2. LANDASAN TEORI

2.1. Bahan Bakar

Bahan bakar minyak adalah suatu senyawa organik yang dibutuhkan dalam suatu pembakaran dengan tujuan untuk mendapatkan energi/tenaga. Bahan bakar minyak ini merupakan hasil dari proses distilasi minyak bumi (*Crude Oil*) menjadi fraksi-fraksi yang diinginkan.

Meskipun sumber energi ini tidak dapat diperbaharui tetapi sangat memegang peranan penting dalam perekonomian dunia. Banyak sekali penggolongan dari minyak bumi, dimana penggolongan itu mempengaruhi karaktristik dan sifatnya, meski memiliki unsur yang sama yaitu hidrokarbon.

Minyak bumi keluar dari sumur berupa minyak mentah yang harus diolah terlebih dahulu. Pengolahan dapat dilakukan dengan proses secara fisik (distilasi) maupun secara kimia.

2.2. Bahan Bakar Minyak

Premium

Premium adalah bahan bakar jenis distilat berwarna kekuningan yang jernih dan mengandung timbal sebagai *octan booster* (*TEL*). Warna kuning tersebut akibat adanya zat pewarna tambahan (*dye*). Penggunaan Premium pada umumnya adalah untuk bahan bakar kendaraan bermotor bermesin bensin. Bahan bakar ini sering disebut motor *gasoline* atau petrol dan tidak dapat digunakan untuk kendaraan yang dilengkapi *Catalytic Converter* pada sistem gas buangnya.

Pertamax

Pertamax adalah bahan bakar motor *gasoline* tanpa timbal dengan kandungan aditif lengkap generasi mutakhir yang akan membersihkan *Intake Valve Port Fuel Injector* dan ruang bakar dari karbon deposit dan mempunyai RON 92 (*Research Octan Number*) dan dianjurkan juga untuk kendaraan berbahan bakar bensin dengan perbandingan kompresi tinggi.

Pertamax Plus

Pertamax Plus adalah bahan bakar tanpa timbal kendaraan bensin yang dipasarkan dengan warna merah. Pertamax Plus diproduksi dari komponen pilihan jenis *High Octane Mogas Component* (HOMC) yang berkualitas tinggi ditambah aditif generasi mutakhir sesuai kebutuhan pabrikan kendaraan bermotor. Pertamax Plus 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 dikembangkan melalui proses pengolahan secara khusus untuk memperoleh angka oktan yang tinggi. Pertamax Plus mempunyai karakteristik istimewa yaitu angka oktannya minimal RON 95. Angka oktan Pertamax Plus adalah tertinggi dibanding angka oktan Pertamax dan Premium. Dengan karakteristik ini jika dipakai pada mesin dengan rasio kompresi tinggi akan memberikan akselerasi dan tenaga yang optimal, sehingga akan memberikan kenikmatan berkendara bagi pengemudi baik di kondisi lalulintas yang ramai, kemacetan maupun perjalanan jauh.

Pertamax Plus ini direkomendasikan dipakai pada kendaraan dengan dudukan katup gas buang yang terbuat dari metal keras (*Hardenes Exhaust Valve Seats*) dan dilengkapi *Catalytic Converter* agar gas buang kendaraan tidak mencemari lingkungan. Pertamax Plus tidak dianjurkan dipakai untuk kendaraan model lama yang dudukan katupnya (*valve seat*) dari metal lunak yang memerlukan timbal untuk melindungi terhadap keausan yang berlebihan (*VSR = Valve Seat Recession*).

2.3. Karakteristik Bahan Bakar Minyak

Karakteristik bahan bakar minyak yang akan dipakai pada suatu penggunaan tertentu untuk mesin atau peralatan lainnya perlu diketahui terlebih dahulu, dengan maksud agar hasil pembakaran dapat tercapai secara optimal. Secara umum karakteristik bahan bakar minyak yang perlu diketahui adalah sebagai berikut:

a. Berat Jenis (*Specific Gravity*)

Berat jenis adalah suatu angka yang menyatakan perbandingan berat dari bahan bakar minyak pada temperatur tertentu terhadap air pada volume dan temperatur yang sama. Besar nilai berat jenis suatu zat dapat dicari dengan menggunakan *Piknometer*. Penggunaan *specific gravity* adalah untuk mengukur berat/massa minyak bila volumenya telah diketahui. Bahan bakar minyak umumnya mempunyai *specific gravity* antara 0,74 dan 0,96 dengan kata lain bahan bakar minyak lebih ringan daripada air. Di Amerika, *specific gravity* umumnya dinyatakan dengan satuan yang lain yaitu API Gravity (*American Petroleum Institute Gravity*) dengan cara perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$API\ Gravity = \frac{141{,}5}{SpesificGravity(60°F)} - 131{,}5 \qquad (2.1)$$

b. Viskositas (*Viscosity*)

Viskositas adalah suatu angka yang menyatakan besar perlawanan/hambatan dari suatu bahan cair untuk mengalir atau ukuran besarnya tahanan geser dari bahan cair. Makin tinggi viskositas minyak akan makin kental dan lebih sulit mengalir, demikian sebaliknya makin rendah viskositas minyak makin encer dan lebih mudah minyak itu mengalir. Cara mengukur besarnya viskositas adalah tergantung pada alat *Viscometer* yang digunakan, dan hasil (besarnya viskositas) yang didapat harus dibubuhkan nama *viscometer* yang digunakan serta temperatur minyak pada saat pengukuran.

Viskositas bahan bakar minyak sangat penting artinya, terutama bagi mesin-mesin diesel maupun ketel-ketel uap, karena viskositas minyak sangat berkaitan dengan suplai konsumsi bahan bakar ke dalam ruang bakar dan juga sangat berpengaruh terhadap kesempurnaan proses pengkabutan (*atomizing*) bahan bakar melalui injektor.

c. Nilai Kalori (*Calorific Value*)

Nilai kalori adalah suatu angka yang menyatakan jumlah panas/kalori yang dihasilkan dari proses pembakaran sejumlah tertentu bahan bakar dengan udara/oksigen. Nilai kalori bahan bakar minyak umumnya antara 18.300-19.800

BTU/lb atau 10.160-11.000 Kcal/kg. Nilai kalori berbanding terbalik terhadap berat jenis. Pada volume yang sama, semakin besar berat jenis suatu minyak akan semakin rendah nilai kalorinya, demikian sebaliknya semakin rendah berat jenis suatu minyak akan semakin besar nilai kalorinya, sebagai contoh berat jenis minyak Solar lebih besar daripada Premium akan tetapi nilai kalori minyak Solar lebih rendah daripada Premium.

Nilai kalori diperlukan karena dapat digunakan untuk menghitung jumlah konsumsi bahan bakar minyak yang dibutuhkan untuk suatu mesin dalam suatu periode. Nilai kalori umumnya dinyatakan dalam satuan Kcal/kg atau BTU/lb (satuan british). Untuk alasan praktis sering juga digunakan satuan kalori bersih yang besarnya adalah lebih rendah daripada nilai kalori kotor.

d. Kandungan Belerang (*Sulphur Content*)

Semua bahan bakar minyak mengandung belerang/sulfur dalam jumlah yang sangat kecil. Walaupun demikian, berhubung keberadaan belerang ini tidak diharapkan karena sifatnya merusak, maka pembatasan dari jumlah kandungan belerang dalam bahan bakar minyak adalah sangat penting di dalam bahan bakar minyak.

