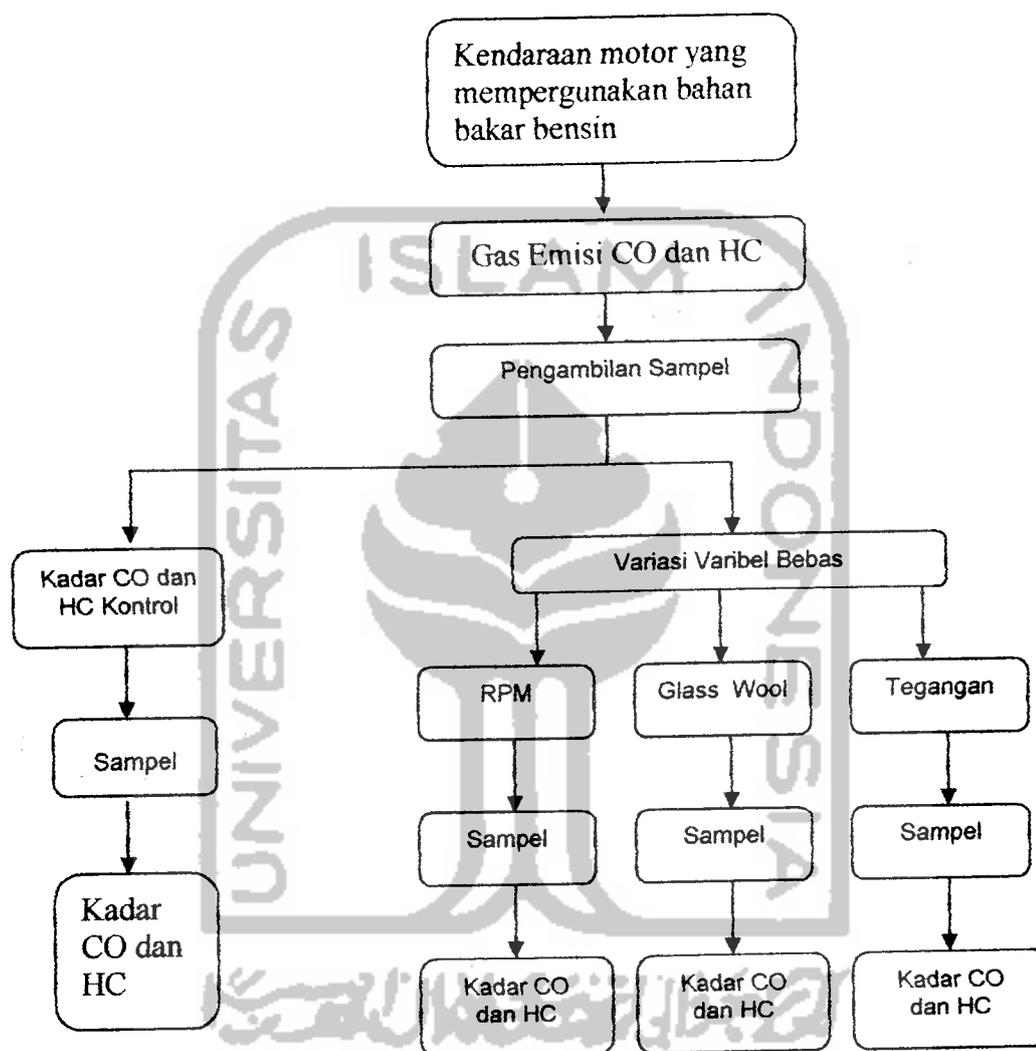
9. Kendaraan didinginkan selama lima belas menit sebelum dilakukan pergantian variasi variabel bebas.
10. Dilakukan pengulangan sebanyak dua kali.

3.7.4 Diagram Alir Tahap Pelaksanaan Percobaan

Tahap pelaksanaan percobaan dipersiapkan untuk mempermudah langkah-langkah dalam melakukan penelitian. Hal ini dapat dilihat pada gambar 3.17 dan diagram alir pelaksanaan percobaan pada gambar 3.18



Gambar 3.17 Diagram Alir Tahap Persiapan



Gambar 3.18 Diagram Alir Pelaksanaan Percobaan

3.8 Rancangan Penelitian

Berikut ini adalah tabel rancangan penelitian pengambilan sampel awal, sebagai berikut :

Contoh Tabel Pengambilan Sampel Awal

Variabel kontrol	Kadar HC		Rata2	Kadar CO (%)		Rata2
	(PPM)					
tanpa filter	I	II		I	II	
dgn Variabel RPM						
2000 RPM						
2500 RPM						
3000 RPM						

3.9 Analisa Data

Dalam menganalisa data dilakukan dengan cara mengelompokkan hasil data yang diperoleh selama penelitian ke dalam tabel pengamatan untuk selanjutnya dilakukan analisa data. Dari hasil tersebut dibahas dan ditarik suatu kesimpulan. Analisa data ini tidak menggunakan stastistik data dikarenakan data yang diambil tidak memenuhi syarat untuk menggunakan statistik data.

BAB IV

PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengukuran Kadar CO dan HC dengan Variabel RPM Tanpa Filter Dan Pembahasannya.

Tabel 4.1 Kadar CO dan HC Variabel RPM Tanpa Filter

Variabel kontrol tanpa filter dgn Variabel RPM	Kadar HC (ppm)		Rata2	Kadar CO (%)		Rata2
	I	II		I	II	
2000 RPM	297	306	301.5	3.56	2.49	3.025
2500 RPM	307	356	331.5	3.95	3.76	3.855
3000 RPM	466	504	485	5.03	3.96	4.495

(Sumber : Data Primer, 2005)

Berdasarkan hasil pengukuran kontrol kadar CO dan HC di atas dapat diketahui bahwa semakin tinggi RPM semakin tinggi pula kadar CO dan HC yang dihasilkan. Dikarenakan semakin tinggi RPM, maka daya kendaraan akan semakin besar, dan ini tentunya dengan konsumsi bahan bakar dan udara akan meningkat, diikuti pelepasan gas buang yang semakin besar pula. Istilah RPM atau *rotation per minute* adalah menunjukkan seberapa banyak putaran kruk-as dalam satu menit ketika mesin empat langkah dalam kondisi menyala. RPM tiap kendaraan adalah berbeda, maka RPM tidak bisa dijadikan patokan dasar ketika kita menghitung suatu daya kendaraan untuk bergerak yang dihitung dengan menggunakan satuan dk atau daya kuda. Sebagai contoh, mobil biasa pada 3000 rpm biasanya bergerak dengan kecepatan 60 km/jam, namun mobil formula satu, pada RPM yang sama mungkin

telah berjalan di atas 100 km/jam. Parameter CO dan HC merupakan bagian polutan udara, yang paling banyak bersumber dari kendaraan bermotor. Kadar CO dan HC yang diperoleh merupakan gas emisi, dimana kadar CO dan HC di peroleh dari hasil pengukuran langsung dari sumbernya yaitu kendaraan bermotor. Ambang batas emisi gas buang kendaraan bermotor adalah batas maksimum zat atau bahan pencemar yang boleh dikeluarkan langsung dari pipa gas buang kendaraan bermotor. Dengan baku mutu udara emisi sebagai berikut :

Tabel 4.2 Ambang Batas Gas Emisi

NO.	PARA-METER	SATUAN	Ambang Batas gas Emisi MenLH No : 141 Th 2003	METODE UJI
1.	CO	gr/km	1.0	ECR 47
2.	HC	gr/km	1.2	ECR 40

(Sumber : Kep.MenLH NO 141/2003)

Peraturan ambang batas emisi gas buang dari Kep.MenLH no.141 tahun 2003 menggunakan metode uji dengan satuan CO dan HC adalah gr/km. Sedangkan pada penelitian ini menggunakan alat gas analyzer yang kalibrasi satuannya adalah ppm untuk HC dan satuan % untuk CO sehingga peraturan ini sulit untuk dibandingkan. Oleh karenanya dipakailah peraturan baku mutu emisi sumber bergerak kendaraan bermotor dari keputusan gubernur daerah istimewa yogyakarta nomor 167 tahun 2003 sebagai berikut :

Tabel 4.3 Baku Mutu Emisi

NO.	PARA-METER	SATUAN	BAKU MUTU EMISI	METODE UJI
1.	CO	%	4.5	Gas analyzer
2.	HC	ppm	2400	Gas analyzer

(Sumber : Kep.Gubernur D.I.Y no 167 tahun 2003)

Dari baku mutu emisi tersebut dapat disimpulkan bahwa kendaraan bermotor merk Suzuki yang dipakai dalam penelitian ini telah memenuhi standar baku mutu emisi gas buang.

4.2 Hasil Pengukuran Kadar CO dan HC Sebelum dan Sesudah Pemberlakuan Plasma dengan Variabel RPM dan Filter

Tabel 4.4 Kadar CO dengan Variabel RPM dan Filter 25 gr glass wool.

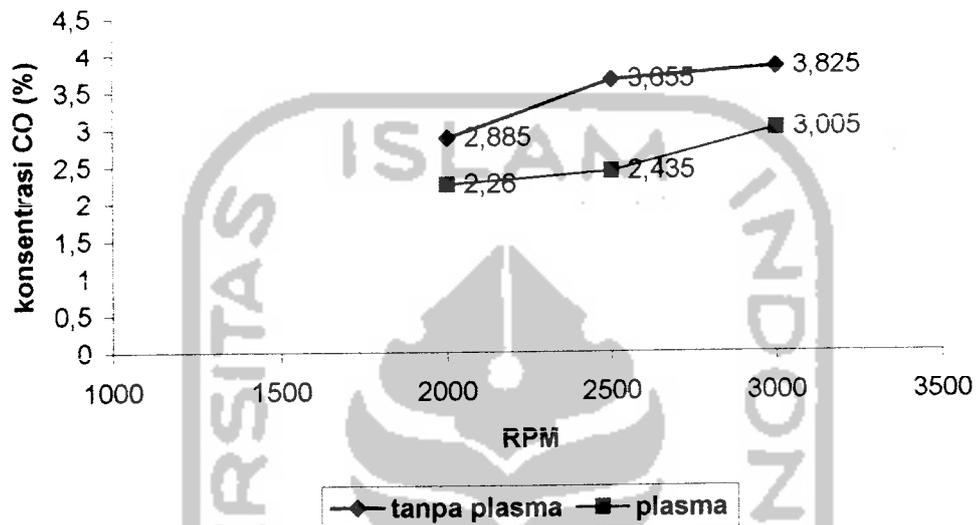
Variabel filter Dan RPM	Kadar CO (%)		Rata2	Tegangan	Kadar CO dgn Plasma		Rata2
	I	II			I	II	
2000 RPM	2.11	3.66	2.885	16 watt	2.21	2.31	2.26
2500 RPM	3.53	3.78	3.655	16 watt	2.51	2.36	2.435
3000 RPM	3.63	4.02	3.825	16 watt	3.06	2.95	3.005

(Sumber : Data Primer, 2005)

Dari data di atas menunjukkan bahwa pada saat pengukuran kadar CO dengan variabel RPM dan filter 25 gr glass wool tanpa melalui tabung plasma kadar CO hampir sama atau sama dengan kontrol awal kadar CO dan HC. Karena variabel filter glass wool berfungsi sebagai penyaring partikel – partikel, dimana variabel ini tidak mempengaruhi terhadap kadar CO dan HC. Dan pengukuran kadar CO setelah

melalui tabung plasma kadar CO turun sampai 33.4% (tabel 4.13). Penurunannya dapat dilihat dengan grafik sebagai berikut :

Grafik perbandingan kontrol awal terhadap metode plasma dengan variabel glass wool 25 gr pada parameter CO



Kadar CO mengalami penurunan karena adanya reaksi fisika dan kimia, yaitu keadaan benda fase-gas berenergi, yang sering ditunjuk sebagai “keadaan benda keempat (padat, cair, gas, dan plasma)” yang beberapa atau semua electron diorbit atom terluar telah terpisah dari atom molekul. Hasilnya adalah sebuah koleksi ion dan electron yang tidak lagi terikat satu sama lain. karena partikel-partikel ini terionisasi (bermuatan), gas ini bertingkah laku lain dari gas biasa.

