



Karnowo | Dony Hidayat Al-Janani | Sonika Maulana
Ari Dwi Nur Indriawan M | Rizki Setiadi

BAHAN BAKAR DAN PELUMAS



BAHAN BAKAR DAN PELUMAS

BAHAN BAKAR DAN PELUMAS

Karnowo, dkk.



BAHAN BAKAR DAN PELUMAS

Hak Cipta dilindungi Undang-undang

All Rights Reserved

Hak Cipta 2021 pada Penulis

Hak penerbitan pada Penerbit Mahata. Mereka yang ingin memperbanyak sebagian isi buku ini dalam bentuk atau cara apa pun harus mendapatkan izin tertulis dari penulis dan penerbit.

Penulis

Karnowo

Dony Hidayat Al-Janan

Sonika Maulana

Ari Dwi Nur Indriawan M.

Rizki Setiadi

Editor

Priyo Sudarmo

Layout

Ahmady Averoez

Desain sampul

Dani RGB

Cetakan I, September 2021

ISBN: 978-623-6480-17-5

Penerbit:

CV Mahata (Magna Raharja Tama)

Anggota IKAPI DIY No. 110/DIY/2019

Beran RT 07, No.56, Ds. IX

Tirtonirmolo, Kasihan, Bantul, DI Yogyakarta

Telp. 0823-2755-0400

Email: penerbit.mahata@gmail.com

Kata Pengantar

Alhamdulillah, segala puji bagi Allah Tuhan Semesta Alam pemilik segala ilmu, tiada satupun terjadi kecuali berkat kehendakNya, serta berkat limpahan rahmatNya buku dengan judul *Bahan Bakar dan Pelumas* dapat dirampungkan.

Buku ini diterbitkan untuk menunjang pembelajaran di perkuliahan khususnya mata kuliah Bahan Bakar Pelumas dan Teknik Pembakaran. Pengetahuan tentang bahan bakar dan pelumas serta pembakaran sangat penting bagi calon *engineer* atau insinyur khususnya di bidang teknik mesin dalam menentukan efisiensi mesin dan meminimalisir emisi. Buku ini juga disertai dengan pembahasan teknologi pembakaran dan pengendalian emisi dari proses pembakaran.

Penulis menyadari buku ini masih jauh dari sempurna. Meskipun penulis telah berupaya semaksimal mungkin dalam penyusunan buku ini.

Semarang, Mei 2021

Penulis

Daftar Isi

Kata Pengantar	v
Daftar Isi	vii
Daftar Tabel	xi
Daftar Gambar	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
Latihan 1. Essay	8
Latihan 1. Pilihan Ganda	9
BAB II TEKNIK PEROLEHAN BAHAN BAKAR	11
2.1 Terbentuknya Bahan Bakar	11
2.2. Pembentukan minyak bumi dan gas alam	12
2.3 Komposisi minyak bumi dan gas	15
2.4 Pengolahan minyak bumi	17
Latihan 2 Essay	23
Latihan 2 Pilihan Ganda	23
BAB III BAHAN BAKAR CAIR	25
3.1 Macam-macam bahan-bakar cair	31
3.1.1 Bensin	31
3.1.2 Etanol	34
3.1.3 Solar	36
3.1.4 Biosolar	38
3.2 Penyimpanan bahan bakar minyak	45
3.3. <i>Burner</i> untuk bahan bakar cair	45
Latihan 3 Essay	48
Latihan 3 Pilihan Ganda	48

BAB IV	BAHAN BAKAR PADAT	53
4.1	Batubara	54
4.2	Sifat fisik dan kimia batubara	55
4.3	Analisis batubara	56
4.4	Penyimpanan, <i>handling</i> dan persiapan batubara	60
4.5	<i>Burner</i> untuk bahan bakar padat	61
4.6	Biomassa	65
4.7	Biobriket	68
	Latihan 4. Essay	76
	Latihan 4. Pilihan Ganda	76
BAB V	BAHAN BAKAR GAS	79
5.1	Jenis-jenis bahan bakar gas	80
5.2	Sifat-sifat bahan bakar gas	81
5.3	Gas alam	81
5.4	<i>Liquified Petroleum Gas</i> (LPG)	83
5.5	Perbedaan LPG, LNG, dan CNG	87
5.6	Hidrogen	88
5.7	Gasifikasi	89
5.8	<i>Burner</i> dengan bahan bakar gas	90
	Latihan 5. Essay	92
	Latihan 5. Pilihan Ganda	92
BAB VI	PELUMAS DAN SISTEM PELUMASAN	95
6.1	Minyak Pelumas	96
6.2	Model Pelumasan	101
6.3	Komponen Utama Sistem Pelumasan Tekan	104
	Latihan 6. Essay	109
BAB VII	PENGANTAR PEMBAKARAN	111
7.1	Pembakaran bahan bakar-udara	112
	Latihan 7. Essay	121

BAB VIII TEKNOLOGI PEMBAKARAN DAN	
PENGENDALIAN EMISI	123
8.1 <i>Catalytic Converter</i>	123
8.2 <i>Flue Gas Desulphuration</i> (FGD)	126
Latihan 8. Essay	133
Latihan 8. Pilihan Ganda	133
Daftar Pustaka	137

Daftar Tabel

Tabel 1.1 Ketersediaan bahan bakar habis pakai Indonesia	4
Tabel 1.2 Ketersediaan energi terbarukan Indonesia	4
Tabel 1.3 Tingkat konsumsi bahan bakar	5
Tabel 2.1 Komposisi Minyak bumi	15
Tabel 2.2 Struktur hidrokarbon minyak bumi	15
Tabel 2.3 Fraksi destilasi minyak bumi	19
Tabel 3.1. <i>Specific gravity</i> berbagai bahan bakar minyak	27
Tabel 3.2. Nilai kalor untuk beberapa bahan bakar minyak	29
Tabel 3.3. Persentase sulfur berbagai bahan bakar minyak	29
Tabel 3.4. Spesifikasi khusus bahan bakar minyak	31
Tabel 3.5. Perbandingan sifat metanol, etanol, dan bensin	35
Tabel 3.6. Spesifikasi biosolar	44
Tabel 4.1 Proyeksi kebutuhan batubara menurut kelompok industri di dalam negeri, 2012 – 2025	55
Tabel 4.2. Nilai kalor dan komposisi sumber daya batubara Indonesia	56
Tabel 4.3. Analisis <i>proximate</i> untuk berbagai batubara	57
Tabel 4.4. Analisis <i>ultimate</i> batubara	59
Tabel 4.5 Potensi biomassa di Indonesia	67
Tabel 4.6 Nilai Kalor beberapa jenis biomassa	68
Tabel 4.7 Hasil analisis proksimat briket biomassa	76
Tabel 5.1 Sifat-sifat bahan bakar gas	81
Tabel 5.2 Konstituen gas alam	82
Tabel 5.3 Teknologi penghilang CO ₂ pada gas alam	85
Tabel 5.4 Perbedaan sifat hidrogen dan metana	89

Tabel 6.1 Penomoran SAE dan viskositasnya	99
Tabel 6.2 Penomoran SAE “W”	99
Tabel 6.3 Penggunaan SAE 16.3 seri x”W-y	100
Tabel 6.4 Pemakaian pelumas menurut penggunaan	100
Tabel 7.1 Mol produk pembakaran	115

Daftar Gambar

Gambar 1.1	Konsep konversi energi	2
Gambar 1.2	Konsumsi Energi Nasional	6
Gambar 1.3	Skema sistem penyediaan dan pemanfaatan bioenergi	8
Gambar 2.1	Siklus pembentukan bahan bakar	11
Gambar 2.2	Bagan Teori teori Biogenesis pembentukan minyak dan gas bumi	14
Gambar 2.3	Bagan proses pengolahan minyak bumi	18
Gambar 2.4	Fraksi destilasi proses pemilahan minyak bumi .	20
Gambar 2.5.	Kilang modern (KESDM, 2016)	21
Gambar 3.1.	Alat viskometer digital	27
Gambar 3.2	Mesin uji nilai oktan CFR	34
Gambar 3.3.	Proses pembuatan biodiesel/biosolar	42
Gambar 3.4.	Proses Produksi Biodiesel dari Minyak Nabati ..	43
Gambar 3.5.	<i>Vaporising burner</i>	46
Gambar 3.6.	<i>Pressure jet burner</i>	47
Gambar 3.7	<i>Twin fluid atomizer burner.</i>	47
Gambar 4.1	<i>Pulvizer fuel burner.</i>	62
Gambar 4.2	<i>Underfeed stoker</i>	63
Gambar 4.3	<i>Fixed grate burner</i>	63
Gambar 4.4	<i>Chain grate stoker</i>	64
Gambar 4.5	<i>Fluidized bed stoker</i>	65
Gambar 4.6.	Proses konversi biomassa	66
Gambar 4.7	Biobriket	68
Gambar 4.8.	Isotermal Oxgen Bomb Calorimeter	72

Gambar 4.9	Adiabatic Oxygen Bomb Calorimeter	73
Gambar 4.10	Bagian-bagian Bom Calorimeter	73
Gambar 5.1	<i>Non aerated burner</i>	91
Gambar 5.2	<i>Aerated burner</i>	91
Gambar 6.1	Pelumasan pada bantalan	96
Gambar 6.2.	Proses pelumasan percikan	102
Gambar 6.3	Proses pelumasan paksa dan campur	103
Gambar 6.4	Komponen pelumasan dan sirkulasi pelumas	103
Gambar 6.5	Komponen-komponen pelumasan pada mesin diesel	104
Gambar 6.6	Pompa minyak pelumas jenis roda gigi	105
Gambar 6.7	Pompa roda gigi jenis rotor	106
Gambar 6.8	Pengatur tekanan minyak	107
Gambar 6.9	Peredaran minyak pelumas dan penyaring minyak	108
Gambar 6.10	Sirkulasi pelumas pada mesin multisiylinder	109
Gambar 8.1	Cara kerja <i>catalytic converter</i>	124
Gambar 8.2.	<i>Catalytic converter</i>	126
Gambar 8.3.	Proses <i>Fluidized Bed Combustion (FBC)</i>	128
Gambar 8.4	Proses <i>Flue Gas Desulphurization (FGD)</i>	129
Gambar 8.5	<i>Flue Gas Desulphurization Tipe Basah</i>	130
Gambar 8.6	Persentase penggunaan material pada FGD	131
Gambar 8.7	Prinsip kerja ESP	132

BAB I

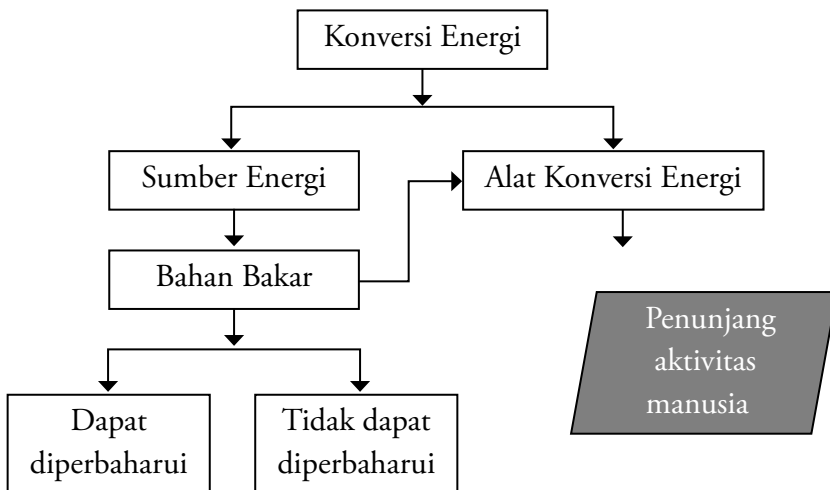
PENDAHULUAN

Energi merupakan suatu kebutuhan pokok dan penting bagi kelangsungan hidup manusia. Energi dirubah menjadi bentuk energi lain yang dapat membantu manusia dalam menjalankan aktifitas. Dengan adanya perubahan energi, manusia dapat meningkatkan mobilitas serta produktifitas dalam kegiatan sehari hari. Contohnya perubahan energi panas menjadi energi gerak yang ada pada mesin kendaraan. Dengan adanya perubahan energi tersebut manusia dapat berpindah dari satu tempat ke tempat lain dengan waktu yang relatif lebih singkat. Contoh lainnya adalah penggunaan ponsel pintar, adanya ponsel pintar dapat dihidupkan dari reaksi kimia pada baterai menjadi energi listrik. Listrik yang didapatkan tidak serta merta langsung berupa energi listrik, namun melalui proses pembakaran pada sebuah pembangkit yang telah melalui beberapa tahapan perubahan bentuk energi. Dari energi listrik yang didapatkan kita dapat mengisi daya baterai pada ponsel sehingga dapat digunakan untuk sarana komunikasi.

Konversi energi sebagai usaha untuk menghasilkan energi berguna yang langsung dipakai manusia dapat melalui beragam cara. Syarat terjadi konversi energi: pertama, harus ada sumber energi yang harus dikonversi; kedua, ada alat sebagai tempat proses konversi. Jika kedua syarat terpenuhi, proses konversi energi akan berlangsung.

Bahan bakar, salah satu contoh dari sekian banyak sumber energi merupakan bahan yang digunakan dalam pembakaran untuk diubah menjadi energi panas.

Berdasarkan ketersediaanya di alam, bahan bakar dibagi menjadi dua jenis, pertama bahan bakar dapat diperbaharui, dan kedua bahan bakar tidak dapat diperbaharui. Bahan bakar dapat diperbaharui diperoleh dari organisme hidup, terutama dari tumbuh-tumbuhan sehingga sering disebut dengan Bio Energi (Biodisel, Bioetanol, Biogas, PPO, Biobriket, Biooil). Jenis lain, bahan bakar berasal dari tumbuhan atau hewan yang telah mati berjuta tahun yang telah menjadi fosil kemudian dinamakan bahan-bakar fosil (Minyak Bumi, Gas Alam, Batu Bara). Karena proses terbentuknya lama, bahan-bakar jenis ini digolongkan bahan bakar yang tidak dapat diperbaharui.



Gambar 1.1 Konsep konversi energi

Coba kita lihat pada Gambar 1.1, kita sebagai manusia membutuhkan alat transportasi yang dapat meningkatkan mobilitasnya dalam bekerja. Untuk menjalankan alat transportasi tersebut kita membutuhkan adanya konversi energi panas ke energi gerak. Kita membutuhkan sumber energi berupa bahan bakar minyak

dan alat konversi energi berupa mesin pembakaran dalam (*internal combustion engine*). Dari proses pembakaran bahan bakar minyak di dalam mesin kemudian digunakan untuk menjalankan kendaraan, sehingga kita dapat berpindah dari satu tempat ke tempat lain.

Kegiatan lainnya adalah saat memakan nasi. Nasi yang kita makan merupakan sumber energi bagi tubuh kita. Nasi yang dimasak menggunakan alat penanak nasi memerlukan sumber energi listrik. Listrik yang tersedia dirumah dihasilkan dari pembangkit listrik yang kemudian didistribusikan untuk keperluan masyarakat. Secara ringkas sebelum listrik didistribusikan, perlu adanya proses konversi energi dari pembakaran batu bara (sumber energi) yang digunakan untuk menggerakkan turbin (alat konversi energi) serta generator (alat konversi energi) untuk menghasilkan listrik. Listrik yang dihasilkan kemudian baru didistribusikan. Energi listrik kemudian digunakan untuk mengasalkan panas pada alat penanak nasi sehingga nasi menjadi matang dan dapat dikonsumsi. Dan masih banyak kegiatan lainnya dari konversi energi yang digunakan untuk menunjang aktivitas manusia seperti penggunaan bahan bakar solar untuk menggerakkan kapal, bahan bakar avtur untuk pesawat terbang dan sebagainya.

Hal yang harus kita ketahui bahwa hasil dari konversi energi umumnya menghasilkan emisi. Emisi merupakan suatu zat yang memiliki potensi untuk mencemari lingkungan dan tidak memiliki potensi pencemaran terhadap lingkungan. Sebagai contoh dari proses pembakaran batu bara akan menghasilkan emisi berupa SO₂ yang apabila kadarnya berlebihan dapat mengakibatkan hujan asam. Contoh lainnya dari pembakaran bensin dapat menghasilkan CO yang menyebabkan pencemaran lingkungan.

Ketersediaan bahan bakar juga berkurang setiap tahun atau bahkan dapat habis. Misalnya bahan bakar minyak (BBM) di Indonesia diperkirakan tidak dapat memnuhi kebutuhan sampai tahun 2025 dalam negeri (Sa'adah, 2017). Ketersediaabn bahan bakar habis pakai Indonesia dapat kita lihat pada Tabel 1.1.

Tabel 1.1 Ketersediaan bahan bakar habis pakai Indonesia

Jenis Energi Fossil	Sumber daya	Cadangan	Produksi	Rasio CAD/ Prod (tahun) *)
Minyak bumi	56,6 miliar barel	8,4 miliar barel **)	348 juta barel	24
Gas Bumi	334,5 TSCF	165 TSCF	2,7 TSCF	61
Batu Bara	93 miliar ton	165 miliar ton	250 juta ton	75
<i>Coal bed methane</i> (gas metana batubara)	453F			

*) Asumsi tidak ada penemuan baru

**) termasuk blok cepu

Tabel 1.1 menunjukkan bahwa ketersediaan bahan bakar fosil di Indonesia semakin habis sehingga harus dikembangkan sumber bahan-bakar alternatif yang banyak tersedia terutama bahan bakar biomasa (Tabel 1.2). Penggunaan biomassa sebagai bahan bakar menguntungkan bagi lingkungan karena efek negatif ke lingkungan kecil. Zat-zat dari proses pembakaran biomasa lebih mudah diurai dibandingkan pembakaran bahan-bakar fosil.

Tabel 1.2 Ketersediaan energi terbarukan Indonesia

Energi Non Fossil	Sumber daya	Setara	Kapasitas terpasang
Tenaga air (hydro)	845,00 juta BOE	75,67 GW	4,2 GW
Tenaga air (microhydro)	0,5 GW	0,5 GW	0,084 GW

Panas Bumi	219,00 juta BOE	27,00 GW	1,042 GW
Biomassa	49,81 GW	49,81 GW	0 GW
Tenaga Surya	4,kWh/m ² /hari	-	0,008 GW
Tenaga Angin	9290 MW		0,0005 GW
Uranimum (Nuklir) **)	24,112 ton	3 GW untuk 11 tahun	-

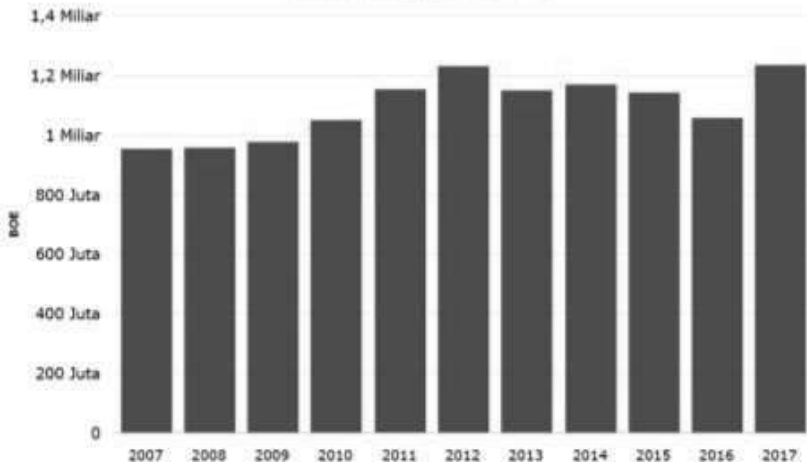
Laju konsumsi bahan-bakar meningkat sejalan dengan pertumbuhan jumlah penduduk dan pertumbuhan ekonomi. Sektor Industri dan rumah tangga merupakan pengkonsumsi bahan-bakar terbanyak dibanding lainnya. Daftar lengkap tingkat konsumsi bahan bakar tertera di tabel

Tabel 1.3 Tingkat konsumsi bahan bakar

Sektor	Konsumsi (ribu BOE)	%
Industri (termasuk pertanian)	323.493	37
Transportasi	179.936	21
Rumah Tangga	314.668	36
Komersial	26.589	3
Lainnya	27.959	3
Total	872.665	100

Konsumsi Energi Nasional (2007-2017)

Sumber : Kementerian ESDM, 2018



<https://databoks.katadata.co.id/>

Gambar 1.2 Konsumsi Energi Nasional

Ketersediaan sumber energi menjadi hal yang sangat penting dalam menunjang aktifitas manusia. Sumber energi yang digunakan sebagai sumber penggerak kendaraan bermotor, yaitu bensin atau bahan bakar lainnya. Untuk mendapatkan hasil yang sesuai diperlukan karakteristik bahan bakar. Karakteristik bahan bakar mesin pembakaran dalam harus sedemikian rupa sehingga memenuhi persyaratan sebagai berikut:

1. Bahan bakar harus secara efektif diatomisasi, diuapkan, dan dicampur dengan udara secara baik,
2. Proses pembakaran harus cepat,
3. Penyalaan mesin harus cepat dan dapat diandalkan pada kondisi apapun,
4. Permukaan ruang bakar harus tetap bebas dari karbon dan endapan lainnya,
5. Permukaan silinder, piston dan ring piston tidak boleh mengalami keausan dan korosi yang berlebihan,
6. Elemen dasar mesin harus kuat dari tekanan termal karena perubahan suhu berkembang selama proses pembakaran,

7. Pembakaran harus sempurna dan tidak menghasilkan gas sisa yang berbahaya.

Unsur utama bahan bakar adalah karbon dan hidrogen. Bahan bakar dapat diklasifikasikan sebagai bahan bakar primer atau sekunder menurut jenis bahan bakar tersebut di alam atau diolah. Bahan bakar bisa dalam bentuk padat, cair, atau gas. Secara ringkas yang termasuk bahan bakar yaitu:

- 1) Bahan bakar cair

Alami: minyak bumi

Diolah dan disiapkan: (1) minyak bumi, bensin, minyak tanah, minyak solar, bahan bakar minyak, minyak pelumas, (2) non-minyak bumi, benzol, etanol.

- 2) Bahan bakar padat

Alami: kayu, gambut, batu bara.