Hal ini disebabkan karena dalam proses pembakaran, belerang ini teroksidasi oleh oksigen menjadi belerang dioksida (SO_2) dan belerang teroksida (SO_3). Oksida belerang ini apabila kontak dengan air merupakan bahan-bahan yang merusak/korosif terhadap logam-logam di dalam ruang bakar dan sistem gas buang.

e. Titik Tuang (*Pour Point*)

Titik tuang adalah suatu angka yang menyatakan suhu terendah dari bahan bakar minyak sehingga bahan bakar tersebut masih dapat mengalir karena gaya gravitasi. Titik tuang ini diperlukan sehubungan dengan adanya persyaratan praktis dari prosedur penimbunan dan pemakaian dari bahan bakar minyak. Hal ini dikarenakan bahan bakar minyak sering sulit untuk di pompa, apabila suhunya telah dibawah titik tuangnya.

f. Titik Nyala (*Flash Point*)

Titik nyala adalah suatu angka yang menyatakan suhu terendah dari bahan bakar minyak dimana akan timbul penyalaan api sesaat, apabila pada permukaan minyak tersebut didekatkan pada nyala api.

Titik nyala ini diperlukan sehubungan dengan adanya pertimbangan-pertimbangan mengenai keamanan dari penimbunan minyak dan pengangkutan bahan bakar minyak terhadap bahaya kebakaran. Titik nyala ini tidak mempunyai pengaruh yang besar dalam persyaratan pemakaian bahan bakar minyak untuk mesin diesel atau ketel uap.

g. Angka Oktan (*Octane Number*)

Angka oktan adalah suatu angka yang menyatakan kemampuan bahan bakar minyak (khususnya mogas) dalam menahan tekanan kompresi untuk mencegah *gasoline* terbakar sebelum busi menyala mencegah terjadinya detonasi (suara menggelitik) di dalam mesin bensin. Angka oktan mewakili suatu perbandingan antara Normal Heptana yang memiliki angka oktan nol dan Iso Oktana yang memiliki angka oktan seratus.

Angka oktan diperlukan karena berhubungan dengan kemajuan teknologi permesinan, yang mempunyai kecenderungan menaikkan perbandingan kompresi untuk meningkatkan *power output*, yang mana membutuhkan *gasoline* dengan angka oktan yang tinggi.

h. Kadar Abu (*Ash Content*)

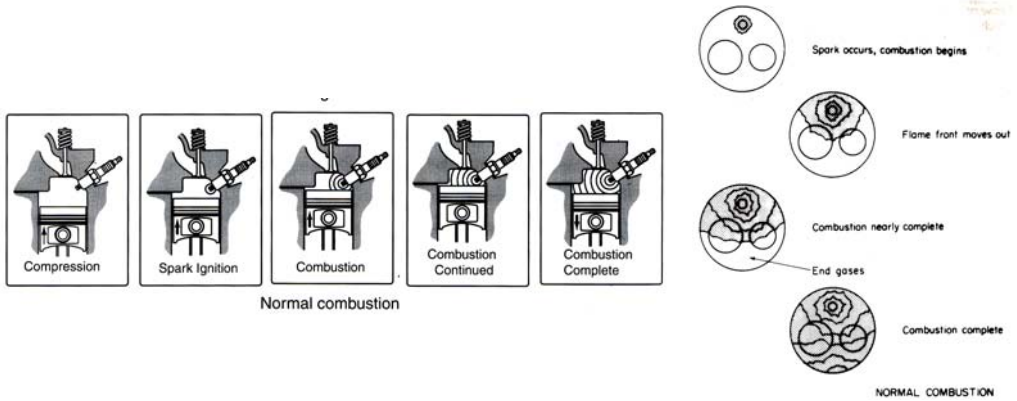
Kadar abu adalah jumlah sisa-sisa dari minyak yang tertinggal, apabila suatu minyak di bakar sampai habis. Kadar abu ini dapat berasal dari minyak bumi sendiri atau akibat kontak di dalam perpipaan dan penimbunan (adanya partikel metal yang tidak terbakar yang terkandung dalam bahan bakar minyak itu sendiri dan yang berasal dari sistem penyaluran/penimbunan).

2.4. Knocking dan Angka Oktan

Knocking atau *detonation* merupakan suatu dampak dari proses pembakaran di dalam ruang bakar yang kurang sempurna. Gejala ini terjadi diakibatkan oleh waktu dari proses pengapian yang tidak tepat sehingga mengakibatkan tenaga

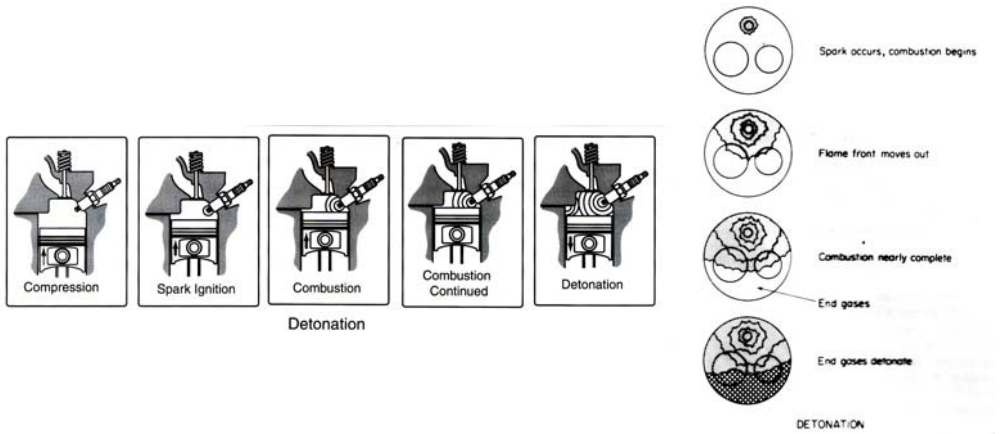
motor menjadi kurang maksimal. Semua proses pembakaran baik pembakaran normal dan tidak normal termasuk *detonation* dan *pre-ignition* dapat dilihat pada gambar 2.1. sampai dengan gambar 2.3.

Pada gambar 2.1. ditunjukkan proses pembakaran normal, dimana penyalaan bunga api terjadi dimulai dari busi sehingga terjadi pembakaran awal dan terus merambat hingga pada bagian terakhir dari campuran bahan bakar – udara yang terletak pada titik terjauh dari letak busi di dalam ruang bakar.



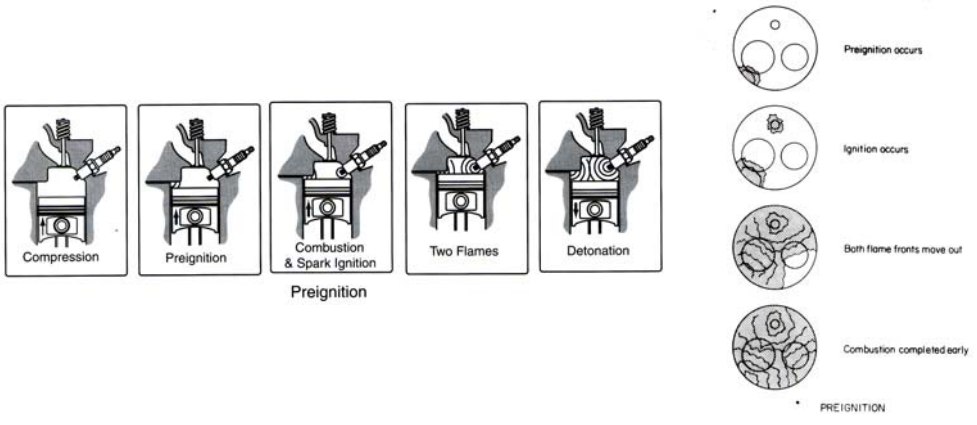
Gambar 2.1. Nyala Api Pembakaran Normal, Ellinger, Herbert E. & Halderman, James D. *Automotive Engines Theory and Servicing*, *2nd edition*. New Jersey: Prentice Hall, Inc. 1991.
Gilles, Tim. *Automotive Engines*: *Diagnosis, Repair, Rebuilding*, *4th edition*. USA: Delmar, Thomson Learning. 2002.

