

**ANALISIS PENGARUH PEMAKAIAN CAMPURAN BAHAN  
BAKAR PREMIUM DAN ETANOL(96% PABRIKAN)  
TERHADAP KINERJA MOTOR BENSIN**

THE IMPACT OF THE USE OF PREMIUM FUEL MIXTURE  
AND ETHANOL (96% MANUFACTURER) ON THE  
PERFORMANCE OF THE GASOLINE MOTOR

**SEMUEL TAMBING  
P2201211407**



**PROGRAM PASCA SARJANA  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2013**

**ANALISIS PENGARUH PEMAKAIAN CAMPURAN BAHAN  
BAKAR PREMIUM DAN ETANOL(96% PABRIKAN)  
TERHADAP KINERJA MOTOR BENSIN**

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai gelar Magister

Program Studi

Teknik Mesin

Disusun dan diajukan oleh

**SEMUEL TAMBING**

Kepada

**PROGRAM PASCA SARJANA**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**MAKASSAR**

**2013**

**TESIS**

**ANALISIS PENGARUH PEMAKAIAN CAMPURAN BAHAN BAKAR  
PREMIUM DAN ETANOL (96% PABRIKAN) TERHADAP  
KINERJA MOTOR BENSIN**

Disusun dan diajukan oleh

**SEMUEL TAMBING**

**Nomor Pokok P2201211407**

Telah di pertahankan di depan Panitia Ujian Tesis

Pada Tanggal 15 Agustus 2013

dan dinyatakan telah memenuhi syarat

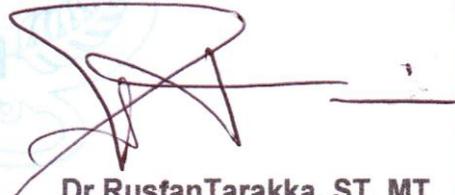
Menyetujui

Komisi Penasehat



Prof. Dr. Ir. Duma Hasan, DEA

Ketua



Dr. Rustan Tarakka, ST, MT

Anggota

Ketua Program Studi  
Teknik Mesin



Rafiuddin Syam, ST, M.Eng, Ph.D

Direktur Program Pascasarjana  
Universitas Hasanuddin,



Prof. Dr. H. Mursalim

## **PERNYATAAN KEASLIAN TESIS**

Yang bertandatangan di bawah ini

Nama : Samuel Tambing

Nomor Mahasiswa : P2201211407

Program studi : Teknik Mesin

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa tesis yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan tesis ini karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 15 Agustus 2013

Yang Menyatakan

Semuel Tambing

## PRAKATA

Puji dan syukur kami panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa oleh karena kasih dan rahmatNya sehingga Tesis ini dapat di rampungkan dengan segala kendala yang telah kami lewati dalam tahap penyelesaiannya.

Hasil penelitian ini merupakan salah satu syarat dalam rangka penyelesaian pendidikan jenjang Magister (S2) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Program Pascasarjana Universitas Hasanuddin. Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental dengan judul “Analisis Pengaruh Pemakaian Campuran Bahan Bakar Premium dan Etanol (96% pabrikan) Terhadap Kinerja Motor Bensin”.

Dalam Penyusunan Tesis ini, kami tidak luput dari beberapa kendala, namun karena adanya bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak sehingga Tesis ini dapat terselesaikan, untuk itu penulis mengucapkan terimakasih serta penghargaan yang setinggi-tingginya kepada :

1. Bapak Prof.Dr.Ir. Duma Hasan, DEA selaku ketua komisi Penasehat atas waktu dan bimbingannya selama penyusunan Tesis ini.
2. Bapak Dr. Rustan Tarakka, ST, MT selaku anggota komisi penasehat atas arahan dan bimbingannya selama penyelesaian Tesis ini
3. Bapak Prof.Dr.Ir. H. Syukri Himran selaku ketua Tim Penguji atas waktu dan segala masukan yang bermamfaat bagi penyusunan Tesis ini
4. Bapak Dr.-Ing.Ir. Wahyu H. Piarah, MSME selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin sekaligus sebagai sekretaris Tim Penguji atas waktu dan segala masukan yang bermamfaat bagi penyusunan Tesis ini

5. Bapak Dr. Eng. Jalaluddin, ST, MT selaku Anggota Tim Penguji atas waktu dan segala masukan yang bermamfaat bagi penyusunan Tesis ini
6. Bapak Rafiuddin Syam, ST, M.Eng, Ph.D selaku Ketua Program Studi Pascasarjana Teknik Mesin Universitas Hasanuddin
7. Bapak Direktur beserta staf Program Pascasarjana Universitas Hasanuddin atas segala pelayanannya
8. Bapak Ir. Amrullah, MT selaku Kepala Laboratorium Pengujian Mesin-mesin Jurusan Teknik Mesin Universitas Muslim Indonesia beserta staf atas waktu dan segala masukan yang bermamfaat bagi penyusunan Tesis ini
9. Bapak Muhammad Saleh, ST, M.Si selaku Kepala Hubungan Industri (HI) Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Ujung Pandang beserta staf atas waktu dan segala masukan yang bermamfaat bagi penyusunan Tesis ini
10. Seluruh keluarga (Orang tua, Isteri tercinta dan anak-anak) atas dorongan dan Doa yang diberikan dari awal kuliah hingga selesainya Tesis ini
11. Seluruh rekan mahasiswa Program Pascasarjana Teknik Mesin Universitas Hasanuddin Angkatan 2011 yang telah banyak membantu dalam penyelesaian Tesis ini. Serta semua pihak atas dukungan, motivasi dan doanya sehingga Tesis ini bisa diselesaikan dengan baik.

Akhir kata semoga tesis ini dapat bermamfaat bagi kita semua, masukan serta saran yang diberikan kira dapat membantu dalam pengembangan penelitian ini selanjutnya

Makassar, Agustus 2013

Semuel Tambing

## ABSTRAK

**SEMUEL TAMBING.** Analisis Pengaruh Pemakaian Campuran Bahan Bakar Premium dan Etanol (96% Pabrikan) Terhadap Kinerja Motor Bensin (dibimbing oleh Duma Hasan dan Rustan Tarakka)

Penelitian ini bertujuan mengetahui (1) perbedaan prestasi motor bensin dengan menggunakan premium dan biopremium (E-0, E-5, E-10, E-15, dan E-20), (2) pengaruh emisi gas buang premium dan biopremium (E-0, E-5, E-10, E-15, dan E-20) terhadap lingkungan, dan (3) perbandingan SFC hasil penelitian (96% pabrikan) dengan hasil penelitian sebelumnya (etanol merck  $\geq 99,5\%$ ).

