

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Bahan Bakar Minyak

Minyak bumi atau *petroleum* berasal dari bahasa latin *petra* yang berarti batuan dan *oleum* yang berarti minyak, pengertian ini digunakan untuk mendiskripsikan secara luas campuran hidrokarbon yang terjadi secara alami. Biasanya orang – orang menganggap kata '*petroleum*' terbatas terhadap campuran hidrokarbon yang berupa cairan yang diambil melalui pengeboran. Secara umum *petroleum* berupa cairan. Termasuk didalam *petroleum* adalah komponen gas, cair, dan padat. Biasanya ketiganya diproduksi secara bersamaan sebagai contoh adalah *natural gas*, *gasoline*, dan *asphalt*.

Analisis kimia dalam minyak bumi atau *petroleum* adalah analisis kimia tentang karbon organik yaitu kimia organik. *Petroleum* tersusun dari persenyawaan antara hidrogen dan karbon atau yang biasa disebut hidrokarbon, dan komponen lainnya yang terdiri atas sulfur, oksigen, nitrogen, oleh karena itu maka sering disebut senyawa heteroatomik. Dapat dikatakan bahwa minyak bumi atau *petroleum* tersusun oleh sebagian besar hidrokarbon, tetapi *petroleum* suatu daerah berbeda dengan daerah lainnya. Hal ini dikarenakan perbedaan senyawa hidrokarbon yang terbentuk. Oleh karena itu sifat fisik dan kimia yang mencerminkan karakter dari *petroleum* tersebut akan berbeda pula.

Senyawa hidrokarbon pada *petroleum* tersusun dalam range yang luas mulai dari yang paling sederhana yaitu metana hingga yang sangat kompleks seperti molekul aspal yang strukturnya tidak dapat dimengerti secara komplit. Semakin kompleks susunannya maka rantai karbonnya semakin panjang, sehingga sifat fisik dan kimianya berbeda.

Bahan bakar minyak adalah suatu senyawa organik yang dibutuhkan dalam suatu pembakaran dengan tujuan untuk mendapatkan energi / tenaga (Pertamina, 2003). Bahan bakar minyak ini merupakan hasil dari proses distilasi minyak bumi (*crude oil*) menjadi fraksi – fraksi yang diinginkan.

Adapun jenis – jenis bahan bakar minyak yang diproduksi PERTAMINA dan diperdagangkan di Indonesia untuk keperluan kendaraan bermotor, rumah tangga, industri, dan perkapalan adalah sebagai berikut:

- Pertamina Plus, Pertamina, Premium (*motor gasoline*), Premium TT
- ELPIJI dan BBG
- Minyak tanah (*kerosene*)
- Minyak solar (*gas oil*)
- Minyak diesel (*diesel oil*)
- Minyak bakar (*fuel oil*)

#### 2.1.1. Permax Plus

Pertamax plus adalah bahan bakar tanpa timbal kendaraan bensin yang diproduksi dari kompoenen pilihan jenis *High Octane Mogas Component (HOMC)* yang berkualitas tinggi ditambah aditif generasi mutakhir sesuai requirement pabrikan kendaraan bermotor. Diformulasikan secara khusus dan sengaja dikembangkan untuk memenuhi tuntutan pembuat mesin akan bahan bakar minyak yang mampu melayani mesin yang bekerja pada kompresi yang tinggi maupun tuntutan dunia akan bahan bakar minyak yang lebih bersahabat terhadap lingkungan dan lebih aman terhadap kesehatan manusia.

Pertamax plus mempunyai karakteristik istimewa yaitu angka oktannya minimal RON 95 (*research octane number*). Angka oktan pertamax plus adalah tertinggi dibanding angka oktan pertamax dan premium. Pertamina plus dipasarkan tanpa diberi pewarna (*bening*). Pertamina plus ini direkomendasikan dipakai pada kendaraan keluaran tahun 1992 ke atas. Secara umum dianjurkan dipakai pada kendaraan dengan dudukan klep gas buang yang terbuat dari metal keras (*hardened exhaust valve seats*). Pertamina plus sangat disarankan untuk digunakan bagi kendaraan yang dilengkapi dengan *catalytic converter* sehingga emisi gas buang kendaraan tersebut tidak mencemari lingkungan. Catatan teknis menyebutkan kendaraan yang dilengkapi dengan *catalytic converter* tidak dibenarkan menggunakan bahan bakar minyak yang mengandung timbal (*timah hitam*), karena timbal akan menutup pori – pori katalis dan menghilangkan efektivitasnya sebagai katalis konversi pencemaran emisi. Pertamina plus tidak

dianjurkan dipakai untuk kendaraan model lama yang dudukan klepnya (*valve seats*) dari metal lunak yang memerlukan timbal untuk melindungi terhadap keausan yang berlebihan (*valve seats recession*).

#### 2.1.2. Pertamina

Pertamax adalah *motor gasoline* tanpa timbal dengan kandungan aditif lengkap generasi mutakhir yang akan membersihkan *intake valve port fuel injector* dan ruang bakar dari *carbon deposit* dan memiliki RON 92 dan dianjurkan untuk kendaraan berbahan bakar bensin dengan perbandingan kompresi tinggi.

#### 2.1.3. Premium

Premium adalah bahan bakar jenis distilat berwarna kekuningan yang jernih dan mengandung timbal sebagai *octane booster* (TEL). Warna kuning tersebut akibat adanya zat berwarna tambahan (*dye*). Penggunaan premium pada umumnya adalah untuk bahan bakar kendaraan bermotor bermesin bensin, seperti mobil, sepeda motor, motor tempel dan lain – lain. Bahan bakar ini sering disebut *motor gasoline* atau *petrol* dan tidak dapat digunakan untuk kendaraan yang dilengkapi *catalytic converter*.

#### 2.1.4. Premium TT

Premium TT adalah *motor gasoline* tanpa timbal dan komponen *HOMC* dan dapat digunakan sebagai bahan bakar kendaraan yang dilengkapi *catalytic converter*

#### 2.1.5. Elpiji

Elpiji adalah gas yang dihasilkan kilang BBM dan kilang Gas (LNG Plant), komponen LPG sebagian besar terdiri gas butane ( $C_4H_{10}$ ) dan gas propane ( $C_3H_8$ ) kurang lebih 99% dan selebihnya gas pentane ( $C_5H_{12}$ ), elpiji lebih berat dari pada udara dengan berat jenis 2,01 (dibandingkan dengan uara), tekanan uap gas elpiji cair dalam tabung/tangki antara 5,0 s/d 6,2 kg/cm<sup>2</sup>.

#### 2.1.6. Bahan Bakar Gas (BBG)

BBG adalah gas bumi yang telah dimurnikan, komponen BBG sebagian besar terdiri dari gas *methane* ( $CH_4$ ) dan *ethane* ( $C_2H_6$ ) kurang lebih 85%, dan selebihnya adalah gas *propane* ( $C_3H_8$ ), *butane* ( $C_4H_{10}$ ), *pentane* ( $C_5H_{12}$ ), nitrogen dan karbon dioksida. BBG lebih ringan dari udara dengan berat jenis 0,6036 (dibandingkan dengan udara) dan memiliki nilai oktan 120. BBG merupakan bahan bakar alternatif untuk kendaraan bermotor baik bermesin bensin maupun diesel yang murah, bersih (menciptakan langit biru), ramah lingkungan dan aman.

#### 2.1.7. Minyak Tanah

Minyak tanah adalah bahan bakar minyak jenis distilat tidak berwarna yang jernih. Penggunaan minyak tanah pada umumnya adalah untuk keperluan bahan bakar di rumah tangga, tetapi pada beberapa industri memerlukan minyak tanah untuk beberapa peralatan pembakarannya. PERTAMINA sesuai kebijaksanaan pemerintah membatasi pemakaian minyak tanah untuk keperluan industri (hanya dengan ijin khusus). Minyak tanah disebut juga kerosene.

#### 2.1.8. Minyak Solar

Minyak solar adalah bahan bakar jenis distilat yang digunakan untuk mesin *compression ignition* (pada mesin diesel dikompresi pada langkah induksi adalah udara, udara yang dikompresi menimbulkan tekanan dan panas yang tinggi sehingga dapat membakar solar yang disemprotkan oleh *injector*) yang kualitas bakarnya ditunjukkan dengan angka cetan (*cetane number*), makin tinggi *cetane number* menunjukkan minyak solar tersebut makin mudah terbakar, makin rendah *cetane number* menunjukkan makin lambat terbakar. Penggunaan minyak solar pada umumnya adalah untuk bahan bakar pada semua jenis mesin diesel dengan putaran tinggi (diatas 1000 rpm), yang juga dapat dipergunakan sebagai bahan bakar pada pembakaran langsung dalam dapur – dapur kecil, yang terutama menginginkan pembakaran yang bersih. Minyak solar ini disebut juga *gas oil*, *automotive diesel oil*, atau *high speed diesel*. Untuk mendukung program langit biru, kendaraan diesel juga harus dilengkapi dengan *catalytic converter* agar emisi

gas buang yang mencemarkan udara dapat diubah menjadi emisi gas buang yang bersahabat dengan lingkungan.

#### 2.1.9. Minyak Diesel

Minyak diesel adalah bahan bakar jenis distilat yang mengandung fraksi – fraksi berat atau merupakan campuran dari distilat fraksi ringan dan fraksi berat (*residual fuel oil*) dan berwarna hitam gelap, tetapi tetap cair pada suhu yang rendah. Penggunaan minyak diesel ini pada umumnya untuk bahan bakar mesin diesel dengan putaran sedang atau lambat (300 – 1000 rpm) atau dapat juga dipergunakan sebagai bahan bakar untuk pembakaran langsung dalam dapur – dapur industri. Minyak diesel ini biasa disebut juga *industrial diesel oil* atau *marine diesel fuel*.

#### 2.1.10 Minyak Bakar

Minyak bakar yang bukan dari jenis distilat tetapi dari jenis residu dan berwarna hitam gelap. Minyak bakar lebih kental dari pada minyak diesel dan mempunyai titik tuang (*pour point*) yang lebih tinggi dari pada minyak diesel. Penggunaan minyak bakar pada umumnya untuk bahan bakar pada pembakaran langsung dalam dapur – dapur industri besar, pembangkit listrik tenaga uap dan lain – lain yang sangat memperhatikan segi – segi ekonomis dari bahan bakarnya. Minyak bakar ini biasa disebut *marine fuel oil*.

### 2.2. Bahan Bakar Bensin (*Gasoline*)

*Gasoline* atau bensin merupakan bahan bakar produk dari pengolahan minyak bumi (*petroleum refining*). Dalam perkembangannya *gasoline* merupakan produk yang banyak diperlukan dalam kehidupan.

Beberapa indikasi mengenai *gasoline* banyak diungkapkan untuk mencoba mendefinisikan mengenai *gasoline* tersebut. Fraksi ini mempunyai trayek didih antara 70°C hingga 180°C an terdiri dari rangkaian hidrokarbon dari C<sub>7</sub> hingga C<sub>11</sub> (Robert, Richard, Francis, King Horn, 1983). Gruse (1960) menyebutkan dalam bukunya *chemical technology of petroleum* bahwa *gasoline* biasanya terdiri dari

campuran atau blending dari beberapa macam hidrokarbon yang memiliki boiling range antara 40 hingga 200°C (100 hingga 400°F) dimana terjadi secara alami dalam minyak bumi dan gas alam, bersama dengan bermacam – macam hidrokarbon yang memiliki kesamaan yang diolah dari hasil *cracking* minyak berat secara termal maupun dengan katalis. Untuk *gasoline* yang tidak berasal dari *cracking* (*straight run gasoline*), komposisinya dipengaruhi oleh keadaan dari *crude oil* yang diolah menjadi *gasoline* tersebut.

Premium, premium TT, pertamax, pertamax plus merupakan jenis – jenis bahan bakar bensin di Indonesia. Bahan bakar *gasoline* atau bensin, merupakan produksi bahan bakar yang penting yang berasal dari minyak bumi

Salah satu penggunaan penting dari bensin adalah sebagai bahan bakar untuk mesin –mesin dari motor pembakaran dalam dengan pembakaran dari percikan api busi (*internal combustion engine – spark plug ignition*).

Keberadaannya sekarang sangat penting hal itu karena banyak berkembangnya kendaraan – kendaraan yang menggunakan mesin bensin. Sehingga bila pada awal mulanya pembuatan bensin dengan penyulingan langsung sudah mencukupi, kini harus dilakukan dengan berbagai macam cara (Rahardjo Triatmodjo, 1990) yaitu :

- a. Penyulingan langsung minyak bumi (*straight run gasoline*).