Pada gambar 2.2. ditunjukkan proses pembakaran tidak normal dimana dimulai dari penyalaan awal dari loncatan bunga api busi sehingga menyebabkan campuran bahan bakar – udara yang berada disekitarnya terbakar namun dengan terbakarnya campuran tersebut maka terjadi peningkatan temperatur dan tekanan pada bagian lain di dalam silinder. Karena ada peningkatan temperatur dan tekanan tersebut maka suatu saat terjadi titik penyalaan bahan bakar sendiri sehingga terjadi pembakaran sendiri campuran bahan bakar – udara dan kemudian terjadi pertemuan atau tumbukan antara kedua proses pembakaran tersebut, akibatnya menimbulkan suara berisik dari dalam motor. Kejadian inilah yang disebut *detonation* atau *knocking*.



Gambar 2.2. Nyala Api Selama Terjadi *Detonation*/*Knocking*, Ellinger, Herbert E. & Halderman, James D. *Automotive Engines Theory and Servicing*, *2nd edition*. New Jersey: Prentice Hall, Inc. 1991.
Gilles, Tim. *Automotive Engines*: *Diagnosis, Repair, Rebuilding*, *4th edition*. USA: Delmar, Thomson Learning. 2002

Sedangkan pada gambar 2.3. proses terjadinya *pre-ignition*. Fenomena ini terjadi pada waktu busi belum melakukan loncatan bunga api, namun suhu dan tekanan di dalam silinder motor telah mencapai kondisi dimana campuran bahan bakar – udara dapat terbakar sendiri, kemudian diikuti oleh penyalaan dari loncatan bunga api busi sehingga terjadi tumbukan pembakaran antara kedua proses pembakaran tersebut dan menimbulkan suara ketukan seperti logam di pukul yang biasa disebut ngelitik.



Gambar 2.3. Nyala Api Selama Terjadi *Pre-Ignition*, Ellinger, Herbert E. & Halderman, James D. *Automotive Engines Theory and Servicing*, *2nd edition*. New Jersey: Prentice Hall, Inc. 1991.
Gilles, Tim. *Automotive Engines*: *Diagnosis, Repair, Rebuilding*, *4th edition*. USA: Delmar, Thomson Learning. 2002.

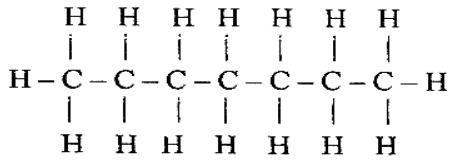
Akibat dari kedua pembakaran yang tidak sempurna tersebut, jika tidak segera diatasi maka akan mengakibatkan rusaknya komponen di dalam motor seperti torak, cincin torak, kepala silinder, dan paking kepala silinder. Selain itu akibat naiknya tekanan dan temperatur pembakaran yang tidak beraturan dan berlebihan maka sebagian besar hasil tenaga pembakarannya akan terbuang tanpa guna, karena terlalu banyak diubah menjadi panas saja, bukan menjadi tenaga mekanis. Jadi selain terjadi penurunan daya dan tidak efisien juga mengakibatkan borosnya bahan bakar.

Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi terjadinya *detonation*/*knocking* antara lain:

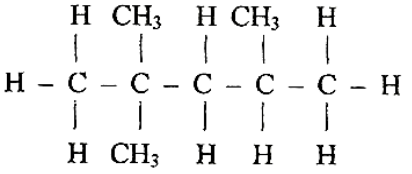
- Karakteristik bahan bakar : struktur molekul, temperatur penyalaan, kecepatan pembakaran.
- Kondisi dalam silinder : A/F *ratio*, suhu campuran, densitas campuran.
- Perbandingan kompresi : tekanan kompresi, suhu kompresi, dilusi, waktu pembukaan dan penutupan katup.
- Penyalaan : lokasi busi dan *timing*.
- Ruang pembakaran : desain, bahan dan kondisi permukaan.

Permasalahan diatas dapat dicegah dengan cara perawatan berkala dari motor bakar seperti *tune-up* atau penyetelan motor baik itu penyetelan kembali posisi pengapiannya dan membersihkan kerak-kerak yang menempel di ruang bakar akibat sisa pembakaran yang tidak sempurna. Selain itu dapat juga diatasi dengan menjaga kualitas bahan bakar yang digunakan. Untuk dapat mengetahui kualitas bahan bakar motor bensin dapat digunakan sebagai acuannya adalah angka oktan.

Bahan bakar standar dengan bilangan oktan 100 (*iso-oktana*) 2-2-4 - *Trimethyl Pentana* (C_8H_{18}) dan bahan bakar standar dengan bilangan oktan 0 adalah *normal-heptana* (C_7H_{16}). Bilangan oktan suatu bahan bakar dapat dicari dengan mesin CFR (*Cooperative Fuel Research*). Mesin CFR adalah peralatan 1 silinder tunggal dengan rasio kompresi yang dapat diatur antara 4:1 hingga 14:1.



Normal-heptana
angka oktan (RON) = 0
titik didih (°C) = 98,4



Iso-oktana (2,2,4 trimethyl-pentana)
angka oktan (RON) = 100
titik didih (°C) = 99,2

Bahan bakar yang bilangan oktannya tidak diketahui di bakar dalam mesin CFR dengan metode uji tertentu. Untuk mengetahui oktan bahan bakar, ada dua metode pengukuran, yaitu:

- *Research method* dengan mesin CFR F-1, yang mana hasil pengukuran dengan metode ini dinamakan *Research Octane Number* (RON) dengan metode ukur yang digunakan adalah ASTM D 2699
- *Motor method* dengan mesin CFR F-2, yang mana hasil pengukuran dengan metode ini dinamakan *Motor Octane Number* (MON) dengan metode ukur yang digunakan adalah ASTM D 2700

Research method biasanya menghasilkan angka oktan yang lebih tinggi 6 sampai 10 angka dibandingkan dengan *motor method*.

RON adalah kemampuan bensin menahan detonasi saat mesin diajak berakselerasi. MON adalah kemampuan bensin menahan detonasi saat mesin berputar pada putaran tinggi. Sedangkan PON (*Pump Octane Number*) merupakan hasil rata-rata dari RON dan MON.

$$PON = \frac{RON + MON}{2} \tag{2.2}$$

Research method menghasilkan gejala *knock* yang lebih sedikit (angka oktan yang lebih tinggi) dibanding *motor method* karena titik penyalaanya tetap sementara *motor method* titik penyalaan yang bermacam-macam serta kecepatan motor yang lebih tinggi. Perbedaan angka oktan yang di dapat dari *research method* dan *motor method* ini disebut kepekaan bahan bakar. Umumnya PON di pakai sebagai standar nilai oktan di Amerika, sedangkan bagian dunia yang lain lebih banyak memakai RON termasuk Indonesia.

Bilangan oktan diukur dengan membandingkan kecenderungan bahan bakar tersebut dalam mengalami intensitas ketukan yang sama dengan bahan bakar rujukan yang terdiri dari campuran iso oktan dan n-heptan. Tingginya bilangan oktan bahan bakar dinyatakan dalam prosentase perbandingan dalam campuran iso oktan dan n-heptan.

Jika bahan bakar yang di uji memiliki oktan sebesar 92 RON, berarti bahan bakar tersebut memiliki sifat *antiknock* yang hampir sama atau mendekati dengan campuran iso oktan 92% dan n-heptan 8% yang diukur sebagai *fuel reference* yang diukur dengan metode uji riset (*research method*). Begitu pula dengan bilangan oktan 88 MON, berarti bahan bakar tersebut memiliki sifat *antiknock* yang hampir sama atau mendekati dengan campuran iso oktan 88% dan n-heptan 12% yang diukur sebagai *fuel reference* yang diukur dengan metode uji motor (*motor method*).