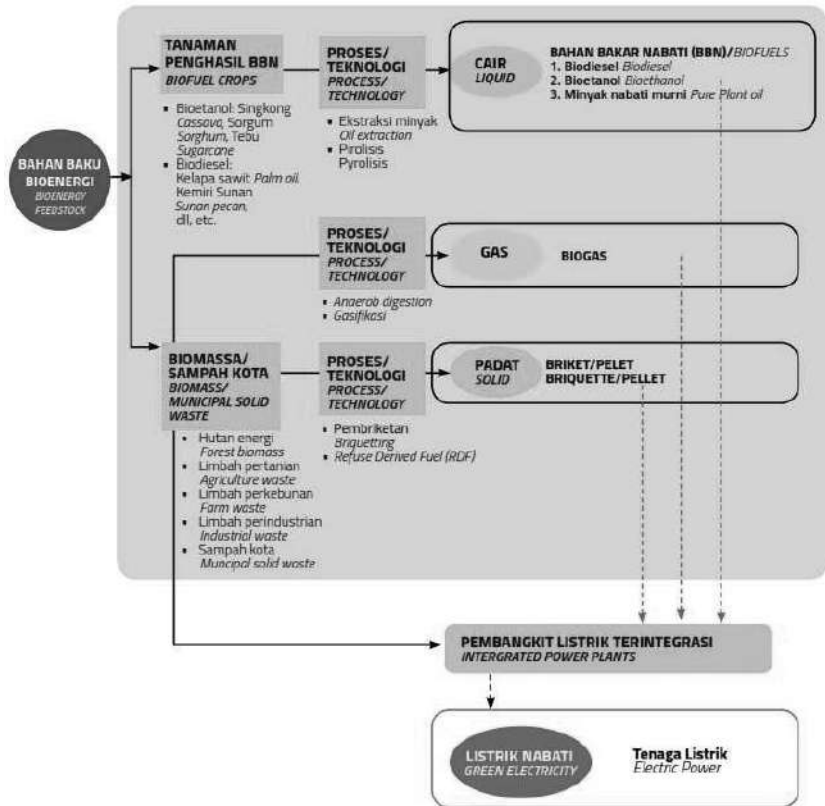
Batu bara dari kualitas yang paling rendah hingga yang tertinggi adalah (1) lignit, (2) subbituminous, (3) bituminus, (4) semiantrasit, dan (5) antrasit.

Diolah dan disiapkan: arang, kokas, briket.

- 3) Bahan bakar gas

Alami: Metana, Etana

Diolah dan disiapkan: liquified petroleum gas (LPG), *syngas* (gas sitesis), hidrogen.



Gambar 1.3 Skema sistem penyediaan dan pemanfaatan bioenergi

Latihan 1. Essay

1. Jelaskan alasan pentingnya mengapa kita perlu mempelajari bahan bakar?
2. Jelaskan sektor apa yang memiliki konsumsi energi paling banyak?
3. Buat uraian singkat tentang kondisi ketersediaan energi dan cadangan energi di Indonesia!
4. Menurut saudara bagaimana dampak dari kekurangan energi?
5. Sebutkan macam-macam bahan bakar!

Latihan 1. Pilihan Ganda

1. Dalam menunjang aktivitasnya, manusia membutuhkan sumber
 - a. Energi
 - b. Waktu
 - c. listrik
 - d. komunikasi
 - e. panas
2. Berdasarkan kesediaannya di alam, bahan bakar dibedakan menjadi
 - a. lima jenis
 - b. empat jenis
 - c. tiga jenis
 - d. dua jenis
 - e. satu jenis
3. Bahan bakar yang tidak dapat diperbaharui berasal dari
 - a. bioenergi
 - b. fosil
 - c. kayu
 - d. tempurung kelapa
 - e. sedimen
4. Untuk menunjang aktivitas manusia bahan bakar yang digunakan pada kendaraan bermotor dikonversikan dari energi
 - a. Panas > listrik
 - b. Panas > gerak
 - c. gerak > panas
 - d. panas > termal
 - e. liquid > panas
5. Berdasarkan ketersediannya penggunaan bahan bakar yang paling banyak digunakan untuk industri transportasi adalah
 - a. Bahan bakar gas
 - b. Bahan bakar padat
 - c. Bahan bakar minyak
 - d. campuran padat dan gas
 - e. campuran gas & minyak
6. Syarat bahan bakar yang baik adalah, kecuali
 - a. Proses pembakaran cepat
 - b. dapat diandalkan pada kondisi apapun,
 - c. tidak menghasilkan kerak di ruang bakar
 - d. Menghasilkan pembakaran yang sempurna
 - e. Menimbulkan knocking dan detonasi

7. Tingkat konsumsi bahan bakar paling tinggi di sektor
 - a. Industri
 - b. Transportasi
 - c. Rumah tangga
 - d. Komersial
 - e. Perdagangan

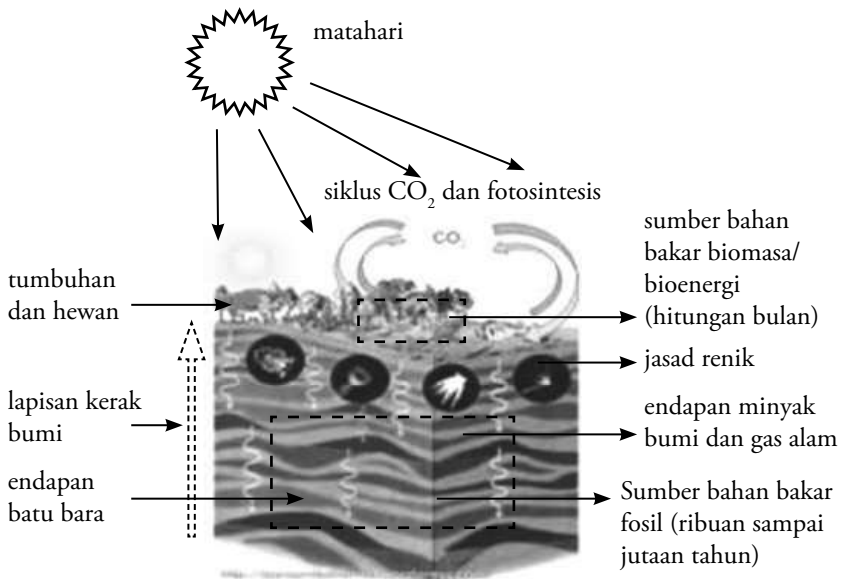
8. Yang termasuk bahan bakar gas, adalah
 - a. NLPG
 - b. Metana
 - c. kokas
 - d. arang
 - e. antrasit

BAB II

TEKNIK PEROLEHAN BAHAN BAKAR

2.1 Terbentuknya Bahan Bakar

Sumber energi utama di bumi adalah Matahari. Melalui proses yang panjang, energi matahari diubah menjadi energi yang dapat langsung dipakai manusia dan makhluk hidup lainnya. Perhatikan Gambar 2.1 berikut.



Gambar 2.1 Siklus pembentukan bahan bakar

Tumbuhan sebagai “mesin hidup” memegang peranan yang sangat penting untuk kehidupan di bumi. Melalui mekanisme yang sering disebut dengan fotosintesis tumbuhan memanfaatkan energi matahari sebagai energi untuk memproses unsur C dalam CO_2 , H dalam H_2O , dan unsur-unsur lainnya seperti N, S, Mg, Al yang terdapat di dalam tanah atau udara bebas menjadi senyawa yang lebih kompleks dalam bentuk kayu (batang, akar), daun (daun, bunga) dan buah (daging buah, kulit buah, biji, tempurung). Komposisi kayu tersusun dari selulosa (643%), lignin (625%) pentosan (610%), sedangkan buah tersusun atas gula (glukosa, sukrosa, fruktosa) atau asam lemak trigleserida (palmitat, laurat, miristat, oleat, linoleat dan lain-lain). Selanjutnya, zat-zat yang menyusun tumbuhan seperti diatas merupakan sumber bahan bakar nabati.

Manusia dan hewan memanfaatkan tumbuhan mulai dari kayu sampai buah sebagai sumber makanan. Proses yang sama tetapi dengan cara berbeda dengan tumbuhan, hewan juga berperan sebagai penghasil energi. Melalui proses pencernaan bahan makanan (dari tumbuhan) diubah menjadi asam lemak yang tersimpan pada otot dan daging. Apabila, hewan dimanfaatkan sebagai sumber bahan-bakar, istilah ini yang sering dipakai untuk menamai bahan bakar dari hewan yaitu bahan bakar hewani.

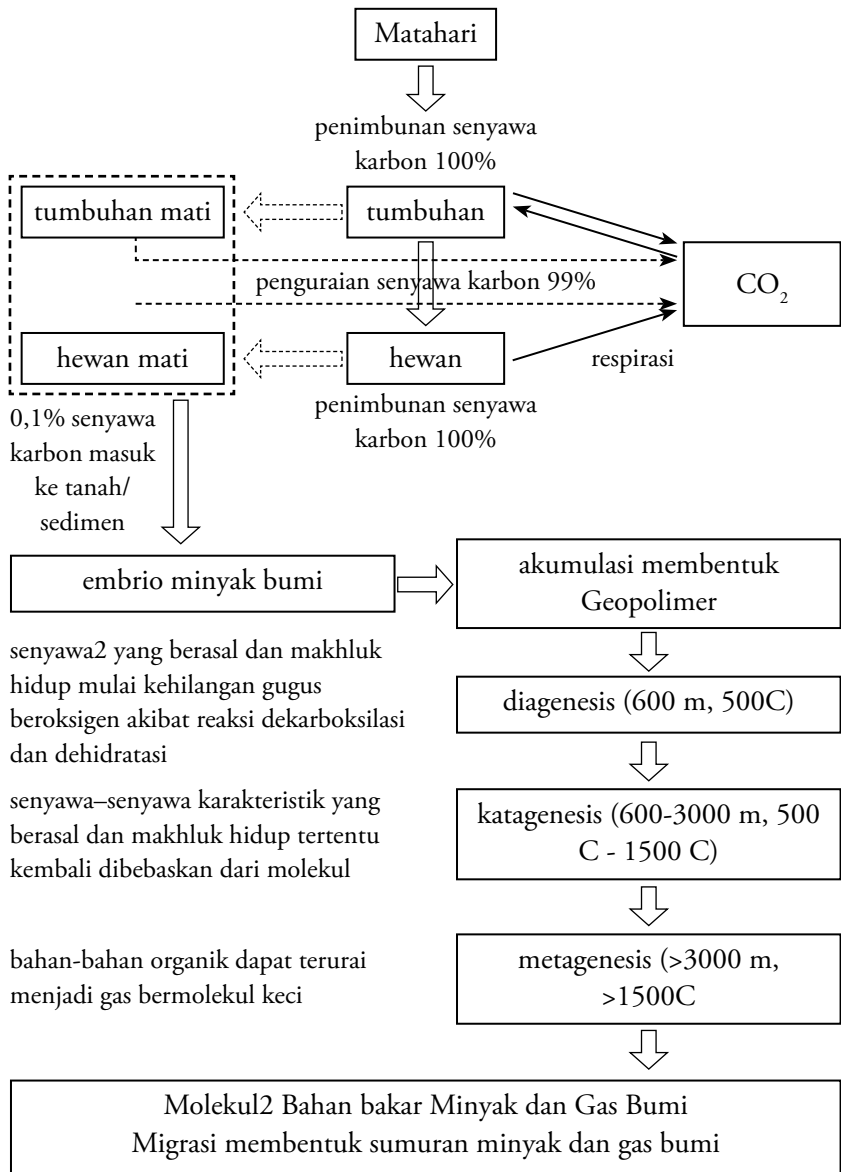
2.2. Pembentukan minyak bumi dan gas alam

“Matahari dan tumbuhan” menjadi sebab terbentuknya berbagai macam bahan-bakar, dari padat sampai gas. Para Ahli mengutarakan bahwa minyak bumi berasal dari tumbuhan hewan dan jasad renik lautan yang mati sekitar ribuan tahun atau ada yang menyebutkan 150 juta tahun yang lalu. Sisa-sisa organisme tersebut mengendap di dasar lautan, kemudian ditutupi oleh lumpur. Lapisan lumpur tersebut lambat laun berubah menjadi batuan karena pengaruh tekanan lapisan di atasnya. Dengan meningkatnya tekanan dan suhu, bakteri anaerob menguraikan sisa-sisa jasad renik tersebut

dan mengubahnya menjadi minyak dan gas. Minyak dan gas yang terbentuk meresap dalam batuan yang berpori seperti air dalam batu karang. Minyak dan gas dapat pula bermigrasi dari suatu daerah ke daerah lain, kemudian terkonsentrasi jika terhalang oleh lapisan yang kedap. Karena pergerakan kulit bumi sehingga sebagian lautan menjadi daratan, sumber minyak bumi dan gas alam tidak hanya terdapat di lautan juga banyak yang terdapat di daratan.

Pembentukan minyak bumi terdiri dari tiga tingkat, yaitu: pertama pembentukan sendiri, prosesnya melalui pengumpulan zat organik dalam sedimen; pengawetan zat organik dalam sedimen; transformasi zat organik menjadi minyak bumi. Kedua, migrasi minyak bumi yang terbentuk dan tersebar di dalam lapisan sedimen terperangkap. Ketiga, akumulasi tetes minyak yang tersebar dalam lapisan sedimen hingga berkumpul menjadi akumulasi di tempat yang disebut perangkap (trap), dan menjadi area sumber tambang minyak bumi atau gas alam.

Gas terdiri dari dua macam. Pertama gas yang berada satu tempat dengan minyak bumi disebut dengan *associated gas*. Hal ini karena perbedaan berat jenis, gas senantiasa berada di atas minyak. Kedua gas yang terdapat “sendiri” dalam suatu perangkap disebut *non-associated gas*.



Gambar 2.2 Bagan Teori teori Biogenesis pembentukan minyak dan gas bumi

2.3 Komposisi minyak bumi dan gas

Minyak bumi sering disebut petroleum. Minyak bumi tersusun dari campuran kompleks hidrokarbon dan senyawa lainnya.

Komponen hidrokarbon adalah komponen yang paling banyak terkandung di dalam minyak bumi. Gas alam terdiri dari alkana suku rendah, prosentase terbesar metana (695), sedikit etana, propana, butana, karbondioksida (CO₂) dan hidrogen sulfida (H₂S).



Tabel 2.1 Komposisi Minyak bumi

Jenis Unsur	Prosentase
Karbon	83,0-87,0 %
Hidrogen	10,0-14,0 %
Nitrogen	0,1-2,0 %
Oksigen	0,05-1,5 %
Sulfur	0,05-6,0 %

Hidrokarbon yang terkandung dalam minyak bumi utamanya adalah alkana dan sikloalkana. Senyawa lain yang terkandung di dalam minyak bumi meliputi sulfur, oksigen, nitrogen dan senyawa-senyawa yang mengandung konstituen logam terutama nikel, besi dan tembaga. Struktur hidrokarbon minyak bumi ditunjukkan pada tabel 2.2.

Tabel 2.2 Struktur hidrokarbon minyak bumi

Struktur Hidrokarbon	Rumus kimia	Bentuk susunan	keterangan
Alkana	C _n H _{2n+2}	rantai lurus/cabang	jumlah terbanyak

Sikloalkana (napten) a. siklopentana (5cincin) b. sikloheksana (6cincin)	$C_n H_{2n}$	 5 cincin 6 cincin	
Aromatik	$C_n H_{2n-6}$	 6 cincin	jumlah sedikit

Senyawa yang selalu ada dalam minyak bumi dalam jumlah sedikit antara lain:

- Sulfur. Sulfur dalam minyak bumi sering banyak menimbulkan akibat, menyebabkan korosi (karena terbentuknya asam yang dihasilkan dari oksida sulfur dan air.
- Oksigen. Oksigen (62 %) dalam minyak bumi berada dalam bentuk ikatan sebagai asam karboksilat, keton, ester, eter, anhidrida, senyawa monosiklo dan disiklo dan phenol. Sebagai asam karboksilat berupa asam Naphthenat (asam alisiklik) dan asam alifatik.
- Nitrogen. Kandungan Nitrogen (0,1-0,9 %) tertinggi terdapat pada tipe Asphaltik. Nitrogen mempunyai sifat racun terhadap katalis dan dapat membentuk gum/getah pada fuel oil. Kandungan nitrogen terbanyak terdapat pada fraksi titik didih tinggi.
- Konstituen Metalik. Konstituen Metalik seperti besi, tembaga, terutama nikel dan vanadium pada proses *catalytic cracking* mempengaruhi aktifitas katalis, sebab dapat menurunkan produk gasoline, menghasilkan banyak gas dan pembentuk kokas (*coke*). Pada *power generator* temperatur tinggi, misalnya *oil-fired gas turbine*, adanya konstituen logam terutama vanadium dapat membentuk kerak pada rotor turbin. Abu yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar yang mengandung natrium dan

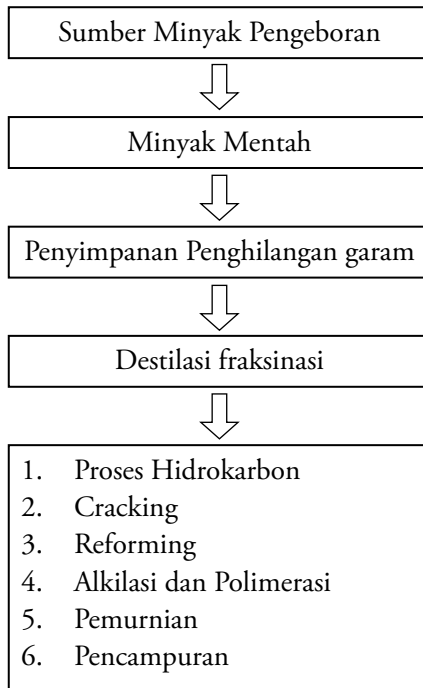
terutama vanadium dapat bereaksi dengan *refactory furnace* (bata tahan api), menyebabkan turunnya titik lebur campuran sehingga merusak *refactory*.

2.4 Pengolahan minyak bumi

Minyak mentah agar dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar minyak harus melalui proses pengolahan terlebih dahulu. Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya, minyak bumi terdapat didalam kerak bumi, sekitar 34 km di bawah permukaan laut. Untuk memperoleh minyak bumi, kegiatan pertama kali adalah pengeboran sumber-sumber minyak bumi. Hal ini dilakukan setelah dipastikan tempat tersebut mengandung minyak dari pengecekan menggunakan sensor pendeteksi minyak.

Hasil pengeboran yang berupa minyak mentah berupa cairan kental hitam dan berbau kurang sedap. Kemudian, Minyak mentah ditampung dalam kapal tanker atau dialirkan melalui pipa ke stasiun tangki atau ke kilang minyak. Minyak mentah belum dapat digunakan sebagai bahan bakar maupun untuk keperluan lainnya, tetapi harus diolah terlebih dahulu.

Pengelolaan minyak bumi oleh perusahaan Nasional adalah salah satu bentuk implementasi dari UUD 1945 pasal 33 ayat 3. Pada tahun 2016 Indonesia merupakan negara penghasil minyak mentah terbesar no 21 di dunia. Adapun perusahaan yang bergerak dibidang pengelolaan minyak bumi dan gas antara lain PT Pertamina EP Asset, PT Lapindo Brantas, PT Tangguh LNG, PT Chevron Pasific, PT Pertamina Hulu Energi, PT Tiara Bumi Petroleum, dan lain-lain. Berikut ini proses pengolahan minyak bumi.



Gambar 2.3 Bagan proses pengolahan minyak bumi

Minyak mentah mengandung sekitar 500 jenis hidrokarbon dengan jumlah atom C-1 sampai 50. Titik didih hidrokarbon meningkat seiring bertambahnya jumlah atom C yang berada di dalam molekulnya. Oleh sebab itu, pengolahan minyak bumi dilakukan melalui destilasi bertingkat, dimana minyak mentah dipisahkan ke dalam kelompok-kelompok (fraksi) dengan titik didih yang mirip. Proses pengolahan minyak bumi secara ringkas diproses melalui destilasi.

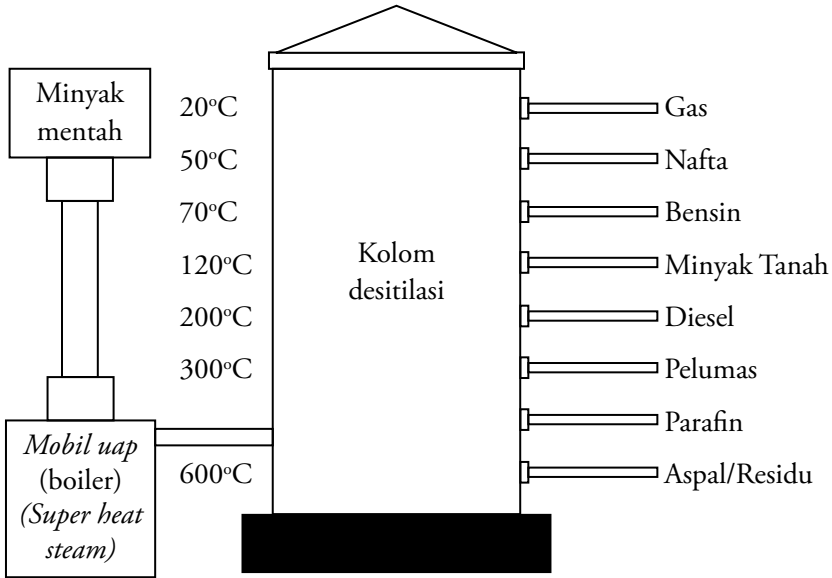
Destilasi adalah pemisahan fraksi-fraksi minyak bumi berdasarkan perbedaan titik didihnya. Dalam hal ini adalah destilasi fraksinasi. Mula-mula minyak mentah dipanaskan dalam aliran pipa dalam *furnace* (tanur) sampai dengan suhu $\pm 370^{\circ}\text{C}$. Minyak mentah yang menguap pada proses destilasi ini naik ke bagian atas kolom dan selanjutnya terkondensasi pada suhu yang berbeda-beda. Komponen yang titik didihnya lebih tinggi akan tetap berupa cairan dan

turun ke bawah, sedangkan yang titik didihnya lebih rendah akan menguap dan naik ke bagian atas melalui sungkup-sungkup yang disebut sungkup gelembung. Semakin ke atas, suhu yang terdapat dalam kolom fraksinasi tersebut makin rendah, sehingga setiap kali komponen dengan titik didih lebih tinggi akan terpisah, sedangkan komponen yang titik didihnya lebih rendah naik ke bagian yang lebih atas lagi. Demikian selanjutnya sehingga komponen yang mencapai puncak adalah komponen yang pada suhu kamar berupa gas. Komponen yang berupa gas ini disebut gas petroleum, kemudian dicairkan dan disebut LPG (*Liquified Petroleum Gas*). Fraksi minyak mentah yang tidak menguap menjadi residu. Residu minyak bumi meliputi parafin, lilin, dan aspal. Residu-residu ini memiliki rantai karbon sejumlah lebih dari 20.