*Straight run gasoline*. Dengan penyulingan langsung maka akan diperoleh bensin yang disebut *straight run gasoline*, dimana mutunya tergantung pada susunan unsur kimia yang ada pada bahan asalnya. *Straight run gasoline* diperoleh dari destilasi minyak bumi yang mempunyai trayek didih antara 90 °F hingga 400 °F. Dengan penyulingan langsung maka akan diperoleh sekitar 15 % besin dari berat minyak bumi

- b. *Cracking* (*thermal cracking, catalytic cracking*) hasil – hasil minyak bumi yang besar misalnya dari minyak gas dan residu.

*Cracking* mempunyai kelebihan yaitu memberikan mutu antiknock yang lebih baik dari *straight run gasoline*. Hal ini disebabkan oleh beberapa *paraffin* berubah menjadi isomernya atau bentuk aromatis yang

mempunyai oktan yang lebih tinggi. Ada dua cara *cracking* yang dikenal yaitu *thermal cracking*, *catalytic cracking*

*Thermal cracking*. Merupakan pemecahan molekul dari fraksi berat minyak bumi oleh pengaruh kombinasi suhu dan tekanan tinggi selama beberapa waktu tertentu. Pada umumnya suhu sekitar 500 – 700 °F, tekanan 25 – 50 kg/cm<sup>2</sup>, dengan angka oktan 70 – 80

Dengan *thermal cracking* maka bensin akan banyak mengandung olefin. Idealnya adalah jika dengan proses *cracking*, rantai hidrokarbon berat dapat terbelah ditengah sehingga kedua rantai itu kemudian menjadi bensin. Tetapi pada prakteknya sulit dilakukan hal itu, sehingga hasilnya masih ada yang berupa gas dan rantai yang cukup panjang dimana masih diluar titik didih bensin.

Setelah proses *cracking* selesai umumnya dilakukan flash distillation pada tekanan hampa, dimana bersama *straight run gasoline* bisa diperoleh bensin sekitar 25 – 30 %.

*Catalytic cracking*, merupakan perengkahan minyak bumi untuk mendapatkan bensin dengan menggunakan katalisator. Dengan *catalytic cracking* didapat bensin dengan mutu yang lebih baik karena mengandung lebih banyak senyawa aromatis, isoparafin, dan olefin. Dengan menggunakan katalisator, suhu perengkahan dapat lebih rendah dan prosesnya lebih cepat

- c. *Reforming* ( *thermal reforming*, *catalytic reforming*) bensin berat dari mutu yang kurang.

Fraksi berat dari bensin yang mempunyai titik didih relative tinggi mempunyai angka oktan rendah, maka bila fraksi – fraksi tersebut di rengkah, akan diperoleh bensin dengan mutu yang lebih baik.

Hasil dari *reforming* diperoleh penurunan titik didih rantai karbon, terbentuknya olefin, terbentuknya isomer dengan rantai bercabang, aromatis naphthene. Dengan *reforming*, bensin hasil *straight run gasoline* yang hanya mempunyai angka oktan 40 – 50 dapat ditingkatkan menjadi 75 – 80 oleh *thermal cracking* atau 80 – 85 oleh *catalytic cracking*.

Pada umumnya bensin dari fraksi berat dari trayek didih 95 – 200 °C itu bisa dipisahkan menjadi bensin fraksi ringan dan gas (15 – 20 %) dimana proses dilakukan pada temperature  $\pm 500^{\circ}C$  dengan tekanan  $40 - 80 \text{ kg/cm}^2$

- d. Sintesa (polimerisasi dan proses alkylering) dari gas – gas zat air arang rendah berasal dari dan hasil penyulingan *cracking*.

Proses sintesa adalah proses pembuatan bensin dengan cara menggabungkan gas rengkahan yang beroktan tinggi. Ada dua cara untuk melakukan sintesa yaitu dengan proses polimerisasi (dimana hanya alken yang bereaksi dengan bahan asal jika perlu lalu dilanjutkan dengan hidrogenisasi) atau dengan proses alkylering (dimana terjadi reaksi antara alkan dan alken). Hasil sampingan proses ini adalah terbentuknya minyak pelumas dan karet tiruan.

Polimerisasi merupakan cara pembuatan bensin sintetis tertua yang terdiri dari suatu pengerjaan fraksi butan – buten dengan asam sulfat dingin dengan kepekatan 70%. Dengan cara ini maka 80 % iso buten menjadi okten.

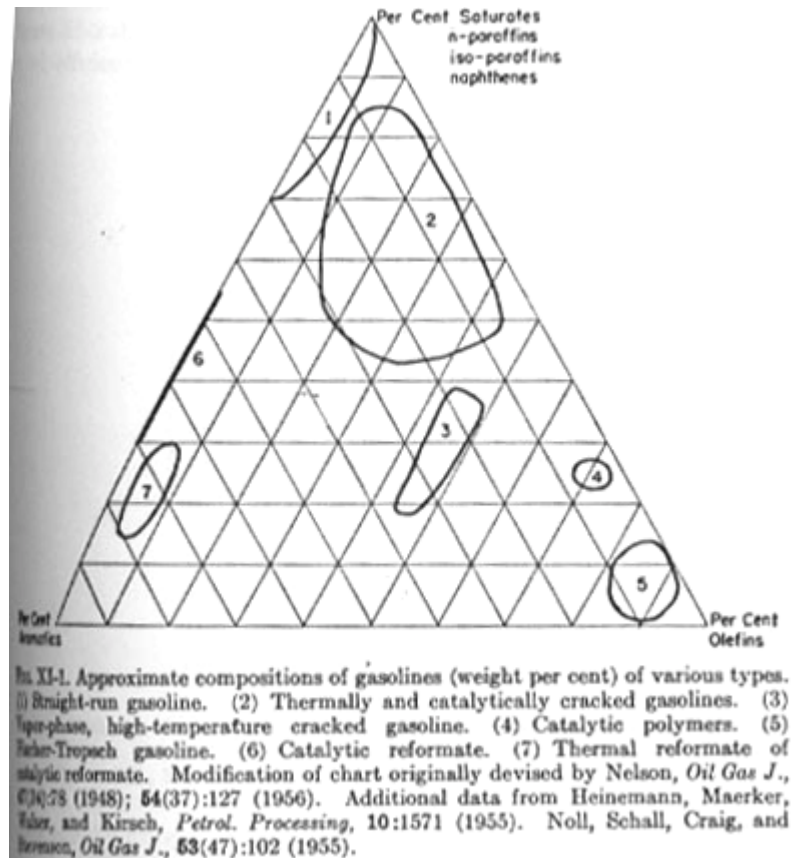
Alkylering, pada proses ini fraksi gas rengkahan dengan asam sulfat pekat pada suhu kamar dengan tekanan tertentu. Dengan cara ini maka mutu bensin yang diperoleh dapat mencapai angka oktan 89 – 92

Karena terdiri dari rangkaian hidrokarbon yang banyak maka *gasoline* merupakan campuran yang sangat komplek, ada 661 kemungkinan *paraffin* dan 3839 olefin. Hal ini perlu ditambahkan kemungkinan dari hidrokarbon jenis *aromatic* dan *naphtenic* (Gruce, 1960). Beberapa jenis – jenis hidrokarbon yang ditemukan dalam *gasoline* dari bermacam macam proses pembuatan dapat dilihat dalam gambar 2.1.

#### 2.2.1. Karakteristik Bahan Bakar Bensin

Kebanyakan bahan bakar cair berasal dari turunan minyak bumi yang memiliki campuran hidrokarbon. Penentuan sifat secara analisis kimia dari

campuran ini adalah sangat sulit. Meskipun bahan bakar cair memiliki sifat kimia yang sama tetapi sifat fisik memiliki efek yang lebih besar (North American Combustion Company, 1960).



Gambar. 2.1. Perkiraan komposisi gasoline

Sumber : Gruse, *Chemical Technology of Petroleum*, New – York, Mc – Graw Hill, 1960

Bahan bakar bensin biasa dicampur dengan bahan – bahan lain yang mengandung *paraffin*, *naphthene*, dan *aromatics* dalam jumlah yang bervariasi. Pencampuran tersebut tergantung dari karakter bensin yang diinginkan. Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam pemilihan bensin adalah :

### 2.2.1.1. *Specific gravity*

*Density* merupakan perbandingan massa dengan volume, *density* biasa dinyatakan dalam *specific gravity* dan *API gravity*. Sifat ini berhubungan dengan nilai kalor yang dihasilkan. Dalam mesin *density* memiliki pengaruh terhadap nilai efisiensi termal mesin. *Specific gravity*. Merupakan perbandingan massa jenis bahan bakar dengan massa jenis air dimana keduanya berada pada temperature yang sama. *Specific gravity* bahan bakar cair berubah seiring dengan perubahan temperature dari bahan bakar cair tersebut. Sifat ini pada bahan bakar cair banyak di tulis dalam unit atau satuan yang berbeda – beda. Hubungan dari beberapa unit satuan tersebut antara lain adalah (The North American Manufactur Company, 1952) :

$$\text{sp gr } 60/60^{\circ} F = \frac{141,5}{^{\circ}API + 131,5} \quad ^{\circ}API \text{ di ukur pada } 60^{\circ} F \quad (2.1)$$

$$\text{sp gr } 60/60^{\circ} F = \frac{140}{^{\circ}Be' + 130} \quad ^{\circ}Be' \text{ di ukur pada } 60^{\circ} F \quad (2.2)$$

$$\text{sp gr } 60/60^{\circ} F = \frac{lb / cu \text{ ft}}{62,4} \quad lb / cu \text{ ft di ukur pada } 60^{\circ} F \quad (2.3)$$

$$\text{sp gr } 60/60^{\circ} F = \frac{lb / gal}{8,34} \quad lb / gal \text{ di ukur pada } 60^{\circ} F \quad (2.4)$$

*Specific gravity* merupakan jalan untuk menentukan sifat – sifat penting lain dari bahan bakar cair. Hubungan tersebut dapat dilihat pada persamaan dibawah :

$$\begin{aligned} \text{gross heating value in Btu / lb} &= 22.320 - (3.780 \times (sg)^2) \\ \text{(constant volume combustion)} & \end{aligned} \quad (2.5)$$

$$\begin{aligned} \text{net heating value in Btu / lb} &= 19.960 - (3.780 \times (sg)^2) + (1362 \times sg) \\ \text{(constant pressure combustion)} & \end{aligned} \quad (2.6)$$

$$\% \text{ hydrogen} = 26 - (15 \times sg) \quad (2.7)$$

$$\text{specific heat in Btu / lb}^\circ\text{F} = \frac{0,388 + [0,00045 \times (\text{temperature}, ^\circ\text{F})]}{\sqrt{sg}} \quad (2.8)$$

$$\text{laten heat of vaporization in Btu / lb} = \frac{110,9 - [0,09 \times (\text{temperature}, ^\circ\text{F})]}{sg} \quad (2.9)$$

Persamaan – persamaan tersebut untuk bahan bakar yang terdiri hidrokarbon murni tidak ada pengotor (*impurities*). Sebagian besar bahan bakar yang dipasarkan (*commercial fuel*) mengandung bahan *impurities* dengan prosentase yang kecil, oleh karena itu persamaan diatas dapat digunakan.

Didalam spesifikasi bahan bakar bensin menurut dirjen migas, tidak dicantumkan tentang *specific gravity*. Pengujian *specific gravity* dapat dilakukan dengan menggunakan *hydrometer*, maupun *picnometer*. Dalam pengujian *specific gravity*, bensin sebaiknya didinginkan terlebih dahulu. Hal ini karena bensin merupakan bahan bakar hasil disitilasi minyak bumi yang memiliki fraksi ringan dan mudah menguap. Untuk mencegah penguapan yang lebih lanjut, bensin harus di dinginkan terlebih dahulu sebelum dituang kedalam tempat sample untuk diuji.

#### 2.2.1.2 Volatility

Di dalam bensin terdapat campuran dari beberapa hidrokarbon yang mempunyai titik didih yang berbeda – beda, sebagai akibatnya campuran ini akan mendidih menjadi uap pada range temperature yang besar. *Volatility* biasa ditentukan lewat percobaan dengan menggunakan metode destilasi dari bahan bakar bensin.

Sifat yang paling penting dari *gasoline* adalah sifat *volatility* dari *gasoline* tersebut dalam kondisi dimana *gasoline* tersebut digunakan. Pembakaran dalam motor pembakaran dalam terjadi apabila campuran udara – bahan bakar yang diproses dalam *carburetor* menuju ruang bakar terkena percikan bunga api listrik dari busi. Didalam kenyataan proses pengakabutan dalam *carburetor* tidak berlangsung ideal, cairan yang dikabutkan oleh

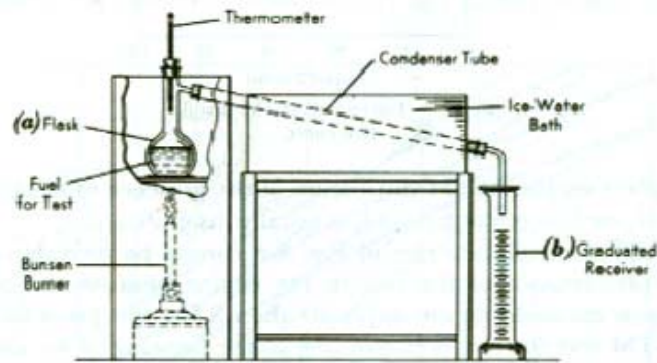
*carburetor* dapat berupa droplet atau berupa lapisan yang bergerak (*moving film*) dalam *manifold*.