Namun dalam hal ini pengujian dilakukan dengan menggunakan mesin CFR F-1 dimana *sample* yang di uji di bakar di dalam ruang pembakaran dan hasil *knocking* yang terjadi akan terbaca pada *knockmeter*. Pengaturan rasio kompresi dilakukan untuk mencari intensitas ketukan. Intensitas ketukan berharga maksimal bila *knockmeter* menunjukkan angka 50.

Ada dua teknik pengukuran untuk mencari angka oktan yang dapat dilakukan, yaitu:

- *Bracketing Method*, metode ini menggunakan dua macam bahan bakar yang di uji dengan operasi yang sama dan hasilnya dijadikan acuan dan data yang nantinya dipakai dengan cara perhitungan/interpolasi sehingga hasil perhitungan tersebut merupakan oktan dari sampel yang di uji.
- *Compression Ratio Method*, metode ini menggunakan satu bahan bakar yang menjadi *sample* uji saja. Dengan mengatur perbandingan kompresi yang sesuai untuk mendapatkan skala ketukan (*knock*) sehingga diketahui intensitas ketukan yang maksimal yang terbaca pada *knockmeter* dan dengan nilai yang dihasilkan dapat dicocokkan pada tabel untuk di konversikan ke *equivalent octane number* sehingga mendapatkan angka oktan prediksi dari sampel uji bahan bakar.

2.5. Antiknock Compounds

Antiknock compounds merupakan suatu bahan yang digunakan untuk memperbaiki mutu dan kualitas bahan bakar, terutama angka oktan. Terdapat dua tipe *antiknock* sebagai bahan campuran bensin.

2.5.1. Metallic Compounds

Metallic compounds merupakan *antiknock* yang mengandung logam, diantaranya adalah: *tetra ethyl lead* (TEL) rumus kimianya adalah $Pb(C_2H_5)_4$, *tetra methyl lead* (TML) rumus kimianya adalah $Pb(CH_3)_4$, *methylcyclopentadienyl manganese tricarbonyl* (MMT) rumus kimianya adalah $CH_3C_5H_4Mn(CO)_3$. TEL merupakan *antiknock compounds* yang mengandung timbal atau timah hitam (Pb), merupakan cairan berat begitu juga dengan TML yang dapat larut dalam bensin dan berfungsi untuk menaikkan kadar oktan.

Tabel 2.1.

Keefektifan Relativ Antiknock Additive

COMPOUND	FORMULA	RELATIVE EFFECTIVENESS[a]
Aniline	$C_6H_5NH_2$	33.9
Benzene	C_6H_6	332
Toluene	$C_6H_5CH_3$	298
Xylene	$C_6H_4(CH_3)_2$	271
Ethanol	C_2H_5OH	161
Ethyl iodide	C_2H_5I	52.5
Diethyl selenide	$(C_2H_5)_2S_e$	7.25
Diethyl telluride	$(C_2H_5)_2T_e$	2.54
Tetraethyl tin	$(C_2H_5)_4Sn$	22.4
Tetraethyl lead	$(C_2H_5)_4Pb$	1.00
Nickel carbonyl	$Ni(CO)_4$	1.80
Dimethyl cadmium	$(CH_3)_2Cd$	41.7
Titanium tetrachloride	$TiCl_4$	21.7
Monomethylaniline	$C_6H_5NHCH_3$	27.8
Triphenylamine	$(C_6H_5)_3N$	1020.
MMT[b]	$CH_3(C_5H_4MnCO_3$	1.30
Ammonia	NH_3	−67.8
Isopropyl nitrite	$C_3H_7NO_2$	−2.88

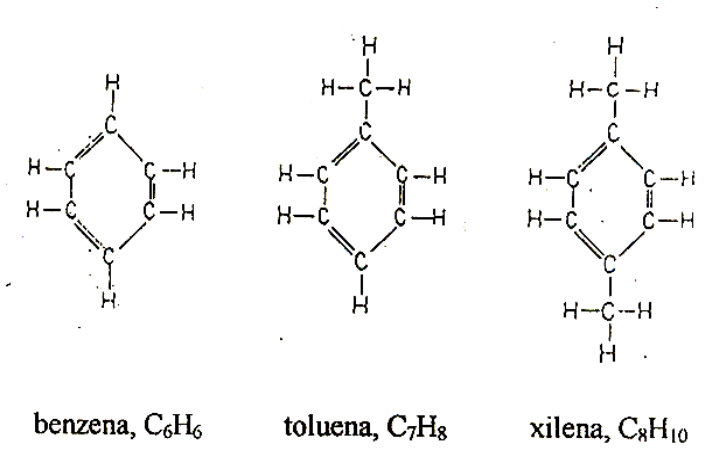
Sumber: Ferguson, Colin R. *Internal-Combustion Engines*: *Applied Thermosciences*. New York: John Willey & Sons, 1986

Namun senyawa timbal di dalam campuran bahan ini dapat berguna sebagai unsur pelumas pada komponen motor di dalam ruang bakar serta untuk mencegah tumbuhnya mikroba atau sifat biosida dalam bensin yang dapat menyebabkan kerusakan pada komponen motor, semisal penyumbatan pada saringan bensin, akan muncul bersama gas buang hasil pembakaran berupa racun toksik. Negara-negara di dunia mulai mengurangi penggunaan Pb sebagai bahan peningkat oktan.

MMT juga dapat menaikkan angka oktan bahkan lebih efektif dibandingkan TEL dan TML tetapi lebih banyak dipakai di industri manufaktur, karena efek racun dari bahan ini mulai ditinggalkan.

2.5.2. Non Metallic Compounds

Non metallic compounds adalah bahan penambah oktan yang tidak mengandung ikatan logam, yang termasuk di dalamnya yaitu: senyawa hidrokarbon aromatik (seri hidrokarbon dengan ikatan rantai tertutup) dan senyawa oksigenat dimana sumber utamanya batubara dan minyak bumi. Hidrokarbon aromatik seperti halnya olefin (seri hidrokarbon dengan satu ikatan rangkap) mempunyai sifat *antiknock* yang baik karena termasuk senyawa siklis dengan enam atom karbon yang saling mengikat dengan ikatan rangkap terkonjugasi dimana setiap atom karbon mengikat satu atom hidrogen, misalnya benzena (C_6H_6), toluene (*metil benzena*), dengan rumus kimia $C_6H_5CH_3$ atau C_7H_8 dan xilena (*dimetil benzena*), dengan rumus kimia $C_6H_4(CH_3)_2$ atau C_8H_{10}.



benzena, C_6H_6 toluena, C_7H_8 xilena, C_8H_{10}

Gambar 2.4. Hidrokarbon Aromatik (C_nH_{2n-6}), Maleev, V. L. *Internal-Combustion Engines*, *2nd edition*. Singapore: McGraw-Hill Companies, Inc. 1973.

Senyawa oksigenat termasuk gugus hidrokarbon yang mengandung oksigen dan merupakan senyawa aditif yang juga baik untuk meningkatkan angka oktan, contohnya alkohol dan ether. Alkohol merupakan turunan rangkaian hidrokarbon alkana dimana sebuah atom hidrogennya digantikan oleh atom OH, dengan rumus R – OH (R adalah gugus alkil yang dinyatakan dengan C_nH_{2n+1}).

Tabel 2.2.

Perbandingan Bensin Dengan Senyawa Oksigenat

	Methanol	Ethanol	TBA	MTBE	Gasoline
Typical $(R + M)/2$ blending value	112	110	98	105	87–93
Weight percent oxygen	50	35	22	18	0
Stoichiometric (A/F)	6.5	9.0	11.2	11.7	14.5
Specific gravity	0.796	0.794	0.791	0.746	0.74
Lower heating value, MJ/kg	20.0	26.8	32.5	35.2	44.0
Latent heat of vaporization, MJ/kg	1.16	0.84	0.57	0.34	0.35
Boiling temperature, °C	65	78	83	55	27–227

TBA, tertiary butyl alcohol; MTBE, methyl teriary butyl ether.