Aksi-aksi pada ion dan elektron dalam plasma yaitu reaksi ionisasi, excitasi, dan dissociasi dengan udara bebas sekitarnya berlanjut dengan terbentuk species aktif (ion, electron, molekul yang mudah bereaksi) seperti ozone, OH, O, NH₃ yang memiliki sifat radikal yang sangat mudah bereaksi dengan senyawa-senyawa yang ada di sekitarnya. Sepecies aktif yang terbentuk ini kemudian bereaksi dengan gas

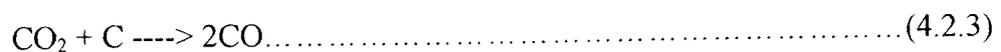
CO dan HC kemudian mengubah serta menguraikannya. sehingga gas CO menjadi senyawa yang tidak berbahaya terhadap lingkungan, dimana gas CO dapat terbentuk di alam dengan proses sebagai berikut :

1. Pembakaran tidak lengkap terhadap karbon atau komponen yang mengandung karbon. Oksidasi tidak lengkap terhadap karbon atau komponen yang mengandung karbon terjadi jika jumlah oksigen yang tersedia kurang dari jumlah yang dibutuhkan untuk pembakaran sempurna, dimana dihasilkan karbon monoksida. Secara sederhana pembakaran karbon dalam minyak bakar terjadi melalui beberapa tahap sebagai berikut :



Pencampuran yang tidak rata antara minyak bakar dengan udara menghasilkan beberapa tempat atau area yang kekurangan oksigen. Semakin rendah perbandingan antara udara dan minyak bakar, semakin tinggi jumlah karbon monoksida yang dihasilkan.

2. Reaksi antara monoksida dan komponen yang mengandung karbon pada suhu tinggi. Reaksi ini dapat menghasilkan karbon monoksida dengan reaksi sebagai berikut :



3. Pada suhu tinggi, karbon dioksida terurai menjadi karbon monoksida dan O. Pada kondisi dimana jumlah oksigen cukup melakukan pembakaran lengkap terhadap karbon kadang-kadang terbentuk juga CO. Keadaan ini disebabkan pada suhu tinggi CO₂ akan terdisosiasi menjadi CO dan O. Karbon dioksida dan CO

terdapat pada keadaan ekuilibrium pada suhu tinggi dengan reaksi sebagai berikut :



Penyebaran karbon monoksida di udara tergantung pada keadaan lingkungan.

Untuk daerah perkotaan yang banyak kegiatan industrinya dan lalu lintas nya padat, udaranya sudah banyak tercemar gas CO. ternyata tanah yang masih terbuka dimana belum ada bangunan di atasnya dapat membantu penyerapan gas CO. Hal ini disebabkan mikroorganisme yang ada di dalam tanah mampu menyerap gas CO yang terdapat di udara. Angin dapat mengurangi konsentrasi gas CO pada suatu tempat karena dipindahkan ke tempat lain. Kecepatan reaksi yang merubah CO menjadi CO₂ ($2\text{CO} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}_2$) yang terjadi pada atmosfer bawah hanya dapat menghilangkan sekitar 0,1 % dari CO yang ada perjam dengan adanya matahari. Berdasarkan kecepatan ini CO di atmosfer diperkirakan mempunyai umur rata-rata 3,5 bulan.

Karena kendaraan bermotor merupakan sumber polutan CO yang utama (sekitar 59,2 %), maka daerah-daerah yang berpendudukan padat dengan lalu lintas sampai memperlihatkan tingkat polusi CO yang tinggi. Konsentrasi CO di udara sewaktu dalam satu hari dipengaruhi oleh kesibukkan atau aktivitas kendaraan bermotor yang ada. Konsentrasi CO di udara pada tempat tertentu dipengaruhi oleh kecepatan emisi (pelepasan) CO di udara dan kecepatan dispersi dan pembersihan CO di udara. Pada daerah perkotaan kecepatan pembersihan CO dari udara sangat lambat, oleh karena kecepatan dispersi dan pembersihan CO dari udara sangat menentukan konsentrasi CO di udara. Kecepatan dispersi dipengaruhi langsung oleh

faktor-faktor meteorologi seperti kecepatan dan arah angin, turbulen udara, dan stabilitasi atmosfer.

Pengaruh gas karbon monoksida terhadap lingkungan yaitu pengaruh terhadap tanaman dan terhadap manusia. Pengaruh terhadap tanaman menurut beberapa peneliti menunjukkan bahwa pemberian CO selama 1 sampai 3 minggu pada konsentrasi sampai pada 100 ppm tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap tanam-tanaman tingkat tinggi, akan tetapi kemampuan akan fiksasi nitrogen oleh bakteri oleh bakteri bebas akan terhambat dengan pemberian CO selama 35 jam pada konsentrasi 2000 ppm. Karena konsentrasi CO di udara jarang mencapai 100 ppm. Meskipun dalam waktu sebentar, maka pengaruh CO terhadap tanam-tanaman biasanya tidak terlihat secara nyata.

CO merupakan Gas tidak berwarna dan tidak berbau, bersifat mematikan manusia dalam beberapa menit pada kadar lebih dari 5000 ppm. CO bereaksi dengan hemoglobin dalam darah membentuk senyawa *carboxyhemoglobin* (COHb). Hemoglobin lebih reaktif dengan CO dibanding terhadap oksigen, sehingga membentuk COHb efektif sekali pada pengusiran oksigen. Pada COHb kadar 5 sampai 10 %, persepsi visual, keterampilan manual, dan keterampilan belajar akan terganggu. Pada konsentrasi 30 ppm CO dalam waktu 8 jam akan terjadi kadar COHb 7.5 %. Pada kadar 2.5 – 3 % orang akan terkena penyakit jantung, dan tidak akan mampu menampilkan latihan-latihan tertentu sebagaimana yang dapat dilakukan oleh orang yang tidak memiliki COHb. Pada konsentrasi CO 20 ppm dalam waktu 8 jam akan menghasilkan kadar COHb 2.8 %.

Afinitas CO terhadap hemoglobin adalah 200 kali lebih tinggi dari pada afinitas oksigen terhadap hemoglobin, akibatnya jika CO dan SO_2 terdapat bersama-sama di udara akan membentuk COHb dalam jumlah yang lebih banyak daripada O_2Hb . Factor penting yang menentukan pengaruh CO terhadap tubuh manusia adalah konsentrasi COHb yang terdapat di dalam darah, dimana semakin tinggi persentase hemoglobin yang terikat dalam bentuk COHb, semakin parah pengaruhnya terhadap kesehatan manusia.

Tabel 4.5 Pengaruh Konsentrasi COHb didalam Darah Terhadap Kesehatan Manusia

Konsentrasi COHb dalam darah (%)	Pengaruh terhadap kesehatan
< 1.0	Tidak ada pengaruh
1.0-2.0	Penampilan agak tidak normal
2.0-5.0	Pengaruhnya terhadap system saraf sentral, rewaksi panca indra tidak normal, benda terlihat agak kabur .
≥ 5.0	Perubaha fungsi jantung dan pulmonan
10.0-8.0	Kepala pusing, mual berkunang-kunang, pingsan , sukar bernapas, kematian.

*Stoker dan Seager (1972)

(Sumber : Fardiaz, 1992)

Pada konsentrasi CO tertentu di udara konsentrasi COHb di dalam darah akan mencapai konsentrasi ekuilibrium setelah beberapa waktu tertentu. Secara normal sebenarnya darah mengandung COHb dalam jumlah sekitar 0.5 %. Jumlah ini berasal dari CO yang diproduksi oleh tubuh selama metabolisme pemecahan heme yaitu komponen dari hemoglobin. Persen ekuilibrium COHb di dalam darah manusia yang

mengalami kontak dengan CO dapat ditentukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\frac{Co - Hb}{O_2 - Hb} = M \frac{P_{Co}}{P_{O_2}} \dots \dots \dots (2.4.1.5)$$

Tabel 2.4 memperlihatkan hasil perhitungan konsentrasi COHb dalam darah menurut rumus tersebut.