Tabel 2.3 Fraksi destilasi minyak bumi

Nama fraksi destilasi	Rantai karbon	Suhu didih destilasi
Gas	C1 sampai C5	0 sampai 50°C
Gasolin (Bensin)	C6 sampai C11	50 sampai 85°C
Kerosin (Minyak Tanah)	C12 sampai C20	85 sampai 105°C
Solar (Diesel)	C21 sampai C30	105 sampai 135°C
Minyak Berat	C31 sampai C40	135 sampai 300°C
Residu	> C40	> 300°C

Fraksi minyak bumi lebih jelas dapat dilihat pada gambar 2.4 berikut.



Gambar 2.4 Fraksi destilasi proses pemilahan minyak bumi

Setelah dilakukan proses destilasi tahapan selanjutnya adalah *cracking*. *Cracking* merupakan proses penguraian partikel hidrokarbon menjadi partikel yang lebih kecil dalam fraksi minyak bumi.

Tahapan berikutnya adalah *reforming*. *Reforming* adalah perubahan struktur molekul dari karbon yang rantainya lurus menjadi bercabang dengan bantuan pemanas dan katalis. *Reforming* dilakukan apabila mutu bensin kurang baik dan terjadi perubahan.

Selanjutnya adalah alkilasi dan polimerasi. Alkilasi adalah proses bertambahnya rantai karbon pada fraksi sehingga molekulnya lebih panjang dan bercabang. Sedangkan polimerasi merupakan proses partikel-partikel kecil disatukan menjadi partikel-partikel yang lebih besar agar mutunya lebih baik.

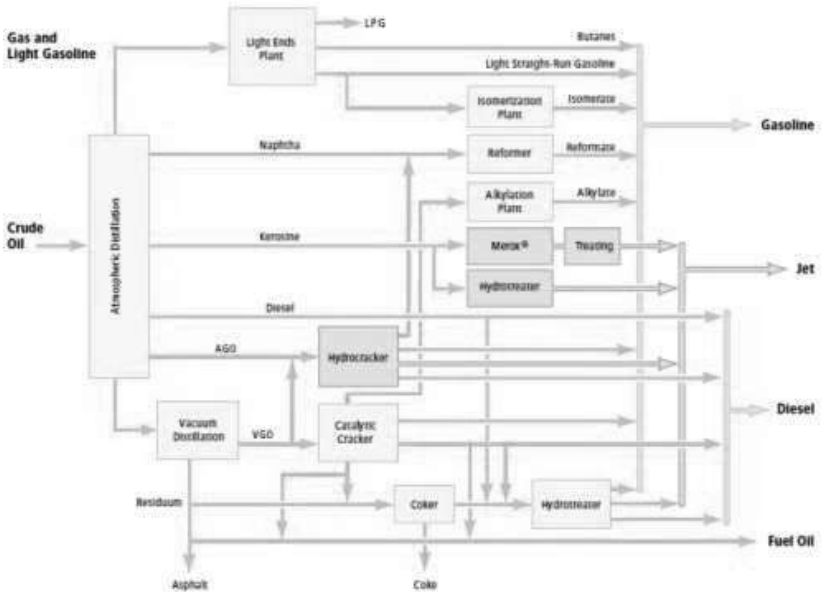
Tahap permunian merupakan tahapan pembersihan atau pemilahan bahan yang tidak diperlukan dalam fraksi minyak bumi.

Tahap akhir yaitu pencampuran. Pencampuran dilakukan dengan menambahkan zat aditif. Zat aditif digunakan untuk meningkatkan mutu kualitas minyak bumi misalnya *Tetra Ethyl Lead* (TEL). TEL

digunakan sebagai campuran untuk meningkatkan nilai oktan pada bensin.

Jenis bahan bakar dilihat dari bentuk fisiknya terdiri dari bahan bakar **padat**, **cair** dan **gas**. Jika dilihat dari ketersediaannya di alam, terdiri dari bahan bakar habis pakai (fossil) dan bahan bakar tidak habis pakai (biomasa). Hingga saat ini bahan bakar yang paling sering dipakai adalah bahan bakar fosil. Sebut saja bensin dan solar, bahan bakar fosil yang banyak digunakan untuk bahan bakar mesin motor bakar. Bahan-bakar fosil lainnya yang banyak digunakan adalah batu bara. Batu bara banyak digunakan untuk bahan bakar pada dapur-dapur boiler pada mesin tenaga uap.

Proses pengolahan minyak bumi modern ditunjukkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5. Kilang modern (KESDM, 2016)

Pemurnian minyak bumi saat ini menjadi kombinasi kompleks dari unit pemrosesan yang saling bergantung, hasil dari kemajuan teknologi yang menakjubkan di bidang kimia, teknik, dan metalurgi.

Proses ini dapat dibagi menjadi tiga kategori yaitu proses pemisahan, proses peningkatan, dan proses konversi.

- Proses pemisahan (*Separation processes*). Pada proses ini dipisahkan menjadi dua atau lebih komponen berdasarkan beberapa properti fisik, biasanya titik didih. Proses ini sebaliknya tidak mengubah bahan baku. Proses pemisahan yang paling umum di kilang adalah distilasi.
- Proses peningkatan (*Upgrading processes*). Proses ini meningkatkan kualitas bahan dengan menggunakan reaksi kimia untuk menghilangkan senyawa yang ada dalam jumlah kecil yang memberikan bahan kualitas yang tidak diinginkan. Jika tidak, sifat curah bahan baku tidak akan berubah.
- Proses konversi. Proses ini pada dasarnya mengubah struktur molekul bahan baku, biasanya dengan “memecahkan” molekul besar menjadi molekul kecil, misalnya, pemecahan katalitik dan perengkahan hidro. Pengolahan dimulai dengan proses pemisahan fisik sederhana yang disebut distilasi.

Hal yang perlu diketahui bahwa pengolahan minyak bumi dapat merusak lingkungan. Dalam proses pengolahan minyak bumi dapat mencemari air, tanah, dan udara. Proses pengolahan minyak bumi membutuhkan proses pembakaran untuk menghasilkan panas. Proses pembakaran yang tidak sempurna dapat menghasilkan gas karbon monoksida (CO), karbondioksida (CO₂), serta sulfur oksida.

Sumber dari limbah minyak bumi dapat berasal dari kebocoran pipa, air sisa boiler, serta dari tumpahan minyak mentah saat proses transportasi, produksi, dan eksplorasi. Untuk meminimalisir kerusakan lingkungan, proses pengolahan minyak bumi harus didasarkan pada baku mutu lingkungan. Selain itu proses pengolahan minyak bumi dalam jangka panjang dapat memberikan dampak buruk bagi kesehatan.

Latihan 2 Essay

1. Jelaskan bagaimana proses terbentuknya bahan bakar!
2. Jelaskan komposisi minyak bumi!
3. Jelaskan bagaimana proses pengolahan minyak bumi menjadi bahan bakar!
4. Jelaskan dampak dari eksplorasi minyak bumi!

Latihan 2 Pilihan Ganda

1. Pembentukan minyak bumi terdiri dari tiga tingkat, yaitu...
 - a. pembentukan sendiri, migrasi minyak bumi dalam sedimen, akumulasi tetes minyak
 - b. migrasi minyak bumi dalam sedimen, pembentukan sendiri, akumulasi tetes minyak
 - c. akumulasi tetes minyak, migrasi minyak bumi dalam sedimen, pembentukan sendiri
 - d. akumulasi tetes minyak, trap sedimen, pembentukan sendiri
 - e. pembentukan sendiri, akumulasi tetes minyak, trap sedimen
2. Komposisi minyak bumi terdiri dari...
 - a. Zn, Mg, C, H, O₂
 - b. C, H, N₂, O₂, S
 - c. S, Zn, C, H, N₂, Fe
 - d. Fe, N₂, O₂, S, Zn
 - e. N₂, O₂, S, Mg, C
3. Pengolahan minyak bumi diatur oleh ...
 - a. UUD 1945 pasal 31 ayat 3
 - b. UUD 1945 ayat 32 ayat 3
 - c. UUD 1945 ayat 33 ayat 3
 - d. UUD 1945 ayat 34 ayat 3
 - e. UUD 1945 ayat 35 ayat 3
4. Perusahaan Pengolahan minyak bumi dan gas, kecuali ...
 - a. PT. Lapindo Brantas
 - b. PT Tangguh LNG

- c. PT Chevron Pasific
 - d. PT Tiara Bumi Petroleum
 - e. PT Brantas Hulu Jaya
5. Alur proses pengolahan minyak bumi yaitu...
 - a. Pengeboran > Penyimpanan > minyak mentah > fraksinasi
 - b. Pengeboran > destilasi > penyimpanan > minyak mentah
 - c. Pengeboran > destilasi > minyak mentah > penyimpanan
 - d. Pengeboran > minyak mentah > penyimpanan > destilasi
 - e. Pengeboran > fraksinasi > destilasi > minyak mentah
 6. Fraksi destilasi minyak pada suhu di antara 0-50°C yaitu...
 - a. Residu
 - b. Gasoline
 - c. Gas
 - d. Solar
 - e. Kerosin
 7. Fraksi destilasi minyak pada suhu diantara >300°C yaitu...
 - a. Residu
 - b. Gasoline
 - c. Gas
 - d. Solar
 - e. Kerosin
 8. Fraksi destilasi minyak pada suhu diantara 50°C – 85°C yaitu...
 - a. Residu
 - b. Gasoline
 - c. Gas
 - d. Solar
 - e. kerosin
 9. proses Fraksi destilasi menghasilkan solar terjadi pada suhu...
 - a. 0°C-50 °C
 - b. 50°C-85 °C
 - c. 105°C-135 °C
 - d. 135°C-600 °C
 - e. 135°C-600 °C
 10. Pada pengolahan minyak bumi proses pemisahan (*separation process*) dilakukan di...
 - a. Botol reaksi
 - b. Tungku furnace
 - c. Burner boiler
 - d. Kolom distilasi
 - e. Sparation cub

BAB III

BAHAN BAKAR CAIR

Bahan bakar cair terdiri dari gabungan senyawa hidrocarbon yang diperoleh dari proses alam maupun buatan. Senyawa hidrocarbon merupakan senyawa organik yang terdiri dari hidrogen dan karbon, seperti *benzena*, *ethylbenzene*, *touena*, dan *isomer xylema*. Senyawa tersebut memiliki rantai karbon antara C6 sampai C40. Bahan bakar cair umumnya dihasilkan dari proses pengolahan minyak bumi. Bahan bakar cair memiliki banyak keuntungan dalam penggunaannya.

Keuntungan dari penggunaan bahan cair antara lain kemudahan dalam pengangkutan, hasil pembakaran lebih mendekati sempurna, menggunakan alat bakar yang lebih kompak, dan penanganannya lebih mudah. Kekurangan dari bahan bakar cair yaitu melalui proses tahap pemurnian yang cukup banyak untuk menghasilkan kandungan yang dibutuhkan.

Kaitannya dalam mesin, bahan bakar cair memiliki karakteristik yang perlu diperhatikan dalam kandungannya. Karakteristik ini akan mempengaruhi dari proses pembakaran dan emisi yang dihasilkan. Dengan memperhatikan karakteristik bahan bakar diharapkan proses pembakaran dan efisiensi dalam mesin menjadi optimal. Karakteristik tersebut meliputi densitas, *specific gravity*, viskositas, titik nyala, titik tuang, panas jenis, nilai kalor, kadar abu, kadar sulfur, kadar air, dan

residu karbon. Secara rinci karakteristik bahan bakar cair diuraikan sebagai berikut.

a. Densitas

Densitas atau massa jenis didefinisikan sebagai perbandingan massa bahan bakar terhadap volume bahan bakar pada suhu acuan 15°C. Densitas diukur dengan suatu alat yang disebut *hydrometer*. Pengetahuan mengenai densitas ini berguna untuk penghitungan kuantitatif dan pengkajian kualitas penyalaan. Satuan densitas adalah kg/m³. Apabila densitas bahan bakar melebihi ketentuan, maka dapat berakibat pada keausan dan kerusakan mesin. Umumnya bahan bakar cair memiliki densitas yang rendah agar mudah dialirkan. Persamaan densitas sebagai berikut, dimana ρ adalah densitas, massa (kg) dan volume (m³).

$$\rho = \frac{\text{massa}}{\text{volume}}$$

b. Specific gravity

Specific gravity merupakan perbandingan berat dari sejumlah volum minyak bakar terhadap berat air untuk volum yang sama pada suhu tertentu. Densitas bahan bakar, relatif terhadap air, disebut *specific gravity*. *Specific gravity* air ditentukan sama dengan 1. Karena *specific gravity* adalah perbandingan, maka tidak memiliki satuan.

Pengukuran *specific gravity* biasanya dilakukan dengan *hydrometer*. *Specific gravity* digunakan dalam penghitungan yang melibatkan berat dan volume.

$$Sg = \frac{\text{density (kg / m}^3\text{)}}{\text{density air (kg / m}^3\text{)}}$$

Specific gravity untuk berbagai bahan bakar minyak diberikan dalam tabel di bawah:

Tabel 3.1. *Specific gravity* berbagai bahan bakar minyak

Bahan bakar minyak Ringan	L.D.O (<i>Minyak Diesel Heavy Stock</i>)	Minyak Tungku (<i>Furnace Oil</i>)	L.S.H.S (<i>Low Sulphur</i>)
<i>Specific Gravity</i>	0,85 - 0,87	0,89 - 0,95	0,88 - 0,98

c. Viskositas

Viskositas suatu fluida merupakan ukuran resistansi bahan terhadap aliran. Viskositas tergantung pada suhu dan berkurang dengan naiknya suhu. Viskositas diukur dengan Stokes/Centistokes. Terkadang viskositas juga diukur dalam Engler, Saybolt atau Redwood. Tiap jenis minyak bakar memiliki hubungan suhu – viskositas tersendiri. Pengukuran viskositas dilakukan dengan suatu alat yang disebut Viskometer.

Viskositas merupakan sifat yang sangat penting dalam penyimpanan dan penggunaan bahan bakar minyak. Viskositas mempengaruhi derajat pemanasan awal yang diperlukan untuk *handling*, penyimpanan dan atomisasi yang memuaskan. Jika minyak terlalu kental, maka akan menyulitkan dalam pemompaan, sulit untuk menyalakan *burner*, dan sulit dialirkan. Atomisasi yang jelek akan mengakibatkan terjadinya pembentukan endapan karbon pada ujung *burner* atau pada dinding-dinding. Oleh karena itu pemanasan awal penting untuk atomisasi yang tepat.



Gambar 3.1. Alat viskometer digital

d. Titik nyala

Titik nyala suatu bahan bakar adalah suhu terendah di mana bahan bakar dapat dipanaskan sehingga uap mengeluarkan nyala sebentar bila dilewatkan suatu nyala api. Titik nyala untuk minyak tungku (*furnace oil*) adalah 660°C .

e. Titik tuang

Titik tuang suatu bahan bakar adalah suhu terendah di mana bahan bakar akan tertuang atau mengalir bila didinginkan di bawah kondisi yang sudah ditentukan. Ini merupakan indikasi yang sangat kasar untuk suhu terendah di mana bahan bakar minyak siap untuk dipompakan.

f. Panas jenis

Panas jenis adalah jumlah kkal yang diperlukan untuk menaikkan suhu 1 kg minyak sebesar 10°C . Satuan panas jenis adalah kkal/kg $^{\circ}\text{C}$. Besarnya bervariasi mulai dari 0,22 hingga 0,28 tergantung pada *specific gravity* minyak. Panas jenis menentukan berapa banyak uap atau energi listrik yang digunakan untuk memanaskan minyak ke suhu yang dikehendaki. Minyak ringan memiliki panas jenis yang rendah, sedangkan minyak yang lebih berat memiliki panas jenis yang lebih tinggi.

g. Nilai kalor

Nilai kalor merupakan ukuran panas atau energi yang dihasilkan, dan diukur sebagai nilai kalor kotor (*gross calorific value* atau nilai kalor netto/*nett calorific value*). Perbedaannya ditentukan oleh panas laten kondensasi dari uap air yang dihasilkan selama proses pembakaran. Nilai kalor kotor atau *gross calorific value* (GCV) mengasumsikan seluruh uap yang dihasilkan selama proses pembakaran sepenuhnya terkondensasikan. Nilai kalor netto (NCV) mengasumsikan air yang keluar dengan produk pengembunan tidak seluruhnya terembunkan. Bahan bakar harus dibandingkan berdasarkan nilai kalor netto. Nilai kalor batubara bervariasi tergantung pada kadar abu, kadar air dan

jenis batu baranya sementara nilai kalor bahan bakar minyak lebih konsisten. GCV untuk beberapa jenis bahan bakar cair yang umum digunakan ditunjukkan pada tabel 3.2:

Tabel 3.2. Nilai kalor untuk beberapa bahan bakar minyak

Bahan bakar minyak	Nilai Kalor kotor (LHV) (kKal/kg)
Minyak Tanah	11.100
Minyak Diesel	10.800
L.D.O	10.700
Minyak Tungku	10.500
LSHS	10.600

h. Sulfur

Jumlah sulfur dalam bahan bakar minyak sangat tergantung pada sumber minyak mentah dan pada proses penyulingannya. Kandungan normal sulfur untuk residu bahan bakar minyak (minyak *furnace*) berada pada 2 - 4 %. Kandungan sulfur untuk berbagai bahan bakar minyak ditunjukkan Tabel 3.3.

Tabel 3.3. Persentase sulfur berbagai bahan bakar minyak

Bahan bakar minyak	Kandungan sulfur (%)
Minyak Tanah	0,05 – 0,2
Minyak Diesel	0,05 – 0,25
L.D.O	0,5 – 1,8
Minyak Tungku/ <i>Furnace</i>	2,0 – 4,0
LSHS	< 0,5

Kerugian utama dari adanya sulfur adalah resiko korosi oleh asam sulfat yang terbentuk selama dan sesudah pembakaran,

dan pengembunan di cerobong asap, pemanas awal udara dan *economizer*.

i. Kadar abu

Kadar abu erat kaitannya dengan bahan inorganik atau garam dalam bahan bakar minyak. Kadar abu pada distilat bahan bakar diabaikan. Residu bahan bakar memiliki kadar abu yang tinggi. Garam-garam tersebut mungkin dalam bentuk senyawa sodium, vanadium, kalsium, magnesium, silikon, besi, aluminium, nikel, dll. Umumnya, kadar abu berada pada kisaran 0,03 – 0,07 %. Abu yang berlebihan dalam bahan bakar cair dapat menyebabkan pengendapan kotoran pada peralatan pembakaran. Abu memiliki pengaruh erosi pada ujung *burner*, menyebabkan kerusakan pada refraktori pada suhu tinggi dapat meningkatkan korosi suhu tinggi dan penyumbatan peralatan.

j. Residu karbon

Residu karbon memberikan kecenderungan pengendapan residu padat karbon pada permukaan panas, seperti *burner* atau injeksi nosel, bila kandungan yang mudah menguapnya menguap. Residu minyak mengandung residu karbon 1 persen atau lebih.

k. Kadar air

Kadar air minyak tungku/*furnace* pada saat pemasakan umumnya sangat rendah sebab produk disuling dalam kondisi panas. Batas maksimum 1% ditentukan sebagai standar. Air dapat berada dalam bentuk bebas atau emulsi dan dapat menyebabkan kerusakan di bagian dalam permukaan tungku selama pembakaran terutama jika mengandung garam terlarut. Air juga dapat menyebabkan percikan nyala api di ujung *burner*, yang dapat mematikan nyala api, menurunkan suhu nyala api atau memperlama penyalaan. Spesifikasi khusus bahan bakar minyak terlihat pada tabel 3.4.

Tabel 3.4. Spesifikasi khusus bahan bakar minyak

Karakteristik	Bahan Bakar Minyak		
	Minyak <i>Furnace</i>	L.S.H.S	L.D.O
Masa Jenis (g/cc pada 150C)	0,89 - 0,95	0,88 - 0,98	0,85 - 0,87
Titik Nyala (°C)	66	93	66
Titik Tuang (°C)	20	72	18
G.C.V. (kKal/kg)	10.500	10.600	10.700
Endapan, % Berat Max.	0,25	0,25	0,1
Total Sulfur, % Berat, Max.	Sampai 4,0	Sampai 0,5	Sampai 1,8
Kadar Air, % Vol. Max.	1,0	1,0	0,25
% Abu, Berat Max.	0,1	0,1	0,02

3.1 Macam-macam bahan-bakar cair

3.1.1 Bensin

Bensin adalah hasil dari pemurnian neptha yang komposisinya dapat digunakan untuk bahan bakar pada motor bakar. Yang disebut dengan neptha adalah semua minyak ringan dengan komposisi karbon yang sedang yaitu 5 sampai 11 ikatan tak jenuh. Neptha berbentuk cairan dengan karakteristik di antara bensin dan kerosin. Bensin berasal dari kata *benzana*, lazim sebenarnya zat ini berasal dari gas tambang yang mempunyai sifat beracun, dapat bereaksi dengan mudah terhadap unsur-unsur lain. Bentuk ikatan adalah rangkap,

dan senyawa molekulnya disebut alkana. Bahan bakar jenis ini biasa disebut dengan kata lain *gasoline*. Bensin pada dasarnya adalah persenyawaan jenuh dari hidro karbon, dan merupakan komposisi *isooctane* dengan *normal-heptana*, senyawa molekulnya tergolong dalam kelompok senyawa hidrokarbon *alkana*.

Bensin dari campuran hidrokarbon cair yang memiliki empat hingga sepuluh atom karbon, memiliki hidrokarbon yang lebih ringan dan lebih berat dalam jumlah kecil, mengandung sulfur dan nitrogen dalam jumlah kecil. Beberapa aditif dalam persentase yang sangat rendah digunakan untuk memberikan manfaat kinerja. Bensin adalah pecahan minyak bumi yang ringan dalam bentuk cair, Kisaran dididih bensin terletak antara 30°C dan 200°C. Berat jenis antara 0,7 dan 0,78. Komposisi kimia penyusunnya sangat bervariasi, tergantung pada minyak mentah dasar dan proses pemurnian. Nilai kalor bensin sekitar 44.000 kJ/kg. Ini banyak digunakan pada mesin dengan pengapian busi.

Proses pembuatan bensin yang digunakan pada motor bakar melalui beberapa cara, tetapi prinsipnya sama yaitu mendestilasi hidrokarbon pada suhu 1000 °F dan campuran tersebut terdiri dari:

1. *Straight run nephta* yaitu minyak bumi yang mendidih sampai suhu 2000 C.
2. *Reformed Nephta* yaitu hasil yang sama volatilenya, diperoleh dengan pengolahan termis atau dengan dehidrogenisasi katalisasi dari nephta yang berat.
3. *Cracked nephta* produk yang sama volatilnya, diperoleh dengan proses termis atau katalis dari destilasi sedang seperti minyak gas
4. *Casing head gasoline*, gasolin yang diperoleh sebagai hasil dari proses destilasi kering natural gas.