Bila diasumsikan atomisasi berlangsung secara konstan, maka derajat pengkabutan dapat ditingkatkan dengan meningkatkan waktu kontak terhadap udara, dengan meningkatkan temperature dari campuran udara – bahan bakar, atau dengan menggunakan bahan bakar yang mempunyai *volatility* yang lebih baik (*more volatile fuel*). Cara pertama memiliki keterbatasan dalam disain mesin dan pengoperasiannya. Cara kedua akan meningkatkan loss dalam efisiensi volumetric, sedangkan cara ketiga berkaitan dengan factor ekonomi (Gruse, 1960).

Bila semua kondisi dalam keadaan constant maka perfoma *gasoline* tergantung dari keefektifan dari *volatility*. *Volatility* dapat dilihat dari kurva hasil distilasi. *Gasoline* tidak memiliki satu nilai titik didih (*boiling point*), hal itu karena *gasoline* merupakan campuran dari beberapa rangkaian hidrokarbon, tiap rangkaian memiliki *boiling point* yang berbeda – beda. Karena itu untuk melihat sifat *volatility* maka digunakan distilasi. Kurva distilasi dapat memberikan informasi mengenai hubungan antara temperature distilasi dengan prosentasi penguapan dari bahan bakar.

Dalam bukunya *modern technology of petroleum*, Hobson menyebutkan kurva distilasi dari *gasoline* biasanya digolongkan menjadi ke dalam 3 bagian. Bagian depan (*front – end*) mengalami penguapan sekitar 70 °C, bagian tengah (*mid – fill*) yaitu antara 70°C – 150°C. Bagian akhir (*back – end*) memiliki boiling point diatas 150°C (Hobson, 1984). Lain halnya dengan Gruse (1984), menyebut bagian – bagian tersebut adalah bagian depan *front end* (0 – 20% evaporated), bagian tengah middle range (20 – 80% evaporated), dan bagian akhir tail end (80 – 100% evaporated)

Sifat *volatility* pada bahan bakar bensin merupakan sifat yang menunjukkan kemudahan menguap dari bahan bakar bensin tersebut. Sifat ini di uji dengan menggunakan uji distilasi dan uji tekanan uap. Sesuai dengan yang tertera pada spesifikasi dirjen migas, pengujian distilasi menggunakan uji distilasi ASTM D – 86 dan uji tekanan uap menggunakan pengujian *Reid Vapor Pressure* (RVP) ASTM D - 323.



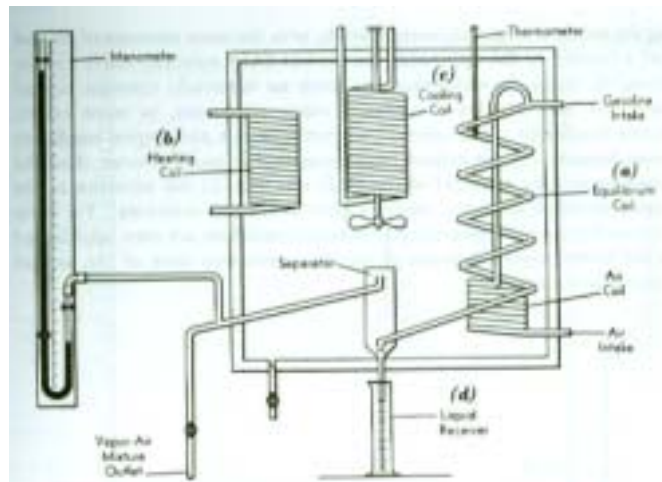
Gambar 2.2. Peralatan uji destilasi ASTM

Sumber : Obert, Internal Combustion Engine and Air Pollution, Harper & Row Publisher, Inc , 1974

Distilasi ASTM tidak dapat dihubungkan secara langsung dengan performa bahan bakar dalam mesin karena kondisi *manifold* mesin tidak diperhitungkan dalam prosedur ASTM (Obert, 1975). Dalam distilasi ASTM bahan bakar diuapkan dalam lingkungan uap bahan bakar itu sendiri, tetapi dalam *engine manifold* bahan bakar diuapkan dalam lingkungan udara tidak hanya uap bahan bakar tersebut. Alat pengujian yang mensimulasikan kondisi mesin tersebut dibuat oleh Bridgeman dan Brown, dan prosesnya disebut *equilibrium air distillation (EAD)*.

Peralatan tes *EAD* dapat dilihat seperti gambar 2.3. Sejumlah bahan bakar dan udara yang tertentu jumlahnya dilewatkan dalam *equilibrium coil (coil a)*, dimana kondisinya dibuat konstan dengan menggunakan *heater coil (heater b)* atau dengan menggunakan *cooling coil (cooler c)*. Panjang dari lintasan (*coil*) menjamin bahwa proses penguapan akan tercapai dalam keadaan konstan atau seimbang. Pada *liquid receiver (receiver d)* bahan bakar yang tidak menguap dapat diukur, dan jumlah bahan bakar yang menguap dapat diukur. Meskipun *carburetor* memiliki perbandingan udara – bahan bakar yang konstan tetapi kurva *volatility – temperature* dari udara – bahan bakar hanya untuk beberapa kondisi mesin Perbedaan antara test dengan kondisi mesin timbul karena : *engine intake manifold* lebih pendek daripada *long cooper –*

*tube manifold* pada *EAD* dan kecepatan dari *engine manifold* seringkali lebih besar dari pada kecepatan saat tes.



Gambar 2.3. Peralatan uji equilibrium air distillation (EAD).

Sumber : Obert, Internal Combustion Engine and Air Pollution, Harper & Row Publisher, Inc , 1974

Cara lain yang digunakan untuk mengukur *volatility* adalah dengan mengukur tekanan uap (*Reid Vapor Pressure ASTM D – 323*). Selain itu, pengukuran *volatility* dapat digunakan *vapor / liquid ratio (V/L)*.



Gambar 2.4. Peralatan uji tekanan uap Reid (RVP)

Sumber : Obert, Internal Combustion Engine and Air Pollution, Harper & Row Publisher, Inc , 1974

*Volatility* merupakan salah satu sifat yang penting dari bensin, hal itu karena berkaitan dengan operasional dan perawatan dari mesin, antara lain

- *Starting dan warm up.*

Agar mudah dalam starting, sangat dibutuhkan bensin yang dapat tervaporisasi saat *starting temperature*. Untuk itu bensin harus memiliki tekanan uap (RVP) dan *initial boiling point (IBP)* yang cukup baik. Selama mesin dalam proses *warm up*, temperatur akan akan meningkat secara cepat hingga mencapai temperatur operasional dari mesin. Agar proses *warm up* dapat berlangsung dengan baik, maka dibutuhkan temperature destilasi yang rendah dari bahan bakar. Campuran yang mudah terbakar dari udara dan uap bahan bakar harus ada dalam silinder saat akan dinyalakan. Ketika mesin dalam keadaan dingin, maka digunakan katup *choke* untuk jadi campuran kaya disuplai oleh *carburetor*.

Ada beberapa factor yang berhubungan dengan disain mesin dan kualitas bahan bakar yang mempengaruhi kemudahan starting. Faktor kritis adalah kecepatan pengengkolan (*cranking speed*) dan derajat atomisasi dari bahan bakar dalam *carburetor*. *Cranking speed* yang tinggi akan menyebabkan udara bergerak menuju *carburetor* dengan kecepatan tinggi dan hal ini akan membuat atomisasi yang efisien dari bahan bakar dalam *carburetor* dan inlet manifold. *Cranking speed* yang tinggi juga meningkatkan frekuensi kompresi dimana hal ini akan menghasilkan panas dan membantu dalam engine warming up. Kondisi *battery* juga penting saat *cold starting*, efisiensi dari *battery* turun dengan menurunnya temperature. Sistem pengapian adalah faktor signifikan lainnya hal itu perlu karena untuk memberi busi energi yang cukup untuk menyalakan campuran udara – bahan bakar. Aspek yang lain adalah pelumasan yang tepat, jadi pada saat cuaca dingin *cranking speed* dapat berada dalam kondisi yang optimal.

Kontribusi dari bahan bakar terhadap kemudahan starting merupakan hal yang kecil dibandingkan dengan factor mechanical dan lubricant seperti tersebut diatas (Hobson, 1984). Bahan bakar dibutuhkan

untuk memiliki *volatility* yang tinggi untuk memberikan uap yang cukup dibawah kondisi yang tidak memungkinkan untuk memberikan campuran yang mudah terbakar.

Saat mesin dingin diperlukan campuran bensin dan udara yang cukup mudah terbakar. Choke didisain untuk menambahkan bensin 10 – 20 kali lebih banyak dengan tujuan agar terjadi penguapan sehingga mesin dapat dinyalakan. Untuk itu secara kasar 10% bensin harus teruapkan untuk memberi kemudahan dalam starting. Kontrol dari *volatility* yang diinginkan untuk starting ditunjukkan dengan temperature destilasi pada 10% bensin yang teruapkan (Gutrie, 1960). Temperature destilasi dari 10% penguapan secara umum digunakan untuk referensi untuk mengevaluasi kualitas penyalaan (*quality starting*) dari bahan bakar bensin (Gruse, 1960).

- *Operating range performance, acceleration, and distribution*

Hal ini membutuhkan bensin dengan temperatur destilasi yang rendah dalam *range* operasional mesin disamping vaporisasi yang baik dari bensin. Vaporisasi yang baik mendasari untuk terciptanya distribusi bahan bakar yang *uniform* dalam silinder dan akselerasi yang lebih baik dengan berkurangnya jumlah bahan bakar dalam bentuk cair yang berada pada *intake manifold*. Akselerasi dan fleksibilitas dalam daya keluaran dipengaruhi oleh *volatility* dari bahan bakar yang didestilasi selama berada pada bagian tengah dari kurva destilasi (Gruse, 1960).

- *Carburetor icing.*

*Carburetor icing* sebenarnya baru saja dianggap sebagai suatu masalah. Ketika *gasoline* diinjeksikan dari *nozzle carburetor* kedalam laju aliran udara, sebagian akan mengalami penguapan dan akan mengambil sebagian panas dari udara dan mendinginkan aliran. Jika temperature udara yang masuk ke dalam *carburetor* rendah tidak jauh dari titik bekunya dan memiliki kelembaban yang tinggi, es akan terbentuk pada *throttle plate* dan bagian – bagian yang berhubungan dengan itu.

*Carburetor icing* dapat terjadi pada saat yang dingin, hari yang berkabut pada *ambient temperature* kira – kira 50°F dan kelembaban relative (RH) kira – kira 70 %. Hal ini terjadi hanya sebelum mesin dipanasi (*engine warm up*). *Carburetor icing* dapat dihilangkan dengan mengatur *volatility* dari *gasoline*. Selain itu beberapa mesin didisain dengan menambahkan panas pada bagian – bagian kritis dari *carburetor throttles body*, atau dengan menambahkan additive pada *gasoline* (Gutrie, 1960). Pengendalian dari *carburetor icing* dilakukan dengan mengkombinasikan sifat *volatility* dengan anti icing additive. Kebanyakan parameter *volatility* bahan bakar yang berhubungan dengan kecenderungan terjadinya *carburetor icing* adalah *temperature* saat 50% terevaporasi (Hobson, 1984).

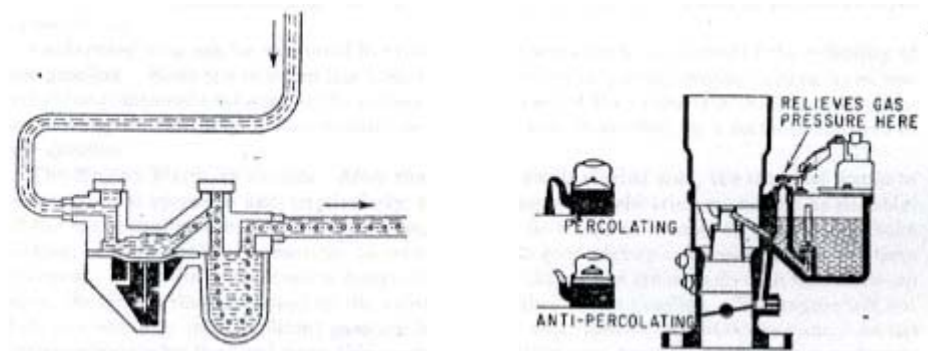
- *Vapor lock*.