Metode penelitian ini menggunakan etanol pabrikan dengan kandungan 96% dicampur dengan premium oktan 88 dengan komposisi campuran 5% etanol + 95% premium, 10% etanol + 90% premium, 15% etanol + 85 premium, dan 20% etanol+ 80% premium. Selanjutnya, dilakukan pengujian spesifikasi bahan bakar, pengujian prestasi mesin dan emisi gas buang.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa prestasi bahan bakar biopremium (E-5, E-10, E-15, dan E-20) rata-rata lebih bagus daripada bahan bakar premium dan emisi gas buang yang dihasilkan juga lebih rendah dibandingkan dengan premium. SFC hasil penelitian ini masih lebih tinggi daripada hasil penelitian sebelumnya (etanol merck  $\geq 99,5\%$ )

## ABSTRACT

**SEMUEL TAMBING.** *The Analysis of the Impact of the Use of the Mixture of the Premium Fuel and the Ethanol 96% on the Performance of the Gasoline Motor* (supervised by **Duma Hasan** and **Rustan Tarakka**)

The research aimed to find out (1) the differences between the performance of the gasoline motor using premium fuel and that using biopremium ((E-0, E-5, E-10, E-15, dan E-20); (2) the impact of the gas emission of the premium exhaust and that of the biopremium (E-0, E-5, E-10, E-15, dan E-20); and (3) SFC comparison between the SFC of the research result (96% manufactured) and the previous research result (ethanol merck  $\geq 99,5\%$ ).

The research used the 96% manufactured ethanol mixed with the 88 octan premium with a mixture composition of 5% ethanol + 95% premium, 10% ethanol + 90% premium, 15% ethanol + 85 premium, and 20% ethano + 80% premium. Then the fuel specification, the engine performance, the gas exhaust emission were tested.

The research result indicated that in average, the performance of the bio-premium fuel (E-5, E-10, E-15, and E-20) was better than premium fuel; that the gas exhaust emission was lower than premium fuel; and that the SFC of the result of the research was higher than the previous researches (ethanol merck  $\geq 99,5\%$ ).

## DAFTAR ISI

PRAKATA.....	v
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah.....	5
C. Tujuan Penelitian.....	5
D. Batasan Masalah.....	6
E. Manfaat Penelitian.....	7
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
A. Bahan Bakar.....	8
B. Pengaruh Penambahan Etanol Pada Bensin (Biopremium)....	19
C. Emisi Gas Buang.....	21
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>	
A. Tempat Penelitian.....	27
B. Alat dan Bahan.....	27
C. Prosedur Pengujian dan Pengambilan Data.....	28
D. Jadwal Penelitian.....	31
E. Diagram Alir Penelitian.....	32
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
A. Hasil Penelitian.....	33
B. Pembahasan.....	49
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
A. Kesimpulan.....	58
B. Saran.....	59
DAFTAR PUSTAKA.....	60
LAMPIRAN-LAMPIRAN	

## DAFTAR TABEL

Nomor		Halaman
1	Spesifikasi premium.....	11
2	Karakteristik etanol sebagai bahan bakar kendaraan bermotor.....	14
3	Hasil pengujian parameter uji bioetanol sesuai SNI 7390:2008.....	15
4	Hasil Pengujian Sifat fisika-kimia E-0, E-5 dan E-10.....	17
5	Bahaya polusi udara.....	25
6	Data hasil pengujian prestasi mesin dengan bahan bakar Premium (0%).....	64
7	Data hasil pengujian prestasi mesin dengan bahan bakar Biopremium (5%).....	65
8	Data hasil pengujian prestasi mesin dengan bahan bakar Biopremium (10%).....	66
9	Data hasil pengujian prestasi mesin dengan bahan bakar Biopremium (15%).....	67
10	Data hasil pengujian prestasi mesin dengan bahan bakar Biopremium (20%).....	68
11	Hasil Perhitungan.....	69
12	Hasil emisi gas buang.....	71

## DAFTAR GAMBAR

Nomor		Halaman
1	Diagram hubungan AFR dengan gas buang.....	23
2	Skema Instalasi penelitian.....	28
3	Panel Alat Ukur.....	28
4	Skema sistematika penelitian.....	32
5	Hubungan Torsi terhadap putaran.....	36
6	Hubungan Daya terhadap Putaran.....	37
7	Hubungan Pemakaian Bahan Bakar terhadap Putaran.....	38
8	Hubungan Pemakaian Bahan Bakar Spesifik terhadap Putaran.....	39
9	Hubungan Perbandingan udara Bahan Bakar terhadap Putaran.....	40
10	Hubungan Efisiensi Volumetrik terhadap Putaran.....	41
11	Hubungan Oksigen terhadap Campuran Bahan Bakar.....	42
12	Hubungan Carbon monoksida terhadap Campuran Bahan Bakar.....	43
13	Hubungan Carbon dioksida terhadap Campuran Bahan Bakar.....	44
14	Hubungan Hidrokarbon terhadap Campuran Bahan Bakar.....	44
15	Hubungan Oksigen terhadap AFR.....	45
16	Hubungan Carbon monoksida terhadap AFR.....	46
17	Hubungan Carbon dioksida terhadap AFR.....	46
18	Hubungan Hidrokarbon terhadap AFR.....	47
19	Hubungan SFC (Etanol 96% pabrikan) terhadap SFC (Etanol Merck $\geq$ 99,5%).....	48

## DAFTAR LAMPIRAN

Nomor		Halaman
1	Kurva Manometer Reading.....	62
2	Spesifikasi Bahan Bakar.....	63
3	Tabel Data Hasil Pengujian Prestasi Mesin.....	64
4	Tabel Hasil Perhitungan.....	69
5	Tabel Hasil Emisi Gas Buang.....	71
6	Foto Pengambilan Data.....	72