Tabel 4.6 Data Ekuilibrium Antara COHb di Dalam Darah Dengan CO di Udara

Konsentrasi CO di udara (ppm)	Konsentrasi ekuilibrium COHb di dalam darah (%)
10	0.99
20	1.96
30	2.91
50	4.76
70	6.54
90	8.25
100	9.09

(Sumber : Fardiaz, 1992)

Tabel 4.7 Kadar HC dengan Variabel RPM dan Filter 25 gr glass wool

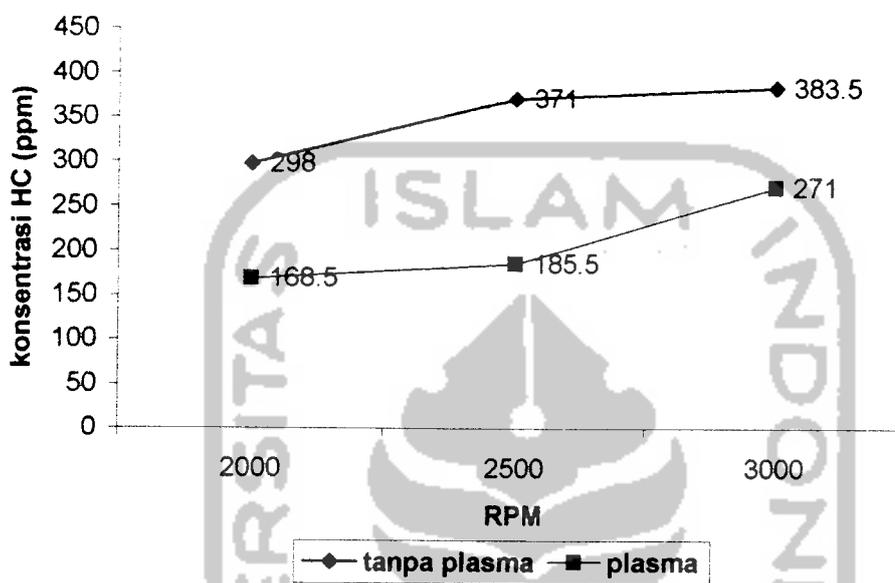
Variabel filter Dan RPM	Kadar HC (PPM)		Rata2	tegangan	Kadar HC dgn Plasma		Rata2
	I	II			I	II	
2000 RPM	323	273	298	16 watt	162	175	168.5
2500 RPM	352	390	371	16 watt	175	196	185.5
3000 RPM	373	394	383.5	16 watt	286	256	271

(Sumber : Data Primer, 2005)

Dari data di atas dapat diketahui bahwa pada saat pengukuran kadar HC dengan variabel RPM dan filter 25 gr glass wool tanpa melalui tabung plasma dan

setelah melalui tabung plasma menunjukkan terjadinya penurunan kadar HC sampai 50 % (tabel 4.13). Sehingga dapat dilihat dengan grafik sebagai berikut :

Grafik perbandingan kontrol awal terhadap metode plasma dengan variabel glass wool 25 gr pada parameter HC



Terjadinya penurunan kadar HC 43,5 % pada saat RPM 2000, 50% pada saat RPM 2500, dan 29,34 % pada saat RPM 3000. Hasil yang didapat bervariasi dan tidak beraturan ini dikarenakan kita tidak bisa mengetahui berapa gas yang keluar pada tiap RPM dengan pasti dan yang masuk ke dalam tabung plasma karena banyak faktor yang bisa mempengaruhinya seperti pada corong atau pipa plastik yang digunakan untuk mengalirkan gas menuju tabung plasma, faktor lainnya yaitu human error yang secara sengaja ataupun tidak sengaja. Tetapi inti dari penelitian ini adalah telah terjadinya penurunan gas-gas yang telah bereaksi dengan plasma sehingga gas-gas yang tidak diinginkan berkurang dan ini menunjukkan telah terjadinya reaksi fisika dan kimia yang telah dijelaskan sebelumnya.

Gas Hidrokarbon memiliki 2 kemungkinan sebagai pencemar udara yaitu :

1. HC sebagai emisi akan menjadi bahan pencemar udara apabila HC tidak tercampur rata pada saat pembakaran, sehingga tidak bereaksi dengan oksigen maka HC ini akan keluar dengan gas buangan hasil pembakaran.
2. Kemungkinan lain dari yang menyebabkan HC menjadi pencemar udara yaitu pada saat HC yang tidak ikut terbakar dengan oksigen mengalami *cracking* akibat suhu yang tinggi dari hasil pembakaran.

Pencemaran hidrokarbon memiliki berbagai dampak yang berpengaruh baik itu pada manusia maupun kepada tumbuhan dan hewan. Dampak bagi manusia menurut beberapa penelitian terhadap hewan dan manusia menunjukkan bahwa hidrokarbon alifatik dan alisiklis mempunyai pengaruh yang tidak diinginkan terhadap manusia hanya pada konsentrasi beberapa ratus sampai beberapa ribu kali lebih tinggi dari konsentrasi yang terdapat di atmosfer. Pada konsentrasi kurang dari 500 ppm tidak menunjukkan pengaruh apapun.

Tabel berikut ini akan menunjukkan level toksisitas dari beberapa hidrokarbon aromatik jenuh. Konsentrasi yang berbahaya tersebut jauh di atas rata-rata konsentrasi normal hidrokarbon di daerah perkotaan, yaitu sekitar 3.2 ppm untuk metana dan 0.03 – 0.10 ppm untuk hidrokarbon lainnya.

Tabel 4.8 Level Toksisitas Hidrokarbon Aromatik Jenuh

Hidrokarbon	Konsentrasi (ppm)	Pengaruh
Benzena (C ₆ H ₆)	100	Iritasi membran mukosa
	3000	Lemas setelah ½ - 1 jam
	7500	Pengaruh berbahaya setelah ½ - 1 jam
Toluena	20000	Kematian setelah 5 – 10 menit

(C ₇ H ₈)	200	Sedikit pusing, lemah, dan berkunang-kunang setelah 8 jam
	600	Kehilangan koordinasi, bola mata terbalik setelah 8 jam

(Sumber : Fardiaz,1992)

Hidrokarbon aromatik lebih berbahaya dibandingkan dengan hidrokarbon alifatik dan alisiklis. Uapnya lebih bersifat iritasi pada membran mukosa, dan luka dibagian dalam dapat terjadi jika menghisap uap komponen aromatik. Tetapi pada konsentrasi kurang dari 25 ppm biasanya tidak berpengaruh.

Apabila HC berupa gas maka akan tercampur bersama bahan pencemar lainnya. Kalau HC berupa cairan maka HC tersebut akan membentuk kabut minyak (*droplet*) yang keberadaannya di udara akan sangat mengganggu lingkungan. Sedangkan kalau bahan pencemar HC berupa padatan maka udara akan tampak seperti asap hitam. Seringkali pencemaran udara oleh HC merupakan gabungan dari ketiga macam bentuk HC tersebut.

Tabel 4.9 Kadar CO dengan Variabel RPM dan Filter 50 gr glass wool

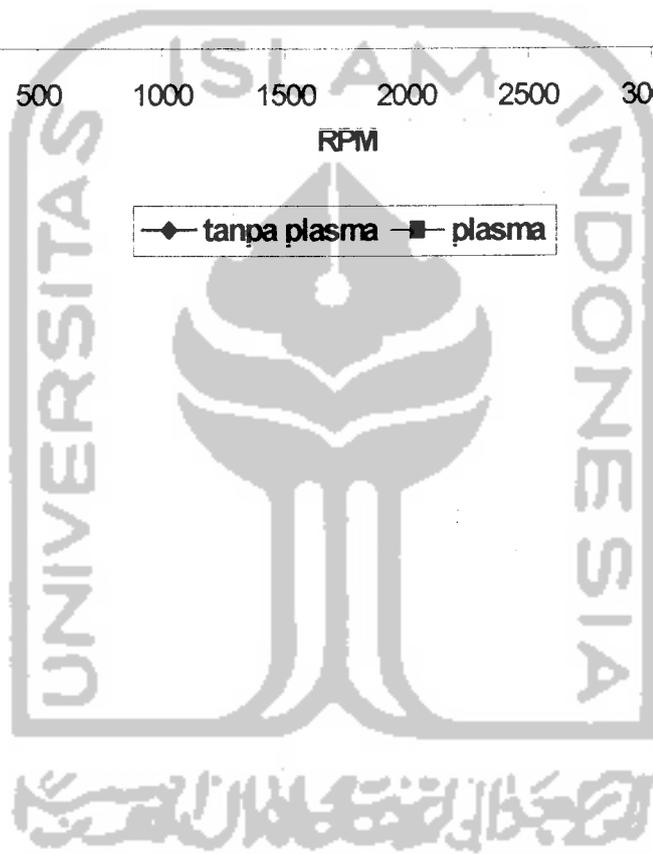
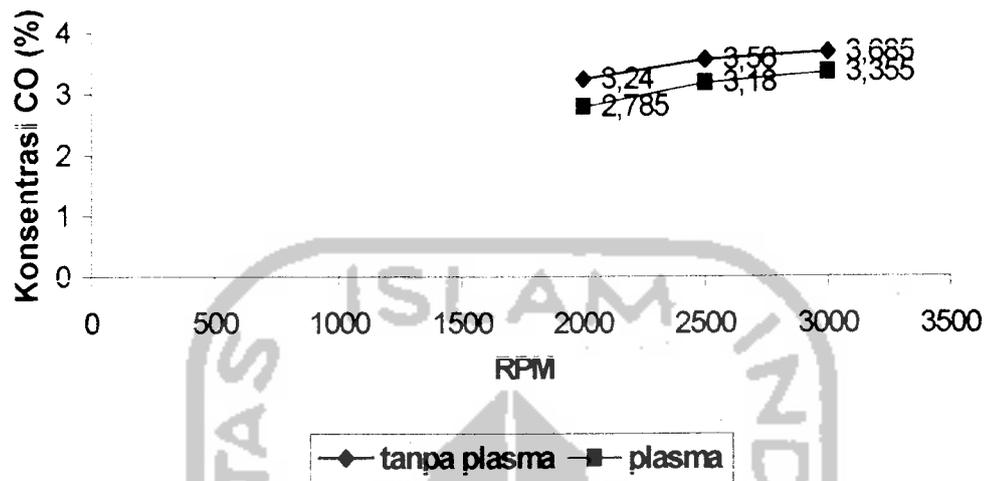
Variabel filter Dan RPM	Kadar CO (%)		Rata2	tegangan	Kadar CO dgn Plasma		Rata2
	I	II			I	II	
2000 RPM	3.31	3.17	3.24	16 watt	2.46	3.11	2.785
2500 RPM	3.48	3.64	3.56	16 watt	2.91	3.45	3.18
3000 RPM	3.63	3.74	3.685	16 watt	3.03	3.68	3.355

(Sumber : Data Primer, 2005)

Dari data di atas diketahui bahwa pada saat pengukuran kadar CO dengan variabel RPM dan filter 50 glass wool, penurunan kadar CO hanya 14 % (tabel 4.13). Secara teori semakin banyak filter yang digunakan, maka efektifitas tabung plasma

dalam mereduksi gas buang akan meningkat dikarenakan terjadinya penurunan partikel yang masuk ke dalam tabung plasma. Seperti diketahui sebelumnya, partikel ini dikenal sebagai faktor pengganggu. Hal ini dapat dilihat pada tabel 4.6. Tetapi dari hasil di atas bila dibandingkan dengan variabel filter 25 gr glass wool pada tabel 4.3 terjadi penurunan efektifitas tabung plasma dan ini tidak sesuai dengan teori yang ada. Sehingga disini dapat dikatakan telah terjadi kerusakan pada tabung plasma tersebut dimana tabung ini akan cepat rusak bila terdapat partikel yang lolos dan masuk ke dalam plasma. Dan partikel yang masuk ke dalam plasma dapat menempel dibagian tabung plasma yang dapat menyebabkan jarak antar elektroda menjadi lebih pendek dari bagian tabung plasma lainnya. Sifat dari terjadinya discharge adalah pada jarak antar elektroda yang terpendek sehingga terjadinya discharge hanya pada bagian yang telah tertempel partikel yang masuk saja dan bagian yang lainnya tidak terjadi discharge. Sehingga efektifitas dari tabung plasma ini sendiri menjadi berkurang dan menghasilkan hasil yang tidak sesuai yang diharapkan. Dan ini merupakan salah satu kelemahan dari tabung plasma ini. Faktor yang menyebabkannya adalah pada saat dilakukannya penelitian ini tabung plasma ini pernah dicoba tanpa menggunakan filter sehingga efektifitas tabung plasma ini semakin menurun. Dan dari data di atas didapatkan grafik sebagai berikut :