Bahan bakar sebaiknya memiliki tekanan uap yang rendah pada saat berada pada *fuel – line temperature* untuk mencegah terjadinya vaporisasi pada saluran masuk dan *carburetor* dimana hal ini dapat mencegah atau mengurangi aliran dari bahan bakar (Obert, 1975).

*Vapor lock* merupakan kejadian bahan bakar yang terhalang gelembung – gelembung uap sehingga sulit melalui saluran bahan bakar. Ketika *volatility* dari *gasoline* terlalu tinggi dan atau ketika kondisi dari *temperature* tinggi serta tekanan rendah, maka gelembung – gelembung dari uap *gasoline* akan terbentuk pada titik kritis pada system bahan bakar (Hobson, 1984). *Vapor lock* memiliki efek yang tidak dikehendaki dalam pengoperasian mesin karena mesin susah dihidupkan. Hal itu dapat mengakibatkan mesin tersendat – sendat saat mesin panas dalam kondisi idle.

Dalam buku *petroleum product hand book*, Gutrie (1970) mengatakan *vapor lock* merupakan masalah yang kompleks, pada kenyataannya masalah yang kompleks merupakan efek dari *gasoline* yang mendidih dan membentuk uap ditempat – tempat dalam system bahan bakar antara tanki dan *nozzle* pada bagian *discharge* dalam *carburator*.

Pendidihan dapat terjadi pada saluran ke pompa, bagian pompa, saluran antara pompa ke *carburetor*, dan dalam bagian mangkuk dari *carburetor*, atau seringkali terjadi dalam saluran suplay bahan bakar dari *carburetor*. Jika *vapor* terjadi dalam lokasi – lokasi ini, maka akan mengganggu aliran dari bahan bakar. Campuran udara bahan bakar yang disuplay dalam silinder tidak akan cukup (terlalu miskin), mesin akan mengalami penurunan daya, atau bahkan akan sulit untuk dihidupkan.



a. Skema fuel pump vapor lock

b. Carburetor percolating akibat vapor lock

Gambar 2.5. Macam – macam vapor lock

Sumber : Gutrie, *Petroleum Product Handbook*, New – York, Mc – Graw Hill, 1960

Menurut Gutrie (1970) dalam *petroleum product handbook*, disebutkan ada 2 bentuk dari *vapor lock*. Pertama, gelembung – gelembung terjadi pada saluran mulai dari bagian belakang tangki hingga ke pompa bahan bakar. Gelembung akan mengganggu laju aliran bahan bakar ke *carburetor*. Pompa bahan bakar dapat mengatasi hal ini dengan tetap memompakan bahan bakar. Dalam kenyataannya pada hari – hari biasa pompa dapat mengatasi antara 20 hingga 30 volume uap pada setiap unit bahan bakar cair tanpa menyebabkan kesulitan yang besar. Diatas level tersebut maka akan sedikit bahan bakar dalam fasa cair yang dapat disuplai untuk tetap menjaga campuran udara bahan bakar yang cukup untuk dapat menjalankan mesin sebagaimana mestinya. Jenis kedua adalah disebut

dengan *percolation*, apabila terlalu banyak vapor yang terbentuk dalam mangkuk *carburetor*, celah yang tersedia tidak mampu mengatasi. Tekanan akan naik untuk mendorong bahan bakar dan kelebihan bahan bakar akan dipaksa untuk keluar dari *nozzle*, hal ini akan menyebabkan campuran terlalu kaya dan mesin akan susah dihidupkan.

Hal yang sering menyebabkan *vapor lock* adalah setelah mengendarai dengan kecepatan tinggi pada hari yang panas dan kemudian berhenti pada traffic light atau berhenti dalam waktu lama. Ketika berhenti, maka laju *gasoline* akan bergerak perlahan – lahan bahkan berhenti, dan sirkulasi udara didalam akan terputus dan ruang akan panas. *Gasoline* dalam sistem bahan bakar akan ikut memanas, dan jika temperaturnya cukup tinggi pendidihan akan terjadi dan vapor akan terbentuk.

Tekanan uap merupakan kunci untuk *vapor lock* (Gutrie, 1960). Kecenderungan terjadinya *vapor lock* adalah tergantung dari titik didih dari *gasoline*, atau diwujudkan dalam hal yang lain yaitu pada tekanan uap dari *gasoline* pada temperature tertentu.

- *Crankcase dilution.*

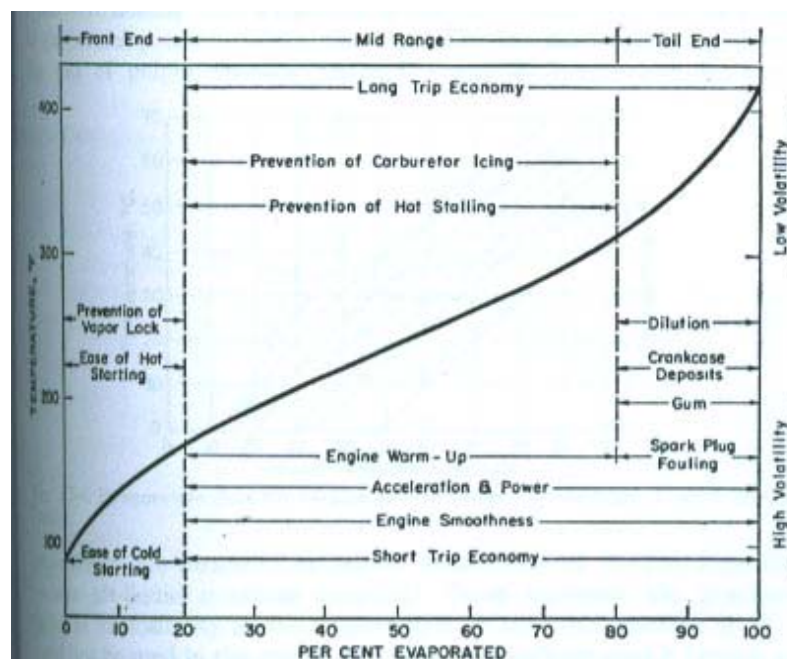
Pengenceran (*dilution*) dari minyak pelumas (*oil lube*) dapat terjadi ketika bahan bakar terkondensasi atau gagal untuk menguap di dalam mesin, untuk itu dibutuhkan *range* temperatur penguapan yang rendah dari bahan bakar.

Untuk *volatility* pada bagian akhir (*end part*) biasa dikontrol dengan menggunakan 90% *distillation temperature* dan *final boiling point* (FBP) (Hobson, 1984), hal ini dapat menyebabkan terjadinya pengenceran lapisan oli pada *crankcase* (*crankcase oil dilution*). Kejadian ini dapat menyebabkan terucinya pelumas dari dinding silinder saat *gasoline* mencapai silinder dalam fase liquid, dan dari bagian yang memiliki titik didih dari bahan bakar tersebut, bersama – sama terkondensasi dan jatuh dalam *crankcase* (Hobson, 1984).

*Dilution* juga dapat dikurangi dengan pengoperasian dengan menggunakan campuran dan silinder blok yang bersuhu tinggi. Dengan suhu campuran yang tinggi memastikan campuran yang kering akan masuk kedalam silinder. Dan temperature silinder yang tinggi mencegah terjadinya kondensasi.

Bagaimanapun juga *gum deposit* dalam *intake manifold* dari hasil oksidasi bahan bakar akan meningkat dengan meningkatnya temperatur dari *manifold*, temperatur campuran yang tinggi juga dapat meningkatkan jumlah *pre-flame reaction* dalam langkah kompresi dan meningkatkan kecenderungan *autoignation* dari bahan bakar, sebagai tambahan efisiensi volumetric akan menurun dan tenaga yang dihasilkan akan berkurang.

Karena alasan ini, hal yang lebih disukai adalah bagian akhir (*end part*) dari bahan bakar dapat menguap dengan mudah pada temperature yang relatif rendah daripada untuk memaksakan penguapan dengan meningkatkan temperatur dari campuran udara – bahan bakar.



Gambar 2.6. Pengaruh range daerah pada kurva destilasi pada mesin

Sumber : Gruse, Chemical Technology of Petroleum, New – York, Mc – Graw Hill, 1960

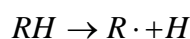
### 2.2.1.3 Gum deposits

*Gum* atau getah purwa merupakan kerak yang dibentuk oleh *gasoline* yang teroksidasi, getah purwa ini dapat dijumpai pada *gasoline* yang telah disimpan dalam waktu yang lama, adanya getah purwa ini dapat menyumbat saluran – saluran bahan bakar. Temperatur *manifold* yang tinggi dapat meningkatkan deposit pada *intake valve* dan ruang bakar. Campuran yang kaya secara umum menyebabkan *engine deposit* yang lebih besar. *Engine deposit* meningkat secara tajam saat kandungan *gum* meningkat dari 0 hingga 7 atau 10mg. (Nelson, 1964).

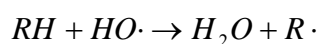
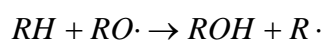
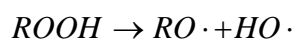
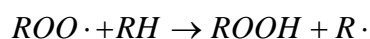
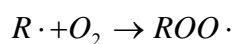
*Gasoline* sering kali disimpan untuk jangka waktu yang lama. Dalam penyimpanan *gasoline* dialirkan dalam *storage tank* dan akan mengalami kontak dengan udara sekitar. Selama dari *fuel tank* hingga ke ruang bakar, *gasoline* akan bercampur dengan udara dan dapat menimbulkan efek dari panas. *Gasoline* yang tidak stabil akan mengalami reaksi oksidasi / polimerisasi dalam kondisi seperti ini, dan membentuk *gum* (Hobson, 1984). Ini akan membentuk *olefinic material*, karena karakter *unsaturated* menjadikan *olefinic* reaktif dari pada yang lain, dan reaksi kimia dipercepat oleh sinar dan panas. Ini akan menjadi reaksi berantai yang diawali dengan pembentukan *peroxide* dan kemudian dikatalisasi dengan adanya material logam.

Secara umum dipercaya bahwa oksidasi hidrokarbon terjadi secara berantai melibatkan pembentukan radikal peroksida berlangsung dalam tahapan:

- *Initiation*, langkah ini sulit untuk dijelaskan, tetapi diasumsikan bahwa rantai radikal terjadi karena energi dalam yang besar dari molekul



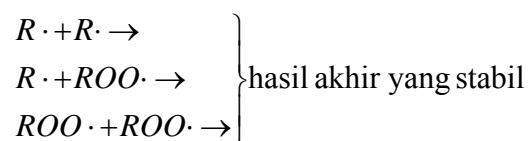
- *Propagation*, reaksi dipercayai berlangsung dengan langkah :



*Alkyl hydroperoxide* pecah membentuk radikal tambahan lainnya, dan kemudian kembali bereaksi dengan hidrokarbon baru dan akan

membentuk reaksi baru secara berantai (rantai cabang) dan membentuk suplai tambahan baru radikal hidrokarbon ( $R\cdot$ ).

- *Termination*, radikal – radikal berada dalam reaksi oksidasi akan mengalami pemecahan, ketika radikal – radikal itu bertemu maka reaksinya akan melemah. Pemecahan radikal dimungkinkan terjadi sesuai pola :



Pengujian stabilitas pada *gasoline* ditujukan untuk melihat kestabilan *gasoline* sehingga tidak mudah membentuk *gum*. Pengujian stabilitas dalam *gasoline* dapat digunakan 2 cara yaitu pengujian *gum content* dan pengujian periode induksi. *Gum content* menggunakan standar ASTM D – 381 sedangkan periode induksi menggunakan ASTM D – 525

#### 2.2.1.4 Sulfur content

Adanya belerang merupakan hal yang tidak diinginkan dalam *gasoline*, hal ini dikarenakan belerang mengakibatkan korosi pada mesin. Dalam pengolahannya, dilakukan *gasoline sweetening*. Hal ini bertujuan untuk mengolah *gasoline* agar kandungan belerangnya rendah bahkan hilang. Adanya kandungan belerang atau sulfur dalam *gasoline* dapat dilihat secara kualitatif dan kuantitatif. Secara kualitatif adalah pengujian yang digunakan untuk menunjukkan ada atau tidaknya belerang dalam bensin. Sedang pengujian secara kuantitatif digunakan untuk menunjukkan seberapa banyak jumlah belerang yang terkandung dalam *gasoline*.

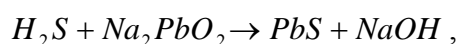
Pengujian secara kuantitatif dapat dilakukan dengan *sulfur content*. Pengujian ini dilakukan secara kimia. Pengujian secara kualitatif dapat dilakukan dengan uji doctor. Pengujian ini menggunakan standar IP – 30, pengujian ini dilakukan dengan menggunakan larutan doctor (*natrium plumbit*  $Na_2PbO_2$ ).

Dalam pengujian ini dilakukan untuk mengidentifikasi adanya belerang dalam bentuk *marcaptan* (RSH) dan  $H_2S$ .