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **A. Latar Belakang**

Perkembangan jumlah kendaraan bermotor saat ini di Indonesia tiap tahunnya terus mengalami peningkatan. Menurut data statistik Kantor kepolisian Republik Indonesia, tahun 2008 kendaraan bermotor di Indonesia berjumlah 61.685.063 kendaraan, tahun 2009 berjumlah 67.336.644 kendaraan dan 2010 berjumlah 76.907.127 kendaraan. Jumlah pertumbuhan pemakaian kendaraan bermotor menyebabkan pemakaian bahan bakar minyak meningkat tidak sebanding dengan produksi. Rata-rata produksi BBM sampai semester pertama 2012 mencapai 877.077 barel per hari, produksi ini jauh dari kebutuhan masyarakat yang mana konsumsi bahan bakar minyak di Indonesia sampai akhir tahun 2012 diperkirakan mencapai 44 juta kiloliter (Republik, Juli 2012)., sehingga pemerintah harus mengimpor BBM, diprediksikan pada tahun 2013 jumlah impor BBM akan meningkat menjadi sekitar 60%-70% dari kebutuhan dalam negeri. Sehingga presiden RI telah mengeluarkan Inpres No 2 tahun 2012 tentang peningkatan produksi Minyak Bumi Nasional dimana, dalam rangka pencapaian produksi minyak bumi nasional paling sedikit rata-rata 1,01 juta barel per hari pada tahun 2014 untuk mendukung peningkatan ketahanan energi. Hal ini

mengakibatkan pemakaian bahan bakar minyak bumi meningkat. Hal tersebut tentu sangat mengkhawatirkan, karena dengan peningkatan pemakaian bahan bakar minyak bumi maka cadangan minyak bumi akan semakin berkurang sedangkan kebutuhan akan minyak bumi terus bertambah.

Keadaan di atas juga tidak sesuai dengan kebijaksanaan Pemerintah di bidang energi, yang mengusahakan pemakaian bahan bakar minyak bumi yang sehemat-hematnya, mengingat minyak bumi merupakan sumber daya energi yang tidak dapat diperbarui. Untuk menekan kebutuhan minyak bumi, pemerintah RI menargetkan pemakaian BBM tahun 2025 tinggal sebesar 20%, karena 80% selebihnya akan digantikan oleh sumber energi lain yang sering disebut sumber energi terbarui. Untuk pemanfaatan secara optimal sumber daya energi yang tersedia di Indonesia, adalah dengan penganekaragaman penggunaan sumber energi terutama sumber energi yang terbarukan.

Menurut Jurnal Teknologi Minyak dan Gas Bumi No. 1/1990 menyebutkan bahwa konsumsi minyak dunia tahunan dalam juta barel per hari untuk tahun 1987 adalah 48,4, tahun 1988 sebesar 49,8, tahun 1989 sebesar 50,7. Perkiraan cadangan minyak bumi negara-negara anggota OPEC pada tahun 2000 adalah sebesar 501,9-637,2 juta barel. Dari data tersebut penggunaan minyak bumi dari tahun ke tahun semakin meningkat sehingga diperlukan usaha untuk menghemat pemakaian minyak bumi. Krisis energi ini menyebabkan manusia beralih pola pikir

untuk lebih mengintensifkan penelitian dan penggunaan dari energi yang tidak terbarukan ke energi yang terbarukan. Salah satu sumber energi yang terbarukan tersebut adalah berasal dari biomassa yang diproses menjadi etanol.

Etanol atau *etil alcohol* (lebih dikenal sebagai “alkohol”, lambang kimia  $C_2H_5OH$ ) adalah cairan tak berwarna dengan karakteristik antara lain mudah terbakar, larut dalam air, *biodegradable*, tidak karsinogenik, dan jika terjadi pencemaran tidak memberikan dampak lingkungan yang signifikan. Penggunaan etanol sebagai bahan bakar bernilai oktan tinggi atau aditif peningkat bilangan oktan pada bahan bakar sebenarnya sudah dilakukan sejak abad 19. Mula-mula etanol digunakan untuk bahan bakar lampu pada masa sebelum perang saudara di Amerika Serikat. Kemudian pada tahun 1860 Nikolaus Otto menggunakan bahan bakar etanol dalam mengembangkan mesin kendaraan dengan siklus Otto. Mobil Model T karya Henry Ford yang diluncurkan pada tahun 1908 dirancang untuk menggunakan bahan bakar etanol atau gasoline. Namun karena harganya yang sangat tinggi, etanol kalah bersaing dengan bahan bakar yang terbuat dari minyak bumi. Harga minyak bumi yang membumbung belakangan ini membuat orang kembali mempertimbangkan etanol untuk dijadikan bahan bakar kendaraan (<http://en.wikipedia>).

Bioetanol merupakan salah satu jenis sumber energi yang sedang dipacu pengembangannya oleh Pemerintah Indonesia. Peraturan Presiden No. 5 Tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional, Instruksi

Presiden No. 1 Tahun 2006 tentang Penyediaan dan Pemanfaatan Bahan Bakar Nabati, dan Keputusan Presiden No. 10 Tahun 2006 tentang Tim Nasional Pengembangan Bahan Bakar Nabati untuk Percepatan Pengurangan Kemiskinan dan Pengangguran, merupakan upaya pemerintah dalam mendukung pengembangan energi alternatif khususnya Bahan Bakar Nabati (*BBN/Biofuel*).

Direktur Jenderal Minyak dan Gas Bumi telah menetapkan spesifikasi BBM jenis Bensin yang diperdagangkan di dalam negeri melalui Keputusan Dirjen Migas No.3674 K/24/DJM/2006 tanggal 17 Maret 2006(5), mengacu kepada ASTM D 4806 tentang *Denaturated Fuel Etanol for Blending with Gasolines for Use as Automotive Spark Ignition Engine Fuel (6)*.

Dukungan yang serius dari Pemerintah terhadap pengembangan biofuel ditunjukkan pula dengan diterbitkannya Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No. 32 Tahun 2008, tentang Penyediaan, Pemanfaatan dan Tata Niaga Bahan Bakar Nabati (*Biofuel*) sebagai Bahan Bakar Lain. Dalam peraturan ini diatur tentang pentahapan kewajiban minimal (*mandatory*) pemanfaatan biofuel.