Grafik perbandingan kontrol awal terhadap metode plasma dgn variabel glass wool 50 gr pada parameter CO



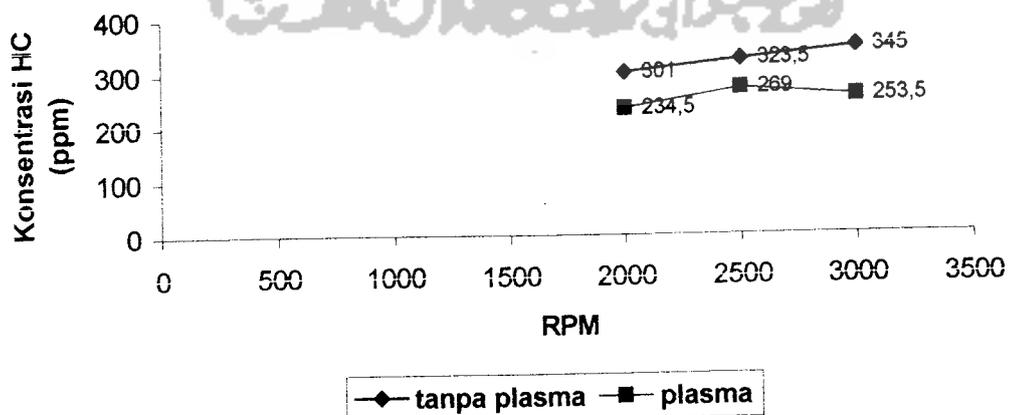
Tabel 4.10 Kadar HC dengan Variabel RPM dan Filter 50 gr glass wool

Variabel filter Dan RPM	Kadar HC (ppm)		Rata2	tegangan	Kadar HC dgn Plasma		Rata2
	I	II			I	II	
	2000 RPM	308	294	301	16 watt	249	220
2500 RPM	329	318	323.5	16 watt	266	272	269
3000 RPM	341	349	345	16 watt	292	215	253.5

(Sumber : Data Primer, 2005)

Dari data di atas menunjukkan adanya penurunan kadar HC sampai 26.5 % (tabel 4.13), tetapi dengan variabel RPM dan filter 50 gr glass wool seharusnya lebih besar persentase penurunannya dari hasil pengukuran kadar HC dengan variabel RPM dan 25 glass wool, dimana dapat mencapai sampai 50 %. Dikarenakan discharge di dalam tabung plasma terjadi pada jarak elektroda yang terpendek saja sehingga efektifitas tabung plasma berkurang dan tidak bisa mengikat semua gas buang yang masuk ke tabung plasma. Dan hasil data di atas dapat dilihat dengan grafik sebagai berikut :

Grafik perbandingan kontrol awal terhadap metode plasma dgn variabel glass wool 50 gr pada parameter HC



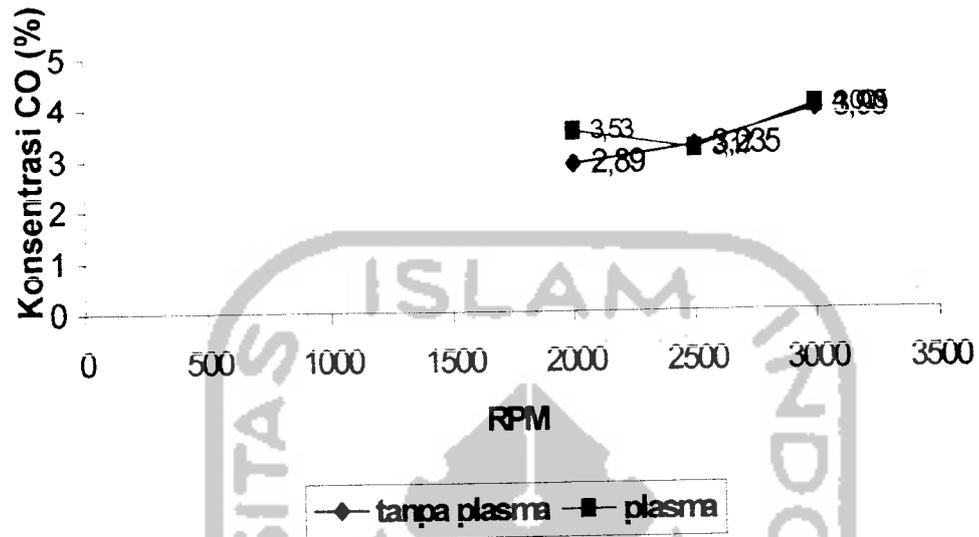
Tabel 4.11 Kadar CO dengan Variabel RPM dan Filter 75 gr glass wool

Variabel filter Dan RPM	Kadar CO (%)		Rata2	tegangan	Kadar CO dgn Plasma		Rata2
	I	II			I	II	
2000 RPM	2.85	2.93	2.89	16 watt	3.33	3.73	3.53
2500 RPM	3.33	3.14	3.235	16 watt	3.27	3.07	3.17
3000 RPM	3.89	3.97	3.93	16 watt	3.85	4.16	4.005

(Sumber : Data Primer, 2005)

Dari data di atas menunjukkan adanya penurunan kadar CO hanya 2% dan – 22 % (tabel 4.14) yang mana artinya tidak terjadinya penurunan bahkan sebaliknya telah terjadinya kenaikan kadar CO. Ini disebabkan oleh kontrol awal pada 2500 dan 3000 lebih kecil dari kontrol awal pada saat 2000, dimana telah dijelaskan sebelumnya semakin tinggi RPM, maka semakin tinggi pula gas yang dihasilkan. Oleh karenanya sebab kemungkinannya adalah pada saat dilakukannya kontrol awal dengan filter 75 gr glass wool ini gas buang yang masuk lebih sedikit dibandingkan pada saat perlakuan dengan plasma sehingga kadar CO yang diperoleh pada saat RPM 2500 dan 3000 lebih kecil dan perbandingan dengan perlakuan plasma menjadi negatif.. Data tersebut dapat dilihat dengan grafik sebagai berikut :

Grafik perbandingan kontrol awal terhadap metode plasma dgn variabel glass wool 75 gr pada parameter CO



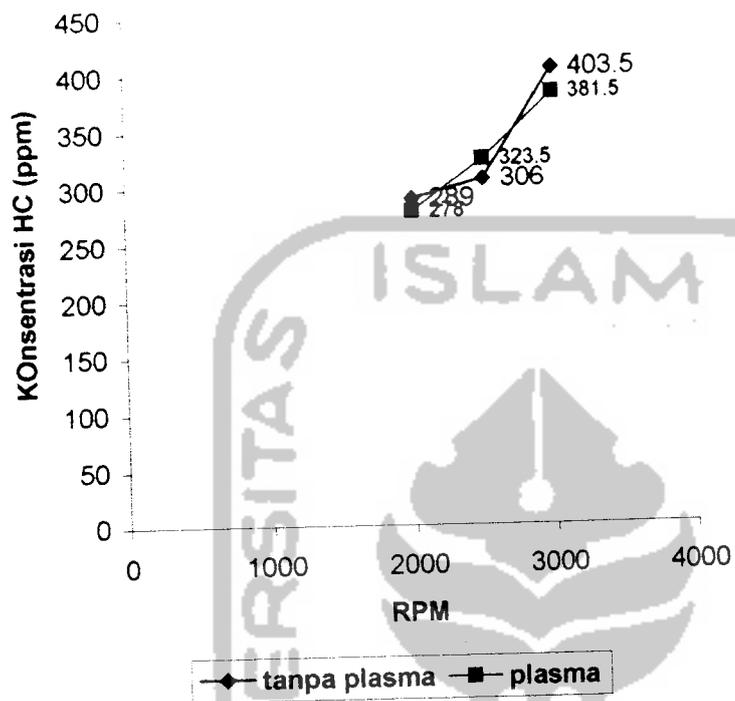
Tabel 4.12 Kadar HC dengan Variabel RPM dan Filter 75 gr glass wool

Variabel filter Dan RPM	Kadar HC (ppm)		Rata2	tegangan	Kadar HC dgn Plasma		Rata2
	I	II			I	II	
2000 RPM	292	286	289	16 watt	275	281	278
2500 RPM	294	318	306	16 watt	333	314	323.5
3000 RPM	396	411	403.5	16 watt	386	377	381.5

(Sumber : Data Primer, 2005)

Dari data di atas menunjukkan terjadinya penurunan kadar HC hanya 5,45 % (tabel 4.14) saja. Bila dibandingkan dengan variabel RPM dan filter 25 gr glass wool, kadar HC terjadi penurunan sampai 50 %. Berarti telah terjadi kerusakan tabung plasma yang telah dijelaskan sebelumnya. Dan semakin lama efektifitas tabung plasma semakin menurun sampai terjadinya ledakan kecil yang mengakibatkan tabung plasma ini terbakar. Yang dikarenakan dengan adanya tegangan listrik yang tinggi secara terus menerus dan discharge yang terjadi hanya di ujung tabung plasma dengan jarak elektrodanya yang semakin pendek sehingga terjadinya ledakan kecil tersebut. Oleh karenanya hasil yang didapat sampai ada yang negatif (-) yaitu -5,7 % yang berarti kadar HC yang dihasilkan semakin tinggi. Hal ini dapat dilihat pada grafik sebagai berikut :

Grafik perbandingan kontrol awal terhadap metode plasma dgn variabel glass wool 75 gr pada parameter HC



Tabel 4.13 Penurunan kadar CO dan HC Setelah Pemberlakuan Plasma

Variabel	Penurunan	Penurunan	Penurunan	Penurunan
RPM	CO, 25 gr	HC, 25 gr	CO, 50 gr	HC, 50 gr
	(%)	(ppm)	(%)	(ppm)
2000 RPM	21.66	43.46	14.04	22.09
2500 RPM	33.38	50	10.67	16.85
3000 RPM	21.44	29.34	8.96	26.52

Tabel 4.14 Penurunan Kadar CO dan HC Setelah Pemberlakuan Plasma

Variabel	Penurunan	Penurunan
RPM	CO, 75 gr	HC, 75 gr
	(%)	(ppm)
2000 RPM	-22.15	3.81
2500 RPM	2.009	-5.72
3000 RPM	-1.91	5.45

4.3 Lucutan Plasma Terhalang Dielektrik (LPTD)

LPTD ini menggunakan susunan elektroda berbentuk silinder dengan lapisan elektrik gelas berbentuk silinder. Proses yang terjadi pada LPTD adalah lucutan dadal yang terdiri dari banyak arus filamen yang disebut sebagai lucutan mikro atau lucutan streamer yang bekerja secara independen, dimana posisinya di seluruh permukaan dengan lama lucut dalam orde nano-detik.