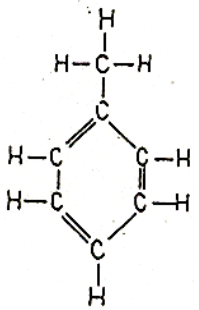
Sumber: Heywood, John B. *Internal-Combustion Engines Fundamentals*. Singapore: McGraw-Hill, 1989

2.6. Toluene

Toluene (hidrokarbon yang diisolasi dari getah tolu) merupakan bahan kimia yang disebut juga *Toluol* atau *Methyl Benzene*. Bahan kimia ini bebas dijual di pasaran karena banyak digunakan sebagai bahan cat maupun pengencernya. Selain fungsi-fungsi tersebut, toluene juga dapat digunakan sebagai *octane improvement* dan pencegah *knocking*, terutama untuk bensin Premium, dimana Premium mempunyai oktan rendah yaitu sekitar 88.

2.6.1. Struktur Kimia Toluene

Toluene adalah merupakan seri hidrokarbon yang termasuk senyawa aromatik. Dengan rumus C_7H_8 dimana molekul toluene terikat satu sama lain sehingga terlihat seperti cincin.



Gambar 2.5. Bentuk Struktur Toluene, Maleev, V. L. *Internal-Combustion Engines*, *2nd edition*. Singapore: McGraw-Hill Companies, Inc. 1973.

Karena bentuk struktur kimia toluene serta sifat kearomatisan tersebut maka toluene seperti halnya *benzena*, yaitu mempunyai sifat *antiknock* yang baik. Hidrokarbon aromatik polisiklik tertentu bersifat karsinogenik (artinya, senyawa tersebut menyebabkan kanker). Benzena sangat beracun bagi manusia dan menyebabkan kerusakan hati yang parah, tetapi toluene, meskipun bukannya tidak berbahaya, jauh kurang beracun. Untuk mengeliminasi benzena dari tubuh, cincin aromatik harus dioksidasi, dan intermediet dari oksidasi ini yang bersifat merusak. Namun, rantai samping metil dari toluene dapat dioksidasi menghasilkan asam benzoat, yang dapat diekskresikan. Intermediet dalam proses ini tidak menimbulkan masalah kesehatan (Hart, Craine, & Hart, 2003).

2.6.2. Karakteristik Toluene

Toluene berbentuk cairan tak berwarna (bening) dan mudah menguap. Bau toluene menyengat, mirip lem karet Aica Aibon. Sifat seperti bensin pada umumnya dan wajib disimpan di tempat aman dari panas dan api.

Kontaminasi udara bebas juga membuat kandungan hidrokarbon di dalamnya rusak dan berubah menjadi air (H_2O). Sehingga tidak baik menyimpannya terlalu lama, karena bisa mengakibatkan kandungan air relatif banyak yang nantinya mengurangi sifat-sifatnya.

Toluene dapat dicampur dengan bensin karena terbuat dari bahan yang sama dengan bensin, sehingga dapat diperkirakan tidak akan menyebabkan kerusakan pada mesin.

Toluene mempunyai derajat sensitivitas bahan bakar yang rendah, dimana semakin rendah nilainya, semakin baik bahan bakar tersebut dipakai pada mesin berasio kompresi tinggi. Sebagai perbandingan, alkohol yang juga dapat digunakan sebagai peningkat oktan mempunyai derajat sensitivitas sebesar 20-30.

Toluene juga mempunyai partikel lebih padat dari bensin biasa, yaitu 0,87 g/ml (toluene) berbanding 0,72-0,74 g/ml (bensin). Oleh karena itu, karakter toluene lebih sulit dikabutkan di ruang bakar. Meski begitu, kandungan energi per unit volumenya juga lebih besar dari bensin. Sehingga ketika di bakar di dalam mesin, toluene mampu menghasilkan energi dan tenaga lebih besar.

Tabel 2.3. Karakteristik Toluene

Property	***Value***
Boiling Point, ˚C	110
Melting Point, ˚C	-60
Vapor Pressure (mmHg/70˚F)	47
Vapor Density (*Air=l*)	3.20
Specific Grafity	0,87
Viscosity (cP at 68˚F)	0,59
Solubility in Water (%)	0,05
Percent Volatiles by Volume	100

Sumber: http://www.temarry.com/MSDS/Toluene msds.htm

Volume toluene yang banyak mengharuskan sistem pengapian atau rasio kompresi ikut dimaksimalkan agar tingkat panas di ruang bakar meningkat. Toluene sebaiknya tidak dipakai sebagai bahan bakar sebanyak 100%. Jika pemakaiannya terlalu banyak dan lama, maka zat ini mampu merusak komponen mesin yang terbuat dari karet seperti slang bensin. Selain itu juga, akibat kadar hidrokarbon yang tinggi dalam toluene berpotensi menimbulkan jelaga hitam di kepala busi.

2.6.3. Kelarutan Toluene

Toluene dapat larut pada bensin Premium karena merupakan sama-sama ikatan hidrokarbon. Penggunaan toluene untuk meningkatkan kualitas bensin

harus dengan komposisi tertentu, karena toluene tidak dapat digunakan 100% sebagai bahan bakar. Untuk komposisi antara toluene dan bensin Premium dengan oktan yang diinginkan dapat dirumuskan:

$$Ob = \frac{(V_P \times O_P) + (V_T \times O_T)}{(V_P + V_T)} \tag{2.3}$$

dimana:

Ob = Nilai oktan bensin Premium + Toluene

V_P = Volume Premium

O_P = Nilai oktan Premium

V_T = Volume Toluene

O_T = Nilai oktan Toluene

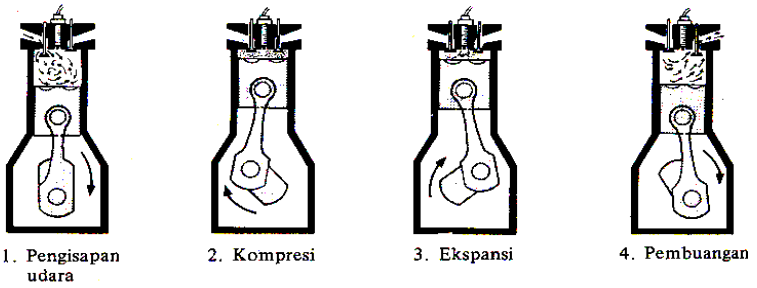
Perlu dilakukan pengujian oktan dari bahan bakar campuran dengan konsentrasi hasil perhitungan dari persamaan, apakah sama atau mendekati dengan hasil perhitungannya.

2.7. Siklus Motor Bakar

Hampir semua motor bakar adalah mesin bolak-balik dengan piston dan silinder. Untuk klasifikasi mesin bolak-balik biasanya menurut langkah kerjanya seperti mesin siklus empat langkah atau biasa disebut mesin empat langkah dan mesin siklus dua langkah atau biasa disebut mesin dua langkah.

Mesin siklus empat langkah membutuhkan empat langkah penuh untuk satu siklus yang sempurna. Langkah pertama diawali dengan pengisapan udara (1) dimana piston turun ke bawah menarik udara melalui katup isap dan mengisi ruang silinder, langkah kompresi (2) dimana naiknya piston menekan udara dengan kedua katup tertutup dan diikuti penyemprotan bahan bakar sesaat sebelum akhir kompresi, ekspansi (3) dimana campuran gas yang terbakar berekspansi mendorong piston turun ke bawah dan ini adalah satu-satunya langkah yang menghasilkan kerja, pembuangan (4) dimana dengan terbukanya katup buang dan naiknya piston ke atas sehingga mendorong sisa pembakaran

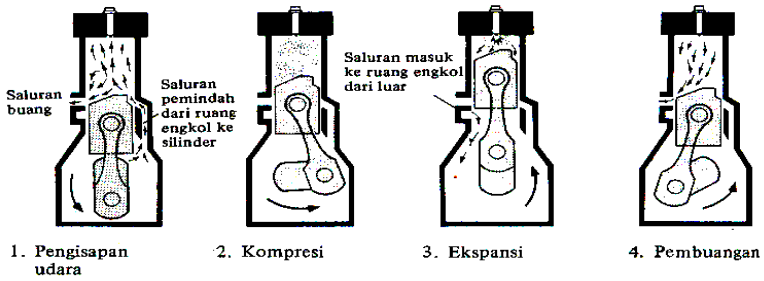
keluar silinder. Setelah siklus pembuangan akan terjadi pengulangan siklus dimulai dari awal lagi.