Pengaruh pemakaian bioetanol pada mesin telah dicoba di laboratorium, pemakaian bioetanol sampai dengan 10% disingkat E-10 (10% bioetanol + 90% Premium). Hasil dari uji laboratorium menyimpulkan kelayakan pemakaian etanol sampai dengan 10% pada berbagai mesin otomotif. Pemakaian bioetanol melebihi standard yang telah ditentukan

dikhawatirkan akan berdampak negatif terhadap material mesin, seperti karet dan logam tertentu yang ada pada mesin (<http://www.ristek.go.id>)

## **B. Rumusan Masalah**

Berdasarkan uraian tersebut di atas maka dapat dirumuskan beberapa masalah, sebagai berikut :

1. Bagaimana perbedaaan prestasi motor bensin dengan menggunakan premium dan biopremium ( E-5, E-10, E-15 dan E-20).
2. Bagaimana pengaruh penggunaan premium dan biopremium ( E-5, E-10, E-15 dan E-20) terhadap emisi gas buang yang dihasilkan.
3. Bagaimana SFC hasil penelitian ini (etanol 96 % buatan pabrik) dibandingkan dengan hasil penelitian sebelumnya (etanol merck > 99,5%)

## **C. Tujuan Penelitian.**

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan :

1. Untuk mengetahui perbedaan prestasi/kinerja dari motor bensin dengan menggunakan premium dan biopremium ( E-5, E-10, E-15 dan E-20).
2. Untuk mengetahui pengaruh emisi gas buang premium dan biopremium ( E-5, E-10, E-15 dan E-20) terhadap lingkungan.

3. Untuk membandingkan SFC hasil penelitian ini (etanol 96 % buatan pabrik) dengan hasil penelitian sebelumnya(etanol merck > 99,5%).

#### **D. Batasan Masalah.**

Dalam penelitian ini dibatasi pada :

1. Bahan bakar yang digunakan : Premium dan Biopremium ( E-5, E-10, E-15 dan E-20).
2. Motor bensin yang digunakan Enduro XL.
3. Etanol yang digunakan adalah etanol buatan pabrik ( 96 %)
4. Putaran mesin yang diujikan : 1000 rpm, 1500 rpm, 2000 rpm, 2200 rpm, 2500 rpm, 2800 rpm dan 3000 rpm
5. Unjuk kerja motor bensin yang ingin diketahui : daya efektif, pemakaian bahan bakar ( $FC$ ), pemakaian bahan bakar spesifik ( $SFC$ ), laju aliran massa udara aktual ( $m_a$ ), perbandingan udara dan bahan bakar ( $AFR$ ), efisiensi volumetris ( $\eta_{vol}$ ) dan efisiensi thermal ( $\eta_{th}$ ).
6. Emisi gas buang yang diamati : karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), oksigen (O<sub>2</sub>) dan hidrokarbon (HC)

### **E. Manfaat Penelitian.**

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Memberikan informasi mengenai perbedaan prestasi mesin dengan menggunakan premium dan biopremium ( E-5, E-10, E-15 dan E-20).
2. Memberikan informasi mengenai pengaruh emisi gas buang premium dan biopremium (E-5, E-10, E-15 dan E-20) terhadap lingkungan.
3. Memberikan informasi mengenai perbandingan SFC hasil penelitian ini (etanol buatan pabrik 96 %) dengan hasil penelitian sebelumnya (etanol Merck > 99,5%).
4. Menghasilkan bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan untuk kalangan industri.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### A. Bahan Bakar

##### 1. Bensin

Bensin/Premium dibuat dari minyak mentah yang dipompa dari perut bumi dan biasa disebut *crude oil*, dengan proses destilasi atau penyulingan minyak mentah, bensin diperoleh pada temperatur 150°C, cairan ini mengandung hidrokarbon. Atom-atom karbon dalam minyak mentah saling berhubungan membentuk rantai dengan panjang yang berbeda-beda.

Secara sederhana bensin tersusun dari hidrokarbon rantai lurus dengan rumus kimia  $C_nH_{2n+2}$ , mulai dari  $C_7$  (heptana) sampai dengan  $C_{11}$ . dengan kata lain bensin terbuat dari molekul yang hanya terdiri dari hidrogen dan karbon, saling terikat satu dengan yang lainnya sehingga membentuk rantai.

Dewasa ini kilang minyak di Indonesia memproduksi jenis BBM untuk kendaraan bermotor, yaitu :

- a. Premium (RON 88) atau mempunyai *research octane number* 88, yaitu premium yang umum dipakai sebagai bahan bakar kendaraan bermesin bensin , seperti : mobil, sepeda motor, motor tempel dan lain-lain. Bensin jenis ini berwarna kuning, akibat adanya penambahan

- b. zat pewarna tambahan (*dye*). Bahan bakar ini disebut juga *gasoline* atau *petrol*
- c. Pertamina (RON 92), ditujukan untuk kendaraan yang diisyaratkan penggunaan bahan bakar beroktan tinggi dan tanpa timbel, Pertamina direkomendasikan untuk kendaraan pembuatan di atas tahun 1990.
- d. Pertamina Plus (RON 95), ditujukan untuk kendaraan yang mempunyai perbandingan kompresi di atas 10,5 dan menggunakan teknologi *electronic fuel injection (EFI)*, *variable valve timing (VVT)* dan *turbochargers*.

Menurut Wiranto Arismunandar (1988), jenis bahan bakar bensin di atas mempunyai nilai mutu pembakaran yang berbeda, nilai mutu bahan bakar bensin ditentukan oleh nilai *RON (Research Octane Number)* dan *MON (Motor Octan Number)*. Angka ini diperoleh dari pengujian dari mesin yang disebut : *Coordinating Fuel Research (CFR)*, yaitu sebuah mesin yang perbandingan kompresinya dapat diubah-ubah, di dalam pengukuran ini ditetapkan standar operasinya (putaran, temperatur, tekanan dan lain-lain) dan bahan bakar yang akan digunakan sebagai pembanding. Untuk Motor Bensin ditetapkan heptana normal dan iso-oktana sebagai bahan bakar pembanding. Heptana normal adalah bahan bakar hidrokarbon (rantai lurus) yang mudah berdetonasi di dalam motor bensin, maka dinyatakan sebagai bahan bakar dengan oktan nol. Iso-oktana adalah bahan bakar hidrokarbon yang tidak mudah berdetonasi, maka bilangan oktannya 100.

Dewasa ini perkembangan teknologi di bidang permesinan mengalami kemajuan yang sangat pesat, baik teknologi permesinan bidang Otomotif, Industri, Farmasi, pertanian dan lain sebagainya. Kemajuan yang sangat pesat tersebut menuntut pelaku industri baik pemilik industri, perancang/pendesain mesin, operator mesin dan teknisi pihak akademisi dan lain sebagainya dituntut juga untuk memikirkan hal-hal yang dapat mendukung perkembangan teknologi tersebut. Sebagai akibat dari peningkatan mutu mesin tersebut, maka perlu diikuti dengan peningkatan berbagai persyaratan mutu bahan bakar minyak yang diperlukan, yang nantinya dapat di gunakan sebagai acuan guna mendesain mesin-mesin yang bermutu, oleh sebab itu pemerintah menunjuk Direktorat jenderal minyak dan gas yang menetapkan persyaratan mutu spesifikasi bahan bakar minyak yang diperdagangkan di Indonesia, guna kepentingan konsumen yang ada di Indonesia (*Pertamina, 1998*). Pada tabel 1 berikut ini, memperlihatkan spesifikasi bahan bakar premium yang dikeluarkan oleh Direktorat minyak dan gas yang berisi metode yang digunakan serta limit minimum dan maksimum yang di peroleh.