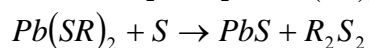
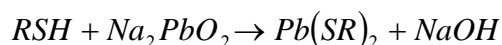
Larutan doctor pada intinya adalah  $Na_2PbO_2$ , larutan ini dapat dibuat dengan reaksi  $2NaOH + PbO \rightarrow Na_2PbO_2 + H_2O$ . Atau dengan  $2NaOH + (CH_3COO)_2Pb \rightarrow Na_2PbO_2 + 2CH_3COOH$ .

Reaksi yang terjadi hingga terbentuk endapan hitam adalah :

Jika mengandung  $H_2S$ , maka larutan doctor akan bereaksi



Jika mengandung mercaptan (RSH) maka larutan doctor akan bereaksi membentuk  $Pb(SR)_2$ , kemudian bila ditambah sulfur maka akan timbul endapan warna hitam / coklat. Reaksi lengkapnya adalah :



PbS merupakan endapan yang berwarna hitam kecoklatan.

#### 2.2.1.5 Anti knock quality

*Gasoline* digunakan dalam mesin dengan penyalaan busi, umumnya adalah jenis mesin dengan menggunakan torak, dalam mesin bensin dikenal istilah rasio kompresi. Rasio kompresi merupakan perbandingan antara volume silinder maksimum dengan volume silinder minimum. Efisiensi dari mesin bensin akan meningkat dengan meningkatkan rasio kompresi, tetapi dengan meningkatkan rasio kompresi yang berlebih maka bahan bakar akan terbakar dengan sendirinya disertai suara yang keras sebelum busi nyala, hal ini dikenal dengan istilah knocking. Agar efisiensi mesin dapat naik dengan menaikkan rasio kompresi maka bahan bakar harus memiliki sifat anti knock yang baik.

Sifat anti knock dari bahan bakar berbeda antara satu dengan yang lain, hal ini karena komposisi hidrokarbon penyusunnya yang berbeda – beda. Hidrokarbon jenis *iso paraffin* memiliki angka oktan yang lebih tinggi dibanding rangkaian *n – paraffin*. *Aromatic* memiliki angka oktan yang relatif tinggi dibandingkan *iso paraffin*.

Jenis *crude oil* berpengaruh terhadap jenis hidrokarbon penyusunnya. *Crude oil* dari satu daerah memiliki kandungan hidrokarbon yang berbeda dengan daerah lain, sehingga meskipun hasil pengolahan menghasilkan sama – sama *gasoline* tetapi akan memiliki kandungan yang berbeda. Akibat jenis hidrokarbon yang berbeda maka nilai oktan yang dihasilkan akan berbeda pula.

Jenis – jenis proses pengolahan *gasoline* berpengaruh terhadap jenis – jenis hidrokarbon yang terbentuk. Sebagai contoh proses *catalytic cracking* akan cenderung menghasilkan *gasoline* dengan nilai oktan yang tinggi, ini karena dengan proses katalik *cracking* akan banyak dihasilkan hidrokarbon jenis aromatic. Jenis proses yang lain akan menghasilkan jenis hidrokarbon dominan yang lain pula sehingga memiliki nilai oktan yang lain..

Sebagai bahan tambahan untuk mencegah knocking maka pada *gasoline* jenis premium dilakukan penambahan TEL  $Pb(C_2H_5)_4$  (*tetra ethyl lead*). Fungsi TEL adalah untuk menghentikan reaksi oksidasi berantai pembakaran hidrokarbon yang menghasilkan peroksida, naiknya temperatur dan tekanan udara akibat naiknya rasio kompresi menyebabkan terbakarnya peroksida sehingga terjadi knocking.

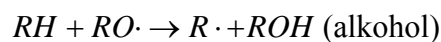
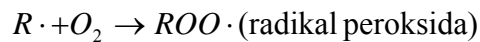
Reaksi bahan bakar saat terjadi oksidasi diyakini berlangsung sebagai berikut, komposisi bensin terdiri dari hidrokarbon *paraffin*, *iso paraffin*, olefin dan aromatik.

Parafin	$C_n H_{2n+1} - H$	R – H
Iso parafin	$C_n H_{2n+1} - H$	R – H
Olefin	$C_n H_{2n-1} - H$	R – H
Napthen	$C_n H_{2n-1} - H$	R – H
Aromatik	$C_n H_{2n-2} - H$	R – H

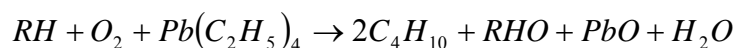
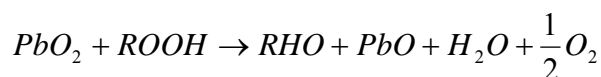
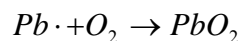
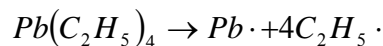
Pada pembakaran



$R\cdot$  adalah radikal yaitu gugusan atom yang tidak berdiri sendiri, karena sangat reaktif. Proses pembentukan radikal bebas pada pembakaran bensin adalah



Pembentukan radikal peroksida ( $ROO\cdot$ ) menyebabkan terjadinya ketukan. Penambahan TEL dalam bensin dimaksudkan untuk menghentikan reaksi berantai pembentukan radikal peroksida diyakini berlangsung sebagai berikut.



RH merupakan bensin  $O_2$  merupakan udara pembakaran dan  $Pb(C_2H_5)_4$  adalah TEL.

Selain itu timbal yang terdapat dalam TEL juga berfungsi untuk pelumas. Untuk jenis pertamax dan pertamax plus untuk meningkatkan nilai oktan maka dilakukan dengan blending bahan baku pertamax (*gasoline* yang diambil dari hasil proses konversi seperti *cracking*, *reforming*, sintesa, dll) dengan *HOMC*.

Angka oktan bensin adalah salah satu karakter yang menunjukkan mutu bakar dari bensin, yang dalam prakteknya menunjukkan tahanan terhadap ketukan. Suatu bensin harus mempunyai mutu bakar yang baik agar motor dapat

beroperasi dengan mulus, efisien dan bebas dari pembakaran tidak normal selama pemakainya.

Kendaraan – kendaraan berbeda – beda dalam merespon parameter oktan dan pada level mutu oktan yang dibutuhkan tidak terjadi ketukan. Ada atau tidaknya ketukan ditentukan oleh 2 faktor (Pallawagau La Puppung, 2004). Pertama adalah mutu anti ketuk dari bensin yang digunakan, dan yang kedua adalah faktor kebutuhan angka oktan mesin.

Angka oktan bensin dapat tergantung dari komposisi hidrokarbonnya dan dapat dinaikkan dengan menambahkan *additive octane booster*.

Setiap kendaraan mempunyai kebutuhan angka oktan tertentu. Kebutuhan angka oktan kendaraan bermotor bensin tidak sama antara satu merk dengan merk lainnya atau antara satu tipe dengan tipe lainnya untuk merk yang sama. Seperti diuraikan sebelumnya bahwa angka oktan adalah mutu bakar bensin yang menunjukkan kemampuan ketahanan bensin terhadap tekanan dan panas untuk tidak terbakar sendiri (Mardono, 2001).

Tinggi rendahnya tekanan dan temperatur didalam ruang bakar terutama dipengaruhi oleh rancangan perbandingan kompresi mesin. Factor rancangan mesin yang berpengaruh pada kebutuhan angka oktan bahan bakar bensin yang digunakan adalah perbandingan kompresi, bentuk ruang bakar, konfigurasi mesin, seperti rancangan system katup, system pemasukan bahan bakar, serta system pendinginan.

Dalam penelitiannya, “kebutuhan angka oktan bahan bakar bensin untuk kendaraan bermotor di Indonesia sesuai rekomendasi pabrik”, Mardono (2001) menyatakan dari survey data kebutuhan angka oktan kendaraan di Indonesia diperoleh 1.616.480 kendaraan atau 66,8% populasi yang terdiri dari 17 merk dan lebih 120 tipe mesin yang merekomendasikan kebutuhan tingkat oktan bahan bakar bensin dari 85 RON hingga 95 RON. Setiap periode tertentu misalnya dua sampai lima tahun sekali perlu dihitung kembali kebutuhan angka oktan kendaraan bermotor di Indonesia sesuai dengan perkembangan mesin kendaraan dan populasi kendaraan saat itu untuk memberi masukan ke Pemerintah dalam penetapan spesifikasi bahan bakar bensin dan masukan ke

produsen bahan bakar bensin dalam menetapkan mutu produknya untuk kepuasan pelanggan.

Salah satu sifat penting yang harus dimiliki oleh bahan bakar bensin pada waktu proses pembakaran dalam mesin kendaraan bermotor jenis *spark ignition engine* ialah mengatasi terjadinya ketukan atau knocking (Widjoseno Kaslan, 1990). Sifat anti ketuk dari bahan bakar bensin ditunjukkan oleh bilangan oktan bahan bakar tersebut.

Bilangan oktan bahan bakar bensin diukur di laboratorium dengan mesin standar khusus dinamakan mesin CFR (*cooperative fuel reseach engine*) dengan menggunakan metode uji tertentu.

Untuk bahan bakar bensin kendaraan bermotor mobil (*mogas*) ada dua metode pengukuran, yaitu :

- Metode riset (CFR F1) yang hasilnya dinamakan bilangan oktan riset atau *research octane number* (RON) dengan metode ukur yang digunakan adalah ASTM D 2699.
- Metode motor (CFR F2) yang hasilnya dinamakan bilangan oktan motor atau *motor octane number* (MON) dengan metode ukur yang digunakan adalah ASTM D 2700.

Bilangan oktan diukur dengan membandingkan kecenderungan bahan bakar tersebut untuk mengalami intensitas ketukan yang sama dengan bahan bakar rujukan yang terdiri dari campuran *iso octan* dan *n – heptan*. Tingginya bilangan oktan bahan bakar dinyatakan dalam persentase perbandingan dalam volume campuran *iso octan* dan *n – heptan*.

Jadi jika suatu bahan bakar bensin mempunyai bilangan oktan 90 RON berarti bahan bakar tersebut memiliki sifat *antiknock* yang sama dengan campuran *iso octan* 90% dan *n – heptan* 10% yang diukur dengan metode uji riset, begitu pula jika bahan bakar memiliki bilangan oktan 82 MON berarti bahan bakar tersebut memiliki sifat antiknock yang sama dengan campuran 82% iso oktan dan 18% *n – heptan* yang diukur dengan metode uji motor.

Metode riset mengukur bilangan oktan bahan bakar pada konisi operasi sedang, sedangkan metode motor mengukur bilangan oktan bahan bakar pada

kondisi lebih berat yang menggambarkan kecenderungan bahan bakar mengalami knock pada kondisi yang lebih berat dan kecepatan tinggi. Di Indonesia angka oktan bensin yang disyaratkan dalam spesifikasi adalah angka oktan riset (RON).

## 2.3. Motor pembakaran dalam

### 2.3.1. Karakter penting dari suatu motor pembakaran dalam

Faktor – factor penting bagi pengguna motor pembakaran dalam adalah (Heywood, 1988):

- Performa mesin dalam range operasionalnya.
- Konsumsi bahan bakar dalam range operasional serta biaya dari bahan bakar yang digunakan.
- Tingkat kebisingan dan emisi yang dihasilkan dalam range operasional.
- Biaya awal (initial cost) dari mesin dan instalasinya.
- Reliabilitas dan durabilitas dari mesin, perawatan yang diperlukan, dan bagaimana pengaruhnya terhadap kemampuan mesin serta biaya operasionalnya.

Performa mesin lebih tepat didefinisikan sebagai (Heywood, 1988, p 43):

- Power maksimum (atau torsi maksimum) yang didapatkan pada tiap kecepatan dalam range operasional mesin yang bermanfaat.
- Range dari kecepatan dan power yang dihasilkan mesin saat beroperasi dengan memuaskan

Performa mesin dilihat dari power, torsi, efisiensi, konsumsi bahan bakar yang dihasilkan dari mesin.

- Power, torsi dan efisiensi mekanik.