Gambar 2.6. Motor Bakar, Siklus Empat Langkah, Culp, Jr., Archie W. *Prinsip-Prinsip Konversi Energi*. Indonesia: Erlangga, 1996.

Mesin siklus dua langkah sebenarnya hampir sama dengan mesin siklus empat langkah, hanya terdapat kombinasi dari mesin empat langkah menjadi hanya dua langkah saja. Ketika piston bergerak turun di dalam silinder dalam langkah kerja, lubang pengeluaran semula tidak tertutup dan gas buang bertekanan mulai keluar ke atmosfir. Sementara piston bergerak turun, piston juga menekan campuran oli, gas dan udara di dalam rumah engkol (*crankcase*). Ketika piston terus turun, pintu pemasukan terbuka dan campuran bahan bakar – udara bertekanan masuk ke dalam silinder dari rumah engkol.

Pada langkah kompresi (keatas) piston menutup saluran pemasukan, lalu saluran pengeluaran dan menekan sisa campuran gas sampai busi menyalakan campuran sesaat sebelum titik mati atas. Piston kemudian di tekan turun oleh hasil pembakaran pada langkah kerja berikutnya. Ketika piston berada di dekat titik mati atas, pintu pengeluaran karburator terbuka sehingga sejumlah bahan bakar ditambahkan ke dalam rumah engkol. Dalam sistem ini oli dicampurkan ke dalam bensin untuk melumasi poros engkol dan bantalan. Setiap silinder dalam mesin ini bekerja setiap putaran.



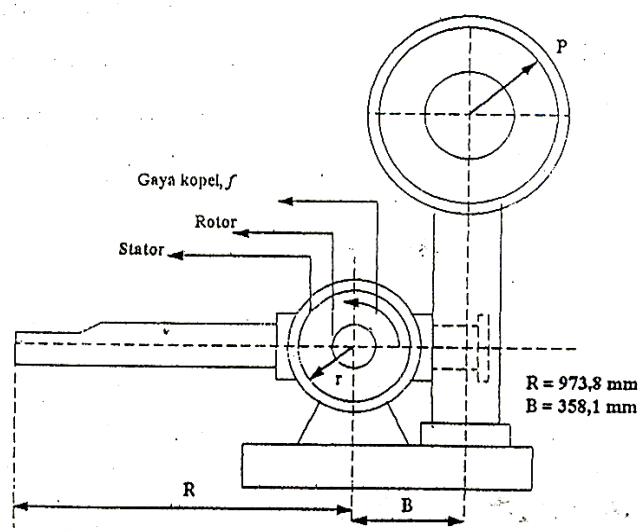
Gambar 2.7. Motor Bakar, Siklus Dua Langkah, Culp, Jr., Archie W. *Prinsip-Prinsip Konversi Energi*. Indonesia: Erlangga, 1996.

Mesin siklus empat langkah dan dua langkah memiliki kelebihan masing-masing. Mesin siklus empat langkah mempunyai kelebihan lebih hemat dalam konsumsi bahan bakar dan pelumasan yang lebih baik, serta pendinginan yang lebih mudah dibanding mesin siklus dua langkah. Tetapi mesin siklus dua langkah juga mempunyai kelebihan, misalnya pergerakan yang lebih sedikit, berat yang lebih ringan, dan operasi yang lebih lancar. Perlu diketahui bahwa ada beberapa mesin dua langkah yang mempunyai katup dan sistem pelumasan tersendiri.

2.7.1. Unjuk Kerja Motor

Untuk mengetahui kualitas suatu motor bakar, banyak sekali parameter yang digunakan yaitu daya (*Brake horse power*) dan torsi, tekanan efektif pengereman rata-rata (*Brake Mean Effective Pressure*), konsumsi bahan bakar spesifik (*Spesific Fuel Consumption*) dan efisiensi thermis.

Daya biasanya diukur menggunakan dengan dinamometer seperti dinamometer listrik, rem air atau rem gesek (*Prony*). Walaupun terdapat berbagai macam dinamometer, tetapi pada dasarnya prinsip kerjanya sama. Dalam pengujian nantinya digunakan salah satu jenis dari dinamometer diatas, yaitu dinamometer rem air.



Gambar 2.8. Dinamometer Rem Air, Modul Praktikum Motor Bakar, Universitas Kristen Petra, 2004.

Dengan memanfaatkan air secara hidrolis, stator yang telah di kopel dengan rotor hasil penghubungan poros dari motor yang akan di uji sehingga kerja per siklus dapat dinyatakan dengan:

$$W = 2\,\pi\, r \times f \tag{2.4}$$

Diameter terluar dari rotor (radius r) akan bergerak sepanjang $2\pi r$ melawan gaya kopel. Kerja W akan diimbangai oleh kerja yang diakibatkan oleh momen luar sebesar $2\pi\, P\, R$, sehingga dihasilkan keseimbangan momen:

$$r \cdot f = P \cdot R \tag{2.5}$$

Jadi, dalam satu siklus poros motor, kerja yang dilakukan $W = 2\pi\, P\, R$, dan jika motor berputar n rpm, maka kerja per menit yang lebih dikenal dengan daya, N dapat dinyatakan dengan:

$$N = 2\pi\, n\, P\, R \tag{2.6}$$

a. Daya motor

Daya motor merupakan daya (kerja per satuan waktu) dari motor yang ditransfer ke poros penggerak yang dikenal dengan daya kuda pengereman (*brake horse power*, BHp), dan biasanya dinyatakan dalam satuan Watt atau daya kuda (*horse power*, Hp). Besar daya motor dinyatakan melalui persamaan:

$$N = BHp = \frac{2\pi nPR}{60} Watt \tag{2.7}$$

Dengan:

$N = BHp$ = daya (*Watt*, *Hp*)

P = Gaya aksi dinamometer (*Newton*)

R = Panjang lengan teoritis dinamometer = 0,9738 *m*

n = Putaran motor (*Hertz*, *rpm*)

Persamaan (2.6) dapat juga dinyatakan melalui kalibrasi dinamometer (*Zollnerr Water Brake Dynamometer*) dengan:

$$N = BHp = \frac{P \cdot n}{10000} KWatt \tag{2.8}$$

Karena 1 Hp = 746 *Watt*, maka persamaan (2.7) menjadi:

$$N = BHp = \frac{P \cdot n}{7460} HP \tag{2.9}$$

b. Torsi

Torsi/momen putar yang dihasilkan dihitung melalui persamaan:

$$T = P \cdot R \quad (Nm) \tag{2.10}$$

atau melalui persamaan (2.6):

$$T = \frac{N}{2\pi n} \quad (Nm) \tag{2.11}$$

c. Konsumsi bahan bakar spesifik (*Spesific Fuel Consumption*)

Pemakaian bahan bakar pada motor dapat dinyatakan dalam satuan massa bahan bakar per satuan keluaran daya atau dapat juga didefinisikan dengan jumlah bahan bakar yang di pakai oleh motor untuk menghasilkan daya 1 *Hp* selama 1 jam.

Nilai bahan bakar spesifik dapat ditentukan dengan persamaan:

$$sfc = \frac{3600m}{N.t} \quad \frac{kg.bahan-bakar}{Hp.jam} \tag{2.12}$$

dengan:

sfc = *spesific fuel consumption*

m = massa bahan bakar

$= \rho\ v$

(ρ = rapat massa bahan bakar, v = volume bahan bakar yang dikonsumsi.)