Tabel 1. Spesifikasi premium (PT. Pertamina UPMS VII Makassar, 2010)

Properties	Units	Methods	Limits	
			Min.	Max.
Color		Visual		Yellow
Copper Strip Corrosion		ASTM D. 130-04		No.1
Doctor Test		IP. 30-92		Negative
Distillation :		ASTM D.86-05		
10 %vol. Rec.at	°C			74
50 %vol. Rec.at	°C		75*	125
90 %vol. Rec.at	°C			180
Final Boiling Point	°C			215
Residu	% vol			2.0
Existent Gum	Mg/100ml	ASTM D.381-04		5
Induction Period at 100 °C	Minute	ASTM D.525-05	361	-
<b>Knock Rating</b>				
Research F1	ON	ASTM D.2699-06a	88.0	-
Density 15 °C	kg/m <sup>3</sup>	ASTM D.1298-99	715	780
Vapor Pressure Reid	kPa	ASTM D.323-06	-	69*
Sulphur Content **	% wt	ASTM D.3227-02	-	0.05
Sulphur Mercaptan **	% wt	ASTM D.2622-05	-	0.002
Lead Content	g/ltr	ASTM D.3237-02	-	0.013
Caloric value (Gross)	kCal/kg	ASTM D.240	-	-
Caloric Calue (Nett)	kCal/kg	ASTM D.240	-	-

## 2. Etanol

Etanol adalah salah satu bahan bakar alternatif (yang dapat diperbaharui) yang ramah lingkungan yang menghasilkan gas emisi karbon yang lebih rendah dibandingkan dengan bensin atau sejenisnya (sampai 85% lebih rendah).

Pada dasarnya Etanol dibuat dari ubi, jagung atau hasil perkebunan lainya dan sampai saat ini belum ada kendaraan (*vehicles*) yang didesain khusus untuk dapat menggunakan Etanol 100%.

Penggunaan Etanol pada kendaraan biasanya menggunakan 2 jenis Etanol yaitu Etanol 10 (E-10) yang merupakan campuran antara 10% etanol dan 90% bahan bakar bensin dan bisa digunakan hampir di seluruh kendaraan keluaran terbaru (silahkan cek masalah ini ke produsen mobil atau di buku manual kendaraan yang ada). Etanol 85 (E-85) yang merupakan campuran 85% etanol dan 15% bahan bakar bensin. Kendaraan yang bisa menggunakan jenis E-85 ini adalah kendaraan yang sudah mempunyai sertifikasi *Flex-fuel Vehicles (FFV)* yang dikeluarkan oleh produsen mobil (*Berita IPTEK, 2005*).

Bioetanol ( $C_2H_5OH$ ) adalah cairan biokimia dari proses fermentasi gula dari sumber karbohidrat menggunakan bantuan mikroorganisme. Bioetanol dibuat dengan bahan baku bahan bergula seperti tebu, nira aren, bahan berpati seperti jagung dan ubi-ubian, bahan berserat yang

berupa limbah pertanian masih dalam taraf pengembangan di negara maju.

Di Indonesia penelitian mengenai etanol sebagai subsidi premium, telah diteliti sejak 1983 oleh Balai Besar Teknologi Pati (B2TP) di Lampung bekerjasama dengan Lembaga Penelitian Jepang JICA. Saat ini Pertamina sudah menghasilkan produk biopremium sejak bulan agustus 2006, dan telah dipasarkan di SPBU, khususnya di SPBU Lawang Jawa Timur, dengan komposisi campuran 5 % bioetanol (*Website Pertamina: Biogasoline*).

Seperti diketahui, etanol dikategorikan dalam dua kelompok utama (*Rama Prihandana, 2007*) yaitu :

- a. Etanol 95-96% disebut etanol berhidrat , yang dibagi atas :
  - Raw sprit grade, digunakan untuk bahan bakar spiritus, minuman dan pelarut.
  - Industry grade, digunakan untuk bahan baku industri.
  - Portable grade, digunakan untuk minuman berkualitas tinggi.
- b. Etanol 99,6%, digunakan untuk bahan bakar, disebut dengan fuel grade etanol (FGE)

Bioetanol adalah etanol yang diproduksi dari bahan baku berupa biomassa seperti jagung, singkong, sorghum, kentang, tebu dan juga limbah biomassa seperti tongkol jagung, limbah jerami dan limbah sayuran lainnya. Bioetanol diproduksi dengan teknologi biokimia, melalui proses fermentasi bahan baku, kemudian etanol yang diproduksi dipisahkan

dengan air melalui proses destilasi dan dehidrasi. Penggunaan bioetanol sebagai campuran biogasoline memiliki keunggulan sebagai berikut :

- a. Meningkatkan bilangan oktan (dapat menggantikan TEL sebagai aditif, sehingga mengurangi emisi logam berat timbal)
- b. Menghasilkan pembakaran lebih sempurna (mengurangi emisi karbon monoksida)
- c. Mengurangi emisi gas buang karbon dioksida (penelitian menunjukkan pengurangan hingga 40-80%) serta senyawa sulfur mengurangi hujan asam.