Power atau daya yang dihasilkan mesin disebut *brake horse power* (bhp) atau disebut daya keluaran poros (*shaft horse power*). Daya total actual yang dihasilkan oleh piston dalam mesin disebut *indicated horse power* (ihp). Daya yang terindikasi dari pembakaran bahan bakar di dalam mesin tidak semuanya digunakan menggerakkan mesin, tetapi ada yang

hilang akibat gesekan, daya yang hilang akibat gesekan ini disebut friction horse power (fhp).

$$ihp = bhp + fhp \quad (2.10)$$

Perbandingan antara daya yang digunakan untuk menggerakkan mesin (bhp) dengan daya indikasi hasil pembakaran bahan bakar (ihp) dikenal dengan efisiensi mekanik

$$\eta_m = \frac{bhp}{ihp} = \frac{ihp - fhp}{ihp} = 1 - \frac{fhp}{ihp} \quad (2.11)$$

Pengukuran daya keluaran poros dilakukan dengan bantuan *dynamometer*, daya keluaran poros yang berputar (rotor) dihubungkan ke stator pada *dynamometer*. Pada saat rotor berputar menempuh satu putaran ( $2\pi r$ ) dengan gaya  $f$ , maka kerja yang dihasilkan adalah  $W = 2\pi rf$  nilai momen aksi dari rotor  $rf$  sama dengan nilai momen reaksi stator yaitu sebesar  $PR$  dimana  $P$  merupakan gaya yang terbaca dalam alat ukur dan  $R$  adalah lengan *dynamometer* sehingga  $W = 2\pi PR$ . Bila mesin berputar dengan  $N$  putaran, maka kerja persatuan waktu atau daya adalah :

$$\dot{W}(\text{watt}) = 2\pi PRN \quad (2.12)$$

$$hp = \frac{2\pi PRN}{33.000} \quad (2.13)$$

bila dikaitkan dengan nilai torsi

$$T = PR \quad (2.14)$$

$$hp = \frac{2\pi TN}{33.000} \quad (2.15)$$

– Mean effectif pressure.

*Brake mean effectif pressure* (BMEP) didefinisikan tekanan teoritis yang constant yang dihasilkan selama langkah kerja dari mesin untuk menghasilkan daya yang sama dengan bhp.

Besar *brake mean effective pressure* (BMEP) dinyatakan dengan persamaan :

$$BMEP = \frac{75.BHP}{A.L \left[ \frac{N}{Z.60} \right] i} \quad (2.16)$$

Dimana :

BMEP = Tekanan efektif rata-rata.

N = putaran rpm.

A = Luas penampang piston

L = Panjang langkah piston.

Z = Untuk mesin 2 langkah = 1

= Untuk mesin 4 langkah = 2

I = Jumlah silinder

– Konsumsi bahan bakar spesifik dan efisiensi termal.

*Specific fuel consumption* (sfc) didefinisikan sebagai banyaknya laju bahan bakar yang digunakan tiap daya output

$$sfc = \frac{\dot{m}_{fuel}}{\dot{W}} = \frac{\rho v}{\dot{W}_t} \quad (2.17)$$

Efisiensi termal merupakan perbandingan antara kerja netto dengan panas yang disuplay dari bahan bakar

$$\eta_t = \frac{W}{Q} = \frac{\dot{W}}{\dot{m}_{fuel}(LHV)} = \frac{1}{(sfc)(LHV)} \quad (2.18)$$

dimana LHV adalah nilai pembakaran bawah dari bahan bakar

$$LHV = (16610 + 40.^\circ API) \times 555,361552 \text{ kal/kg} \quad (2.19)$$

– Air fuel ratio.

Merupakan perbandingan udara dengan bahan bakar yang sangat berguna untuk mendefinisikan kondisi operasional mesin

$$AFR = \frac{\dot{m}_{air}}{\dot{m}_{fuel}} \quad (2.20)$$

– Berat dan volume spesifik.

Berat spesifik merupakan perbandingan berat total mesin dengan laju daya yang dihasilkan, sedangkan volume spesifik merupakan perbandingan volume total mesin dengan laju daya yang dihasilkan

$$spfc.weight = \frac{engine\ weight}{rated\ power} \quad (2.21)$$

$$spfc.volume = \frac{engine\ volume}{rated\ power} \quad (2.22)$$

– Efisiensi volumetrik

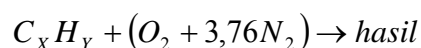
Efisiensi volumetric berkaitan dengan pemasukan udara kedalam mesin, nilai efisiensi volumetric didefinisikan sebagai perbandingan massa udara actual yang masuk kedalam mesin dengan massa udara teoritis yang diperlukan untuk mengisi *piston displacement*.

$$\eta_v = \frac{m_{actual}}{m_{theory}} \quad (2.23)$$

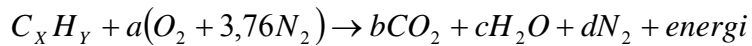
Dari parameter – parameter diatas, hubungan – hubungan antar parameter tersebut menggambarkan hubungan penting yang secara langsung berkaitan dengan performa dari mesin (Heywood, 1988)

### 2.3.2. Reaksi pembakaran

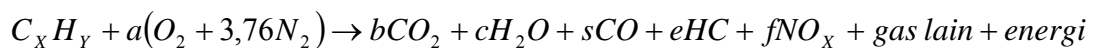
Secara umum elemen yang mudah terbakar dalam bahan bakar sebagian besar adalah *carbon* dan *hydrogen* serta sedikit *sulfur*. Secara teoritis pembakaran berlangsung dengan menggunakan oksigen. Tetapi dalam kenyataannya pembakaran berlangsung dengan udara dan bukan dengan oksigen murni. Prosentase gas – gas dalam udara yang paling dominant adalah oksigen dan nitrogen, dimana perbandingan oksigen dengan nitrogen adalah  $O_2 : N_2 = 1 : 3,76$ . Sehingga secara umum reaksi pembakaran hidrokarbon dapat ditulis sebagai berikut :



Apabila pembakaran berlangsung secara sempurna, maka reaksi pembakaran adalah sebagai berikut :



Dalam kenyataannya pembakaran sempurna sangat sulit dicapai, sehingga pembakaran yang terjadi adalah pembakaran tidak sempurna, reaksi pembakarannya adalah sebagai berikut:



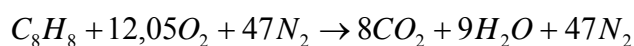
Nilai dari X dan Y pada hidrokarbon C<sub>x</sub>H<sub>y</sub> tidak dapat dijadikan pedoman terhadap jenis hidrokarbon tersebut. Hal ini karena dalam bensin terdapat bermacam – macam jenis hidrokarbon mulai jenis paraffin, olefin, hingga jenis *aromatic*. Nilai X dan Y hanya menunjukkan jumlah total atom *carbon* dan jumlah total *hydrogen* yang terkandung dalam hidrokarbon tersebut

Kesempurnaan pembakaran dapat didekati dari beberapa faktor yaitu pencampuran yang *homogen*, udara pembakaran yang lebih, temperature pembakaran yang tepat, waktu pembakaran yang tepat, serta *density* udara dan bahan bakar yang tepat. Secara keseluruhan cara yang sering digunakan adalah dengan memasukan udara pembakaran yang berlebih. Faktor kelebihan udara ( $\lambda$ ) menyatakan perbandingan udara yang harus disediakan (*actual*) terhadap udara yang dibutuhkan secara teoritis. Secara matematis factor kelebihan udara dirumuskan dengan persamaan.

$$\lambda = \frac{AFR_{actual}}{AFR_{teoritis}} \quad (2.23)$$

Dimana AFR merupakan perbandingan massa antara udara dan bahan bakar, AFR teoritis untuk pembakaran bahan bakar bensin adalah 15. Nilai ini didapatkan dengan asumsi bensin yang dipakai adalah C<sub>8</sub>H<sub>8</sub>

Dalam proses pembakaran yang sempurna (teoritis) dari bahan bakar bensin (C<sub>8</sub>H<sub>8</sub>) selalu membutuhkan sejumlah udara tertentu agar bahan bakar dapat dibakar secara sempurna. Persamaan reaksi kimia pembakaran secara lengkap dapat dituliskan :



perbandingan udara bahan bakar (AFR) ideal (teoritis) dinyatakan dengan

$$AFR = \frac{1716gr}{114gr} = 15$$

Harga perbandingan ini disebut dengan perbandingan stoikiometri, yang menyatakan kebutuhan udara minimum untuk pembakaran sempurna suatu bahan bakar.

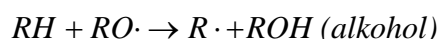
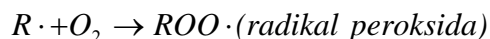
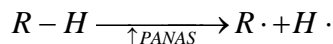
Faktor kelebihan udara ( $\lambda$ ) menyatakan perbandingan udara yang harus disediakan (*actual*) terhadap udara yang dibutuhkan secara teoritis. Misalnya  $\lambda = 1,2$  maka menunjukkan bahwa udara yang direncanakan adalah 20% melebihi perbandingan teoritisnya.

Campuran kaya dan campuran miskin dari udara – bahan bakar berpengaruh terhadap pembakaran. Bila dihubungkan dengan keterangan diatas bahwa salah satu cara untuk menuju pembakaran sempurna adalah dengan memasukan udara berlebih. Campuran yang miskin memiliki udara yang lebih banyak dan bahan bakar yang sedikit. Dengan sedikitnya bahan bakar yang dibakar menyebabkan energi yang dihasilkan berkurang meskipun panas pembakaran meningkat akibat dari peningkatan jumlah udara pembakaran. Campuran kaya memiliki jumlah bahan bakar yang banyak dan jumlah udara yang lebih sedikit. Dengan sedikitnya jumlah udara pembakaran maka panas pembakaran yang dihasilkan berkurang. Dan memungkinkan terjadi kejadian dimana sebagian bahan bakar yang tidak ikut terbakar. Dengan bahan bakar yang banyak maka konsumsi bahan bakar akan bertambah.

### 2.3.3. Kimia Pembakaran

Reaksi pembakaran pada dasarnya adalah reaksi oksidasi yang disertai dengan naiknya temperature dan tekanan sehingga menghasilkan energi dan disertai timbulnya ledakan. Dalam kenyataannya, reaksi pembakaran yang terjadi sesungguhnya tidak diketahui secara pasti. Dalam reaksi oksidasi pembakaran bahan bakar diyakini rangkaian hidrokarbon terkena energi yang tinggi (contoh percikan listrik dari busi pada mesin bensin) akan pecah menjadi alkyl – alkylnya. Kemudian alkyl yang terbentuk bercampur dengan udara sehingga terbentuk peroksida. Adanya peroksida membuat timbulnya reaksi berantai yang cenderung

eksplosive sehingga dapat menimbulkan knocking. Reaksi bahan bakar saat terjadi oksidasi diyakini berlangsung sebagai berikut, komposisi bahan bakar terdiri dari hidrokarbon *paraffin*, *iso paraffin*, olefin dan aromatik memiliki rumus umum  $R - H$ .



#### 2.3.4. Gas Buang Hasil Pembakaran

Pada proses pembakaran bahan bakar selalu dibutuhkan sejumlah udara tertentu agar bahan bakar dapat terbakar secara sempurna. Jika pembakaran berlangsung dalam kondisi kekurangan oksigen (yang didapatkan dari udara) maka sifat campuran udara – bahan bakarnya dikatakan kaya, dan sebaliknya bila kelebihan oksigen maka dikatakan campuran miskin. Kondisi campuran baik kaya atau miskin dapat mengakibatkan pembakaran tidak sempurna.

Gas yang dihasilkan dari pembakaran yang tidak sempurna ini yang menyebabkan polusi udara, seperti karbon monoksida yang merupakan gas yang sangat peracun, dimana gas ini terbentuk akibat kekurangan unsur oksigen, sejumlah 0,03% atau 300 ppm karbonmonoksida pada udara yang dihisap oleh manusia selama setengah jam berturut-turut. Pada putaran idle konsentrasi karbon monoksida pada gas buang semakin tinggi, hal ini disebabkan pada putaran idle campuran lebih kaya campuran.

*Hydrocarbon (HC)*, dihasilkan dari bahan bakar yang tidak terbakar di ruang bakar. Hidrokarbon terdapat pada gas buang tidak hanya pada campuran kaya, tetapi juga pada campuran miskin. Bahkan sejumlah hidrokarbon selalu terdapat pada peristiwa penguapan bahan bakar, di tangki bahan bakar, dan dari kebocoran gas yang melalui ruang utama antara silinder dari torak masuk ke dalam poros engkol, yang disebut gas lalu, (blow by gas). Jumlah hidrokarbon yang belum terbakar tergantung pada keadaan waktu motor beroperasi. Pada saat

berputar stasioner 17%, pada saat akselerasi 7%, pada kecepatan normal 13%, dan pada saat dilakukan pengereman 63%. Pada kondisi hampa didalam silinder dan katup gas tertutup, jumlah hidrokarbon akan banyak sekali. Pada saat dilakukan pengereman kondisi hampa dibawah katup gas lebih besar dibandingkan kondisi stasioner, sehingga prosentase hidrokarbon pada kondisi pengereman sangat tinggi.

*Nitrogenoksid ( $NO_x$ )* pada gas buang terutama dihasilkan pada suhu pembakaran tinggi, hal ini pada umumnya terjadi pada campuran miskin (kelebihan udara). Konsentrasi nitrogenoksid akan maksimum jika konsentrasi karbonmonoksida dan hidrokarbon minimum. Nitrogenoksid jika dipaparkan ke udara bebas mengakibatkan sesak napas terutama pada penderita penyakit asma. Disamping itu juga menyebabkan timbulnya kabut atau asap.