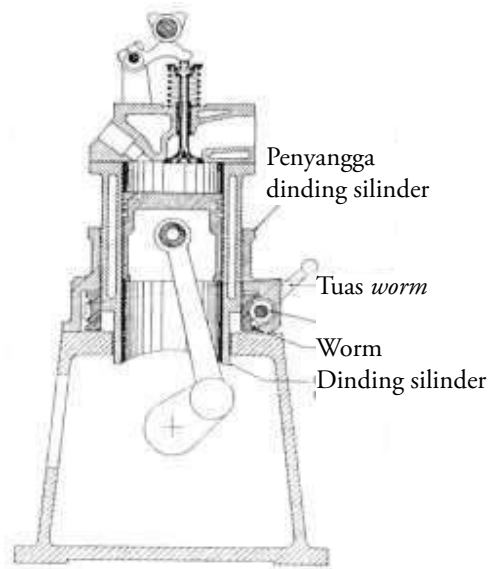
Karakteristik bahan bakar bensin adalah mudah sekali menguap dan terbakar. Dengan karakteristik tersebut bensin dalam proses

pembakaran dalam ruang bakar sangat mudah meledak (detonasi) yang cenderung tidak terkontrol pada kondisi temperatur dan tekanan tinggi. Karakteristik bensin ditunjukkan oleh suatu bilangan yang menunjukkan kemampuan bensin terhadap detonasi yang disebut dengan angka oktan. Jadi kualitas bensin dinyatakan dengan angka oktan, atau *octane number*. Angka oktan adalah persentase volume *isooctane* di dalam campuran antara *isooctane* dengan *normal heptana* yang menghasilkan intensitas *knocking* atau daya ketokan dalam proses pembakaran ledakan dari bahan bakar yang sama dengan bensin yang bersangkutan. *Isooctane* sangat tahan terhadap ketokan atau dentuman yang diberi angka oktan 100, *heptane* yang sangat sedikit tahan terhadap dentuman di beri bilangan 0. Pada motor percobaan, bermacam–macam bensin dibandingkan dengan campuran *isooctane* dan *normal heptana* tersebut. Bilangan oktan untuk bensin adalah sama dengan banyaknya persen *isooctane* dalam campuran itu. Gambar 3.2 adalah mesin uji angka oktan (*cooperative fuel research* (CFR)), pada mesin uji ini rasio kompresi dapat divariasikan dengan yang diperlukan.

Semakin tinggi nilai oktan bahan bakar menunjukkan daya bakarnya semakin tinggi. Bensin yang ada di pasaran dikenal tiga kelompok: (1) *Regular–grade*, (2) *Premium–grade*, dan (3) *Third–grade Gassoline*. Adapun di Indonesia, Pertamina mengelompokkannya menjadi: bensin, premium, aviation gas dan super 98.

Persyaratan bensin sebagai bahan bakar kendaraan bermotor yaitu:

- (1) Mudah tercampur dengan udara
- (2) Tidak mudah menguap
- (3) Tahan terhadap detonasi
- (4) Menghasilkan pembakaran yang bersih
- (5) Murah dan mudah didapat
- (6) Tidak menyisakan kerak pada ruang bakar.



Gambar 3.2 Mesin uji nilai oktan CFR

3.1.2 Etanol

Etanol sering dikenal sebagai alkohol. Etanol berasal dari organik dan dapat diproduksi dari berbagai bahan mentah yang tersedia secara melimpah. Etanol (C_2H_5OH) dapat diproduksi dengan fermentasi karbohidrat yang terjadi secara alami dan berlimpah di beberapa tanaman seperti tebu dan juga dapat diproduksi dari bahan bertepung seperti jagung, kentang, jagung dan barley. Bahan bertepung diubah terlebih dahulu menjadi gula yang kemudian difermentasi dengan ragi.

Etanol merupakan bahan kimia dalam bentuk cairan yang bening, tidak berwarna, mudah menguap, memiliki aroma yang tajam, dan terasa pedih di kulit. Etanol merupakan salah satu zat yang penting di bidang kimia dan industri, sebagai contoh etanol banyak digunakan untuk pelarut vernis dan campuran parfum, umumnya mengandung sekitar 95% alkohol dan 5% air. Untuk produksi metanol skala besar (CH_3OH), metode berikut umumnya digunakan (a) disilasi destruktif kayu, (b) sintesis dari gas air, (c) dari

gas alam tetapi berbasis minyak bumi, (d) dari batubara, bahan bakar fosil yang relatif melimpah.

Alkohol memiliki karakteristik antiknock tinggi yang memungkinkan sehingga membutuhkan rasio kompresi yang lebih tinggi. Pada Campuran kurus akan terbakar dan suhu gas buang akan lebih rendah sehingga akan mengurangi CO dan NO_x di knalpot. Mesin dengan pengapain busi berbahan bakar alkohol dapat menghasilkan keluaran tenaga yang sedikit lebih tinggi.

Metanol dianggap sebagai salah satu bahan bakar otomotif alternatif yang paling mungkin. Namun, beberapa kesulitan teknis utama harus diselesaikan sebelum 100% metanol dapat menjadi bahan bakar yang dapat diterima secara komersial untuk digunakan dalam kendaraan. Kesulitan yang paling sering disebutkan adalah start dingin. Bahan bakar ini tidak dapat dinyalakan awal pada suhu di bawah 15°C), keselamatan (campuran eksplosif dalam bahan bakar berkat nyala api yang tidak terlihat), dan korosi serta keausan bahan mesindan sistem bahan bakar. Selain itu, jarak tempuh kendaraan juga akan berkurang secara substansial, kecuali jika ukuran tangki bahan bakar sangat ditingkatkan, karena kepadatan energi volumetrik metanol hanya sekitar setengah dari bensin itu. Sebagian besar masalah ini dapat diselesaikan dengan menggunakan campuran metanol dan bensin dengan konsentrasi sedang (30-70% volume). Namun, penggunaan campuran tersebut dapat mengganggu beberapa keunggulan teknis utama metanol, yaitu peningkatan efisiensi dan tenaga mesin, serta penurunan emisi NO_x.

Tabel 3.5. Perbandingan sifat metanol, etanol,dan bensin

Sifat	Metanol	Etanol	Bensin
Rumus Kimia	CH ₃ OH	C ₂ H ₅ O ₂	C _m H _n
Berat molekul	32,04	46,06	107
Komposisi menurut berat			

Karbon (C)	37,5	52,2	84
Hidrogen (H)	12,5	13	16
Oksigen (O ₂)	50	34,8	-
Spesific gravity	0,792	0,785	0,7-0,78
Titik didih (°C)	65	77,8	38-205
Panas laten penguapan (kJ/kg)	1168	921	290-420
Tekanan uap pada 311 K (bar)	0,31	0,21	0,48-1,03
Nilai kalori yang lebih rendah (MJ/kg)	20,1	27	44
Stoikiometri, rasio udara/bahanbakar (AFR)	6,4	9	14,7
Batas pengapian, rasio udara/bahan bakar (AFR)	3,15-12,8	3,5-17	7-22
Temperatur penyalaan sendiri (°C)	574	537	300-450
Angka Oktan			
RON (<i>Reseach Octan Number</i>)	114	111	91
MON (<i>Motor Octan Number</i>)	94	94	82

Sumber: Gupta, 2009

3.1.3 Solar

Solar adalah bahan bakar minyak hasil sulingan dari minyak bumi mentah, bahan bakar ini mempunyai warna kuning coklat yang jernih. Adapun sifat-sifat minyak solar yang lain adalah sebagai berikut.

1. Tidak berwarna atau berwarna kuning muda dan berbau;
2. Tidak mudah menguap, pada temperatur normal tidak akan menguap;

3. Titik nyala atau temperatur minimum mulai terbakar bila di dekat api adalah 400 sampai 1000 °C, jika dibandingkan dengan bensin yaitu sekitar 10-150 °C, angka ini cukup tinggi dan aman untuk pemakaian;
4. Temperatur nyala atau *flash point* (temperatur dimana bahan bakar menyala dengan sendirinya tanpa pengaruh dari luar) adalah 3500°C. (lebih rendah dari temperatur nyala bensin 3800 °C).
5. Dapat menghasilkan panas yang tinggi sekitar 10.500 kkl/kg.

Bahan-bakar solar yang baik adalah mempunyai titik nyalanya rendah atau mudah menyala, viskositasnya tepat, tidak terlalu kental, mudah menguap dan mengandung belerang yang rendah.

Minyak solar merupakan hasil dari pengolahan minyak bumi sama dengan bensin. Minyak solar ini biasanya digunakan sebagai bahan bakar pada semua jenis motor diesel dan juga sebagai bahan bakar untuk pembakaran langsung di dalam dapur–dapur kecil yang menghendaki hasil pembakaran yang bersih. Minyak ini sering disebut juga sebagai gas oil, ADO, HSD, atau Dieseline. Pada temperatur biasa, artinya pada suhu kamar tidak menguap, dan titik nyalanya jauh lebih tinggi daripada bahan bakar bensin.

Kualitas solar dinyatakan dengan angka setane atau *cetane* number (CN). Angka setane merupakan indikator kualitas suatu bahan bakar bila ditinjau dari kecepatan terbakarnya bahan bakar motor diesel. Semakin tinggi CN bahan bakar, maka akan mengurangi waktu tunda pembakaran, sehingga bahan bakar dapat terbakar dengan cepat. Bilangan setane yaitu besar persentase volume *normal cetane* dalam campurannya dengan *methyl naphthalene* yang menghasilkan karakteristik pembakaran yang sama dengan solar yang bersangkutan. Secara umum solar dapat diklasifikasikan sebagai berikut: (1) *Light Diesel Fuel (LDF)* mempunyai CN = 50, (2) *Medium Diesel Fuel (MDF)* mempunyai CN = 50, dan (3) *Heavy Diesel Fuel (HDF)* mempunyai CN = 35.

LDF dan MDF sering dikatakan sebagai solar no.1 dan 2. Perbedaan kedua jenis solar ini terletak pada efek pelumasannya saja. LDF dalam hal ini lebih encer, jernih, dan ringan, sedang MDF lebih gelap, berat, dan dalam pemakaiannya pada motor bakar diperlukan syarat- syarat khusus.

Minyak bensin dan solar seperti yang telah diuraikan di atas adalah minyak dengan kualitas prima, tetapi hanya cocok secara ekonomis diaplikasikan pada motor bakar saja. Untuk keperluan instalasi daya pembangkitan dan untuk pemakaian di industri, penggunaan bensin dan solar sangat tidak efisien. Sebagai penggantinya dipilih bahan bakar yang lebih murah namun ketersediaanya berlimpah. Salah satunya adalah minyak bakar. Minyak bakar adalah bahan bakar yang bukan berasal dari hasil penyulingan, tetapi jenis residu. Minyak ini mempunyai tingkat kekentalan yang tinggi dan juga titik tuang (*pour point*) yang lebih tinggi dari pada minyak diesel, berwarna hitam gelap. Karena viskositasnya tinggi, minyak bakar sebelum digunakan harus melalui pemanasan awal terlebih dahulu.

Minyak bakar banyak dipergunakan sebagai bahan bakar pada sistem pembakaran langsung dalam dapur-dapur industri yang besar atau pada pusat pembangkitan daya. Adapun pembakaran langsung yang dimaksud adalah pada sistem *eksternal combustion engine* atau mesin pembakaran luar, misalnya: pada mesin uap, mesin turbin gas dapur-dapur baja, dan lain sebagainya. Minyak ini disebut juga sebagai MFO (*Medium Fuel Oil*).

3.1.4 Biosolar

Solar merupakan bahan bakar minyak yang tidak dapat diperbaharui. Saat ini banyak peneliti yang telah melakukan penelitian untuk membuat biosolar (biodiesel) yang dapat diperbarui. Perbedaannya yaitu solar berasal dari fosil sedangkan biosolar berasal dari tanaman atau tumbuhan. Kelebihan penggunaan biosolar yaitu (1) Pembakaran biodiesel 75% lebih bersih daripada solar, (2) Emisi karbon dioksida biodiesel sekitar 78% lebih rendah dari solar)

sehingga tidak berkontribusi signifikan pada pemanasan global, (3) Biodiesel memiliki sifat pelarut (pelumas) sehingga bisa turut membersihkan bagian-bagian mesin diesel dari berbagai kotoran. Jelaga pembakaran yang dihasilkan biodiesel juga lebih sedikit dibandingkan solar, (4) Biodiesel membuat mesin lebih mudah distarter dan berjalan lebih mulus akibat angka cetane yang lebih tinggi, (5) Biodiesel menghasilkan lebih sedikit jelaga, hidrokarbon, karbon monoksida, tidak terbakar, serta sulfur dioksida, (6) lebih ramah lingkungan, (7) Biodiesel bisa digunakan untuk mengurangi efek tumpahan minyak bumi yang mencemari perairan. (8) Mesin diesel lebih tua, terutama yang dibuat sebelum tahun 1992, mungkin mengalami masalah saat menggunakan biodiesel konsentrasi tinggi akibat tersumbatnya filter bahan bakar dan kerusakan komponen karet pada mesin.

Bahan pembuatan biosolar biasanya dari buah atau biji tanaman, misalnya kelapa sawit, biji jarak, buah kemiri, dan kacang tanah atau berbagai jenis kacang-kacangan. Selain dari bahan pembuatannya, masih terdapat perbedaan solar dengan biosolar, antara lain kandungan energi, kadar sulfur, dan kekuatan proses oksidasi. Biosolar memiliki kandungan yang lebih rendah daripada solar. Perbedaan kandungan energi diantara keduanya berkisar sepuluh persen. Dengan kandungan energi yang lebih rendah, dapat dipastikan bahwa tenaga yang dihasilkan oleh biosolar untuk mesin juga lebih rendah. Kandungan sulfur pada biosolar lebih rendah dibandingkan solar. Hal ini menyebabkan karbondioksida dan atau sulfurdioksida jauh lebih rendah. Dengan demikian, biosolar lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan solar. Perbedaan lainnya pada kekuatan proses oksidasi biosolar. Kekuatan oksidasi biosolar tidak sekuat solar. Hal ini dapat menyebabkan proses penyimpanan yang dapat mengalami penyumbatan pada bagian mesin.

Konsumsi minyak solar di Indonesia pada tahun 2005 rata-rata mencapai 26 juta kilo liter per tahun. Produksi minyak solar dalam negeri tidak mencapai 13 juta kilo liter per tahun, sehingga

diperlukan impor minyak solar lebih dari 13 juta kilo liter. Dengan meningkatnya volume kendaraan maka diperkirakan akan melakukan impor minyak solar.

Berdasarkan pengamatan industri minyak kelapa sawit di seluruh Indonesia diperkirakan seluruh jenis kelapa sawit di Indonesia diharapkan dapat dipakai sebagai bahan baku industri biodisel. Mengingat CPO saat ini telah mempunyai pasar sendiri yaitu untuk pembuatan minyak goreng, maka CPO sebagai bahan baku biofuel harus dari hasil areal kelapa sawit baru. Luas areal Kelapa Sawit di Indonesia tahun 2004 menunjukkan angka 5,24 Juta Hektare, dimana Sumatera sebesar 4,19 juta Hektare dan Kalimantan seluas 1,050 Juta Hektare. Berbagai pihak mengharapkan pembukaan areal kelapa sawit adalah dengan memanfaatkan lahan kritis yang cukup luas di Indonesia, misalnya di Kalimantan Timur luas lahan kritis mencapai 6,4 Juta hektare.

Indonesia saat ini telah menerapkan pemakaian biosolar B30. Biosolar B30 merupakan campuran antara 30 persen biosolar dengan 70 persen solar. Biosolar yang diproduksi umumnya berasal dari minyak kelapa sawit (*Crude Palm Oil* (CPO)). Biodiesel (methyl ester) terbentuk melalui reaksi antara senyawa ester dengan senyawa alkohol sehingga terbentuk senyawa ester baru (methyl ester). Bahan ester ini memiliki komposisi yang sama dengan bahan bakar solar, sehingga, biodiesel ini dapat dimanfaatkan untuk mengurangi konsumsi solar yang tidak dapat diperbarui.

B30 merupakan program Pemerintah yang mewajibkan pencampuran 30% Biodiesel dengan 70% bahan bakar minyak jenis Solar (B30). Penerapan B30 Sesuai Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) Nomor 12 tahun 2015 tentang Perubahan Ketiga atas Peraturan Menteri ESDM nomor 32 tahun 2008 tentang Penyediaan, Pemanfaatan dan Tata Niaga Bahan Bakar Nabati (*Biofuel*) sebagai Bahan Bakar Lain.

Solar memiliki cetane number (CN) 48, sedangkan minyak sawit CN 41. Dengan komposisi di atas yang membentuk B30, maka nilai

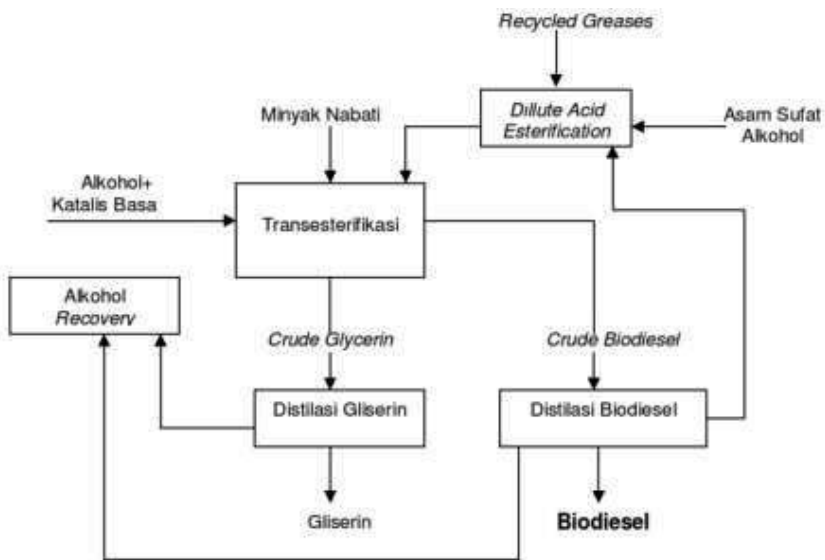
CN-nya hanya sedikit lebih baik dari solar. Meski demikian, Angka CN yang lebih tinggi di B30 bukan berarti dapat mendongkrak sisi performa dari mesin diesel. Hal ini lantaran nilai kalor yang dimiliki B30 sedikit lebih rendah dibandingkan solar dan sifat alami biosolar.

Biosolar dibuat melalui suatu proses kimia yang disebut transesterifikasi dimana gliserin dipisahkan dari minyak nabati. Proses ini menghasilkan dua produk yaitu metil esters (biodiesel) atau mono-alkyl esters dan gliserin yang merupakan produk samping. Bahan baku utama untuk pembuatan biodiesel antara lain lemak hewani, minyak nabati, lemak bekas. Semua bahan baku ini mengandung trigliserida, asam lemak bebas dan zat-pencemar dimana tergantung pada pengolahan pendahuluan dari bahan baku tersebut.

Alkohol digunakan sebagai bahan baku penunjang. Pada ini pembuatan biodiesel dibutuhkan katalis untuk proses esterifikasi, katalis dibutuhkan karena alkohol larut dalam minyak. Minyak nabati kandungan asam lemak bebas lebih rendah dari pada lemak hewani, minyak nabati biasanya selain mengandung asam lemak bebas juga mengandung phospholipids. Phospholipids dapat dihilangkan pada proses degumming dan asam lemak bebas dihilangkan pada proses refining. Minyak nabati yang digunakan dapat dalam bentuk minyak. Produk biodiesel tergantung pada minyak nabati yang digunakan sebagai bahan baku serta pengolahan pendahuluan dari bahan baku tersebut. Bila kandungan air tinggi akan mempengaruhi hasil biodiesel kualitasnya rendah. Disamping itu hasil biodiesel juga dipengaruhi oleh tingginya suhu operasi proses produksi, lamanya waktu pencampuran atau kecepatan pencampuran alkohol.

Dalam pembuatan biodiesel juga membutuhkan katalisator. Katalisator dibutuhkan untuk meningkatkan daya larut pada saat reaksi berlangsung. Katalis yang digunakan biasanya NaOH atau KOH atau natrium metoksida. Katalis yang akan dipilih tergantung minyak nabati yang digunakan, apabila digunakan minyak mentah dengan kandungan asam lemak bebas kurang dari 2 %, disamping

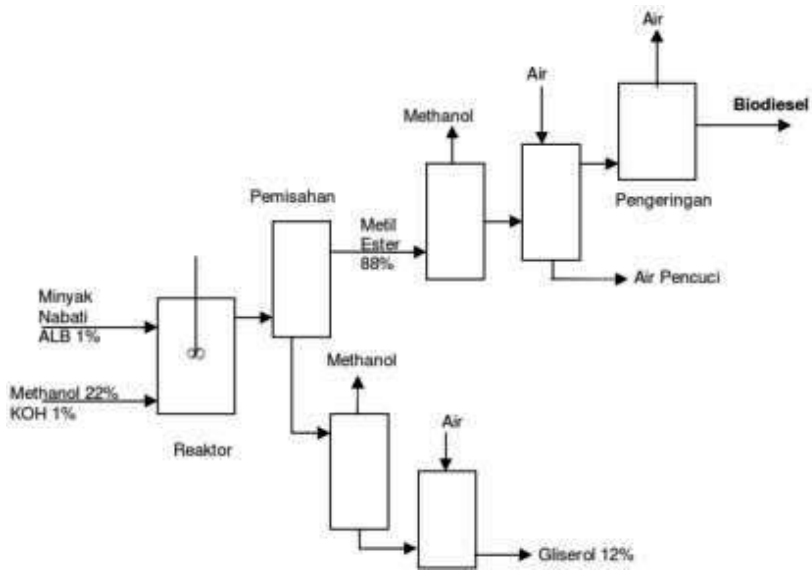
terbentuk sabun dan juga gliserin. Katalis umumnya sangat higroskopis dan bereaksi membentuk larutan kimia yang akan dihancurkan oleh reaktan alkohol. Jika banyak air yang diserap oleh katalis maka kerja katalis kurang baik sehingga produk biodiesel kurang baik. Setelah reaksi selesai, katalis harus di netralkan dengan penambahan asam mineral kuat. Setelah biodiesel dicuci proses netralisasi juga dapat dilakukan dengan penambahan air pencuci, HCl juga dapat dipakai untuk proses netralisasi katalis basa, bila digunakan asam phosphate akan menghasilkan pupuk fosfat.