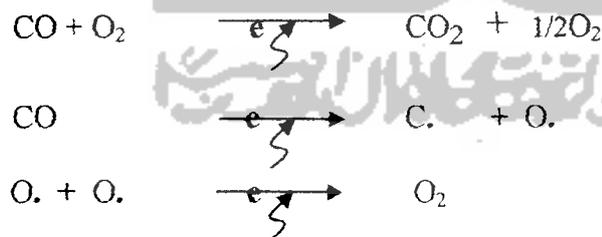
Setiap lucutan mikro terdiri dari arus filamen berbentuk silinder dengan jari-jari sekitar $100 \mu\text{m}$ dan menyebar di permukaan bidang lucutan pada dielektrik. Arus filamen dapat mencapai kerapatan arus sebesar $1000\text{A}/\text{cm}^2$. walaupun kerapatan arus

filamen cukup tinggi, kerapatan tenaga sekitar 10 mJ/cm^2 di dalam lucutan mikro yang berlangsung dalam orde 2 – 5 nano detik (ns). Suhu elektron dapat mencapai 50.000°K yang setara dengan 5 eV.

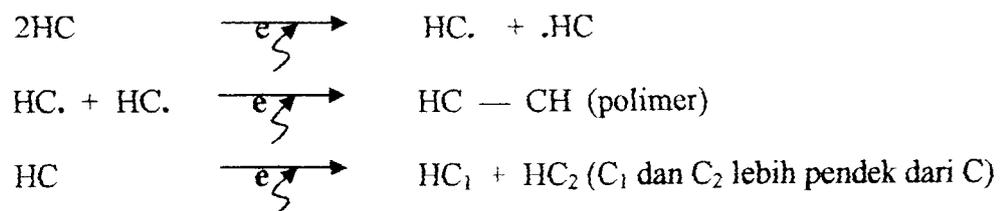
4.4 Proses yang Terjadi di dalam Tabung Plasma

Proses yang terjadi di dalam tabung plasma adalah terjadinya lucutan dadal berupa lucutan mikro yang terdiri dari arus filamen berbentuk silinder dengan jari-jari sekitar $100 \mu\text{m}$ dan menyebar di permukaan bidang lucutan pada dielektrik. Lucutan dielektrik ini bereaksi dengan senyawa polutan yang dalam lucutan membentuk spesies radikal dan hidrokarbon, dimana keduanya akan saling bereaksi dan membentuk senyawa yang relatif ramah lingkungan. Persentase removal untuk parameter HC mencapai 50 % dan untuk parameter CO mencapai 33,38 %, dimana ini terjadi pada kondisi tabung plasma yang tidak maksimal. Dengan fenomena terjadinya penurunan kadar CO dan HC adalah sebagai berikut :

1. CO



2. HC



Didapatlah senyawa-senyawa yang sudah tidak berbahaya terhadap lingkungan sekitar. Sehingga kadar CO dan HC yang keluar dari kendaraan bermotor ini berkurang.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

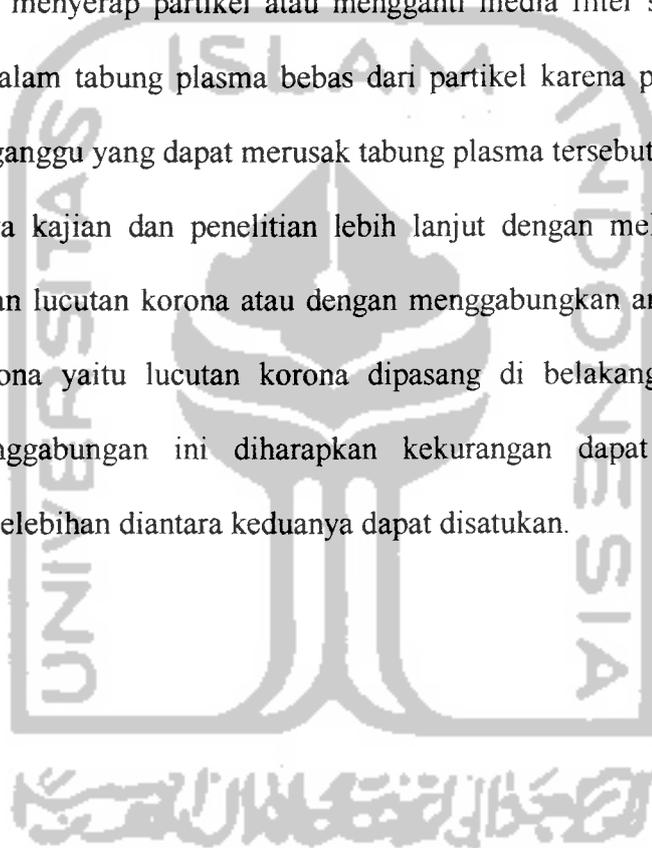
5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan landasan teori dapat disimpulkan sebagai berikut ;

1. Pada variasi RPM mesin, semakin tinggi RPM maka semakin tinggi pula kadar parameter CO dan HC yang dihasilkan. Ini kondisi kontrol awal pada kendaraan bermotor. Hal ini juga berlaku setelah pemberlakuan plasma kadar parameter CO dan HC akan semakin tinggi dikarenakan gas yang masuk semakin banyak disetiap variasi RPM 2000, 2500, 3000. Sehingga efektifitas disetiap variasi RPM semakin lama semakin menurun.
2. Pada variasi filter 25 gr persentase penurunan kadar HC mencapai 50 % dan Kadar CO mencapai 33,38 %. Untuk filter 50 gr dan 75 gr persentase penurunan semakin menurun ini dikarenakan oleh pada saat gas buang masuk ke tabung plasma gas buang menyebar keseluruh permukaan beserta partikel-partikel yang lolos dari filter yang kemudian menempel di tabung plasma yang menyebabkan lucutan mikro hanya terjadi di daerah yang lebih dekat jarak elektrodanya sehingga daerah yang lebih panjang jaraknya tidak terjadi lucutan mikro yang menyebabkan efektifitas tabung plasma ini menurun.
3. Dari hasil yang diperoleh menunjukkan adanya penurunan kadar CO dan HC. Penurunan yang terjadi ini dengan adanya pembentukan radikal bebasnya yang dapat memecah senyawa CO dan HC menjadi senyawa yang tidak bersifat polutan bagi lingkungan sekitarnya.

5.2 Saran

1. Diharapkan dalam pelaksanaan suatu penelitian, perlunya diperhatikan alat yang akan digunakan supaya tidak mudah pecah, yang dapat berakibat persentase menurun.
2. Diharapkan dilakukannya lebih lanjut penelitian tentang tingkat efektivitas glass wool dalam menyerap partikel atau mengganti media filter sehingga gas yang masuk ke dalam tabung plasma bebas dari partikel karena partikel ini sebagai faktor pengganggu yang dapat merusak tabung plasma tersebut.
3. Perlu adanya kajian dan penelitian lebih lanjut dengan melakukan penelitian menggunakan lucutan korona atau dengan menggabungkan antara model LPTD dengan korona yaitu lucutan korona dipasang di belakang LPTD sehingga dengan penggabungan ini diharapkan kekurangan dapat saling tertutupi, sedangkan kelebihan diantara keduanya dapat disatukan.



DAFTAR PUSTAKA

- Agus Purwadi dkk, *Pembentukan dan Pengukuran Produk Ozon pada Ozonizer Plasma*, Prosiding PPI Litnas Iptek Nuklir P3TM-Batan Jogjakarta, 7-8 Agustus, 2001.
- Akishev, Y., ET AL, *Pin-To-Plate Glow Discharge in Following Air Atmospheric Pressure*, 2000.
- Anonim, 1997, *Undang-undang Republik Indonesia Nomor 23 tahun 1997 tentang Pengelolaan Lingkungan Hidup*, kantor Menteri Lingkungan Hidup, Jakarta.
- Baldur Eliasson et al., *Modeling and Application of silent Discharge Plasma*, IEEE Transactions On Plasma Science, Vol.19, No 2, April, 1991.
- Budianto, Totok, *Konstruksi Tabung Ozonizer Plasma dan Saluran dengan Metode Lucutan Plasma*, Universitas Negeri Jogjakarta, Jogjakarta, 2002.
- Jen-Shih et al., *Hand Book of electrostatic Processes*, Marcel Dekker, Inc, New York-Bassel-Hongkong, 1995.
- Kris Tri Basuki, dkk, *Ozon dan Aplikasinya*, Seminar di PTPN X kediri, 1-2 Desember, 2004.
- McLarnon C.R and Jones, M.D, *Electro-Catalytic Proses For Multi-Pollutant Control At First Energys R.F.Burger Generating Station*, Presented at Electric Power 2000 Cincinnati Convention Center, April 5, 2000.
- Ronney P.D. et al., *Corona Discharge Ignition for Advanced Stationary Natural Gas Engines*, University of Southern California, 4 Januari, 2003.