Untuk menganalisa persamaan reaksi pembakaran, dapat digunakan metode diantaranya adalah kesetimbangan karbon, dan kesetimbangan karbon – hydrogen.

#### Kesetimbangan karbon

Merupakan metode yang paling mudah digunakan. Pada metode ini komposisi bahan bakar sudah diketahui. Nitrogen pada produk dihitung dari

100% - (jumlah % produk lain). Rasio nitrogen terhadap oksigen  $\frac{N_2}{O_2} = 3,764$ .

Jumlah molekul bahan bakar tidak diketahui dan diasumsikan  $\zeta$ .

#### Kesetimbangan karbon – hydrogen

Kesetimbangan karbon – hydrogen terutama digunakan jika komposisi bahan bakar tidak diketahui dan tidak dapat diestimasi melalui metode kesetimbangan karbon maupun kesetimbangan hydrogen secara terpisah. Yang dapat dilakukan adalah menggabungkan kedua metode kesetimbangan tersebut yaitu metode karbon – hydrogen.

## 2.4. Pencemaran Udara

### 2.4.1. Pengertian Umum Pencemaran Udara

Udara mempunyai arti yang sangat penting didalam kehidupan makhluk hidup dan keberadaan benda – benda lainnya. Sehingga udara merupakan sumber daya alam yang harus dilindungi untuk hidup dan kehidupan manusia dan makhluk hidup lainnya. Hal ini berarti bahwa pemanfaatannya harus dilakukan secara bijaksana dengan memperhitungkan kepentingan generasi sekarang dan yang akan datang. Untuk mendapatkan udara sesuai dengan tingkat kualitas yang diinginkan maka pengendalian pencemaran udara menjadi sangat penting untuk dilakukan.

Pencemaran udara diartikan dengan turunnya kualitas udara sehingga udara mengalami penurunan mutu dalam penggunaannya yang akhirnya tidak dapat digunakan lagi sebagaimana mestinya sesuai dengan fungsinya.

Menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia nomor 41 tahun 1999 (Pemerintah Republik Indonesia, Kementrian Lingkungan Hidup, 2004):

*Pencemaran udara adalah masuknya atau dimasukkannya zat, energi, dan /atau komponen lain ke dalam udara ambient oleh kegiatan manusia, sehingga mutu udara ambient turun sampai ke tingkat tertentu yang disebabkan udara ambient tidak dapat memenuhi fungsinya.*

Dalam pencemaran udara selalu terkait dengan sumber yang menghasilkan pencemaran udara yaitu sumber yang bergerak (umumnya kendaraan bermotor), dan sumber yang tidak bergerak (umumnya kegiatan industri) sedangkan pengendaliannya selalu terkait dengan serangkaian kegiatan pengendalian yang bermuara dari batasan baku mutu udara. Dengan adanya tolok ukur baku mutu udara maka akan dapat dilakukan penyusunan dan penetapan kegiatan pengendalian pencemaran. Disamping sumber bergerak dan sumber tidak bergerak, terdapat emisi yang spesifik yang penanganan upaya pengendalannya masih belum ada acuan baik ditingkat nasional maupun internasional. Sumber emisi ini adalah pesawat terbang, kapal laut, kereta api, dan kendaraan berat spesifik lainnya.

#### 2.4.2. Komposisi Udara Atmosfir

Udara adalah suatu campuran gas yang terdapat pada lapisan yang mengelilingi bumi. Komposisi campuran gas tersebut tidak selalu konstan. Komponen yang konsentrasinya paling bervariasi adalah air dalam bentuk uap H<sub>2</sub>O dan karbondioksida (CO<sub>2</sub>). Jumlah uap air yang terdapat diudara bervariasi tergantung dari cuaca dan suhu.

Udara atmosfer 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 % volume 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>2</sub>, dan lain – lain (Pertamina, 2003).

Komposisi udara kering, dimana semua uap air telah dihilangkan relative konstan (Philip Kristanto, 2002). Komposisi udara atmosfer kering dan bersih dapat dilihat pada tabel :

Tabel 2.1. Komposisi udara atmosfer kering dan bersih.

Komponen	Formula	% volume	Ppm
Nitrogen	N <sub>2</sub>	78,08	780800
Oksigen	O <sub>2</sub>	20,95	209500
Argon	Ar	0,934	9340
Karbondioksida	CO <sub>2</sub>	0,0314	314
Neon	Ne	0,00182	18
Helium	He	0,000524	5
Metana	CH <sub>4</sub>	0,0002	2
Krypton	Kr	0,000114	1

Sumber : Philip Kristanto, Ekologi Industri, LPPM Universitas Kristen Petra – Andi, 2002

### 2.4.3. Emisi, dan Pencemar Udara

#### - Emisi

Seringkali emisi disamakan dengan polutan oleh masyarakat, pada prinsipnya emisi dapat menjadi polutan atau pencemar. Menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia nomor 41 tahun 1999 (Pemerintah Republik Indonesia, Kementrian Lingkungan Hidup, 2004):

- *Emisi adalah zat, energi dan/atau komponen lain yang dihasilkan dari suatu kegiatan yang masuk dan/atau dimasukkannya ke dalam udara ambient yang mempunyai dan/atau tidak mempunyai potensi sebagai unsur pencemar.*
- *Mutu emisi adalah emisi yang boleh dibuang oleh suatu kegiatan ke udara ambient*
- *Sumber – sumber emisi adalah setiap usaha dan/atau kegiatan yang mengeluarkan emisi dari sumber bergerak, sumber bergerak spesifik, sumber tidak bergerak, maupun sumber tidak bergerak spesifik.*

Dari pengertian tersebut maka emisi dapat tidak mencemari udara ambient dan bisa menjadi pencemar diudara bila melebihi batas yang telah ditentukan. Untuk mencegah agar emisi tidak menjadi pencemar di udara maka sumber – sumber emisi harus memperhatikan mutu dari emisi yang dihasilkannya. Ini merupakan hal yang perlu diperhatikan agar emisi yang dikeluarkan dapat dibuang dengan aman. Apabila emisi melebihi batas yang ditentukan, maka emisi dapat menjadi pencemar diudara.

#### - Pencemar Udara

Pencemar udara primer, yaitu semua pencemar di udara yang ada dalam bentuk yang hampir tidak berubah, sama seperti pada saat dibebaskan dari sumbernya sebagai hasil dari suatu proses tertentu. Pencemar udara primer, yang mencakup 90% dari jumlah pencemar di udara seluruhnya, umumnya berasal dari sumber – sumber yang diakibatkan oleh aktivitas manusia, seperti dari industri dan sector transportasi. Dari seluruh pencemar primer tersebut, sumber pencemar yang utama berasal dari sector transportasi, yang memberikan andil sebesar 60% dari pencemaran udara total.

Pencemar udara primer dapat digolongkan menjadi :

- Karbonmonoksida (CO).
- Nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>).
- Hidrokarbon (HC).
- Sulfur oksida (SO<sub>x</sub>).
- Partikel

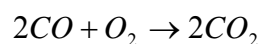
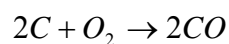
#### *Karbon monoksida (CO)*

Karbon monoksida (CO) merupakan suatu komponen gas tidak berwarna, tidak berbau dan tidak mempunyai rasa. Komponen ini mempunyai berat sebesar 96,5 % dari berat air dan tidak larut di dalam air.

Karbon monoksida yang terdapat di alam terbentuk dari salah satu proses sebagai berikut

- Pembakaran tidak sempurna terhadap karbon atau komponen yang mengandung karbon.

Oksidasi yang tidak sempurna terhadap karbon atau komponen yang mengandung karbon terjadi jika jumlah oksigen yang tersedia kurang dari jumlah yang dibutuhkan untuk pembakaran sempurna di mana dihasilkan karbon dioksida. Pembakaran karbon dalam bahan bakar terjadi melalui beberapa tahap sebagai berikut :

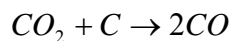


Reaksi pertama berlangsung sepuluh kali lebih cepat daripada reaksi kedua. Oleh karena itu CO merupakan intermediate pada reaksi pembakaran tersebut dan merupakan produk akhir jika O<sub>2</sub> tidak cukup untuk melangsungkan reaksi kedua. CO juga merupakan produk akhir walaupun jumlah oksigen di dalam campuran udara bahan bakar cukup tetapi antara udara dan bahan bakar tersebut tidak tercampur secara homogen. Pencampuran yang tidak homogen antara udara dan bahan bakar menghasilkan beberapa tempat atau area yang kekurangan oksigen. Semakin rendah perbandingan komposisi antara udara dan bahan bakar,

semakin tinggi jumlah karbon monoksida yang dihasilkan dari proses pembakaran.

- Reaksi antara karbon dioksida dan komponen yang mengandung karbon pada suhu tinggi.

Reaksi antara karbon dioksida dan komponen yang mengandung karbon pada suhu tinggi dapat menghasilkan karbon monoksida melalui reaksi



Reaksi ini sering terjadi pada suhu tinggi, yang umum biasanya terdapat pada industri – industri, misalnya pada pembakaran didalam furnace

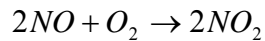
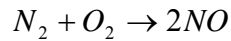
- Pada suhu tinggi, karbon dioksida akan terurai menjadi karbon monoksida dan atom O

Pada kondisi dimana jumlah oksigen cukup untuk melakukan pembakaran sempurna terhadap karbon, kadang – kadang terbentuk juga CO. Keadaan ini disebabkan pada suhu tinggi  $CO_2$  akan terdesosiasi menjadi CO dan O

#### *Nitrogen oksida (NOx)*

Nitrogen oksida (NOx) adalah kelompok gas yang terdapat I atmosfer, terdiri dari gas nitrit oksida (NO) dan nitrogen dioksida ( $NO_2$ ). Walaupun bentuk nitrogen oksida lainnya ada, tetapi kedua gas ini paling banyak dijumpai sebagai polutan udara. NO merupakan gas yang tidak berwarna dan tidak berbau, sebaliknya  $NO_2$  mempunyai warna coklat kemerahan dan berbau tajam.

Oksida yang lebih rendah yaitu NO, terdapat di atmosfer dalam jumlah lebih besar daripada  $NO_2$ . Pembentukan NO dan  $NO_2$  mencakup reaksi antara nitrogen dan oksigen diudara sehingga membentuk NO, kemudian reaksi selanjutnya antara NO dengan lebih banyak oksigen membentuk  $NO_2$  melalui reaksi berikut :



Udara mengandung sekitar 80% volume nitrogen dan 20% volume oksigen. Pada suhu kamar kedua gas ini hanya mempunyai sedikit kecenderungan untuk bereaksi satu sama lain. Pada suhu yang lebih tinggi (di atas 1210°C) keduanya dapat bereaksi membentuk nitrid oksida dalam jumlah yang tinggi sehingga menyebabkan pencemaran udara. Dalam suatu proses pembakaran, suhu yang digunakan berkisar 1210 – 1765°C. Dengan adanya udara, reaksi ini merupakan sumber NO yang penting. Jadi reaksi pembentukan NO merupakan hasil samping dari proses pembakaran

*Nitrogenoksid (NO<sub>x</sub>)* pada gas buang terutama dihasilkan pada suhu pembakaran tinggi, Nitrogenoksid jika dipaparkan ke udara bebas mengakibatkan sesak napas terutama pada penderita penyakit asma. Disamping itu juga menyebabkan timbulnya kabut atau asap.

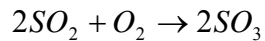
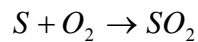
#### *Hydrocarbon (HC)*

Komponen hidrokarbon hanya terdiri oleh komponen hydrogen dan carbon. Berdasarkan struktur molekulnya, hidrokarbon dapat dibedakan menjadi tiga kelompok yaitu hidrokarbon alifatik, aromatic, dan alisiklis. 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 pada konsentrasi yang terdapat di atmosfer. Hidrokarbon aromatic lebih berbahaya dibandingkan dengan kedua jenis hidrokarbon lainnya.

#### *Sulfur oksida (SO<sub>x</sub>)*

Pencemaran sulfur oksida terutama disebabkan oleh 2 komponen utama yaitu sulfur trioksida SO<sub>3</sub> dan sulfur dioksida SO<sub>2</sub>. Sulfur dioksida mempunyai karakteristik bau yang tajam dan tidak terbakar di udara, sedangkan sulfur trioksida merupakan komponen yang tidak reaktif.

Mekanisme pembentukan SO<sub>x</sub> dapat dituliskan dalam 2 tahap reaksi sebagai berikut :



SO<sub>3</sub> biasanya diproduksi dalam jumlah kecil dalam jumlah kecil selama pembakaran, isebabkan reaksi pembentukan SO<sub>3</sub> berlangsung sangat lambat dan pada suhu yang relative rendah (200°C), tetapi kecepatan reaksi akan meningkat dengan meningkatnya suhu.