Gambar 3.3. Proses pembuatan biodiesel/biosolar

Hampir semua biodiesel diproduksi dengan metode transesterifikasi dengan katalisator basa karena merupakan proses yang ekonomis dan hanya memerlukan suhu dan tekanan rendah. Hasil konversi yang bisa dicapai dari proses ini adalah bisa mencapai 98%. Proses ini merupakan metode yang cukup krusial untuk memproduksi biodiesel dari minyak/lemak nabati. Proses transesterifikasi merupakan reaksi dari trigliserin (lemak/minyak) dengan methanol atau ethanol untuk membentuk ester dan gliserol.

Selain itu instalasi biodiesel juga mensyaratkan bahwa ukuran partikel asam lemak bebas harus < 5 mikrometer. Bila kondisi ini tidak terpenuhi, diperlukan proses persiapan yaitu Filtrasi hingga 5 mikrometer, Pencucian dengan air, Dekantasi, Pemanasan minyak, dan Dekantasi kedua. Secara umum tahapan proses dari pembuatan biodiesel ditunjukkan pada gambar 3.4.



Gambar 3.3. Proses Produksi Biodiesel dari Minyak Nabati

Tabel 3.6. Spesifikasi biosolar

Properti	Batas	Metode ASTM
Titik Bakar (°C)	Min. 130	D93
Air & sedimen (% volume) mm/detik	Maksimal 0,50	D2709
Viskositas (40°C)	1,9-6,0	D445
Abu sulfat (% masa)	Maksimal 0,020	D874
Sulfur		
S 15 Grade (ppm)	Maksimal 15	

S 500 Grade (ppm)	Maksimal 500	
Cetane Number	Minimal 47	D6130
Residu Karbon (% mass)	0,50	D4530
pH (mgKOH/gr)	0,80	D664
Gliserin bebas (% masa)	0,020	D6584
Total gliserin (% masa)	0,024	D6584
Kandungan fosfat (% masa)	0,0001	D4951
Temperatur distilasi (°C)	Maksimal 360	D1160

Pirolisis

Pirolisis merupakan proses dekomposisi kimia dengan menggunakan pemanasan tanpa atau dengan sedikit oksigen. Proses ini merupakan bagian dari proses karbonisasi untuk memperoleh karbon atau arang. Pada proses pirolisa temperature yang digunakan dapat mencapai lebih dari 500°C atau sering disebut dengan high temperature carbonization (HTC).

3.2 Penyimpanan bahan bakar minyak

Akan sangat berbahaya bila menyimpan minyak bakar dalam tong. Cara yang lebih baik adalah menyimpannya dalam tangki silinder, di atas maupun dibawah tanah. Minyak baker yang dikirim umumnya masih mengandung debu, air dan bahan pencemar lainnya. Ukuran tangki penyimpan minyak bakar sangatlah penting. Perkiraan ukuran penyimpan yang direkomendasikan sedikitnya untuk 10 hari konsumsi normal. Tangki penyimpan bahan bakar untuk industri pada umumnya digunakan tangki *mild steel* tegak yang diletakkan di atas tanah. Untuk alasan keamanan dan lingkungan, perlu dibuat dinding disekitar tangki penyimpan untuk menahan aliran bahan bakar jika terjadi kebocoran.

Pengendapan sejumlah padatan dan lumpur akan terjadi pada tangki dari waktu ke waktu, tangki harus dibersihkan secara berkala: setiap tahun untuk bahan bakar berat dan setiap dua tahun untuk bahan bakar ringan. Pada saat bahan bakar dialirkan dari kapal tanker ke tangki penyimpanan, harus dijaga dari terjadinya kebocoran-kebocoran pada sambungan, flens dan pipa-pipa. Bahan bakar minyak harus bebas dari pencemar seperti debu, lumpur dan air sebelum diumpankan ke sistim pembakaran.

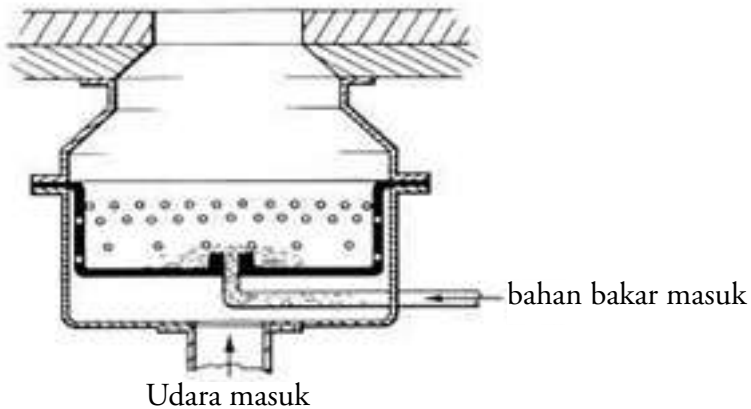
3.3. *Burner* untuk bahan bakar cair

Burner (alat pembakar) dengan berbahan bakar cair mempunyai permasalahan khusus yaitu proses pencampuran antara bahan bakar cair dan udara. Untuk memperbaiki pencampuran bahan-bakar udara, proses pengkabutan harus menjamin terjadi atomisasi yang bagus dari bahan bakar sehingga udara dapat berdifusi dengan mudah masuk ke bahan bakar. Dari proses tersebut akan tercapai campuran yang lebih homogen. Proses pembakaran akan berlangsung menjadi lebih sempurna.

Ada beberapa macam tipe dari *burner* berbahan bakar cair yaitu sebagai berikut:

a. Vaporising burner.

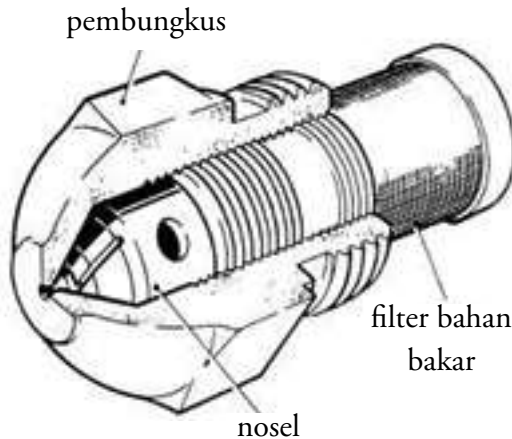
Burner jenis ini menggunakan bahan bakar cair seperti kerosen dan premium. Bahan-bakar diuapkan terlebih dahulu sebelum bercampur dengan udara. Udara didifusikan ke uap bahan-bakar secara alamiah atau dipaksa dengan fan. *Burner* tipe ini digunakan pada industri skala kecil.



Gambar 3.5. *Vaporising burner*

b. Pressure jet burner.

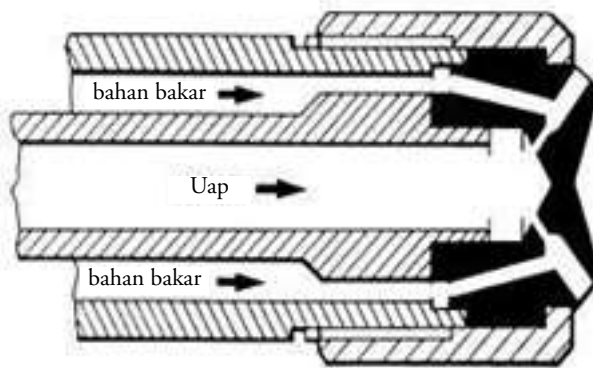
Bahan-bakar cair bertekanan tinggi dimasukkan melalui lubang-lubang dengan posisi tangensial terhadap sumbu nosel, sehingga menghasilkan aliran radial. Di dalam nosel terjadi aliran swirl sehingga diharapkan terjadi atomisasi dengan sempurna, setelah ke luar nosel bahan bakar cair menjadi drople-droplet yang lebih mudah bercampur dengan udara



Gambar 3.6. *Pressure jet burner*

c. **Twin fluid atomizer burner.**

Proses pengkabutan dari burner model ini dibantu dengan fluida bertekanan, dimana pada waktu proses pengkabutan fluida mempunyai energi kinetik tinggi ke luar dari nosel. Fluida yang sering dipakai adalah udara atau uap bertekanan. Penggunaan uap dianggap lebih menguntungkan. Bahan bakar disemprotkan dengan tekanan tinggi, uap dengan tekanan sedang akan membantu proses pemecahan bahan-bakar menjadi droplet, sehingga pengkabutan lebih bagus.



Gambar 3.7 *Twin fluid atomizer burner.*

Latihan 3 Essay

1. Sebut dan jelaskan karakteristik bahan bakar cair!
2. Sebut dan jelaskan macam-macam bahan bakar cair!
3. Sebut dan jelaskan *burner* untuk bahan bakar cair!
4. Sebutkan perbedaan etanol dan bensin, serta bandingkan bagaimana performa kendaraan yang menggunakan kedua bahan tersebut?
5. Jelaskan bagaimana perbedaan solar dengan biosolar terhadap pengaruhnya pada tenaga mesin!

Latihan 3 Pilihan Ganda

- Keuntungan penggunaan bahan bakar cair
 - Mudah dibakar
 - Hasil pembakaran mendekati sempurna
 - Alat pembakar mahal
 - Penangan sulit
 - Membutuhkan sedikit ruang
- Yang termasuk karakteristik bahan bakar cair adalah
 - Viskositas, specific gravity, nilai kalor, kadar mineral
 - Viskositas, gross caloric value, nilai kalor, densitas
 - Titik lebur, specific gravity, nilai kalor, densitas
 - specific gravity, nilai kalor, densitas, viskositas
 - kadar abu, nilai kalor, densitas, net gross value
- Perbandingan massa bahan bakar terhadap volume bahan bakar terhadap suhu acuan disebut
 - Viskositas,
 - gross caloric value
 - densitas
 - nilai kalor
 - kadar abu
- Specific gravity pada bahan bakar cair yaitu
 - Perbandingan berat dari sejumlah volum minyak terhadap berat air volum sama
 - Perbandingan volume dari sejumlah berat minyak terhadap berat air volum sama
 - Perbandingan berat dari sejumlah berat minyak terhadap volum air volum sama
 - Perbandingan volum dari sejumlah berat minyak terhadap volum air berat sama
 - Perbandingan berat dari sejumlah volum minyak terhadap volum air berat sama

5. Karakteristik bahan bakar cair yang berkaitan dengan kemudahan aliran
 - a. Kadar air
 - b. furnasitas
 - c. grositas
 - d. densitas
 - e. Viskositas
6. Nilai kalor pada bahan bakar merupakan
 - a. Kadar panas bahan bakar terhadap gross caloric value
 - b. Ukuran panas yang dihasilkan diukur sebagai gross caloric value
 - c. Uap panas yang dihasilkan bahan bakar net caloric value
 - d. Net caloric value diukur sebagai gross caloric value
 - e. Gross caloric value diukur sebagai kadar panas uap
7. Pengaruh nilai kalor bahan bakar terhadap performa mesin pembakaran dalam yaitu
 - a. Semakin tinggi nilai kalor panas yang dihasilkan semakin tidak stabil
 - b. Semakin rendah nilai kalor performa bahan bakar efisiensi tinggi
 - c. Semakin tinggi nilai kalor pembakaran mendekati sempurna
 - d. Semakin rendah menghasilkan gas buang yang lebih ramah lingkungan
 - e. Semakin tinggi nilai kalor semakin tinggi nilai HC dan CO yang dihasilkan
8. Alat yang digunakan untuk mengukur angka oktan bahan bakar yaitu
 - a. cooperative fuel research
 - b. collaborative full research
 - c. cooperative fuel number
 - d. coordinate fuel cetane
 - e. coordinate full octane

9. Berikut syarat bahan bakar bensin
 - a. Mudah tercampur dengan udara
 - b. Mudah mengalir dan menguap
 - c. Mudah berdetonasi
 - d. Menghasilkan pembakaran kotor
 - e. mudah didapat dan diolah
10. Berikut keuntungan etanol bila digunakan sebagai bahan bakar cair
 - a. Mudah sekali terbakar pada suhu rendah
 - b. Nilai kalor lebih tinggi dari bensin
 - c. Tidak harus dicampur dengan bensin
 - d. Menghasilkan gas buang yang lebih ramah
 - e. Membutuhkan kompresi mesin yang rendah
11. Satuan untuk menghitung nilai kalor dan viskositas membutuhkan
 - a. Bom caloric meter dan viskometer
 - b. Viskometer dan caloric meter
 - c. Viskometer dan furnace meter
 - d. Bom caloric meter dan densitasmeter
 - e. Bom caloric meter dan net viscometer
12. Berikut sifat bahan bakar solar, kecuali
 - a. Tidak berwarna atau berwarna kuning muda dan berbau
 - b. Temperatur nyala atau *flash point* sekitar 3500°C
 - c. Mudah dibakar dengan api kecil
 - d. Dapat menghasilkan panas yang tinggi sekitar 10.500 kkl/kg.
 - e. Bom caloric meter dan net viscometer
13. indicator kualitas bahan bakar solar ditinjau dengan
 - a. angka LDF
 - b. angka oktan
 - c. angka disel
 - d. angka knock
 - e. angka setan

14. Penggunaan B30 merupakan..
- Campuran 30% biosolar dengan 70 minyak disel
 - Campuran 30% minyak disel dengan 70% biosolar
 - Campuran 30% etanol dengan 70% biosolar
 - Campuran 30% biosolar dengan 70% etanol disel
 - Campuran 30% biosolar dengan 70% CPO
15. Manakah pernyataan berikut yang benar..
- Pembakaran solar 50% lebih bersih daripada biosolar
 - Biosolar menghasilkan jelaga lebih banyak
 - Biosolar menghasilkan panas yang lebih tinggi dari solar
 - Angka cetan biosolar lebih tinggi dari pada solar
 - Biodisel lebih mudah tersumbat disaluran bahan bakar

BAB IV

BAHAN BAKAR PADAT

Populasi penduduk sangat mempengaruhi permintaan energi, baik langsung maupun akibat dari dampaknya terhadap perkembangan ekonomi. Selama dua dekade terakhir, laju pertumbuhan penduduk Indonesia melambat. Menurut BPS pertumbuhan penduduk Indonesia turun dari 1,4% pada tahun 2010, menjadi 0,6% di tahun 2030. Laju pertumbuhan periode 2030-2050 diasumsikan tetap sekitar 0,6% per tahun sehingga diperkirakan penduduk Indonesia menjadi 335 juta jiwa pada tahun 2050 (Outlook Energi Indonesia, 2017)

Zaman dahulu masyarakat menggunakan kayu sebagai bahan bakar padat untuk menghasilkan energi. Seiring berkembangnya peradaban dan pertumbuhan penduduk menyebabkan peningkatan kebutuhan energi. Selama ini kebutuhan energi dapat dipenuhi dari bahan bakar fosil. Salah satu bentuk bahan bakar padat yaitu batu bara. Saat ini penggunaan batu bara sebagai bahan bakar pada penghasil energi masih paling banyak digunakan. Menurut Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral pada tahun 2012 batubara diperkirakan mencapai 119.444,56 juta ton, dan cadangan cadangan batubara Indonesia sebesar 29.078,28 juta ton yang tersebar di 20 provinsi.

4.1 Batubara

Batubara merupakan bahan bakar fosil. Batubara merupakan batuan sedimen yang terbentuk oleh endapan organik yang berasal dari sisa tumbuhan melalui proses pematubaraan. Pembentukan batu bara memerlukan waktu yang lama sekitar 300 tahunan. Hampi seluruh bahan pembentuk batu bara berasal dari tumbuhan. Jenis tumbuhan tersebut antara lain: alga, silofita, gimnispermae, pteridofita, dan angioisermata. Batubara di Indonesia yang bernilai ekonomis terdapat di pulau Sumatra dan Kalimantan. Dalam proses penambangan batubara memerlukan investasi yang banyak serta memiliki dampak yang besar bagi ekonomi dan lingkungan.

Batubara diklasifikasikan menjadi tiga jenis utama yaitu antrasit, bituminous, dan lignit, meskipun tidak jelas pembatasan diantaranya. Pengelompokannya lebih lanjut adalah semiantrasit, semi-bituminous, dan sub-bituminous. Antrasit merupakan batubara tertua jika dilihat dari sudut pandang geologi, yang merupakan batubara keras, tersusun dari komponen utama karbon dengan sedikit kandungan bahan yang mudah menguap dan hampir tidak berkadar air. Lignit merupakan batubara termuda dilihat dari pandangan geologi. Batubara ini merupakan batubara lunak yang tersusun terutama dari bahan yang mudah menguap dan kandungan air dengan kadar *fixed carbon* yang rendah. *Fixed carbon* merupakan karbon dalam keadaan bebas, tidak bergabung dengan elemen lain. Bahan yang mudah menguap merupakan bahan batubara yang mudah terbakar yang menguap apabila batubara dipanaskan.

Batubara yang umum digunakan, contohnya pada industri di India adalah batubara bituminous dan sub-bituminous.

Tabel 4.1 Proyeksi kebutuhan batubara menurut kelompok industri di dalam negeri, 2012 – 2025

Tahun	Kebutuhan batubara untuk setiap jenis industri (ton)						Jumlah
	PLTU 1)	Semen 2)	Tekstil 3)	Kertas 4)	Metalurgi 5)	Lain – lain 6)	
2012	53.937.221	10.922.000	10.899.516	2.380.488	546.140	628.312	79.313.677
2013	54.382.921	11.922.000	11.159.873	2.396.337	560.435	631.203	81.052.769
2014	56.592.494	11.922.000	11.427.078	2.412.292	575.321	652.832	83.582.017
2015	58.837.266	14.365.000	11.701.310	2.428.353	590.822	660.839	88.583.590
2016	60.108.197	14.365.000	11.982.755	2.444.521	606.963	685.937	90.193.373
2017	63.410.902	14.365.000	12.271.601	2.460.797	623.770	690.832	93.822.902
2018	64.746.175	14.365.000	12.568.044	2.477.181	641.272	701.684	95.499.356
2019	66.114.829	14.365.000	12.872.284	2.493.674	659.497	719.278	97.224.562
2020	67.517.700	18.135.000	13.184.525	2.510.277	678.474	732.267	102.758.243
2021	80.955.642	18.135.000	13.504.978	2.526.990	698.235	740.940	116.561.785
2022	82.429.533	18.135.000	13.833.859	2.543.815	718.812	757.442	118.418.461
2023	83.940.272	18.135.000	14.171.389	2.560.751	740.239	760.010	120.307.661
2024	85.488.779	22.598.094	14.735.231	2.733.327	782.008	778.293	127.115.732
2025	87.075.998	28.579.582	15.642.302	2.917.533	727.006	783.122	135.725.543

Sumber: Suseno & Haryadi (2013)

Cadangan batubara diperkirakan sebesar 28,02 miliar terdiri atas cadangan terkira sebesar 17,76% miliar dan 10,26 miliar cadangan siap tambang. Pulau Kalimantan memiliki sumber daya batubara terbesar yaitu 50,09%, disusul oleh Pulau Sumatera sebesar 49,54%, sisanya tersebar di Pulau Jawa, Sulawesi, Maluku dan Papua.

4.2 Sifat fisik dan kimia batubara

Komposisi kimiawi batubara berpengaruh kuat pada daya pembakarannya. Sifat-sifat batubara secara luas diklasifikasikan kedalam sifat fisik dan sifat kimia. Sifat fisik batubara termasuk nilai panas, kadar air, bahan mudah menguap dan abu. Sifat kimia batubara tergantung dari kandungan berbagai bahan kimia seperti karbon, hidrogen, oksigen, dan sulfur.

Nilai kalor batubara beraneka ragam dari tempat ditambangnya batubara tersebut. Secara umum, 66,39% batubara Indonesia mempunyai nilai kalor berkisar antara 5100 dan 6100 kal/g, 12,43% memiliki nilai kalor antara 6100 dan 7100 kal/gr, 20,22% dengan nilai kalor kurang dari 5100 kal/g dan sisanya memiliki nilai kalor

lebih dari 7100 kal/g dalam *air dried basis* (adb) (ESDM, 2011 dalam Triswan dan Haryadi, 2013).

Tabel 4.2. Nilai kalor dan komposisi sumber daya batubara Indonesia

Nilai Kalor (kal/g (adb))	Komposisi sumber daya (%)
< 5100	66,39
5100-6100	12,43
6100 – 7100	20,22
>7100	0,96

Sumber: ESDM (2011)

4.3 Analisis batubara

Terdapat dua metode untuk menganalisis batubara: analisis *ultimate* dan analisis *proximate*. Analisis *ultimate* menganalisis seluruh elemen komponen batubara, padat atau gas dan analisis *proximate* menganalisis hanya *fixed carbon*, bahan yang mudah menguap, kadar air, dan persen abu. Analisis *ultimate* harus dilakukan oleh laboratorium dengan peralatan yang lengkap oleh ahli kimia yang terampil, sedangkan analisis *proximate* dapat dilakukan dengan peralatan yang sederhana. (Catatan: *proximate* tidak ada hubungannya dengan kata “*approximate*”). Penentuan kadar air. Penentuan kadar air dilakukan dengan menempatkan sampel bahan baku batubara yang dihaluskan sampai ukuran 200-mikron dalam krus terbuka, kemudian dipanaskan dalam oven pada suhu $108 \pm 2^\circ\text{C}$ dan diberi penutup. Sampel kemudian didinginkan hingga suhu kamar dan ditimbang lagi. Kehilangan berat merupakan kadar airnya. Pengukuran bahan yang mudah menguap (*volatile matter*) Sampel batubara halus yang masih baru ditimbang, ditempatkan pada krus tertutup, kemudian dipanaskan dalam tungku pada suhu $900 + 15^\circ\text{C}$. Sampel kemudian

didinginkan dan ditimbang. Sisanya berupa kokas (*fixed carbon* dan abu). Metodologi rinci untuk penentuan kadar karbon dan abu, merujuk pada IS 1350 bagian I: 1984, bagian III, IV. Pengukuran karbon dan abu: Tutup krus dari uji bahan mudah menguap dibuka, kemudian krus dipanaskan dengan pembakar Bunsen hingga seluruh karbon terbakar. Abunya ditimbang, yang merupakan abu yang tidak mudah terbakar. Perbedaan berat dari penimbangan sebelumnya merupakan *fixed carbon*. Dalam praktek, *Fixed Carbon* atau FC dihitung dari pengurangan nilai 100 dengan kadar air, bahan mudah menguap dan abu.

a. Analisis *proximate*

Analisis *proximate* menunjukkan persen berat dari *fixed carbon*, bahan mudah menguap, abu, dan kadar air dalam batubara. Jumlah *fixed carbon* dan bahan yang mudah menguap secara langsung turut andil terhadap nilai panas batubara. *Fixed carbon* bertindak sebagai pembangkit utama panas selama pembakaran. Kandungan bahan yang mudah menguap yang tinggi menunjukkan mudahnya penyalaan bahan bakar. Kadar abu merupakan hal penting dalam perancangan *grate* tungku, volum pembakaran, peralatan kendali polusi dan sistim *handling* abu pada tungku. Analisis *proximate* untuk berbagai jenis batubara diberikan dalam Tabel 4.3.