LAMPIRAN

جامعة الإسلام في إندونيسيا



MENTERI NEGARA LINGKUNGAN HIDUP
REPUBLIK INDONESIA

SALINAN

KEPUTUSAN
MENTERI NEGARA LINGKUNGAN HIDUP
NOMOR:141 TAHUN 2003
TENTANG
AMBANG BATAS EMISI GAS BUANG
KENDARAAN BERMOTOR TIPE BARU DAN
KENDARAAN BERMOTOR YANG SEDANG DIPRODUKSI
(*CURRENT PRODUCTION*)

MENTERI NEGARA LINGKUNGAN HIDUP,

Menimbang

- a. bahwa dalam rangka pengendalian pencemaran udara yang bersumber dari emisi gas buang kendaraan bermotor, maka perlu dilakukan upaya untuk menurunkan emisi gas buang kendaraan bermotor baik yang berasal dari kendaraan bermotor tipe baru maupun kendaraan bermotor yang sedang diproduksi (*current production*);
- b. bahwa salah satu upaya sebagaimana dimaksud pada huruf a dan sebagai pelaksanaan ketentuan Pasal 8 ayat (1), Pasal 34 ayat (3) dan Pasal 35 ayat (3) Peraturan Pemerintah Nomor 41 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara maka dipandang perlu menetapkan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Tipe Baru dan Kendaraan Bermotor Yang Sedang Diproduksi (*Current Production*);

Mengingat

1. Undang-Undang Nomor 11 Tahun 1992 tentang Pengelolaan Lingkungan Hidup (Lembaran Negara Tahun 1992 Nomor 49, Tambahan Lembaran Negara Nomor 3480);
2. Undang-Undang Nomor 23 Tahun 1997 tentang Pengelolaan Lingkungan Hidup (Lembaran Negara Tahun 1997 Nomor 68, Tambahan Lembaran Negara Nomor 3699);
3. Undang-Undang Nomor 8 Tahun 1999 tentang Perlindungan Konsumen (Lembaran Negara Tahun 1999 Nomor 42, Tambahan Lembaran Negara Nomor 3821);

4. Undang Undang Nomor 22 Tahun 2001 tentang Minyak dan Gas Bumi (Lembaran Negara Tahun 2001 Nomor 136, Tambahan Lembaran Negara Nomor 4152);
5. Peraturan Pemerintah Nomor 44 Tahun 1993 tentang Kendaraan dan Pengemudi (Lembaran Negara Tahun 1993 Nomor 64, Tambahan Lembaran Negara Nomor 3530);
6. Peraturan Pemerintah Nomor 41 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara (Lembaran Negara Tahun 1999 Nomor 86, Tambahan Lembaran Negara Nomor 3853);
7. Peraturan Pemerintah Nomor 102 Tahun 2000 tentang Standarisasi Nasional (Lembaran Negara Tahun 2000 Nomor 199, Tambahan Lembaran Negara Nomor 4020);
8. Keputusan Presiden Nomor 2 Tahun 2002 tentang Perubahan Atas Keputusan Presiden Nomor 101 Tahun 2001 tentang Kedudukan Tugas, Fungsi, Kewenangan, Susunan Organisasi, dan Tata Kerja Menteri Negara;

MEMUTUSKAN :

Manetapkan

: KEPUTUSAN MENTERI NEGARA LINGKUNGAN HIDUP
TENTANG AMBANG BATAS EMISI GAS BUANG
KENDARAAN BERMOTOR TIPE BARU DAN KENDARAAN
YANG SEDANG DIPRODUKSI (*CURRENT PRODUCTION*).

Pasal 1

Dalam Keputusan ini yang dimaksud dengan :

1. Ambang batas emisi gas buang kendaraan bermotor tipe baru dan kendaraan bermotor yang sedang diproduksi (*current production*) adalah batas maksimum zat atau bahan pencemar yang boleh dikeluarkan langsung dari pipa gas buang kendaraan bermotor tipe baru dan kendaraan bermotor yang sedang diproduksi (*current production*);
2. Kendaraan bermotor tipe baru adalah kendaraan bermotor yang menggunakan mesin dan atau transmisi tipe baru yang siap diproduksi dan akan dipasarkan, atau kendaraan bermotor yang sudah beroperasi di jalan tetapi akan diproduksi dengan perubahan desain mesin dan atau sistem transmisinya, atau kendaraan bermotor yang diimpor dalam keadaan utuh (*completely built-up*) tetapi belum beroperasi di jalan wilayah Republik Indonesia;
3. Kendaraan bermotor yang sedang diproduksi (*Current production*) adalah kendaraan bermotor dengan tipe dan jenis yang sama dan sedang diproduksi atau produksi ulang kendaraan bermotor yang telah beroperasi di jalan dan atau kendaraan bermotor yang diimpor dalam keadaan utuh (*completely built up*) atau dalam keadaan tidak utuh tanpa perubahan desain mesin dan atau transmisi tetapi sudah beroperasi di jalan wilayah Republik Indonesia;
4. Kendaraan bermotor tipe baru kategori M, N, O adalah kendaraan bermotor tipe baru yang beroda 4 (empat) atau lebih dengan penggerak motor bakar cetus api dan penggerak motor bakar penyalan kompresi sesuai dengan SNI 09-1825-2002;

- jaw (2) Bagi kendaraan bermotor tipe baru yang diimpor dalam keadaan utuh (*completely built-up*) dengan akumulasi mencapai lebih dari 10 (sepuluh) unit wajib dilakukan pengujian emisi gas buang.
- (3) (3) Bagi kendaraan bermotor yang sedang diproduksi (*current production*) yang diimpor dalam keadaan utuh (*completely built-up*) dan atau dalam keadaan tidak utuh dengan akumulasi mencapai lebih dari 10 (sepuluh) unit wajib dilakukan pengujian emisi gas buang.
- (1) (4) Uji tipe emisi gas buang kendaraan bermotor tipe baru dan kendaraan bermotor yang sedang diproduksi (*current production*) sebagaimana dimaksud dalam ayat (1), ayat (2) dan ayat (3) merupakan bagian dari persyaratan teknis dan laik jalan kendaraan bermotor.
- sert (5) Uji tipe emisi gas buang kendaraan bermotor tipe baru dan kendaraan bermotor yang sedang diproduksi (*current production*) untuk pengujian wajib menggunakan bahan bakar dengan spesifikasi reference fuel menurut *Economic Commission for Europe (ECE)* disesuaikan dengan ambang batas pada Keputusan ini.
- der (2) me
kep

Pasal 6

- (1) Uji tipe emisi gas buang kendaraan bermotor tipe baru dan kendaraan bermotor yang sedang diproduksi (*current production*) dilakukan oleh instansi yang bertanggung jawab di bidang lalu lintas dan angkutan jalan.
- (2) Instansi sebagai mana dimaksud dalam ayat (1) dalam melakukan uji tipe emisi gas buang kendaraan bermotor tipe baru dan kendaraan bermotor yang sedang diproduksi (*current production*) wajib memperhatikan perkembangan teknologi, kemampuan laboratorium pengujian dan peraturan perundang-undangan yang berlaku.
- (3) Instansi yang melakukan pengujian sebagaimana dimaksud dalam ayat (1) wajib mendapatkan akreditasi dari Komite Akreditasi Nasional atau Badan Akreditasi yang diakui secara Internasional.
- (1) S
baru
kepac
- (2) S
ayat
Angg

Pasal 7

- (1) Hasil uji tipe emisi gas buang kendaraan bermotor tipe baru dan kendaraan bermotor yang sedang diproduksi (*current production*) yang dilakukan oleh instansi yang bertanggung jawab di bidang lalu lintas dan angkutan jalan wajib disampaikan kepada instansi yang bertanggung jawab dan penanggung jawab usaha dan atau kegiatan.
- (2) Salinan asli hasil uji tipe emisi yang diterima oleh penanggung jawab usaha dan atau kegiatan produksi kendaraan bermotor wajib diserahkan kepada instansi yang bertanggung jawab.
- (3) Instansi yang bertanggung jawab menilai dan melakukan verifikasi terhadap hasil uji tipe emisi sebagaimana dimaksud pada ayat (1) atau ayat (2) selambat-lambatnya 6 (enam) hari kerja sejak diterimanya hasil uji tipe emisi gas buang kendaraan bermotor tipe baru dan kendaraan bermotor yang sedang diproduksi (*current production*).
- Kepu
Deng
Nom
dinya
dipro
kenda

Pasal 8

- (1) Berdasarkan penilaian dan verifikasi hasil uji tipe emisi sebagaimana dimaksud dalam, Pasal 7 ayat (3) instansi yang bertanggung jawab mengeluarkan rekomendasi verifikasi hasil uji tipe emisi gas buang kendaraan bermotor tipe baru dan kendaraan bermotor yang sedang diproduksi (*current production*).
- (2) Rekomendasi dari verifikasi hasil uji tipe emisi sebagaimana dimaksud dalam ayat (1) disampaikan kepada instansi yang bertanggung jawab di bidang lalu lintas dan angkutan jalan dan atau penanggung
- Keput

AMBIKAMBIK : KEPUTUSAN MENTERI NEGARA
 LINGKUNGAN HIDUP
 NOMOR : KEP-11/MENLH/12003
 TENTANG : AMBIKAMBIK GAS BUANG
 KENDARAAN BERMOTOR TIPE DARU
 DAN KENDARAAN BERMOTOR YANG
 SEDANG DIPRODUKSI
 (CURRENT PRODUCTION)
 TANGGAL : 23 SEPTEMBER 2003

AMBIKAMBIK GAS BUANG KENDARAAN BERMOTOR TIPE DARU DAN KENDARAAN BERMOTOR YANG SEDANG
 DIPRODUKSI (CURRENT PRODUCTION) DENGAN PENGGERAK MOTOR BAKAR CETUS API BERBAHAN BAKAR BENSIK
 KENDARAAN BERMOTOR KATEGORI M & N

NO	KATEGORI ⁽¹⁾	PARAMETER	NILAI AMBIKAMBIK GAS ECE R 83 - 04	
			METODE UJI ECE R 83 - 04	
1	M1, GVW ⁽²⁾ ≤ 2,5 ton, tempat duduk ≤ 5, tidak termasuk tempat duduk pengemudi	CO HC + NOx	2,2 gram/m ³ 0,5 gram/m ³	
2	M1, tempat duduk 6-8 tidak termasuk tempat duduk pengemudi, GVW > 2,5 ton atau M1, GVW ≤ 3,5 ton			
	a. Kelas I, RM ⁽³⁾ ≤ 1250 kg	CO HC + NOx	2,2 gram/m ³ 0,5 gram/m ³	
	b. Kelas II, 1250 kg < RM ≤ 1700 kg	CO HC + NOx	4,0 gram/m ³ 0,6 gram/m ³	
	c. Kelas III, RM > 1700 kg	CO HC + NOx	5,0 gram/m ³ 0,7 gram/m ³	

CATATAN:

- (1) Dalam hal jumlah perantara dan GVW tidak sesuai dengan pengelompokan tabel di atas maka nilai ambikambik gas menjadi kelas yang lebih tinggi (GVW)
- (2) GVW: Gross Vehicle Weight adalah jumlah berat yang diperbolehkan (JGII)
- (3) RM: Reference Mass adalah berat kosong kendaraan dalam massa 100 kg
- M1: kendaraan bermotor yang digunakan untuk angkutan orang dan mempunyai tidak lebih dari delapan tempat duduk tidak termasuk tempat duduk pengemudi
- N1: kendaraan bermotor yang digunakan untuk angkutan barang dan mempunyai jumlah berat yang diperbolehkan (GVW) sampai dengan 3,5 ton
- Untuk kendaraan kategori O1 & O2 Metode Uji dan Nilai Ambikambik Gas mengikuti kategori M1:
 - O: kendaraan bermotor penarik untuk gas dengan atau tanpa tempat
 - O1: kendaraan bermotor penarik dengan jumlah berat kombinasi yang diperbolehkan (GVW) tidak lebih dari 0,75 ton
 - O2: kendaraan bermotor penarik dengan jumlah berat kombinasi yang diperbolehkan (GVW) lebih dari 0,75 ton tetapi tidak lebih dari 3,5 ton