Adanya SO<sub>3</sub> di udara dalam bentuk gas hanya mungkin jika konsentrasi uap air sangat rendah. Jika uap air terdapat dalam jumlah cukup, biasanya SO<sub>3</sub> dan air akan segera bergabung membentuk droplet asam sulfat H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

### *Partikel*

Sifat fisik partikel yang terpenting adalah dimensinya yang berkisar antara 2. 10<sup>-4</sup> sampai 500 mikron. Dimensi partikel tersebut berpengaruh terhadap kecepatan pengendapan.

Sifat partikel lainya yang penting adalah sifat optisnya. Sifat optis ini penting dalam penentuan pengaruh partikel atmosfer terhadap radiasi dan visibilitas energi matahari.

Berbagai proses alami misalnya letusan gunung berapi, penyebaran debu serta tanah oleh angin mengakibatkan penyebaran partikel ke atmosfer. Disamping itu aktifitas manusia juga berperan dalam penyebaran partikel, misalnya dalam bentuk partikel debu dan asbestos dari bahan bangunan, asap dari pembakaran tak sempurna terutama batu arang.

Partikel berpengaruh terhadap tanaman terutama karena bentuk debunya, dimana debu tersebut jika bergabung dengan uap air akan membentuk kerak yang tebal pada permukaan daun dan menghalangi proses fotosintesis. Partikel akan berpengaruh pada manusia jika masuk ke dalam tubuh manusia melalui system pernafasan. Factor yang paling berpengaruh terhadap system pernafasan adalah dimensi partikel, karena dimensi partikel akan menentukan seberapa jauh penetrasi partikel dalam system pernafasan.

Dari keterangan tersebut, dapat dirangkum mengenai pencemaran dan akibat pencemaran seperti ditabel berikut.

Tabel 2.2. Pencemaran dan Akibat Utamanya

Pencemaran	Sumber utama di udara	Akibat berbahaya yang utama	catatan
CO	Kendaraan bermotor 56% Pembangkit listrik dsb 44%	Menghalangi pertukaran oksigen dalam darah dan menyebabkan keracunan karbon monoksida, menyebabkan lumpuhnya system syaraf (ambang batas dalam udara adalah 35 ppm dengan perkiraan orang terkontaminasi selama 8 jam perhari (PEL)). Batas maksimal diudara adalah 50 ppm (ACGIH – TLV), pada konsentrasi 500 ppm atau lebih menyebabkan terhambatnya pernapasan dan pusing kepala. Paa konsentrasi maksimum 1500 ppm (IDLH) dapat menyebabkan kematian	
HC	Kendaraan bermotor 57 % kilang minyak, pabrik pengguna solvent dsb 47 %	Melukai lapisan organ saluran pernapasan. Khusus substansi benzene nilai abang batas dalam udara adalah (ACGIH – TLV / PEL = 10 ppm)	Penyebab photochemical smog
NOx	Kendaraan bermotor 57 % pabrik pembangkit tenaga listrik, kilang minyak dsb 51%	Melukai mata, hidung, dan tenggorokan bila lukanya parah dapat menyebabkan pilek, kepala pusing dab kerusakan paru – paru. Pada konsentrasi 3 – 5 ppm berbau tidak enak. Pada 10 – 30 ppm akan melukai mata dan hidung. Konsentrasi 50 ppm (IDLH) merupakan batas maksimal yang membahayakan kesehatan jiwa manusia.	Penyebab utama dari photochemical smog
SO2	Kendaraan bermotor (diesel) 47%	Melukai membrane system pernapasan dan menyebabkan inflamasi saluran napas. Batas aman dalam udara adalah 2 ppm (ACGIH – TLV/ PEL). IDLH = 100 ppm	

Tabel 2.2. Pencemaran dan Akibat Utamanya (Sambungan )

Pence- maran	Sumber utama di udara	Akibat berbahaya yang utama	catatan
Pb	Kendaraan bermotor berbahan bakar premium dan premix 100%	Menyebabkan gangguan mental dan penurunan IQ pada balita, gangguan pencernaan, hipertensi, anemia dan toxic psychosis pada orang dewasa. Nilai ambang batas dalam udara adalah 0,15 ppm (ACGIH – TLV) PEL = 0,05 mg/m <sup>3</sup>	

Sumber : Pertamina, Bahan Bakar Minyak, Elpiji dan BBG, Edisi Mei 2003

*Photochemical smog* : bila HC dan NO<sub>x</sub> berakumulasi pada atmosfer udara dan terhalang sinar matahari, reaksi *photochemical* (cahaya + HC dan NO<sub>x</sub>) terjadi dan menghasilkan berbagai jenis *chemical compound* dan *oxidant* (terutama O<sub>3</sub> yang mempunyai sifat oksidasi sangat kuat) dan menghasilkan fenomena yang dikenal smog atau kabut campur asap, *photochemical smog* ini mengganggu jarak pandang, melukai mata dan diduga keras menyebabkan kanker dan menyebabkan penyakit tumbuh – tumbuhan dalam hutan.

*PEL (Permissible Exposure Limit)* merupakan standar kualitas udara lingkungan yang diperkuat oleh *OSHA (Occupational Safety and Health Administration – USA)*, *PEL* adalah nilai ambang batas kualitas udara yang tidak boleh dilampaui selama 8 jam/hari waktu orang bekerja.

*TLV (Threshold Limit Values)* merupakan kualitas udara lingkungan yang dibuat oleh *ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienist)*. *ACGIH – TLV* adalah nilai ambang batas mulai adanya akibat yang merugikan kesehatan manusia.

*IDLH (Immediately Dangerous to Life or Health)*, menggambarkan konsentrasi maksimal dimana seseorang harus keluar dalam waktu 30 menit tanpa adanya gangguan kesehatan.

#### 2.4.4. Nilai Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor

Berdasarkan keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup no Kep – 35/MENLH/10/1993 tentang ambang batas emisi gas buang 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 (Pemerintah Republik Indonesia, Kementerian Lingkungan Hidup, 2004).

Kandungan CO (carbon monoksida) dan HC (hirokarbon) dan ketebalan asap pada pancaran gas buang :

- a. Sepeda motor 2 (dua) langkah dengan bahan bakar bensin dengan bilangan oktan  $\geq 87$  ditentukan maksimum 4,5% untuk CO dan 3000 ppm untuk HC.
- b. Sepeda motor 4 (empat) langkah dengan bahan bakar bensin dengan bilangan oktan  $\geq 87$  ditentukan 4,5% untuk CO dan 2400 ppm untuk HC.
- c. Kendaraan bermotor selain sepeda motor dengan bahan bakar bensin dengan bilangan oktan  $\geq 87$  ditentukan 4,5% untuk CO dan 1200 ppm untuk HC.
- d. Kendaraan bermotor selain sepeda motor dengan bahan bakar solar / diesel dengan bilangan cetana  $\geq 45$  ditentukan maksimum ekivalen 50% Bosch pada diameter 102 mm atau 25% opasiti untuk ketebalan asap.

Kandungan CO dan HC sebagaimana yang dimaksud diatas diukur pada kondisi percepatan bebas (idling). Sedangkan ketebalan asap gas buang sebagaimana yang dimaksud diatas diukur pada kondisi percepatan bebas.

#### 2.4.5. Indeks Standar Pencemaran Udara

Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU) adalah angka yang tidak mempunyai satuan yang menggambarkan kondisi kualitas udara ambient di lokasi dan waktu tertentu yang didasarkan kepada dampak terhaap kesehatan manusia, nilai estetika dan makhluk hidup lainnya.

ISPU sebagaimana yang dimaksud diatas meliputi partikulat ( $PM_{10}$ ), karbon monoksida (CO), sulfur dioksida ( $SO_2$ ), nitrogen dioksida ( $NO_2$ ), dan ozon

(O<sub>3</sub>). ISPU ditetapkan dengan cara mengubah kadar pencemar udar yang terukur menjadi suatu angka yang tidak berdimensi. Rentang ISPU ditetapkan sebagai berikut :

Tabel 2.3. Rentang Indeks Standar Pencemaran Udara

Kategori	Rentang	Penjelasan
Baik	0 – 50	Tingkat kualitas udara yang tidak memberikan efek bagi kesehatan manusia atau hewan dan tidak berpengaruh pada tumbuhan, bangunan ataupun nilai estetika
Sedang	51 – 100	Tingkat kualitas udara yang tidak berpengaruh pada kesehatan manusia ataupun hewan tetapi berpengaruh pada tumbuhan yang sensitive, dan nilai estetika
Tidak sehat	101 – 199	Tingkat kualitas udara yang bersifat merugikan pada manusia ataupun kelompok hewan yang sensitive atau bisa menimbulkan kerusakan pada tumbuhan ataupun nilai estetika.
Sangat tidak sehat	200 – 299	Tingkat kualitas udara yang dapat merugikan kesehatan pada sejumlah segmen populasi yang terpapar.
Berbahaya	300 – lebih	Tingkat kualitas udara berbahaya yang secara umum dapat merugikan kesehatan yang serius pada populasi.

Sumber: Himpunan Peraturan di Bidang Pengelolaan Lingkungan Hidup dan Penegakan Hukum Lingkungan, Kementrian Lingkungan Hidup, 2004)

Hasil ISPU ini nantinya digunakan untuk bahan informasi kepada masyarakat tentang kualitas udara ambient di lokasi dan waktu tertentu, serta sebagai bahan pertimbangan bagi pemerintah (pusat maupun daerah) dalam melaksanakan pengelolaan dan pengendalian pencemaran udara.

## 2.5. Statistika pengujian

### 2.5.1. Pengujian Statistik dengan Metode *One-Way* ANOVA

ANOVA (*Analysis Of Varians*) adalah metode statistik untuk menentukan atau menguji adanya perbedaan atau tidak di antara beberapa rata-rata populasi berdasarkan dari perbedaan variansnya. Pengujian statistik dengan metode *One-Way* ANOVA digunakan untuk menguji perbedaan pengaruh level faktor dengan berdasarkan hipotesa awal yang menyatakan bahwa tidak ada perbedaan pada pengaruh level faktor tersebut. Berikut hipotesa dari ANOVA:

$H_0$  :  $Treatment\ 1 = Treatment\ 2 = Treatment\ k = 0$

$H_1$  : Paling sedikit ada satu *Treatment* yang berbeda  $\neq 0$

Tabel 2.4. berikut merupakan bentuk umum data untuk dengan  $k$  *treatment*:

Tabel 2.4. Bentuk Umum Data ANOVA *One-Way* dengan  $k$  *Treatment*

	<i>Treatment</i> 1	<i>Treatment</i> 2	...	<i>Treatment</i> k
	$y_{11}$	$y_{12}$	...	$y_{1k}$
	$y_{21}$	$y_{22}$	...	$y_{2k}$
	.	.	...	.
	.	.	...	.
	.	.	...	.
	$y_{n1}$	$y_{n2}$	...	$y_{nk}$
<i>Means</i>	$y_1$	$y_2$	...	$y_k$

Tabel ANOVA *One-Way* untuk  $k$  *Treatment* ditunjukkan pada Tabel 2.5. berikut ini:

Tabel 2.5. Tabel ANOVA *One-Way*

<i>Source of Variation</i>	<i>Sum of Square</i>	<i>Degrees of Freedom</i>	<i>Mean Square</i>	F Ratio
<i>Treatments</i>	$SS_T$	$k-1$	$MS_T$	F Ratio
<i>Error</i>	$SS_E$	$n-k$	$MS_E$	
Total	$SS_{TOT}$	$n-1$	$MS_{TOT}$	

Dalam pengujian hipotesis, pengujian statistik menggunakan *F Ratio* yang kemudian akan dibandingkan dengan nilai dari  $F_{\alpha}(k-1, n-k)$  yang bersesuaian. Analisa hipotesisnya adalah tolak  $H_0$  jika  $F \text{ Ratio} > F_{\alpha}(k-1, n-k)$  dan sebaliknya jika  $F \text{ Ratio} < F_{\alpha}(k-1, n-k)$  maka gagal tolak  $H_0$ .

Untuk perhitungan dalam ANOVA, dapat langsung digunakan *software* yang salah satunya adalah MINITAB. Jadi tidak perlu perhitungan manual, hanya dengan masuk di Stat<ANOVA<*One-Way* di program MINITAB lalu masukkan data maka akan keluar *output* komputer yang sesuai dengan Tabel 2.5. di atas dengan ditambah *P value*. Dengan *P Value* hasil *output* komputer, maka pengujian statistik juga dapat menggunakan *P value* yang kemudian akan dibandingkan dengan nilai dari  $\alpha$  yang ditentukan. Analisa hipotesisnya adalah tolak  $H_0$  jika  $P \text{ value} < \alpha$  dan sebaliknya jika  $P \text{ value} > \alpha$  maka gagal tolak  $H_0$ .