Tabel 2. Karakteristik etanol sebagai bahan bakar kendaraan bermotor (Joseph,Jr.,2004)

Karakteristik		Bensin (100%)	Campuran Bensin/Etanol (22%v/v)	BB Etanol (hidrat)
Stoikiometri udara/bhn bakar		14,5:1	12,7:1	9,0:1
Kerapatan massa (20°C) (kg/m <sup>3</sup> )		±770	±780	±810
Kalor pembakaran (kcal/kg)		±10.500	±9.600	±6.100
Angka Oktan	MON	80~83	80~83	88~90
	RON	90~96	90~96	105~108
	(MON+RON) /2	87	87	95
Tekanan Uap (kPa)		55~70	55~70	Sangat rendah

Tabel 3. Hasil pengujian parameter uji bioetanol sesuai SNI 7390:2008 (Kussuryani dan Anwar, 2008)

No	Sifat	Unit, min/max	Spesifikasi <sup>1)</sup>	Hasil Pengujian
1	Kadar etanol	%-v,min	99,5 (sebelum denaturasi) <sup>2)</sup> 94,0 (setelah denaturasi)	99.750
2	Kadar metanol	mg/L, max	300	199
3	Kadar air	%-v,max	1	0.1148
4	Kadar denaturan	%-v,min %-v,max	2 5	2
5	Kadar tembaga (Cu)	mg/kg, max	0,1	0.02
6	Keasaman sebagai CH <sub>3</sub> COOH	mg/L, max	30	0.0165
7	Tampakan		Jernih dan terang, tidak ada endapan dan kotoran	Jernih
8	Kadar ion klorida (Cl <sup>-</sup> )	mg/L, max	40	0
9	Kandungan belerang (S)	mg/L, max	50	
10	Kadar getah (gum), dicuci	mg/100 ml, max	5,0	2.0
11	PHe	6,5 – 9,0	7,29	

1). Jika tidak diberi catatan khusus, nilai batasan (spesifikasi) yang diterakan adalah nilai untuk bioetanol yang sudah terdenaturasi

2). FGE atau etanol kering biasanya memiliki berat jenis dalam rentang 0,7936-0,7961 (pada kondisi 15,56/15,56°C), atau berat jenis dalam rentang 0,7871-0,7896 (pada kondisi 25/25°C), diukur dengan cara piknometri atau hidrometri yang sudah sangat lazim diterapkan di dalam industri alkohol.

### 3. Campuran Bensin dan Etanol

Biopremium merupakan campuran bioetanol dengan premium dengan kadar campuran tertentu. Biopremium E-10, misalnya, mengandung etanol 10 % dan premium 90%. Kualitas etanol yang digunakan tergolong *fuel grade* etanol yang kadar etanolnya 99%

Terdapat beberapa cara penggunaan etanol untuk campuran gasoline (*Website Pertamina: Biogasoline*) sebagai berikut :

- a. Hydrous etanol (96% volume), yaitu etanol yang masih mengandung air sebesar 4%.
- b. Anhydrous etanol (dehydrated etanol), yaitu etanol bebas air dan paling tidak memiliki kemurnian 99%. Etanol ini dapat dicampur dengan gasoline konvensional dengan kadar antara 5-85%. Pada gasoline dengan campuran etanol antara 5-10%, bahan bakar ini dapat langsung digunakan pada mesin kendaraan tanpa perlu ada modifikasi. Campuran yang umum digunakan adalah 10% etanol dan 90% gasoline (dikenal dengan nama E-10). Campuran etanol dengan kadar yang lebih tinggi (kadar bioetanol 85% atau dikenal dengan nama E-85) hanya bisa digunakan pada mesin kendaraan yang sudah dimodifikasi, yang dikenal dengan nama flexible fuel vehicle. Modifikasi umumnya dilakukan pada tangki BBM dan sistem injeksi BBM

- c. Etanol juga digunakan sebagai bahan baku ETBE (ethyl-tertiary-butyl-ether), aditif gasoline konvensional.

Tabel 4. Hasil Pengujian Sifat fisika-kimia E-0, E-5 dan E-10 (Kussuryani dan Anwar, 2008)

No	Parameter	Satuan	Metode ASTM/IP	Hasil Pengujian			Spesifikasi Bensin*) 88	
				E-0	E-5	E-10	Min	Max
1	Angka Oktan	RON	D-2699	88.0	91.0	92.7	88	
2	Kand.Timbal	g/l	D-3237	0.0012	0.0002	0.0002		0.013
3	Distilasi 10% Vol.	°C	D-86	48	47.5	47	88	74
	Penguapan 50% Vol.	°C		89	87	66.5		125
	Penguapan 90% Vol.	°C		159	155	152		180
	Penguapan Titik Akhir	°C		206.5	204	205		215
	Residu	%Vol		1.0	1.0	1.0		2.0
4	Tekanan Uap pada 37.8 °C	kPa	D-323	58.6	51.1	49.7		62
5	Getah Purwa	mg/100ml	D-381	1.2	1.0	0.8		5.0
6	Stab. oksidasi (Per. induksi)	menit	D-525	> 360	> 360	> 360	360	
7	Kand. sulfur	% massa	D-2622	0.0106	0.0070	0.0059		0.05
8	Kororsi bilah tembaga pada 3 jam/ 50°C	ASTM No.	D-130	1a	1a	1a		No.1
9	Uji Doctor	% massa	IP.30	Negatif	Negatif	Negatif	Negatif	
10	Warna		Visual	Kuning	Kuning	Kuning	Merah	
11	Kandungan zat warna	g/100 l	-	-	-	-		0.13
12	Bau		Visual	Dapat dipasarkan	Dapat dipasarkan	Dapat dipasarkan	Dapat dipasarkan	
13	Penampilan		Visual	Jernih & terang	Jernih & terang	Jernih & terang	Jernih & terang	
14	Kandungan air	% wt	KF	0.0126	0.0571	0.0671		

\*) SK dirjen Migas No.3674K/24/DJM/2006

#### 4. Motor Bensin

Motor bensin merupakan salah satu penggerak mula yang berperan penting sebagai tenaga penggerak. Pada motor bensin untuk mendapatkan energi thermal diperlukan proses pembakaran dengan menggunakan campuran bahan bakar dan udara di dalam mesin, sehingga motor bensin disebut juga sebagai motor pembakar dalam (*internal combustion engine*). Di dalam proses pembakaran ini gas hasil pembakaran yang terjadi sekaligus berfungsi sebagai fluida kerja. Motor ini merupakan pengembangan dari motor *Otto*, yang pertama kali ditemukan oleh *Nikolaus August Otto* yang lahir pada tahun 1832 di kota *Holzhausen, Jerman*.

Pada motor bensin campuran bahan bakar dan udara terjadi di dalam karburator, kemudian diisap masuk kedalam silinder selama langkah pengisapan. Kemudian campuran tersebut dimampatkan (dikompresikan) oleh torak dalam silinder dan pada akhir langkah kompresi terjadi loncatan bunga api listrik dari busi, akibatnya campuran bahan bakar dan udara terbakar sehingga diperoleh tenaga panas yang kemudian dikonversikan menjadi tenaga mekanik. Tenaga mekanik tersebut dapat menimbulkan gerak translasi pada torak dan gerak rotasi pada poros engkol, yang pada akhirnya mesin dapat menghasilkan energi gerak secara berkesinambungan.