Tabel 4.3. Analisis *proximate* untuk berbagai batubara

Parameter	Batubara India	Barubara Indonesia	Batubara Afrika Selatan
Kadar air (%)	5,98	9,43	8,5
Kadar Abu (%)	38,63	13,99	17
Bahan mudah menguap (<i>volatile matter</i>) (%)	20,70	29,79	23,28
Fixed Carbon	34,69	46,79	51,22

Berdasarkan Tabel 4.2 parameter-parameter untuk analisis batubara diuraikan sebagai berikut.

Kadar Air

Kandungan air dalam batubara harus diminimalkan, dikontrol dan disimpan bersama-sama batubara. Kadar air akan menurunkan kandungan panas per kg batubara, dan kandungannya berkisar antara 0,5 hingga 10%. Kadar air:

- Meningkatkan kehilangan panas, karena penguapan dan pemanasan berlebih dari uap
- Membantu pengikatan partikel halus pada tingkatan tertentu
- Membantu radiasi transfer panas

Kadar abu

Abu merupakan kotoran yang tidak akan terbakar. Kandungannya berkisar antara 5% hingga 40%. Karakteristik abu, antara lain

- Mengurangi kapasitas *handling* dan pembakaran
- Meningkatkan biaya *handling*
- Mempengaruhi efisiensi pembakaran dan efisiensi *boiler*
- Menyebabkan penggumpalan dan penyumbatan

Bahan yang mudah menguap (*volatile matter*):

Bahan yang mudah menguap dalam batubara adalah metan, hidrokarbon, hydrogen, karbon monoksida, dan gas-gas yang tidak mudah terbakar, seperti karbon dioksida dan nitrogen. Bahan yang mudah menguap merupakan indeks dari kandungan bahan bakar bentuk gas didalam batubara. Kandungan bahan yang mudah menguap berkisar antara 20 hingga 35%.

Bahan yang mudah menguap:

- Berbanding lurus dengan peningkatan panjang nyala api,
- memudahkan penyalaan batubara
- Mengatur batas minimum pada tinggi dan volum tungku
- Mempengaruhi kebutuhan udara sekunder dan aspek- aspek distribusi

- Mempengaruhi kebutuhan minyak bakar sekunder

Fixed carbon:

Fixed carbon merupakan bahan bakar padat yang tertinggal dalam tungku setelah bahan yang mudah menguap didistilasi. Kandungan utamanya adalah karbon tetapi juga mengandung hidrogen, oksigen, sulfur dan nitrogen yang tidak terbawa gas. *Fixed carbon* memberikan perkiraan kasar terhadap nilai panas batubara.

Kadar Sulfur

Kadar sulfur pada umumnya berkisar pada 0,5 hingga 0,8%.

Karakteristik sulfur antara lain:

- Mempengaruhi kecenderungan teradinya penggumpalan dan penyumbatan
- Mengakibatkan korosi pada cerobong dan peralatan lain seperti pemanas udara dan *economizers*
- Membatasi suhu gas buang yang keluar.

b. Analisis Ultimate

Analisis *ultimate* menentukan berbagai macam kandungan kimia unsur- unsur seperti karbon, hidrogen, oksigen, sulfur, dll. Analisis ini berguna dalam penentuan jumlah udara yang diperlukan untuk pemakaran dan volum serta komposisi gas pembakaran. Informasi ini diperlukan untuk perhitungan suhu nyala dan perancangan saluran gas buang dan lain-lain. Analisis *ultimate* untuk batubara di Indonesia ditunjukkan pada tabel 4.4.

Tabel 4.4. Analisis *ultimate* batubara

Parameter	Batubara Indonesia (%)
Kadar Air	9,43
Bahan Mineral (1,1 x Abu)	13,99
Karbon	58,96
Hidrogen	4,16

Nitrogen	1,02
Sulfur	0,56
Oksigen	11,88

4.4. Penyimpanan, *handling* dan persiapan batubara

Ketidaktentuan dalam ketersediaan dan pengangkutan bahan bakar mengharuskan dilakukannya penyimpanan dan penanganan untuk kebutuhan berikutnya. Kesulitan yang ada pada penyimpanan batubara adalah diperlukannya bangunan gudang penyimpanan, adanya hambatan masalah tempat, penurunan kualitas dan potensi terjadinya kebakaran. Kerugiankerugiankecil lainnya adalah oksidasi, angin dan kehilangan karpet. Oksidasi 1% batubara memiliki efek yang sama dengan kandunag abu 1% dalam batubara. Kehilangan karena angin mencapai 0,5 – 1,0 % dari kerugian total. Penyimpanan batubara yang baik akan meminimalkan kehilangan karpet dan kerugian terjadinya pembakaran mendadak. Pembentukan “karpet lunak”, dari batubara halus dan tanah, menyebabkan kehilangan karpet. Jika suhu naik secara perlahan dalam tumpukan batubara, maka dapat terjadi oksidasi yang akan menyebabkan pembakaran yang mendadak dari batubara yang disimpan. Kehilangan karpet dapat dikurangi dengan cara:

1. Mengeraskan permukaan tanah untuk penyimpanan batubara
2. Membuat tempat penyimpanan standar yang terbuat dari beton dan bata

Di Industri, batubara di-*handling* secara manual maupun dengan konveyor. Pada saat handling batubara harus diusahakan supaya sesedikit mungkin batubara yang hancur membentuk partikel kecil dan sesedikit mungkin partikel kecil yang tercecer. Persiapan batubara sebelum pengumpanan ke boiler merupakan tahap penting untuk mendapatkan pembakaran yang baik. Bongkahan batubara yang

besar dan tidak beraturan dapat menyebabkan permasalahan sebagai berikut:

- Kondisi pembakaran yang buruk dan suhu tungku yang tidak mencukupi
- Udara berlebih yang terlalu banyak mengakibatkan kerugian cerobong yang tinggi
- Meningkatnya bahan yang tidak terbakar dalam abu
- Rendahnya efisiensi termal.

4.5. Burner untuk bahan bakar padat.

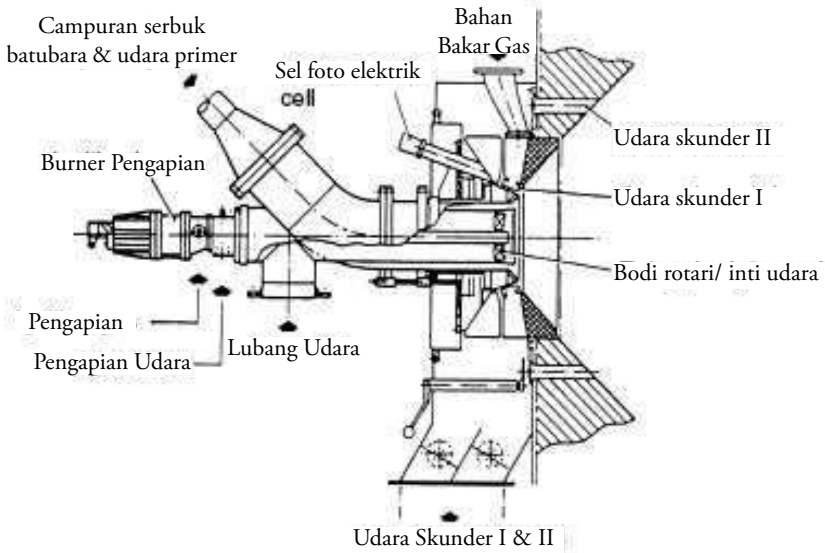
Bahan bakar padat merupakan bahan bakar yang sangat belimpah di alam. Bahan bakar ini harus melalui proses yang lebih rumit daripada jenis bahan-bakar lainnya untuk terbakar. Bahan bakar padat mengandung air, zat terbang, arang karbon dan abu. Air dan gas terbang yang mudah terbakar harus diuapkan dulu melalui proses pemanasan,, sebelum arang karbon terbakar.

Bahan bakar padat banyak dipakai sebagai sumber energi pada mesin tenaga uap. Bahan-bakar tersebut dibakar di furnace dengan stoker atau dengan burner. Ada beberapa tipe burner atau stoker yang dipasang di furnace seperti berikut ini:

1. Pulvizer fuel burner.

Bahan-bakar padat akan dihancurkan lebih dahulu dengan alat pulvizer sampai ukuran tertentu sebelum dicampur dengan udara. Selanjutnya campuran serbuk batu bara dan udara diberi tekanan kemudian disemprotkan menggunakan difuser.

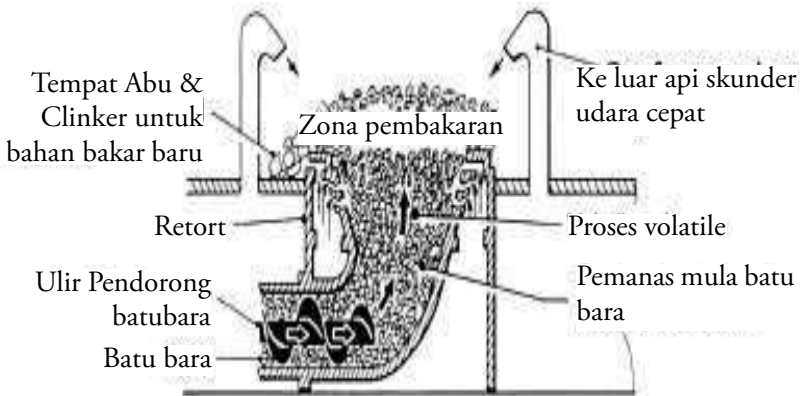
Proses pembakaran dibantu dengan penyalaan dengan bahan-bakar gas atau cair untuk menguapkan air dan zat terbang. Udara tambahan diperlukan untuk membantu proses pembakaran sehingga lebih efisien.



Gambar 4.1 Pulvizer fuel burner.

2. Underfeed stoker

Stoker jenis ini banyak dipakai untuk industri skala kecil, konstruksinya sederhana. Bahan-bakar di dalam berupa batu bara dimasukan ke perapian dengan dengan srew pengumpan. Proses pembakaran terjadi di dalam retort, batu bara akan dipanaskan untuk menguapkan air dan zat terbang kemudian arang terbakar. Sisa pembakaran berupa abu akan digeser ke luar karena desakan batu bara baru yang belum terbakar. Udara tambahan digunakan untuk membantu proses pembakaran sehingga lebih efisien.

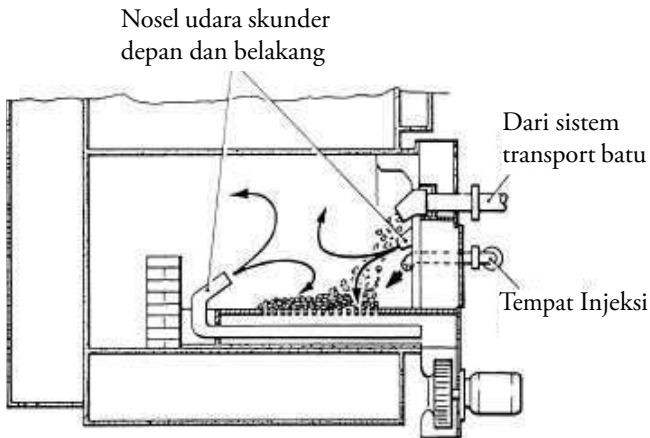


Gambar 4.2 Underfeed stoker

3. Fixed grate burner

Tempat pembakaran berbentuk plat yang memungkinkan udara utama dapat mengalir dari bawah. Serbuk batu bara dari pulvizer dipindahkan menuju burner dengan udara berkecepatan sedang dengan pipa pengumpan. Proses pembakaran dibantu dengan udara tambahan dari saluran saluran udara sekunder.

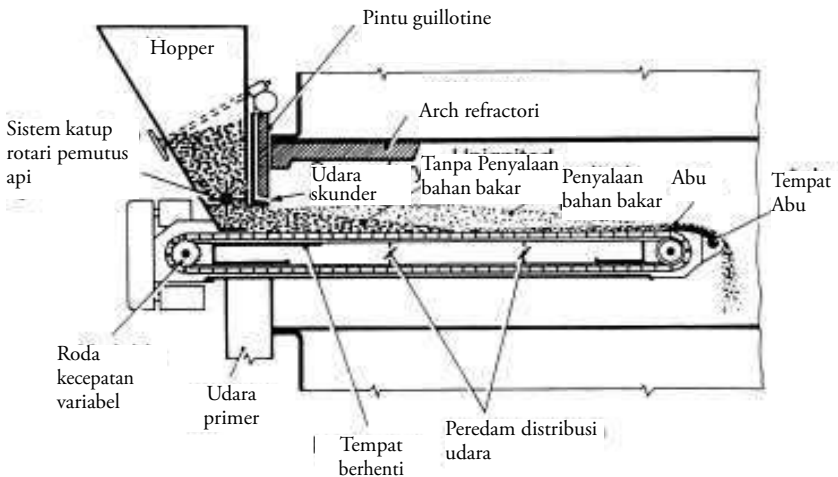
Ada dua tipe yang umum dipakai yaitu front feed dan top feed fixed grate burner. Sisa pembakaran yang berupa abu dibersihkan secara manual atau dirancang secara otomatis.



Gambar 4.3 Fixed grate burner

4. Chain grate stoker

Serbuk batu bara diumpankan dari hopper dengan katup rotari ke grate berjalan, kapasitasnya dibatasi dengan menggunakan plat geloutin. Rotari vane juga digunakan untuk mencegah nyala balik dari grate berjalan ke hopper. Grate berjalan dapat divariasi kecepatannya. Udara pembakaran dilewatkan dari sela-sela grate dan udara tambahan dilewatkan melalui permukaan atas lapisan serbuk batu bara pada grate.

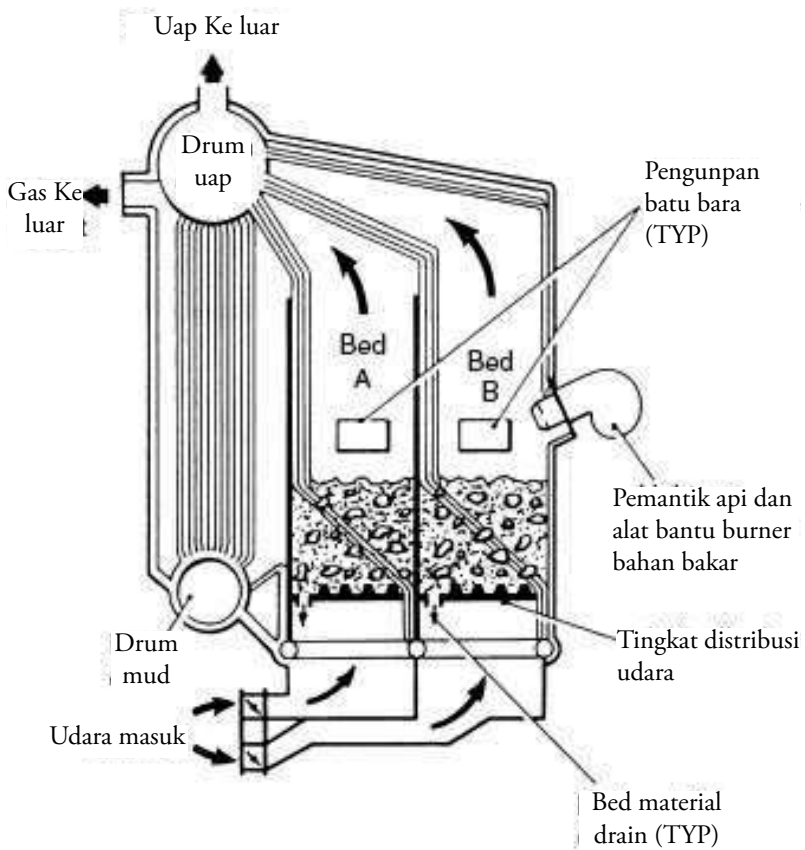


Gambar 4.4 Chain grate stoker

5. Fluidized bed stoker

Bahan bakar berupa serbuk batu bara dikondisikan seperti fluida. Serbuk batu bara terangkat angkat dari grate karena desakan dari udara bertekanan dari bagian bawah grate. Udara bertekanan disuplai dari kompresor. Proses pembakaran terjadi sangat cepat, dibantu dengan penyalaan dengan bahan-bakar gas atau cair. Temperatur pembakaran tidak boleh melebihi dari temperatur leleh dari abu, sehingga tidak terjadi penyumbatan di grate oleh lelehan dari abu. Abu akan turun ke penampung abu di bagian bawah. Serbuk batu bara diumpankan dari *feeder*. Untuk mencegah emisi gas ke luar

ditambahkan limestone atau zat lainnya untuk menetralkan zat polusi seperti sulfat dan nitrat.

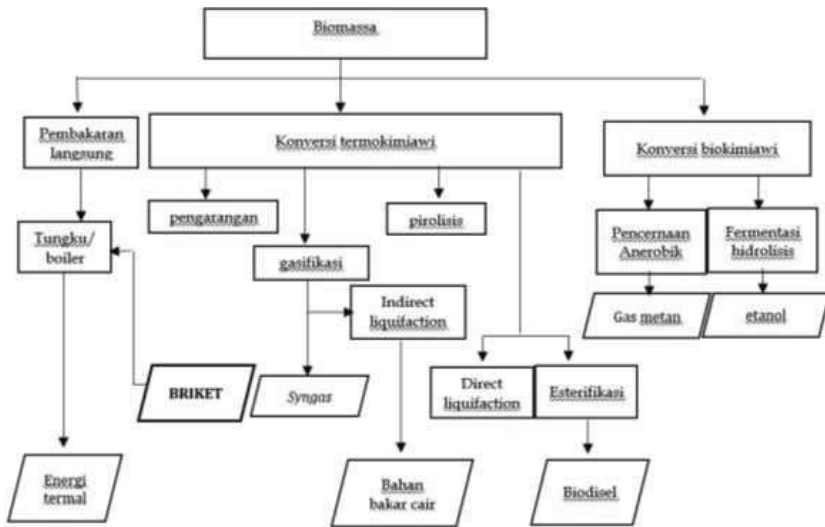


Gambar 4.5 Fluidized bed stoker

4.6. Biomassa

Biomassa merupakan salah satu jenis bahan bakar padat selain batubara. Untuk mengurangi ketergantungan dari batu bara dan kepedulian terhadap lingkungan, saat ini banyak dilakukan penelitian tentang biomassa. Biomassa merupakan bahan organik yang dihasilkan dari proses fotosintetik. Contoh biomassa antara lain tanaman, pepohonan, ubi, limbah pertanian, rumput, limbah hutan,

kotoran ternak. Biomassa yang digunakan untuk keperluan bahan bakar biasanya nilai ekonomisnya rendah. Kelebihan biomassa sebagai sumber energi yaitu dapat diperbarui, dan berkesinambungan.



Gambar 4.6. Proses konversi biomassa

Biomassa terdiri dari beberapa komponen yaitu kadar air (*moisture content*), zat menguap (*volatile matter*), karbon terikat (*fixed carbon*), dan abu (*ash*). Proses pengeringan akan mengurangi bahkan menghilangkan *moisture*. Devolatilisasi merupakan tahapan pirolisis akan melepaskan karbon terikat dan sisa pembakaran menghasilkan abu.

Parameter lainnya dalam biomassa adalah nilai kalor. Besaran nilai kalor bergantung pada kandungan komponen yang telah disebutkan sebelumnya. Semakin tinggi kandungan karbon terikat nilai kalornya semakin tinggi. Usaha dalam peningkatan nilai kalor dapat dilakukan dengan beberapa cara antara lain dengan densifikasi dan torrefaksi. Biomassa pada umumnya mempunyai densitas yang cukup rendah, sehingga akan mengalami kesulitan dalam penanganannya. Densifikasi atau pembriketan biomassa bertujuan untuk meningkatkan densitas dan menurunkan persoalan

penanganan seperti penyimpanan dan pengangkutan. Secara umum pembriketan biomassa mempunyai beberapa keuntungan:

Upaya yang dapat dilakukan untuk mengembangkan biomasa adalah mendorong pemanfaatan limbah industri pertanian dan kehutanan sebagai sumber energi secara terintegrasi dengan industrinya, mengintegrasikan pengembangan biomassa dengan kegiatan ekonomi masyarakat, mendorong pabrikasi teknologi konversi energi biomassa dan usaha penunjang. Selain itu dengan meningkatkan penelitian dan pengembangan pemanfaatan limbah termasuk sampah kota untuk energi.

Tabel 4.5 Potensi biomassa di Indonesia

Jenis Biomassa	Ketersediaan Bahan Baku (ton)	Potensi Energi	Potensi Umum (MWe)
Serat (Fiber) Kelapa Sawit	12.830.950	180.778.665	1.231
Cangkang (shell) kelapa sawit	6.136.541	108.861.141.	759
Tandan kosong (EFB)	23.988.298	118.757.608	827
Ampas Tebu	9.559.395	73.470.505	582
Sabut Kelapa	1.119.301	15.464.755	119
Tempurung kelapa	383.760	13.262.898	59
Sekam padi	13.016.712	180.592.857	1.432
Jerami padi	90.370.365	1.056.602.982	8.376
Tongkol jagung	4.263.116	62.470.849	495
Batang dan dau jagung	14.920.906	156.177.123	1.238

Sumber: (ESDM, 2015)

Tabel 4.6 Nilai Kalor beberapa jenis biomassa

Biomassa	Nilai Kalor (kJ/kg)
Sekam Padi	16.054
Jerami	17.999
Ampas Tebu	17.619
Tandan kosong sawit	15.900
Kayu kering	17.700
Cangkang kakao	16.998

Sumber: Syamsiro (2016)

Pemanfaatan energi biomassa yaitu biobriket, gasifikasi, pirolisis, liquification, dan biokimia. Kaitannya dengan bahan bakar padat biobriket menjadi penting untuk kita ketahui. Biobriket memiliki karakteristik yang menentukan kualitasnya.

4.7. Biobriket

Biobriket atau sering disebut briket merupakan biomassa yang dipadatkan agar menjadi bentuk yang beragam untuk dikonversikan menjadi energi panas yang dapat digunakan untuk kebutuhan manusia. Biobriket umumnya yang berasal dari serbuk kayu, tempurung kelapa, sekam padi, arang, atau limbah organik rumah tangga.



Gambar 4.7 Biobriket

Briket memiliki karakteristik yang menentukan kualitasnya. Karakteristik tersebut antara lain kadar air, kadar abu, nilai kalor. Kadar air merupakan parameter penting untuk menentukan kualitas briket arang. Kadar air berpengaruh secara langsung terhadap parameter mutu briket. Semakin tinggi kadar air, semakin rendah nilai kalornya dan sulit terbakar. Kadar air briket sesuai dengan syarat Standar Nasional Indonesia (SNI) No. SNI 01-62352000 maksimum 8%. Kadar air briket sangat erat kaitannya dengan porositas briket. Jumlah pemompaan yang tinggi menyebabkan porositas semakin mengecil. Semakin tinggi kerapatan, rongga-rongga antar partikel arang semakin rapat, sehingga lebih sulit menyerap uap air. Untuk menghitung kadar air pada briket dapat menggunakan rumus berikut.