N = daya yang dihasilkan motor (*Hp*)

t = waktu yang dibutuhkan untuk mengkonsumsi bahan bakar sebanyak *m kg* (detik)

d. Efisiensi termis

Efisiensi pemanfaatan kalor dari bahan bakar untuk diubah menjadi energi mekanis.

$$\eta_{th} = \frac{Tenaga.yang.dihasilkan}{Panas.yang.diberikan} \times 100\%$$

Jika 1 *kalori* = 4,186 *Joule*, maka

$$1\ Hp = 746\ Watt = 746\ \frac{Joule}{dtk}$$

$$= 746 \times \frac{1}{4{,}186} \times 3600 \times \frac{1}{1000}\ \frac{kkal}{jam}$$

$$= 641{,}567\ \frac{kkal}{jam}$$

Jika untuk menghasilkan daya sebesar N (*Hp*) jumlah bahan bakar yang dikonsumsi G_{bb} (*kg/jam*) dan nilai pembakaran bawah (*Low Heating Value*, *LHV*) bahan bakar adalah *Hb* (*kkal/kg*), maka efisiensi termis motor tersebut:

$$\eta_{th} = \frac{N \times 641{,}567}{G_{bb} \times H_b} \tag{2.13}$$

atau

$$\eta_{th} = \frac{641{,}567}{sfc \times LHV} \times 100\% \tag{2.14}$$

dengan:

η_{th} = efisiensi termis (%)

LHV = kalor pembakaran bawah (*kkal/kg*)

$$LHV = 16610 + 40\ ^\circ API \quad (Btu/lb) \tag{2.15}$$

Karena 1 *Btu* = 1054 *Joule*

1 *kalori* = 4,184 *Joule*

1 *lb* = 0,4536 *kg*

maka:

$$1\frac{Btu}{lb} \times \frac{1054J}{1Btu} \times \frac{1kal}{4{,}186J} \times \frac{1lb}{0{,}4536kg} \times \frac{1kkal}{1000kal} = 0{,}555362 kkal/kg$$

persamaan (2.15) menjadi:

$$\text{LHV} = (16610 + 40\ ^\circ\text{API})\ 0{,}555362 \quad kkal/kg \tag{2.16}$$

Dengan persamaan (2.1):

$$^\circ\text{API} = \frac{141{,}5}{SG(60^\circ F)} - 131{,}5 \tag{2.17}$$

SG = *Spesific Gravity*

= 0,74 (60°F) untuk bensin, atau ρ bensin = 0,74 gr/cm^3

2.8. Analisa Gas Buang

Gas buang adalah gas-gas hasil proses pembakaran. Suatu pembakaran dapat dikatakan sempurna apabila bahan bakar di dalam proses pembakaran dapat habis terbakar. Dengan mengetahui komposisi senyawa atau gas buang yang dihasilkan dari suatu pembakaran maka dapat diketahui kualitas pembakaran tersebut dan keadaan/kondisi motor yang melakukan pembakaran, sehingga dapat dilakukan pendeteksian dan perbaikan secara dini untuk menghindari polutan gas buang beracun yang berlebihan. Untuk mengetahui kualitas pembakaran dan gas buangnya dapat dilakukan dengan *exhaust gas analyser*, dimana setiap motor mempunyai standar pengukuran sendiri-sendiri.

2.8.1. Polutan Gas Buang

Proses pembakaran membutuhkan tiga komponen dasar, yaitu oksigen (O_2), bahan bakar dan panas (energi aktivasi). Proses pembakaran tidak mungkin berlangsung apabila salah satu komponen dasar tersebut tidak tersedia. Proses pembakaran harus berlangsung dengan sempurna, sehingga hasil gas buangnya juga sempurna yaitu berupa CO_2 (karbondioksida) dan H_2O (uap air). Jika terjadi proses yang tidak sempurna akan menimbulkan polutan pada gas buangnya seperti gas CO (karbon monoksida), HC (hidrokarbon), NO_X (nitrogen oksida), Pb (timah hitam).

Namun karena keterbatasan kemampuan alat yang digunakan dalam pendeteksian senyawa tertentu maka kadar Pb tidak dapat diketahui. Selain itu Pb tidak terkait langsung pada kesempurnaan suatu pembakaran dan hanya terkait pada kandungan Pb dalam bahan bakar. Dimana kandungan Pb hasil gas buang tergantung pada jenis bahan bakar yang digunakan, jika bahan bakar yang digunakan banyak mengandung Pb maka gas buangnya juga banyak mengandung timbal.

a. Karbon monoksida (CO)

Karbon monoksida timbul karena proses pembakaran yang kurang sempurna dimana kurangnya kandungan oksigen pada karbon di dalam bensin (C_8H_{18}) hasil pembakaran. Hal ini terjadi karena campuran udara – bahan bakar lebih kaya dari campuran *stoechiometrie* pada saat putaran *idle*, pada beban rendah atau pada

output maksimum. Prosentase kadar CO dapat juga sebagai petunjuk daripada efisiensi pembakaran di dalam silinder. Jika ternyata angka CO di luar nilai ideal, artinya perlu dilakukan pemeriksaan. Kemungkinan bisa beragam, mulai dari karburator, injektor, *filter* udara kotor, *choke* karburator tertutup, *intake manifold*/*inlet* kepala silinder kotor, hingga kebocoran kompresi akibat katup.

Pencemaran di udara berasal dari kendaraan bermotor, pembangkit tenaga listrik dan sebagainya. Zat ini sangat berbahaya karena akan menghalangi pertukaran oksigen dalam darah dan menyebabkan lumpuhnya sistem syaraf. Dengan konsentrasi yang tinggi pada udara bebas dapat menyebabkan terhambatnya pernapasan, pusing kepala dan yang paling fatal adalah kematian.

b. Hidrokarbon (HC)

Hidrokarbon terdapat dalam gas buang berbentuk bensin yang tidak terbakar dan hanya sebagian hidrokarbon yang bereaksi dengan oksigen saat pembakaran. Hal ini terjadi saat motor baru di nyalakan pada putaran *idle*. Tidak hanya pada campuran kaya (udara – bahan bakar) zat ini dapat timbul, tetapi juga pada campuran miskin. Nilai idealnya tidak melebihi 300 ppm, apabila melebihi dari nilai tersebut maka dapat mengakibatkan tenaga mesin turun/drop dan boros konsumsi bahan bakarnya.

Sumber utama munculnya zat ini disebabkan oleh kendaraan bermotor, kilang minyak, pabrik pengguna *solvent* dan sebagainya. Zat berbahaya ini dapat melukai organ saluran pernapasan dan penyebab *Photochemical Smog*.

Bila HC dan NO_X berakumulasi pada atmosfir udara dan terhalang sinar matahari, reaksi *photochemical* (cahaya + HC & NO_X) terjadi dan menghasilkan berbagai jenis *chemical compound* dan *oxidant* (terutama O_3 yang mempunyai sifat oksidasi sangat kuat) dan menyebabkan fenomena yang dikenal sebagai smog atau kabut campur asap. *Photochemical Smog* ini mengganggu jarak pandang, melukai mata dan diduga keras menyebabkan kanker (*Carcinogenic*) dan menyebabkan penyakit pada tumbuh-tumbuhan dalam hutan.

c. Nitrogen Oksida (NO_X)

Nitrogen oksida termasuk hasil keluaran dari suatu motor, pabrik pembangkit tenaga listrik, kilang minyak dan sebagainya. Gas beracun dapat

melukai mata, hidung, tenggorokan dan penyebab *Photochemical Smog*. Bila lukanya parah dapat menyebabkan pilek, kepala pusing dan kerusakan paru-paru. Pada konsentrasi 3-5 ppm, NO_X berbau tidak sedap. Pada 10-30 ppm dapat melukai mata dan hidung. Konsentrasi yang lebih tinggi lagi dapat membahayakan kesehatan jiwa manusia. Batas maksimum kandungan NO_X di udara adalah 50 ppm.

d. Timah hitam (Pb)

Timah hitam merupakan hasil pembakaran dari kendaraan bermotor dengan bahan bakar bensin Premium dan Premix 100%. Unsur Pb dapat menyebabkan gangguan mental dan penurunan IQ pada balita, gangguan pencernaan, hipertensi, anemia dan *toxic psychosis* pada orang dewasa.