## **B. Pengaruh Penambahan Etanol pada Bensin (Biopremium).**

Dari berbagai pengujian, khususnya untuk mengetahui unjuk kerja dengan menggunakan bahan bakar Biopremium, menyimpulkan bahwa Biopremium memiliki unjuk kerja yang lebih tinggi atau minimal sama dengan bahan bakar bensin.

1. Penelitian di Balai Besar Teknologi Pati (B2TP). BPPT Lampung sejak tahun 1984 mengadakan penelitian dengan melibatkan Universitas Indonesia dan Universitas Brawijaya, menghasilkan etanol dari bahan baku ubi kayu, dengan kadar 96% dan dilakukan pengujian dilapangan selama 6 bulan. Hasilnya menunjukkan bahwa kinerja yang baik dari mesin kendaraan ketika dioperasikan. *(Kompas, 12 Pebruari 2005)*
2. Pengujian di laboratorium balai termodinamika dan motor propulsi (BTMP) BPPT tahun 2007, meliputi unjuk kerja mesin yaitu daya dan torsi, serta emisi gas buang (CO dan HC), menunjukkan bahwa campuran Etanol 10% (kandungan etanol 99,5%) identik atau lebih baik dari premium dan pertamax. Emisi gas buang yang dihasilkan pula lebih ramah, yaitu :
  - CO untuk campuran (E-10) : 0,31 gram/km
  - CO untuk premium (E-0) : 0,5 gram/km
  - CO untuk pertamax : 0,58 gram/km

Penelitian ini juga merekomendasikan agar diadakan penelitian untuk melihat pengaruh penggunaan bahan bakar biopremium (E-10) terhadap komponen Mesin. (*Alternative Fuels Articles, didownload 17 maret 2010*)

3. Pengaruh pemakaian bioetanol terhadap mesin, hasil pengujian BPPT menyimpulkan kelayakan pemakaian etanol sampai pada 10%. Jika penambahan bioetanol melebihi standar yang ditentukan, dikhawatirkan dapat berdampak negatif terhadap material mesin (*Makalah Menegristek-[http:// www.ristek.go.id](http://www.ristek.go.id)*)
4. Penggunaan campuran bioetanol dengan bensin meningkatkan kadar oktan, menurunkan kandungan timbal dan sulfur. Kandungan air mengalami sedikit peningkatan karena sifat bioetanol yang hidroskopis. Stabilitas oksidasi, kandungan korosi bilah tembaga (*copper strip corrosion*) dan uji doctor (*doctor test*) tidak terpengaruh oleh penambahan bioetanol ke dalam bensin. Selain itu, terdapat penurunan nilai tekanan uap (*RPV*) untuk campuran dengan kandungan bioetanol yang makin tinggi, tekanan uap (*RPV*) untuk E-10 masih memenuhi spesifikasi (Kussuryani dan Anwar, 2008).
5. Penelitian pemakaian gasohol sebagai bahan bakar pada kendaraan bermotor (Devanta dan Fajar, 2009) :
  - Kadar etanol yang semakin tinggi mengakibatkan gas buang (emisi) berbahaya yang dihasilkan lebih rendah.

- Kadar etanol yang semakin tinggi pada campuran bensin-etanol yang digunakan, kinerja kendaraan bermotor yang menggunakan gasohol lebih baik, meskipun jarak tempuh yang dihasilkan sedikit berkurang seiring bertambahnya kadar etanol.

### **C. Emisi Gas Buang**

Sebagian dari upaya mengendalikan pencemaran udara dari sumber bergerak dan sebagai upaya penegakan hukum, maka beberapa Negara disamping telah mengadopsi standar Euro, juga memiliki standar emisi yang berlaku. Penetapan baku mutu emisi gas buang kendaraan bermotor yang ada selalu memperhatikan beberapa hal yaitu : ketersediaan, perkembangan dan penggunaan teknologi kendaraan, ketersediaan bahan bakar, usia kendaraan dan perilaku perawatan pemilik kendaraan, sehingga masing-masing negara selalu memiliki perbedaan dalam parameter emisi. Di Indonesia peraturan perundang-undangan yang berkaitan dengan pengendalian emisi kendaraan, yaitu :

1. Keputusan Menteri Lingkungan Hidup : Kep. No. 02/Men./I/1988, menetapkan ambang batas  $CO \leq 4,5 \%$  dan  $HC \leq 3300$  ppm untuk mesin 2 tak dan 4 tak.
2. Kep. Menteri Perhubungan : KM. No. 08/1989, menetapkan ambang batas  $CO \leq 4,5 \%$  dan  $HC \leq 1200$  ppm untuk kendaraan roda 4.
3. Keputusan Menteri Lingkungan Hidup : Kep. No.35/MENLH./10/1993, menetapkan mesin 2 tak dengan ambang batas  $CO \leq 4,5 \%$  dan  $HC$

$\leq 3300$  ppm. Sedangkan mesin 4 tak dengan ambang batas CO  $\leq 4,5$  % dan HC  $\leq 2400$  ppm.

4. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No.05 tahun 2006/ tanggal 1 Agustus 2006, tentang baku mutu sumber bergerak (kendaraan bermotor).
5. Nilai ambang batas minimum pemerintah tahun 2009 (As'adi dan Syahrir, 2010) yaitu :
  - a. Sepeda motor 2 langkah tahun pembuatan dibawah 2010, CO  $\leq 4,5$  % dan HC  $\leq 12000$  ppm.
  - b. Sepeda motor 4 langkah tahun pembuatan dibawah 2010, CO  $\leq 5,5$  % dan HC  $\leq 2400$  ppm.
  - c. Sepeda motor 2 & 4 langkah tahun pembuatan 2010 ke atas, CO  $\leq 4,5$  % dan HC  $\leq 2000$  ppm.