Menteri Negara
 Lingkungan Hidup,

11d

Nabiel Makarim, MPA, MSW



LAMPIRAN I C KEPUTUSAN MENTERI NEGARA
 LINGKUNGAN HIDUP,
 NOMOR KEPUTUSAN MENYURUH 2000
 TENTANG AMBANG BATAS EMISI GAS BUANG
 KENDARAAN BERMOTOR TIPE BARU
 DAN KENDARAAN BERMOTOR YANG
 SEDANG DIPRODUKSI
 (CURRENT PRODUCTION)
 TANGGAL 20 Februari 2000

AMBANG BATAS EMISI GAS BUANG KENDARAAN BERMOTOR TIPE BARU DAN KENDARAAN BERMOTOR YANG SEDANG
 DIPRODUKSI (CURRENT PRODUCTION) DENGAN PENGGERAK MOTOR BAKAR PENYALAAAN KOMPRESI (DIESEL)

A. KENDARAAN BERMOTOR KATEGORI M & N

NO.	KATEGORI ⁽¹⁾	PARAMETER	NILAI AMBANG BATAS ECE R 83-01
			METODA UJI ECE R 83-01
1	M1, GVW ⁽²⁾ ≤ 2,5 ton, tempat duduk ≤ 5, tidak termasuk tempat duduk pengemudi	CO HC + NOx PM	1,0 gram/km 0,7 (0,9) ⁽⁴⁾ gram/km 0,08 (0,1) ⁽⁴⁾ gram/km
2	M1, Tempat duduk 6-8 tidak termasuk tempat duduk pengemudi, GVW > 2,5 ton atau N1, GVW ≤ 3,5 ton		
	a. Kelas I, RM ⁽³⁾ ≤ 1250 kg	CO HC + NOx PM	1,0 gram/km 0,7 (0,9) ⁽⁴⁾ gram/km 0,08 (0,1) ⁽⁴⁾ gram/km
	b. Kelas II, 1250 kg < RM ≤ 1700 kg	CO HC + NOx PM	1,25 gram/km 1,0 (1,3) ⁽⁴⁾ gram/km 0,12 (0,14) ⁽⁴⁾ gram/km
	c. Kelas III, RM > 1700 kg	CO HC + NOx PM	1,5 gram/km 1,2 (1,6) ⁽⁴⁾ gram/km 0,17 (0,2) ⁽⁴⁾ gram/km

CATATAN:

- (1) Dalam hal jumlah penumpang dan GVW tidak sesuai dengan pengkategorian tabel, kelas maka nilai ambang batas pengacu kepada pengkategorian GVW.
 - (2) GVW: Gross Vehicle Weight adalah Jumlah Berat yang diperbolehkan (JBB).
 - (3) RM: Reference Mass adalah berat kosong kendaraan dikurangi massa 100 kg.
 - (4) Nilai Ambang Batas dalam kurung untuk Diesel Injeksi Langsung, dan setelah 3 (tiga) tahun Nilai Ambang Batasnya **DISAMAKAN DENGAN** Nilai Ambang Batas Diesel Injeksi tidak Langsung.
- Untuk Kendaraan Kategori O1 & O2 Metode Uji dan Nilai Ambang Batas mengikuti Kategori N1
- O : Kendaraan bermotor penarik untuk gandengan atau tempel
 - O1 : Kendaraan bermotor penarik dengan jumlah berat kombinasi yang diperbolehkan (GVW) tidak lebih dari 0,75 Ton
 - O2 : Kendaraan bermotor penarik dengan jumlah berat kombinasi yang diperbolehkan (GVW) lebih dari 0,75 Ton tetapi tidak lebih dari 3,5 Ton

12. Peraturan Daerah Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 10 Tahun 2001 tentang Penyelenggaraan Angkutan Orang di Jalan dengan Kendaraan Umura di Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta;
13. Keputusan Gubernur Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 153 Tahun 2002 tentang Baku Mutu Udara Ambien Daerah di Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta;

MEMUTUSKAN :

Menetapkan : **KEPUTUSAN GUBERNUR DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA TENTANG BAKU MUTU EMISI SUMBER BERGERAK KENDARAAN BERMOTOR DI PROPINSI DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA.**

**BAB I
KETENTUAN UMUM
Pasal 1**

Dalam Keputusan ini yang dimaksud dengan :

1. Gubernur adalah Gubernur Daerah Istimewa Yogyakarta.
2. Emisi Sumber Bergerak adalah gas buang dari sumber kendaraan bermotor sebagai hasil proses pembakaran di ruang mesin.
3. Baku Mutu Emisi adalah ukuran batas atau kadar zat, dan/atau komponen yang ditenggang keberadaannya dalam emisi.
4. Kendaraan bermotor adalah kendaraan yang digerakkan oleh peralatan teknik yang berada pada kendaraan itu.
5. Baku Mutu Emisi Sumber Bergerak Kendaraan Bermotor adalah batas maksimum zat atau bahan pencemar yang boleh dikeluarkan langsung dari pipa gas buang kendaraan bermotor.
6. Sepeda motor adalah kendaraan bermotor beroda dua, atau tiga tanpa rumah-rumah baik dengan atau tanpa kereta samping.
7. Mobil penumpang adalah setiap kendaraan bermotor yang dilengkapi sebanyak-banyaknya 8 (delapan) tempat duduk tidak termasuk tempat duduk pengemudi, baik dengan maupun tanpa perlengkapan pengangkutan bagasi.
8. Mobil bus adalah setiap kendaraan bermotor yang dilengkapi lebih dari 8 (delapan) tempat duduk tidak termasuk tempat duduk pengemudi, baik dengan maupun tanpa perlengkapan pengangkutan bagasi.
9. Mobil barang adalah setiap kendaraan bermotor selain dari yang termasuk dalam sepeda motor, mobil penumpang dan mobil bus.
10. Kendaraan khusus adalah kendaraan bermotor selain dari pada kendaraan bermotor untuk penumpang dan kendaraan bermotor untuk barang, yang penggunaannya untuk keperluan khusus atau mengangkut barang-barang khusus.

**BAB II
MAKSUD DAN TUJUAN**

Pasal 2

- (1) Maksud ditetapkannya Keputusan ini adalah untuk menentukan Baku Mutu Emisi Sumber Bergerak Kendaraan Bermotor.
- (2) Tujuan ditetapkannya Keputusan ini adalah untuk memberikan batasan Mutu Emisi yang boleh dibuang ke lingkungan akibat Emisi Sumber Bergerak Kendaraan Bermotor.

**BAB III
BAKU MUTU EMISI SUMBER BERGERAK
KENDARAAN BERMOTOR**

Pasal 3

Baku Mutu Emisi Sumber Bergerak Kendaraan Bermotor di Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta sebagaimana tercantum dalam Lampiran Keputusan ini.

BAKU MUTU EMISI SUMBER BERGERAK KENDARAAN BERMOTOR
 DI PROPINSI DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA

Jenis Sumber Emisi	CO (%)	Hidrokarbon (ppm)	NO ₂ (ppm)	Pb (ppb)	Opasitas
1	3	4	5	7	8
Kendaraan Bermotor					
A. Sepeda Motor					
a. 2 langkah	4,5	3.000	850	10	30 % (D= 102 mm)
b. 4 langkah	4,5	2.400	700	10	
B. Kendaraan Bermotor selain Sepeda Motor Berbahan Bakar Bensin					
a. Kendaraan 2 langkah					30 % (D= 102 mm)
- Mobil penumpang	4,5	3.000	850	10	
- Mobil barang	4,5	3.000	850	10	30 % (D= 102 mm)
b. Kendaraan 4 langkah					
1. Sistem Carburetor					
- Mobil penumpang	4,5	1.200	350	10	.
- Mobil bus	4,5	1.200	350	10	
- Mobil barang	4,5	1.200	350	10	
- Kendaraan khusus	4,5	1.200	350	10	
2. Sistem Injeksi					
- Mobil penumpang	3,5	800	221	10	
- Mobil bus	3,5	800	221	10	
- Mobil barang	3,5	800	221	10	
- Kendaraan khusus	3,5	800	221	10	
C. Kendaraan 4 langkah Berbahan Bakar Solar					
- Mobil penumpang	.	.	830	.	25 % (D = 102 mm) (50 % Bosch)
- Mobil bus	.	.	830	.	25 % (D = 102 mm) (50 % Bosch)
- Mobil barang	.	.	830	.	25 % (D = 102 mm) (50 % Bosch)
- Kendaraan khusus	.	.	830	.	25 % (D = 102 mm) (50 % Bosch)