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{mb - mc}{mb - ma} \times 100\%$$

ma = berat botol dan massa tutup (gr)

mb = botol timbang + tutup + sampel sebelum dipanaskan (gr)

mc = botol timbang + tutup + sampel setelah pemanasan (gr).

Tahapan yang dilakukan untuk menentukan kadar air sesuai ASTM D 3173-03 sebagai berikut; (1) Panaskan botol timbangan kosong di dalam oven, tutup botol kemudian didinginkan dalam desikator selama 15-30 menit, (2) timbang ± 1 gram sampel ke dalam botol, (3) masukkan botol yang sudah termasuk isinya (buka tutupnya) ke dalam oven yang telah dipanaskan sebelumnya 105°C sampai 110°C ,. (4) Memanaskan botol yang berisi timbangan sampel selama ± 1 jam. (5) Buka oven, dan segera tutup botol penimbangan kering dan dinginkan dalam desikator. (6) Segera ditimbang jika sudah mencapai suhu ruangan.

Inherent moisture adalah kadar air yang diukur pada sampel dengan kondisi temperatur, waktu dan atmosfer, berat sampel dan peralatan yang spesifik.

Kadar abu merupakan bagian yang tersisa dari hasil pembakaran. Abu yang dimaksud merupakan abu sisa pembakaran briket. Salah satu penyusun abu adalah silika, pengaruhnya kurang baik terhadap nilai kalor briket arang yang dihasilkan. Semakin kecil kadar abu maka semakin tinggi nilai kalornya.

$$\text{Kadar abu (\%)} = \frac{mc - ma}{mb - ma} \times 100\%$$

ma = berat wadah kosong (gr),

mb = wadah dengan berat sampel (gr),

mc = wadah dengan berat abu (gr).

Tahapan yang dilakukan dalam penentuan kadar abu sesuai dengan ASTM D 3174-04 adalah: (1) Menimbang ± 1 gram sampel dengan ayakan 60 mesh ke dalam wadah yang sudah diketahui beratnya dan ditutup dengan cepat. (2) Masukkan wadah yang sudah berisi *sample* (buka tutupnya) ke dalam *muffle furnace* hingga dinginkan lalu panaskan kembali *furnace* dengan suhu hingga 450°C selama 1 jam. (3) Sampel dipanaskan ke tungku peredam suhu mencapai 700°C - 750°C selama ± 1 jam. (4) Diulangi akhir pemanasan pada suhu sekitar 2 jam atau sampai semua sampel sempurna menjadi abu. (5) Mengangkat wadah dari tungku, menutup wadah dan pelat logam.

Bahan yang mudah menguap (*volatile matter*) merupakan karakteristik yang perlu diperhatikan untuk kaulitas briket. Bahan yang mudah menguap merupakan bagian dari briket yang dipanaskan pada suhu tertentu berubah menjadi gas. Penentuan kandungan *volatile matter* yang terdapat pada bahan baku dilakukan dengan menghitung berat sampel yang hilang setelah dilakukan koreksi terhadap kadar air yang dipanaskan pada suhu 900°C selama 7 menit dalam tungku tanpa kontak udara. Tahapan yang dilakukan dalam penentuan *volatile matter* pada briket adalah: (1) Menutup cup holder silika dan kawat nikel kromium, kemudian dipanaskan pada suhu $900^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ selama 7 menit; (2) Angkat wadah dan tempat tungku

dan biarkan dingin di atas pelat logam selama 5 menit, kemudian dimasukkan ke dalam desikator, (3) setelah dingin, timbang wadah dan tutupnya; (4) sampel ditimbang 1 gram ke dalam cangkir; (5) sampel permukaan yang diratakan dengan mengetuk cangkir secara perlahan; (6) taruh wadah di atas dudukan dalam keadaan tertutup, (7) dudukan dimasukkan ke dalam tungku, dipanaskan tepat 7 menit pada suhu $900^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$; (8) mengangkat dudukan tungku, kemudian diletakkan di atas pelat logam selama 5 menit dan dilanjutkan dalam desikator. Untuk menghitung *volatile matter* dapat menggunakan persamaan berikut

$$\text{Bahan mudah menguap (\%)} = \frac{mb - mc}{mb - ma} \times 100\% - W_c$$

ma = massa wadah dan tutup wadah (gram),

mb = wadah + tutup + massa sampel sebelum pemanasan (gram),

mc = wadah + tutup + massa sampel setelah pemanasan (gram),

W_c = nilai kadar air (%)

Karbon Tetap/karbon tertambat (*fixed carbon*) dapat diukur menggunakan standar ASTM Standard D 3172-89. Kadar karbon padat dihitung dari jumlah 100% dikurangi kadar air, dikurangi kadar abu, dan dikurangi kadar zat mudah menguap. Persamaan yang digunakan dalam menghitung karbon tetap yaitu.

$$\text{Fixed Carbon (\%)} = 100 - (\text{kadar air} + \text{kadar abu} + \text{bahan mudah menguap})$$

Nilai kalor sangat menentukan kualitas briket yang dihasilkan. Semakin tinggi nilai kalornya maka semakin tinggi juga kualitas briket yang dihasilkan. Nilai kalor perlu diketahui untuk mengetahui nilai panas pembakaran yang dapat dihasilkan oleh briket sebagai bahan bakar.

Nilai kalor bahan bakar merupakan jumlah panas yang dihasilkan setiap satu kilogram bahan bakar apabila pembakaran terjadi secara sempurna. Nilai kalor dapat ditentukan dengan menggunakan Bomb

Calorimeter. Bomb Calorimeter merupakan suatu sistem terisolasi dimana tidak ada perpindahan materi ataupun energi dengan lingkungan diluar alat tersebut. Bomb kalorimeter merupakan alat yang digunakan untuk mengukur nilai kalor yang dibebaskan pada pembakaran sempurna (dalam O_2 berlebih) suatu senyawa, bahan bakar, atau bahan makanan.

Jenis-jenis Bom Calorimeter yang umum digunakan yaitu Isothermal Oxygen Bomb Calorimeter, Adiatbatic Oxygen Bomb Calorimeter, Ballistic Oxygen Bomb Calorimeter.

Pada Isothermal Oxygen Bomb Calorimeter kenaikan suhu dari vesel bagian dalam (calorimeter bucket) dapat diperiksa, sedang suhu vesel bagian luar (jacket) konstan. Suhu jacket dapat diatur secara terusmenerus selama penetapan untuk tetap sama dipertahankan terhadap calorimeter bucket.



<https://www.parrinst.com/>

Gambar 4.8. Isothermal Oxgen Bomb Calorimeter

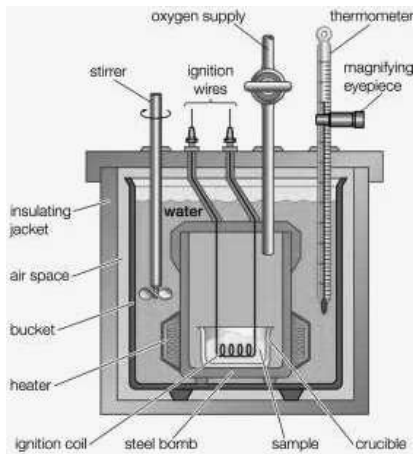
Dalam Adiatbatic Oxygen Bomb Calorimeter ini tidak diperlukan koreksi radiasi panas, hanya memerlukan pemeriksaan suhu awal dan akhir kalorimeter dan suhu jacket perpaku sama terhadap suhu bagian dalam vessel selama penetapan. Perbedaan dengan macam yang pertama, bahwa isothermal memerlukan pemeriksaan suhu awal, suhu antara dan suhu akhir.



<https://trends.directindustry.com>

Gambar 4.9 Adiabatic Oxygen Bomb Calorimeter

Prinsip kerja kalorimeter yaitu sejumlah sampel ditempatkan pada tabung beroksigen yang tercelup dalam medium penyerap kalor (kalorimeter), dan sampel akan terbakar oleh api listrik dari kawat logam terpasang dalam tabung. Jumlah panas yang diukur dalam kalorimeter merupakan total energi dari sampel. Dalam penetapan energi total ini terjadi perubahan energi kimia dalam suatu sampel menjadi energi panas dan diukur jumlah panas yang dihasilkan. Dalam mengukur nilai kalor bahan bakar standar yang digunakan biasanya menggunakan ASTM D5865 – 07.



<https://www.thoughtco.com/definition-of-calorimeter-in-chemistry-604397>

Gambar 4.10 Bagian-bagian Bom Calorimeter

Langkah-langkah dalam menentukan nilai kalor yaitu: (1) Timbang sampel pakan yang telah dipelet ± 1 gram, kemudian taruh di dalam cawan nikel dan selanjutnya letakan di terminal knot, (2) Potong kawat chrom sepanjang 10 cm, dan pasang kawat tersebut di terminal knot dan kawat bersentuhan dengan sampel yang akan dibakar/diuji, (3) Siapkan silinder bom dan masukan aquades kedalamnya sebanyak 2 ml, (4) Masukan sampel beserta cawan nikelnya kedalam silinder bom, (5) Tutup silinder bom dengan cara diputar (*screw up*), (6) Alirkan gas O₂ kedalam bom sebanyak 30 atm, (7) Isikan aquades kedalam bucket, kondisikan temperatur air tersebut lebih rendah 1,5 °C dari suhu kamar. Setelah itu masukan silinder bom kedalamnya, (8) Hubungkan kabel listrik ke saluran terminal knot dan tutup bom kalori. (9) Hidupkan *stirrer* ± 2 menit, lalu lihat di termometer dan catat temperatur (temperatur awal), (10) Tekan tombol bom hingga lampu indikator menyala, (11) tunggu proses pembakaran berlangsung sampai temperaturnya konstan yang di tandai dengan bunyi alarm. Proses ini butuh waktu selama 5 menit, (12) Matikan *stirrer*, (13) Buka tutup bom, lepaskan kabel dari terminal knot, (14) Angkat silinder bom dari bucket, buang sisi gas pembakaran, (15) Buka tutup silinder bom, (16). Tampung dalam gelas piala cairan aquades yang disemprotkan beserta sisa abu pembakaran (17). Hentikan titrasi jika terjadi perubahan warna (kuning). Catat warna volume (ml) larutan standar yang digunakan, dan (18) Lakukan perhitungan Gross Energi.

Total sulfur adalah total sulfur yang terdapat pada material organik dan anorganik pada sampel. Total sulfur dapat dianalisis menggunakan standar ASTM D.3177-02. Langkah-langkah pengukuran total sulfur pada briket menurut *Eschka Method* yaitu:

- (1) Sampel ditimbang 1 gram ke dalam cawan yang berisi 3 gram campuran Eschka. Diaduk kemudian ditutup dengan 1 gram campuran eschka,
- (2) Panaskan sampel ke dalam *muffle furnace* yang dimulai dari suhu ruang kemudian dinaikkan suhu perlahan-lahan hingga 800 °C

- $\pm 25^{\circ}\text{C}$ selama 1 jam dan dipanaskan pada suhu ini $\pm 1,5$ jam hingga campuran meleleh sempurna,
- (3) Dinginkan pada suhu kamar, larutkan *remelting* dengan 100 ml air panas dalam beaker 200 ml, dipanaskan ke dalam piring panas selama $\frac{1}{2}$ - $\frac{3}{4}$ jam sambil diaduk sesekali.
 - (4) Saring dengan kertas saring dekatansi, dicuci bahan tidak larut dengan air panas. Setelah beberapa kali dicuci, dipindahkan bahan ke kertas saring dan dicuci kembali dengan air panas sampai lima kali.
 - (5) encerkan filtrat hingga 250 ml ditambahkan metil orange, netralkan dengan larutan NaOH atau Na_2CO_3 kemudian ditambahkan larutan HCl 1 ml (1: 9), rebus dan ditambahkan 10 ml atau lebih larutan BaCl dengan pipet perlahan sambil diaduk (penambahan BaCl_2 memiliki kelebihan),
 - (6) Rebus kembali larutan selama 15 menit dan diamkan selama 2 jam diatas bak mandi atau biarkan semalaman. Disaring dengan kertas saring bebas abu (kertas saring Whatman no. 42) dan cuci dengan air panas sampai filtrat tidak terbentuk sludge ketika ditambahkan larutan AgNO_3
 - (7) Masukkan kertas saring berisi sludge ke dalam cangkir porselen yang telah diketahui beratnya kemudian dibakar secara bertahap dalam *muffle furnace* dan dinyalakan pada suhu $800 \pm 25 \text{ C}$,
 - (8) Didinginkan dalam desikator, kemudian ditimbang. Rumus menghitung total sulfur adalah:

$$\text{Total Sulfur (\%)} = \frac{ma - mc \times 13,78}{ma}$$

ma adalah massa sampel biobriket (gr)

mb adalah cawan dan massa BaSO_4 (gr)

mc adalah massa cawan kosong (gr)

Tabel 4.7 Hasil analisis proksimat briket biomassa

Parameter	Bahan	
	Jerami	Tempurung kelapa
Kadar air (%)	18,98	10,55
<i>Inherent moisture</i> (%)	11,58	6,17
Kadar abu (%)	61,96	3,22
Bahan mudah menguap (%)	12,29	10,85
<i>Fixed carbon</i> (%)	15,61	78,32
<i>Gross caloric value</i> (kcal/kg)	1525	7283,5
<i>Total sulfur</i> (%)	0,45	0,08

Sumber: Yerizam dkk, 2013

Latihan 4. Essay

1. Jelaskan karakteristik batu bara!
2. Bandingkan kualitas batu bara berdasarkan analisis proksimat batu bara di Indonesia dengan batubara di negara lain!
3. Sebutkan peran biomassa dalam hal ketersediaan energi nasional!
4. Bagaimana pemanfaatan energi biomassa?
5. Bagaimana upaya kita agar penggunaan energi semakin efisien!

Latihan 4. Pilihan Ganda

1. Yang termasuk analisis proksimat bahan bakar padat yaitu...
 - a. Bahan mudah menguap, kadar air, kadar HC, kadar O₂
 - b. Bahan mudah menguap, kadar air, total sulfur, fixed carbon
 - c. kadar air, Bahan mudah menguap, fixed carbon, kadar H/C

- d. moisture content, volatile matter, fixed carbon, kadar H/C
 - e. volatile matter, fixed carbon, kadar H/C, Kadar CO₂
2. Batubara diklasifikasikan menjadi tiga, yaitu...
 - a. Antracit, bituminous, dan lignit
 - b. Antracit, lignit, cemarit
 - c. Lignit, semiantrasit, bitomunis
 - d. Bitomunis, teracit, lignit
 - e. Bitomunis, lignit, transit
 3. Secara umum (66,39%) nilai kalor batubara indonesia berkisar diantara...
 - a. 5100 kal/g
 - b. 6100 kal/kg
 - c. 5100 kal/kg
 - d. 6100 kkal/kg
 - e. 5100 cal/kg
 4. Pernyataan berikut yang benar terkait karakteristik mudah menguap bahan bakar padat, kecuali...
 - a. Berbanding lurus dengan peningkatan panjang nyala api,
 - b. menyulitkan penyalaan batubara
 - c. Mengatur batas minimum pada tinggi dan volum tungku
 - d. Mempengaruhi kebutuhan udara sekunder dan aspek-aspek distribusi
 - e. Mempengaruhi kebutuhan minyak bakar sekunder
 5. Pengaruh kadar abu pada batubara, kecuali...
 - a. Mengurangi kapasitas handling dan pembakaran
 - b. Meningkatkan biaya handling
 - c. Mempengaruhi efisiensi pembakaran dan efisiensi boiler
 - d. Menyebabkan penggumpalan dan penyumbatan
 - e. Meningkatkan kesempurnaan pembakaran
 6. banyaknya karbon yang terdapat dalam material sisa setelah *volatile matter* dihilangkan adalah...
 - a. karbon abu
 - b. moisture carbon

- c. fixed carbon
 - d. volatile carbon
 - e. carbonizing
7. Parameter yang termasuk dalam analisis ultimet batu bara yaitu
- a. C, H, N₂, S, O₂
 - b. C, H, N, S, O₂
 - c. CO₂, H, N, S, O₂
 - d. CO, H, N, S, O₂
 - e. C, H, N, S₂, O₂
8. Dibawah ini bahan biomassa yang memiliki potensi tertinggi di Indonesia yaitu
- a. sekam padi, batang dan daun jagung, cangkang kelapa
 - b. tongkol jagung, tempurung kelapa, sabut kelapa
 - c. tempurung kelapa, ampas tebu, jerami
 - d. jerami, tempurung kelapa, tongkol jagung
 - e. tempurung kelapa, tongkol jagung, tandan kosong
9. Sesuai dengan Standar Nasional Indonesia kadar air untuk briket yaitu..
- a. > 1%
 - b. < 5%
 - c. > 10 %
 - d. < 8%
 - e. < 3%
10. Peralatan yang digunakan untuk mengukur nilai kalor briket yaitu..
- a. Zoom calorimeter
 - b. Adiabatic calorimeter
 - c. Termal calorimeter
 - d. Boom calorimeter
 - e. Bomb calorimeter

BAB V

BAHAN BAKAR GAS

Bahan bakar gas merupakan bahan bakar yang lebih bersih dengan sedikit polutan hanya memerlukan sedikit penanganan, serta sistim *burnernya* sangat sederhana dan hampir bebas perawatan. Gas dikirimkan melalui jaringan pipa distribusi sehingga cocok untuk wilayah yang berpopulasi tinggi atau padat industri. Walau begitu, banyak pemakai perorangan yang besar memiliki penyimpanan gas, bahkan beberapa diantara mereka memproduksi gasnya sendiri.

Penggunaan bahan bakar gas pada mesin pembakaran dalam, bahan bakar gas tidak menimbulkan kesulitan dalam pencampuran dengan udara, campuran homogen ke berbagai silinder dan start dingin. Namun, bahan bakar gas menimbulkan masalah penyimpanan dan penanganan volume besar terutama di mobil. Beberapa bahan bakar gas dapat dicairkan di bawah tekanan untuk meningkatkan kepadatan dan dengan demikian mengurangi volume tangki penyimpanan. Penggunaan gas alam dan *liquified petroleum gas* (LPG) meningkat dan upaya untuk menggunakan hidrogen sebagai bahan bakar di mesin pembakaran dalam saat ini.

Penyediaan gas sampai tahun 2050 akan mencapai 167,4 MTOE (*Million tonnes of oil equivalent*) pada skenario BaU (*Business as Usual*), naik 3 kali lipat dibandingkan kondisi tahun 2018. Sedangkan

untuk skenario Pembangunan Berkelanjutan (PB) dan Rendah Karbon (RK), penyediaan gas masing-masing akan menjadi 154,2 MTOE dan 140,3 MTOE. Sama halnya dengan minyak, cadangan gas di dalam negeri juga menunjukkan penurunan dengan belum ditemukannya cadangan gas baru, akibatnya berpengaruh terhadap penurunan produksi gas dari 75,4 MTOE tahun 2018 menjadi 66,3 MTOE pada tahun 2050 untuk ketiga skenario.

5.1. Jenis-jenis bahan bakar gas

Berikut adalah daftar jenis-jenis bahan bakar gas:

Bahan bakar yang secara alami didapatkan dari alam:

- Gas alam
- Metan dari penambangan batubara

Bahan bakar gas yang terbuat dari bahan bakar padat

- Gas yang terbentuk dari batubara
- Gas yang terbentuk dari limbah dan biomasa
- Dari proses industri lainnya (gas *blast furnace*)

Gas yang terbuat dari minyak bumi

- Gas Petroleum cair (LPG)
- Gas hasil penyulingan
- Gas dari gasifikasi minyak Gas-gas dari proses fermentasi

Bahan bakar bentuk gas yang biasa digunakan adalah gas petroleum cair (LPG), gas alam, gas hasil produksi, gas *blast furnace*, gas dari pembuatan kokas, dan lain-lain. Nilai panas bahan bakar gas dinyatakan dalam kilokalori per normal meter kubik (kKal/Nm³) ditentukan pada suhu normal (200C) dan tekanan normal (760 mm Hg).

5.2. Sifat-sifat bahan bakar gas

Karena hampir semua peralatan pembakaran gas tidak dapat menggunakan kandungan panas dari uap air, maka perhatian terhadap nilai kalor kotor (*Gross Caloric Value* (GCV)) menjadi kurang.

Bahan bakar harus dibandingkan berdasarkan nilai kalor netto (*Nett Caloric Value* (NCV)). Hal ini benar terutama untuk gas alam, dimana kadungan hidrogen akan meningkat tinggi karena adanya reaksi pembentukan air selama pembakaran.

Tabel 5.1 Sifat-sifat bahan bakar gas

Bahan Bakar Gas	Masa Jenis Relatif	Nilai Kalor yang lebih tinggi kkal/Nm ³	AFR	Suhu
Gas Alam	0,6	9350	10	1954
Propan	1,52	22200	25	1967
Butan	1,96	28500	32	1973

5.3. Gas alam

Gas alam atau sering juga disebut gas bumi merupakan bahan bakar yang sangat sederhana. Sekitar 90% dari gas alam adalah metana (CH₄). Gas alam juga mengandung molekul-molekul hidrokarbon lebih berat etana (C₂H₆), propana (C₃H₈), butana (C₄H₁₀), dan Pentan (C₅H₁₂) selain juga gas-gas yang mengandung sulfur (belerang) juga mengandung helium.

Metana merupakan kandungan utama gas alam yang mencapai jumlah sekitar 95% dari volum total. Komponen lainnya adalah Etan, Propan, Pentan, Nitrogen, Karbon Dioksida, dan gas gas lainnya dalam jumlah kecil. Sulfur dalam jumlah yang sangat sedikit juga ada. Karena metan merupakan komponen terbesar dari gas alam, biasanya sifat metan digunakan untuk membandingkan sifat-sifat gas alam terhadap bahan bakar lainnya. Gas alam dapat ditemukan di

ladang minyak, ladang gas bumi dan juga tambang batu bara. Ketika gas yang kaya dengan metana yang diproduksi melalui pembusukan oleh bakteri anaerobik dari bahan selain dari fosil, maka ia disebut biogas

Tabel 5.2 Konstituen gas alam

Nama	Rumus Kimia	Volume %
Metana	CH_4	>85
Etana	C_2H_6	3-8
Propan	C_3H_8	1-5
Butan	C_4H_{10}	1-2
Pentan	C_5H_{12}	1-5
Carbondioksida	CO_2	1-2
Hidrogen	H_2S	1-2
Nitrogen	N_2	1-5
Helium	He	<0,5

Gas alam merupakan bahan bakar dengan nilai kalor tinggi yang tidak memerlukan fasilitas penyimpanan. Gas ini bercampur dengan udara dan tidak menghasilkan asap atau jelaga. Gas ini tidak juga mengandung sulfur, lebih ringan dari udara dan menyebar ke udara dengan mudahnya jika terjadi kebocoran.