Berikut ini uraian pengaruh gas buang dengan *Air Fuel Ratio (AFR)* dan dampak emisi gas buang terhadap lingkungan :

### **1. Hubungan *AFR* dengan gas buang**

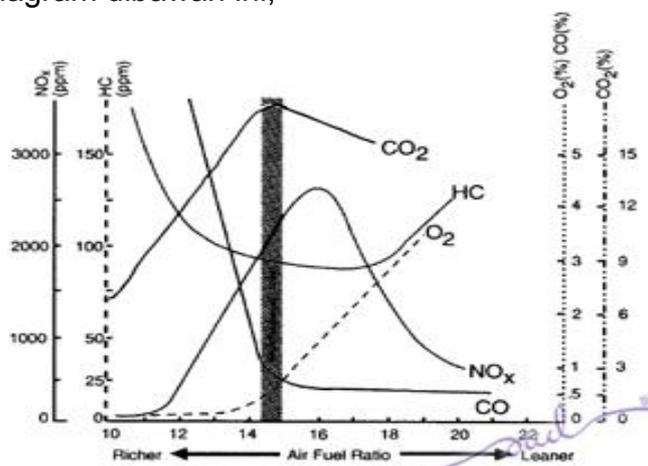
Pada proses pembakaran tentu diperlukan oksigen dan oksigen ini didapat dari udara bebas. Para pakar telah mengidentifikasi bahwa udara terdiri dari, Oksigen ( $O_2$ ) sebanyak 21%, Nitrogen ( $N_2$ ) 78% dan 1% sisanya adalah gas-gas lainnya.

Ikatan Hidrokarbon (HC) pada bahan bakar akan hanya bereaksi dengan oksigen pada saat proses pembakaran sempurna, dan menghasilkan air ( $H_2O$ ) serta karbon dioksida ( $CO_2$ ) sedangkan Nitrogen

akan keluar sebagai  $N_2$ . Sayangnya pada kondisi-kondisi tertentu pembakaran menjadi tidak sempurna dan hal ini menghasilkan gas-gas buang yang berbahaya bagi kehidupan, seperti terbentuknya karbon monoksida (CO) dan juga Nitrogen oksida ( $NO_x$ ).

*Air to Fuel Ratio* (sering disingkat AFR)  $> 14,7$  disebut sebagai *Lean Combustion* sedangkan sebaliknya disebut sebagai *Rich combustion*.

Perhatikan Diagram dibawah ini,



Gambar 1. Diagram hubungan AFR dengan gas buang (Roel, 2006)

Pada pembakaran ideal sudah disebutkan di atas akan menghasilkan  $H_2O$ ,  $CO_2$  serta  $N_2$ , namun secara praktis pembakaran pada mesin tidaklah sempurna walau pada mesin dengan teknologi tinggi sekalipun.

Pada diagram di atas bisa dilihat, garis hitam adalah garis stoikiometri dimana pada pembakaran ini akan didapat nilai kurang lebihnya dan menjadi baku mutu emisi.

- CO max 2.5% (1.5% max diberlakukan untuk kendaraan injeksi)

- HC < 300ppm
- CO<sub>2</sub> harus lebih besar dari 12% dan maksimum teoritis adalah 15.5%
- O<sub>2</sub> < 2%

Teori stoikiometri menyatakan, untuk membakar 1 gram bensin dengan sempurna diperlukan 14,7 gram oksigen. Dengan kata lain, campuran yang ideal = 14,7 : 1. Perbandingan campuran ini disebut dengan AFR (*Air Fuel Rasio*).

## **2. Gas buang serta dampaknya terhadap lingkungan**

Pembakaran adalah reaksi kimia yang cepat antara bahan bakar dengan oksigen. Proses pembakaran atau penguapan bahan bakar minyak tersebut akan menghasilkan gas buang atau biasa disebut dengan emisi.

### **a. Atmosfer**

Atmosfer bumi yang biasa disebut udara terdiri dari dua gas utama, yaitu oksigen (O<sub>2</sub>) sebanyak kurang lebih 21 % volume dan Nitrogen (N<sub>2</sub>) sebanyak kira-kira 78 % dari bagian atmosfer. Sisa 1 % lainnya terdiri dari berbagai gas, yaitu Argon (Ar) sebanyak 0,94% sisanya 0,06 % terdiri dari CO<sub>2</sub>, CO, HC, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> dan lain-lain.

Sebagai tambahan Argon dan Karbon dioksida di udara, terdapat banyak substansi yang tidak diinginkan yang dihasilkan oleh ulah manusia seperti, karbon monoksida (CO), gas hidro karbon (HC), Nitrogen oksida

(NO<sub>x</sub>), sulfur dioksida (SO<sub>2</sub>) dan timah hitam (Pb). Gas-gas yang tidak diinginkan inilah yang disebut “polusi udara”.

#### b. Pencemaran udara yang dihasilkan kendaraan bermotor

Pencemaran udara yang diproduksi oleh kendaraan bermotor dihasilkan dari pembakaran dan penguapan bahan bakar kendaraan. Pencemar ini dapat di bagi menjadi tiga substansi utama, yaitu CO, HC dan NO<sub>x</sub>. Gas-gas ini sangat tidak menyenangkan bagi pernapasan dan dalam beberapa kasus berbahaya bagi manusia, hewan dan tumbuhan.

Tabel 5. Bahaya polusi udara (Yauri dan Nana, 2008)

Pencemar	Sumber utama di udara	Akibatnya
CO	Kendaraan bermotor 56%  Pembangkit tenaga listrik, dsb. 44%	Menghalangi pertukaran oksigen dalam darah dan menyebabkan keracunan karbon monoksida, menyebabkan lumpuhnya sistem syaraf
HC	Kendaraan bermotor 57%  Kilang minyak pabrik pengguna solvent, dsb 43%	Melukai lapisan organ saluran pernapasan. Khusus substansi <i>benzena</i> nilai ambang batas dalam udara 10 ppm.
NO <sub>x</sub>	Kendaraan bermotor 49%  Pabrik, pembangkit tenaga listrik, kilang minyak, dsb 51%	- Melukai mata, hidung dan tenggorokan. Bila lukanya parah dapat menyebabkan pilek, kepala pusing dan kerusakan paru-paru. - Pada konsentrasi 3-5 ppm berbau tidak enak. Pada 10-30 ppm akan melukai mata dan hidung. Konsentrasi 50 ppm merupakan batas maksimal yang membahayakan kesehatan jiwa manusia.

SO <sub>2</sub>	Kendaraan bermotor (diesel) 47%	Melukai membran sistem pernapasan dan menyebabkan inflamasi saluran napas. Batas aman dalam udara adalah 2 ppm dan maksimum 100 ppm
Pb	Kendaraan bermotor bahan bakar premium dan premix 100%	Menyebabkan gangguan mental dan penurunan IQ pada balita, gangguan pencernaan, hipertensi, anemia dan <i>toxic psychosis</i> pada orang dewasa.