2.8.2. Reaksi Kimia Pada Pembakaran

Pada proses pembakaran suatu bahan bakar di dalam ruang bakar selalu membutuhkan unsur-unsur lain selain bahan bakar itu sendiri. Bahan bakar selalu membutuhkan udara dalam jumlah tertentu agar supaya bahan bakar dapat terbakar. Udara atmosfir yang terbakar bersama bahan bakar juga mempunyai komposisi tertentu agar bahan bakar dapat terbakar dengan sempurna. Komposisi yang terkandung dalam udara bebas mempunyai prosentase volume seperti pada tabel 2.4.

Tabel 2.4.

Komposisi Udara Normal

Gas	Analisis	Mol Fraksi	Berat Molekul	Berat Molekul Relatif
O_2	20,99	0,2099	32	6,717
N_2	78,03	0,7803	28,016	21,861
Ar	0,94	0,0094	39,944	0,376
CO_2	0,03	0,0003	44,003	0,013
H_2	0,01	0,0001	2,016	0,0002
Total	100	1,0000		Berat Molekul udara = 28,967

Sumber: Modul Praktikum Motor Bakar, Universitas Kristen Petra, 2004.

Proses pembakaran pada bensin (C_8H_{18}) bersama udara, dapat ditulis dengan persamaan kesetimbangan kimia sebagai berikut:

$$C_8H_{18} + 12\frac{1}{2}(O_2 + 3{,}76\ N_2) \rightarrow 8CO_2 + 9H_2O + 47N_2 \qquad (2.18)$$

Dimana dapat dijabarkan dari masing-masing unsur:
Kesetimbangan karbon

$$C_8 \rightarrow 8CO_2 \qquad (2.19)$$

Kesetimbangan hidrogen

$$H_{18} \rightarrow 9H_2O \qquad (2.20)$$

Kesetimbangan oksigen

$$12\frac{1}{2}O_2 \rightarrow 8CO_2 + 9H_2O \qquad (2.21)$$

Kesetimbangan nitrogen
Pada setiap mol oksigen terdapat 3,76 mol N_2, jadi:

$$12\frac{1}{2}(3{,}76)N_2 \rightarrow 47N_2 \qquad (2.22)$$

Sehingga persamaan reaksi lengkapnya dapat ditulis:

$$C_8H_{18} + 12\frac{1}{2}O_2 + 47N_2 \rightarrow 8CO_2 + 9H_2O + 47N_2 \qquad (2.23)$$

dimana:

1 mol C_8H_{18} = {(BM. Carbon × 8) + (BM. Hidrogen × 18)} × 1 gram
= (12 × 8) + (1 × 18) gram
= 114 gram

BM adalah berat molekul.

Massa $12\frac{1}{2}$ mol O_2 = $12\frac{1}{2}$ × (2 × 6) = 400 gram

Massa 47 mol N_2 = 47 × (2 × 14) = 1316 gram

jadi:

massa udara = massa O_2 + massa N_2

= 400 gram + 1316 gram

= 1716 gram

Perbandingan udara dan bahan bakar (*Air Fuel Ratio* = AFR) ideal dinyatakan dengan:

$$AFR = \frac{1716}{114} = 15{,}05 \qquad (2.24)$$

Harga perbandingan udara dan bahan bakar diatas merupakan perbandingan teoritisnya yang biasa disebut perbandingan stoichiometri dimana menyatakan kebutuhan udara minimum untuk pembakaran sempurna suatu bahan bakar. Jika perbandingan antara udara dengan bahan bakar yang terjadi ideal maka efisiensi pembakarannya akan sangat tinggi dan hasil buangnya juga baik. Perbandingan yang tepat akan menghasilkan pembakaran yang sempurna berupa energi, H_2O dan CO_2

Tetapi dalam prakteknya, suatu proses pembakaran sempurna yang telah dinyatakan diatas tidak pernah terjadi. Banyak sekali faktor yang membuat pembakaran menjadi tidak sempurna. Jika perbandingan kandungan udara dan bahan bakar tinggi (kaya), maka akan menghasilkan HC dan CO yang tinggi pula tetapi kandungan NO cenderung rendah. Begitu juga sebaliknya, jika perbandingan kandungannya rendah (miskin) maka CO dan HC akan rendah, tetapi NO akan cenderung lebih tinggi dari campuran kaya.

Dalam praktek, pembakaran akan berlangsung dengan reaksi sebagai berikut:

$$\underset{\text{Campuran udara + Bahan bakar}}{2\,C_8H_{18} + O_2 + N_2} \xrightarrow{\text{Pembakaran}} \underset{\text{Gas buang}}{CO_2 + H_2O + CO + HC + NO_X + \text{gas lain}}$$

2.8.3. Perbandingan Udara dan Bahan Bakar

Pada setiap proses pembakaran diperlukan perbandingan yang tepat antara bahan bakar dan udara agar pembakaran yang terjadi sempurna. Perbandingan campuran udara dan bahan bakar dan dilihat dari hasil buangan kendaraan bermotor. Nilai lambda (λ) idealnya adalah 1, jika lebih besar maka dapat

dikatakan bahwa pengaturan bahan bakar irit atau kelebihan udara. Sedangkan saat lambda kurang dari 0,95, menandakan bahwa bahan bakarnya boros atau kekurangan udara.

2.9. Analisa Ketidak-Pastian

Kesalahan (*error*) selalu terjadi pada setiap melakukan percobaan, dimana hasil pengukuran yang didapat mengandung unsur ketidak-pastian. Menganalisa kesalahan dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut:

Jika hasil, R, adalah suatu fungsi dari variabel tak-tergantung (independent), yaitu x_1, x_2, x_3,.....x_n, jadi dapat dituliskan:

$$R = R(x_1, x_2, x_3,.....x_n) \tag{2.25}$$

Misalnya, ketidak-pastian dalam hasil, u_R dan u_1, u_2, u_3,....,u_n ketidak-pastian dalam variabel tak-tergantung. Jika semua variabel tak-tergantung itu mempunyai nilai yang sama, maka ketidak-pastian dalam hasil yang mempunyai nilai itu, dinyatakan sebagai:

$$u_R = \left[\left(\frac{\partial R}{\partial x_1} u_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_2} u_2 \right)^2 + ... \left(\frac{\partial R}{\partial x_n} u_n \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \tag{2.26}$$

2.9.1. Deviasi Standar

Deviasi standar, σ, digunakan dalam pengolahan data statistik lanjutan, dan merupakan kuantitas yang umum digunakan untuk menyatakan prakiraan kesalahan.

$$\sigma = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} \left(X_i - X_m \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \tag{2.27}$$

Persamaan 2.27 hanya berlaku jika jumlah sampel yang diambil untuk menggambarkan populasi yang terjadi besar. Umumnya dibutuhkan minimal 20

pengukuran untuk dapat membuat taksiran yang dapat di andalkan tentang deviasi standar dan validitas umum data.

Untuk jumlah sampel kecil, digunakan deviasi standar sampel.

$$\sigma = \left[\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n} \left(X_i - X_m \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \tag{2.28}$$

Persamaan 2.28 digunakan bilamana populasi yang mendasarinya tidak diketahui. Akan tetapi bila perbandingan itu dibuat terhadap standar atau populasi yang diketahui, maka persamaan 2.27 yang digunakan untuk deviasi standar.