GUBERNUR
 DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA,

 HARYONO X

II. INSTRUKSI KERJA ALAT DAN PENGOPERASIAN

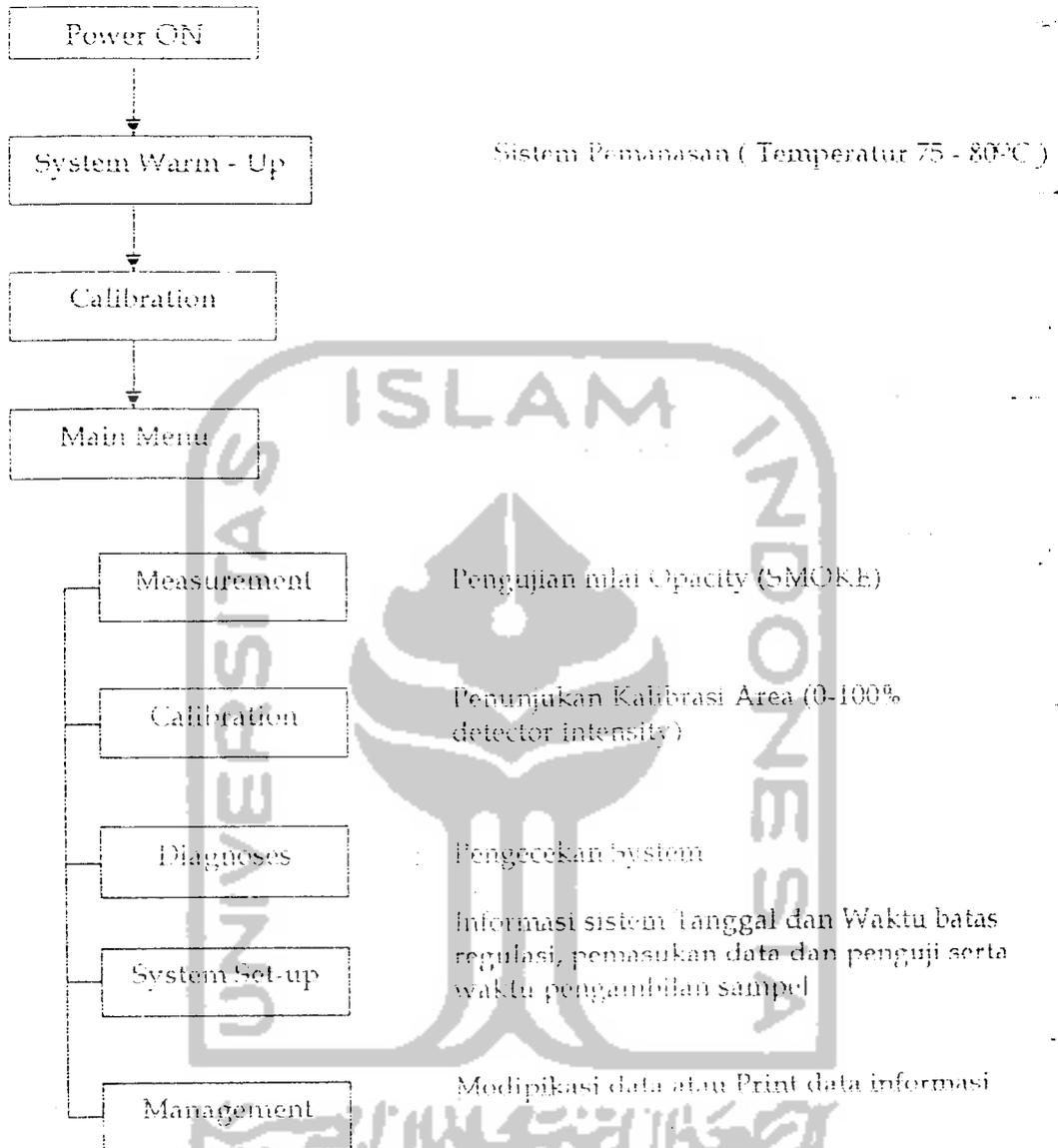
✓ Instruksi Kerja Pengukuran Bensin (Gasoline).

- Nyalakan tombol on pada alat uji tunggu pemanasan alat selama 15 menit.
- Setelah masa pemanasan berlangsung usai, tekan tanda tombol Petrol (bensin) untuk pengujian pengambilan sampel.
- Pilih tombol pengujian Official Measurement (OM) untuk memasukkan Nomor kendaraan dan spesifikasi kendaraan.
- Tekan tanda panah >>> untuk melanjut ke proses penyimpanan data pilih tombol (SAVE).
- Tunggu selama 30 detik proses *Tester is Stabilizing*.
- Masukkan probe kedalam kenalpot (saluran buang) kendaraan \pm 30 cm tunggu pengambilan sampel untuk mendapatkan data polutan akurat yang dikeluarkan dari kenalpot selama 30 detik.
- Setelah data didapatkan, Print Data maka dengan sendirinya alat akan mengeluarkan hasil data tersebut dengan tampilan pada LCD yang sama.
- Lakukan langkah-langkah diatas untuk melakukan pengujian selanjutnya.

Instruksi Kerja Pengukuran Solar (Diesel).

- Nyalakan tombol on pada alat uji tunggu pemanasan alat selama 70°C menit.
- Setelah masa pemanasan berlangsung usai, tekan tanda tombol DIES (Solar) untuk pengujian pengambilan sampel.
- Pilih tombol pengujian Official Measurement (OM) untuk memasukkan Nomor kendaraan dan spesifikasi kendaraan.
- Tekan tanda panah >>> untuk melanjut ke proses penyimpanan data pilih tombol (SAVE).
- Kemudian pilih tombol Coat untuk memulai pengambilan sampel atau nilai Opasitas (Opacity).
- Lakukan terlebih dahulu pengecekan terhadap kendaraan yang diuji kurang lebih sebanyak 3 kali, tujuannya untuk mengeluarkan kerak-kerak asap yang menempel pada dinding kenalpot dimana agar hasil yang di uji menjadi akurat.
- Masukkan Probe kedalam kenalpo (Saluran Buang) kendaraan yang akan diuji.
- Tekan pedal gas dengan cara Akselerasi (Spontan) tetapi dengan lembut.
- Tekan tombol Print data pada saat akselerasi tinggi.
- Maka dengan sendirinya alat akan mengeluarkan hasil data tersebut dengan tampilan pada LCD yang sama.
- Lakukan langkah-langkah diatas untuk melakukan pengujian selanjutnya

2. Prosedur



4. Fungsi dan Kegunaan Tombol.

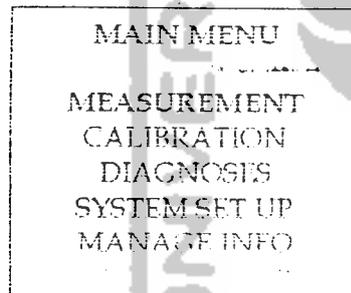
Analyzer mempunyai Enam tombol dan fungsi.

ESC (Escape Key)	Mengembalikan program ke menu awal.
ENT (Enter Key)	Membuka dan meneruskan ke langkah berikutnya.
▲ (Tanda panah keatas)	Untuk memilih program atau mengakhiri kata.
▼ (Tanda panah kebawah)	Untuk memilih program atau mencari kosa kata.
◀ (Tanda panah kekiri)	Untuk memilih suku kata dan meneruskan prog
▶ (Tanda panah kekanan)	Untuk mencari atau menghapus kata dalam prog management informasi.

Fungsi tombol tersebut secara global untuk memandu operator dalam hal penggunaan Gas Analyzer, dimana alat ini tidak memerlukan keyboard tambahan.

5. Operasional.

Setelah selesai waktu pemanasan pada alat, display akan menunjukkan "Main Menu" Tampilan display untuk pilihan.



Key Usage:

- ESC Kembali ke posisi menu
- ENT Membuka Prog Menu
- ▲ Memilih ke atas Menu
- ▼ Memilih ke bawah Menu

6. Pengukuran.

Prosedur pengukuran dapat dilakukan sbbr:

- 1). Sambungkan kabel power pada belakang display
- 2). Hubungkan probe ke sensor smoke (benz)
- 3). Sambungkan komunikasi kabel dari sensor smoke ke port RS 232C pada unit display.
- 4). Masukkan Probe smoke meter ke kenalpot yang akan di uji ± 30cm.
- 5). Arahkan tanda panah ke Program Menu MEASUREMENT pada unit display lalu tekan enter (↵)
- 6). Tekan pedal gas secara cepat dan lembut selama ± 10 detik lalu tekan tanda panah ke kanan untuk melanjutkan pengegasan ke 2 (dua), lalu tekan kembali tanda panah kekanan untuk melanjutkan langkah ke 3 (tiga).
- 7). Setelah selesai melakukan tiga kali pengujian, tekan enter.

OPACITY GAS AND SMOKE

MEASUREMENT		
OPACITY	MAX1	0.20
0.20	MAX2	0.00
	MAX3	0.00
KEY NEXT TO RIGHT		

Tombol kegunaan.

ESC Untuk kembali ke MENU
ENT untuk melanjutkan ke berikutnya

MEASUREMENT		
OPACITY	MAX1	0.20
0.20	MAX2	0.20
	MAX3	0.20
OVERAGE	0.20	
ENTER TO START		

Pengukuran opacity MEASUREMENT tekan "Enter", analisa pengukuran dilakukan dengan cara 3 (tiga) tahap (Max1 ~ Max3) dengan menginjak pedal Gas (acceleration) tetapi dengan lambat.

7. Memilih standard type dalam pengukuran.

Pungsi dari standard type pada program " Select Car Type " adalah untuk memudahkan operator dalam perhitungan nilai opacity dimana program ini akan mengeluarkan hasil yang sudah di seting oleh operator kedalam program " Select Car Type ".

Tekan tombol tanda ENT pada unit maka akan tampil pada display Sbb:

SELECT CAR TYPE	
CAR TYPE 1	
CAR TYPE 2	
CAR TYPE 3	
CAR TYPE 4	
CAR TYPE 5	
2002/10/16	13:30:00

ESC kembali ke MAIN MENU
ENT Membaca hasil pengukuran

- ▲ Memilih Standard Type ke atas
- ▼ Memilih Standard Type ke bawah

MEASURED RESULT	
PASSED OPACITY	
2002/10/16	13:30:00

Tekan tombol ENT untuk menyimpan data " SAVE DATA "

Tekan tombol ESC untuk membatalkan dan kembali ke MENU

PART II GASOLINE

1. Pengukuran Bahan Bakar Bensin

```
AUTO CHECK _
VER XXX

GASOLINE
SMOKE

SPTC
```

Pilih GASOLINE untuk pengukuran
berbahan bakar bensin
tekan Enter tunggu proses warm up

```
MAIN MENU

MEASUREMENT
CALIBRATION
SYSTEM SETUP
MAINTENANCE
MANAGE INFORMATION
2000/02/15 15:30:00
```

Pilih Measurement untuk memulai
pengukuran dalam pengambilan
sampel terhadap kendaraan yang akan
di uji.

2. Pengukuran bahan bakar Bensin dan LPG

Pilih Gasoline untuk kendaraan Bensin atau LPG, untuk berbahan bakar Gas

```
FUEL TYPE

Hcv 1.85
Ocv 0.00

GASOLINE

2000/02/15 15:30:00
```

Gasoline : System pengukuran yang dengan berbahan
bakar Bensin Premium maupun Premix.

```
FUEL TYPE

Hcv 1.85
Ocv 0.00

LPG

2000/02/15 15:30:00
```

LPG : System pengukuran yang dengan berbahan bakar
LPG dan dapat juga diukur dengan bahan bakar CNG.

CHEK GAS AND SMOKE

INPUT USER
INFORMATION
CAR NO.
REG NO.
MAKER.
2002/02/15 13:30:00

Tekan tanda panah untuk menaikkan dan menurunkan pilihan lalu tekan Enter maka akan terlihat didisplay tanda huruf dan angka untuk kategori pilihan yang di inginkan.

INPUT USER
INFORMATION
CAR NO.
REG NO.
MAKER.
ABCDEFGHIJKLMNPOQR

Pilih huruf dan angka serta simbol ABCDEFGHIJKLMNOPQRSTUVWXYZ, lalu tekan Enter agar kata yang dipilih masuk ke dalam format pilihan.
0123456789!"#\$%&'()*+,-./:;<?/

SAVE IT ?
ENTER TO SAVE
ESC TO CANCEL

* Esc membatalkan untuk kembali ke menu.
* Enter untuk menyimpan data yang telah di masukkan dan data tersebut dengan secara langsung akan di print out.

Lakukan langkah-langkah berikut diatas sesuai dengan urutannya agar tidak menyalahi aturan pengoperasian dari pada alat uji tersebut.