Perbedaan komposisi gas alam terjadi antara penyimpanan yang berbeda, dan dua sumur di bidang yang sama juga dapat menghasilkan produk gas dengan komposisi yang berbeda. Minyak mentah yang keluar dari sumur disertai dengan volume gas alam yang besar, rata-rata sekitar 100 m^3 gas per barel minyak (1 barel = 158,94 L). Kuantitas gas bumi yang dihasilkan per barel minyak semakin berkurang seiring dengan umur ladang minyak. Lebih dari dua per lima gas yang diperoleh dari sumur minyak dikembalikan ke

tanah untuk mempertahankan tekanan di kolam minyak dan dengan demikian meningkatkan perolehan minyak akhir.

Meskipun gas alam sebagian besar adalah metana, ia mengandung hidrokarbon jenuh dan uap bensin lainnya. Cairan yang diekstraksi dari gas merupakan suplemen penting untuk sumber daya minyak bumi. Saat ini jumlahnya sekitar sepersepuluh volume minyak mentah yang diambil dari tanah. Hidrokarbon yang lebih berat diambil kembali dan dijual sebagai LPG, bensin alam, pelarut, dan bahan mentah untuk pembuatan plastik dan bahan kimia, dan lain-lain.

Penggunaan utama gas alam adalah untuk keperluan pengisian bahan bakar dan pemanas. Gas alam juga merupakan bahan mentah untuk berbagai produk yang digunakan setiap hari, seperti cat, pupuk, antibeku, plastik, pewarna, film fotografi, obat-obatan, dan bahan peledak. Gas alam memiliki ribuan kegunaan. Ini digunakan untuk memproduksi baja, kaca, kertas, pakaian, batu bata, dan listrik.

5.4. *Liquified Petroleum Gas (LPG)*

Liquified Petroleum Gas (LPG) terdiri dari campuran utama propan dan Butan dengan sedikit persentase hidrokarbon tidak jenuh (propilen dan butilene) dan beberapa fraksi C_2 yang lebih ringan dan C_5 yang lebih berat. Senyawa yang terdapat dalam LPG adalah propan (C_3H_8), Propilen (C_3H_6), normal dan iso-butan (C_4H_{10}) dan Butilen (C_4H_8). LPG merupakan campuran dari hidrokarbon tersebut yang berbentuk gas pada tekanan atmosfer, namun dapat diembunkan menjadi bentuk cair pada suhu normal, dengan tekanan yang cukup besar. Walau digunakan sebagai gas, namun untuk kenyamanan dan kemudahannya, disimpan dan ditransport dalam bentuk cair dengan tekanan tertentu.

LPG cair, jika menguap membentuk gas dengan volume sekitar 250 kali. Uap LPG lebih berat dari udara: butan beratnya sekitar dua kali berat udara dan propan sekitar satu setengah kali berat udara.

Sehingga, uap dapat mengalir di dekat permukaan tanah dan turun hingga ke tingkat yang paling rendah dari lingkungan dan dapat terbakar pada jarak tertentu dari sumber kebocoran. Pada udara yang tenang, uap akan tersebar secara perlahan. Lolosnya gas cair walaupun dalam jumlah sedikit, dapat meningkatkan campuran perbandingan volum uap/udara sehingga dapat menyebabkan bahaya. Untuk pendeteksian kebocoran ke atmosfer, LPG biasanya ditambah bahan yang berbau. Harus tersedia ventilasi yang memadai di dekat permukaan tanah pada tempat penyimpanan LPG. Karena alasan di atas, sebaiknya tidak menyimpan silinder LPG di gudang bawah tanah atau lantai bawah tanah yang tidak memiliki ventilasi udara.

Dalam pengolahan bahan bakar gas LPG proses yang dilakukan melalui dua tahap utama yaitu pretreatment dan fraksinasi. *Pretreatment* yang meliputi *acid gas removal*, *dehidration*, *refrigeration* dan proses *fraksinasi* untuk mendapatkan komposisi yang diinginkan (Sembiring dkk, 2019).

Acid gas removal dilakukan untuk menghilangkan CO₂ dan H₂S. Umumnya CO₂ dan H₂S merupakan pengotor utama dalam gas alam. Jumlah kandungan CO₂ dalam gas alam tergolong sangat tinggi, sedangkan kandungan H₂S memiliki kadar yang rendah. Gas CO₂ yang terkandung dalam gas alam dapat menurunkan nilai kalor pembakaran (*heating value*) gas alam. Hal ini berpengaruh terhadap kualitas produk yang dihasilkan. Selain sifatnya sebagai gas asam yang korosif, CO₂ juga dapat merusak sistem perpipaan pada lingkungan industri karena dapat membeku pada suhu operasional yang rendah.

Teknologi yang dapat digunakan untuk menghilangkan CO₂ ditunjukkan pada tabel berikut

Tabel 5.3 Teknolgi penghilang CO₂ pada gas alam

Absorpi	Sparasi Membran	Adsopsi	Distilasi Kriogenik
Proses mudah	Pressure drop tinggi	Suhu operasi tinggi	Tekanan operasi tinggi
Lebih efektif	Selektivitas CO ₂ buruk	Kurang efektif	Biaya besar

Sumber: Sembiring dkk, (2019)

Absorpsi gas merupakan proses perpindahan massa dimana gas atau campuran gas dikontakkan dengan cairan sehingga terjadi pelarutan satu atau lebih komponen-komponen gas ke dalam cairan sebagai penyerapnya. Mekanisme perpindahan yang terjadi massa sebagian besar dikontrol oleh laju difusi, dimana laju difusi tersebut dipengaruhi oleh perbedaan kosentrasi fasa gas dengan fasa cair. Penyerap tertentu akan menyerap setiap satu atau lebih komponen gas.

Pada absorpsi sendiri ada dua macam proses, yaitu absorpsi fisik dan absorpsi kimia. Absorpsi fisik merupakan absorpsi dimana gas terlarut dalam cairan penyerap tidak disertai dengan reaksi kimia. Penyerapan terjadi karena adanya interaksi fisik, difusi gas ke dalam air, atau pelarutan gas ke fase cair dengan prinsip perbedaan konsentrasi. Contoh absorpsi ini adalah absorpsi gas CO₂ dan H₂S dengan air, metanol, propilen, dan karbonat. Penyerapan terjadi karena adanya interaksi fisik, difusi gas ke dalam air, atau pelarutan gas ke fase cair dengan prinsip perbedaan konsentrasi. Pada absorpsi fisika, energi yang dibutuhkan untuk regenerasi larutan jauh lebih rendah dari pada reaksi kimia. Hal ini karena pada absorpsi fisika tidak diperlukan penambahan energi untuk regenerasi larutan, cukup menurunkan tekanan sebagai gaya dorong.

Absorpsi kimia merupakan absorpsi dimana gas terlarut di dalam larutan penyerap disertai reaksi kimia. Reaksi kimia dapat dilakukan

antara CO₂ dengan senyawa amina. MEA, DEA, dan MDEA adalah pelarut (*absorbent*) yang biasa digunakan untuk menyerap (*absorb*) CO₂. Untuk proses absorpsi pada pabrik ini digunakan absorpsi kimia dengan menggunakan senyawa MDEA (*Methyl diethanolamine*). Senyawa amina merupakan pelarut (*absorbent*) yang paling banyak digunakan, karena senyawa amina dapat bereaksi dengan CO₂ membentuk senyawa kompleks dengan ikatan kimia yang lemah. Ikatan kimia ini dapat dengan mudah terputus dengan pemanasan (*mild heating*) sehingga regenerasi absorben lebih mudah terjadi.

Proses selanjutnya adalah *dehydration*. Proses ini bertujuan untuk mencegah korosi dan penyumbatan saluran diakibatkan reaksi air dengan hidrokarbon pada temperature rendah. Gas alam dibumi mengandung air. Kandungan airnya tinggi atau dalam kondisi jenuh. Kandungan air harus dihilangkan untuk mengurangi resiko korosi dan resiko penyumbatan saluran oleh pembentukan hidrat. Hidrat merupakan suatu zat padat yang merupakan campuran antara air dan hidrokarbon ringan yang dapat terjadi diatas titik beku air. Kondisi operasi banyak melibatkan temperature dingin, oleh sebab itu untuk mencegah terbentuknya hidrat, kandungan air dalam gas harus dikurangi. Metode yang dapat digunakan dalam proses dehidrasi, diantaranya absorpsi, adsorpsi, kondensasi. Pada proses absorpsi senyawa yang bisa digunakan seperti *ethylene glycol* (EG), *diethylene glycol* (DEG), *triethylene glycol* (TEG), *tetraethylene glycol* (TREG), dan *propylene glycol* dapat digunakan sebagai absorben. *Triethylene glycol* (TEG) adalah absorben yang paling umum digunakan.

Proses terakhir pada *pretreatment* yaitu pendinginan (*refrigeration*). Pendinginan memainkan peran utama dalam banyak proses pemulihan hidrokarbon. Proses ini dilakukan untuk memulihkan sejumlah besar C₃₊ dan untuk menurunkan suhu gas saat gas masuk ke tahap lain dari pemulihan hidrokarbon. kompresi uap menggunakan propana adalah yang paling umum di industri pengolahan gas.

Proses selanjutnya adalah fraksinasi. Fraksinasi merupakan proses yang bertujuan untuk memisahkan hidrokarbon berat dalam gas

alam sehingga menghasilkan LPG dengan kandungan metana tinggi. Dalam *fractionation unit* ini akan menghasilkan LPG dan kondensat (produk samping). Sistem fraksinasi ini bekerja berdasarkan prinsip distilasi dan terbagi menjadi 3 sub-sistem yaitu, *De Ethanizer*, *De Propanizer* dan *De Butanizer*. Proses distilasi ini berturut-turut berfungsi untuk memisahkan metana, etana, propana dan butana.

5.5. Perbedaan LPG, LNG, dan CNG

Komponen *liquefied petroleum gas* (LPG) didominasi oleh **Propana** dan **Butana**. Jenis gas ini mempunyai massa jenis yang lebih besar dari *liquefied natural gas* (LNG). LPG berbentuk zat cair pada tabung, Pada suhu dan tekanan normal LPG yang keluar dari tabung akan langsung berubah menjadi gas. Tekanan yang dibutuhkan untuk mencairkan gas ini cukup rendah sehingga lebih aman digunakan. Alasan ini yang membuat LPG lebih cocok dan aman untuk konsumen rumah tangga, karena sifatnya mudah disimpan dan bisa langsung dibakar untuk dimanfaatkan, tanpa perlu infrastruktur yang rumit.

Liquefied Natural Gas (LNG) merupakan gas yang didominasi oleh **metana** dan **etana** yang didinginkan hingga menjadi cair pada suhu antara -150 C sampai -200 C. Pengembangan dan pemanfaatan LNG memerlukan infrastruktur yang lebih kompleks. Dari sisi hulu, pengembangan LNG tidak hanya memerlukan fasilitas produksi biasa, tetapi memerlukan kilang yang mampu mencairkan gas tersebut sampai suhu minus 150°C-200°C. Fasilitas pendingin dan tanki kriogenik ini membutuhkan investasi yang sangat besar.

Compressed Natural Gas (CNG) merupakan gas yang hampir sama dengan LNG, hanya saja pada CNG gas metana dikompresi namun tidak sampai mencair. Produksi dan penyimpanan CNG lebih murah dibandingkan dengan LNG. CNG membutuhkan tempat penyimpanan lebih besar serta tekanan yang sangat tinggi. Distribusi CNG tidak bisa untuk jarak yang terlalu jauh dari sumber gas. Saat

ini CNG sudah digunakan untuk bahan bakar antara lain untuk *busway*, bajaj di Jakarta, dan bus Trans Semarang.

5.6. Hidrogen

Standar emisi yang diberlakukan saat ini cukup ketat seiring dengan menurunnya ketersediaan produk minyak bumi, maka pencarian bahan bakar alternatif yang berpolusi rendah harus dilakukan. Hidrogen, sebagai bahan bakar mesin SI memperoleh signifikansi khusus mengingat potensi pasokannya yang tidak terbatas dan karakteristiknya yang hampir tidak mencemari. Meskipun dengan ekonomi saat ini hidrogen akan menjadi bahan bakar otomotif yang mahal, berdasarkan pertimbangan jangka panjang, biaya relatifnya dapat meningkat pesat. Saat metode produksi hidrogen yang lebih murah tersedia, metode tersebut dapat digunakan untuk pesawat terbang, kapal laut, rel kereta api, dan kendaraan otomotif.

Hidrogen dapat digunakan sebagai bahan bakar potensial untuk mesin pembakaran dalam. Hidrogen umumnya dianggap tidak berpolusi karena hidrogen tidak mengandung karbon. konstituen seperti karbon monoksida dan hidrokarbon yang tidak terbakar, yang biasanya ditemukan pada mesin berbahan bakar bensin, akan dianggap sebagai bahan bakar yang hampir tidak pernah habis. Ini dapat diadaptasi sebagai bahan bakar untuk mesin tanpa perubahan desain yang besar. Permasalahan yang umumnya dialami pada mesin berbahan bakar hidrogen adalah terjadinya *backfiring*, *preignition*, *knocking* dan laju peningkatan tekanan yang cepat selama proses pembakaran karena kecepatan nyala yang semakin tinggi. Pembakaran balik (*backfiring*) terutama disebabkan oleh energi penyalaan yang lebih sedikit untuk campuran hidrogen-udara. Titik panas yang terlokalisasi di dalam ruang dan suhu gas sisa terkadang cukup untuk menyebabkan terjadinya *backfiring*.

Tabel 5.4 Perbedaan sifat hidrogen dan metana

Sifat	Hidrogen	Metana
Berat molekul	2,016	16,043
Heat of Combustion (low), MJ/kg	119,93	50,02
Panas spesifik C_p at NTP (kJ/kgK)	14,89	2,22
Viskositas g/cm.s.	0,0000875	0,00011
Rasio panas spesifik pada NTP	1,383	1,308
Konstanta Gas R, KJ/kg K	4,124	0,518
Koefisien difusi di udara (cm^2/s)	0,61	0,16
Limit of flammability in air (vol%)	4-75	5,3-15
Komposisi stoikiometri di udara (vol%)	29,53	9,48
Energi minimal untuk pembakaran di udara (mJ)	0,02	0,29
Suhu penyalaan sendiri (K)	858	813
Temperatur api di udara (K)	2318	2148
kecepatan pembakaran di udara (cm/s)	265-325	37-45

Sumber: Gupta, 2009

5.7 Gasifikasi

Gasifikasi merupakan konversi bahan bakar padat menjadi gas dengan oksigen yang terbatas menghasilkan gas seperti CO , CH_4 , H_2 , serta senyawa bersifat impuritas seperti tar, CO_2 , dan H_2S . Gasifikasi merupakan sebuah proses dimana bahan bakar padat mengalami perubahan secara termokimia menjadi gas.

Keuntungan dari gasifikasi yaitu energi mudah didapatkan, hemat energi dan efisien, CO_2 yang dihasilkan dapat dinetralkan lingkungan. Proses gasifikasi terjadi pada suhu sekitar $150^\circ\text{C} - 900^\circ\text{C}$. Pada suhu berkisar $900^\circ\text{C} - 1400^\circ\text{C}$ proses oksidasi gas hasil pirolisis, dan pada suhu sekitar $600^\circ\text{C} - 900^\circ\text{C}$ proses reduksi. Proses gasifikasi dimulai dari pengeringan, kemudian dekomposisi termal tanpa oksigen. Bagian pirolisis biomassa terurai menjadi volatil, termasuk char, hidrokarbon berat, dan arang. Media yang digunakan umumnya oksigen, uap, dan udara. Penggunaan gasifikasi akan mempengaruhi produk gas dan nilai kalornya.

Keuntungan penggunaan teknologi gasifikasi antara lain:

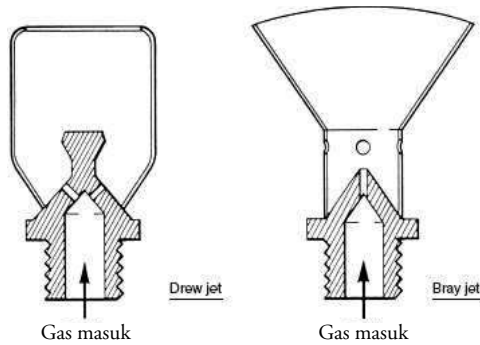
1. Dapat digunakan sebagai pembangkit listrik
2. Dapat digunakan dengan berbagai sumber input bahan bakar termasuk baru bara, minyak mentah berat, berbagai sampah kota, dan sebagainya
3. Mengurangi jumlah limbah padat
4. Mengubah limbah menjadi produk yang bernilai ekonomis
5. Gas yang dihasilkan aman.

5.8. Burner dengan bahan bakar gas

Proses pembakaran bahan bakar gas tidak memerlukan proses pengkabutan atau atomisasi, bahan bakar langsung berdifusi dengan udara. Ada dua tipe yaitu Non aerated burner dan Aerated Burner. Kedua tipe burner tersebut diuraikan sebagai berikut.

a. *Non aerated burner.*

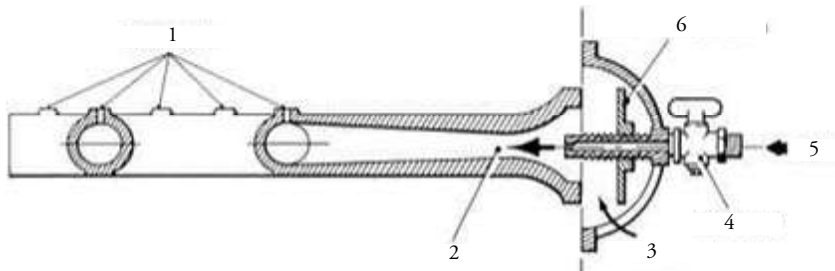
Tipe ini bahan-bakar gas dan udara tidak dicampur dulu sebelum terjadi proses pembakaran. Bahan-bakar gas bertekanan dilewatkan melalui nosel, udara akan berdifusi secara alamiah dengan bahan bakar. Proses pembakaran dengan burner tipe ini dinamakan pembakaran difusi.



Gambar 5.1 *Non aerated burner*

b. *Aerated burner.*

Bahan bakar gas dan udara dicampuri dulu sebelum terjadi proses pembakaran. Pada burner tipe ini selalu ada pengaman untuk mencegah nyala balik kesumber campuran bahan-bakar udara. Jenis burner ini yang paling umum adalah model bunsen.



Keterangan:

- 1 lubang burner
- 2 venturi
- 3 udara masuk
- 4 katup kontrol
- 5 gas (bahan bakar) masuk
- 6 plat pengatur pengkabutan

Gambar 5.2 *Aerated burner.*

Latihan 5. Essay

1. Sebutkan konstituen utama gas alam!
2. Jelaskan perbedaan LPG, LNG, dan CNG!
3. Jelaskan proses pengolahan LPG dari gas alam sampai dapat digunakan untuk konsumsi!
4. Jelaskan kelebihan dan kekurangan bahan bakar gas bila diaplikasikan pada kendaraan bermotor pengganti bensin!
5. Jelaskan burner untuk bahan bakar gas!

Latihan 5. Pilihan Ganda

1. Yang termasuk kelebihan bahan bakar gas yaitu...
 - a. Mudah dipadatkan dibakar pada suhu rendah
 - b. Tidak memerlukan peralatan tambahan
 - c. Nilai kalor melebihi bahan bakar cair dan padat
 - d. tidak menimbulkan knocking pada mesin
 - e. sumbernya yang melimpah
2. Gas yang tepat untuk bahan bakar kendaraan bermotor yaitu...
 - a. LPG
 - b. LNG
 - c. LRG
 - d. CNG
 - e. CPG
3. Kontituen gas terbesar di alam yaitu...
 - a. CH_4
 - b. C_5H_{12}
 - c. H_2S
 - d. N_2
 - e. C_2H_6

4. Karakteristik gas LPG adalah
 - a. Berbentuk gas pada suhu rendah
 - b. Uap gas LPG lebih ringan daripada udara
 - c. Didominasi oleh propane dan butana
 - d. Berbentuk uap ketika keluar dari tabung
 - e. Memerlukan tekanan tinggi dalam pembakaran
5. Karakteristik gas LNG adalah..
 - a. Berbentuk uap pada suhu rendah
 - b. Uap gas LNG lebih ringan daripada udara
 - c. Didominasi oleh propane dan butana
 - d. Memerlukan suhu tinggi untuk mencairkan gas
 - e. Didominasi oleh metana dan etana
6. Yang tidak termasuk dalam konstituen gas alam adalah..
 - a. C_2H_{16}
 - b. C_3H_6
 - c. C_3H_8
 - d. C_3H_{12}
 - e. C_7H_{19}
7. Proses pengolahan gas LPG pada pretreatmen yaitu
 - a. Refrigeration > acid gas removal > dehydration
 - b. Acid gas removal > dehydration > pendinginan
 - c. Absorption > removal SO_2 > refrigeration
 - d. Removal acid SO_2 > absorption > refrigeration
 - e. Removal H_2S > refrigeration > filtration
8. Tujuan utama proses acid gas removal yaitu
 - a. mencegah kehilangan banyak gas
 - b. menghilangkan CO_2 dan H_2S
 - c. menghilangkan CO dan H_2SO_4
 - d. menghilangkan N_2 dan CO_2
 - e. menghilangkan H_2S dan SO_2

9. Teknologi penghilang CO₂ pada proses produksi LPG yang lebih efektif namun biaya tidak terlalu besar yaitu
- Membran
 - Adsorpsi
 - Absorpsi
 - Distilasi kriogenik
 - Distilasi ACID
10. Pada proses dehydration senyawa yang umumnya digunakan untuk menghilangkan CO₂, kecuali..
- Methyl diethanolamine* (MDEA)
 - Ethylene glycol* (EG)
 - Tetraethylene glycol* (TREG)
 - A dan B*
 - A saja*

BAB VI

PELUMAS DAN SISTEM PELUMASAN

Motor bakar merupakan suatu mesin konversi energi yang kompleks. Sumber energi berasal dari energi kimia bahan bakar. Dengan proses pembakaran energi kimia pembakaran akan terlepas menjadi energi panas. Dengan berbagi jenis komponen mesin yang saling bekerja serentak akan mengubah energi panas menjadi energi mekanik poros, yaitu kerja berguna.

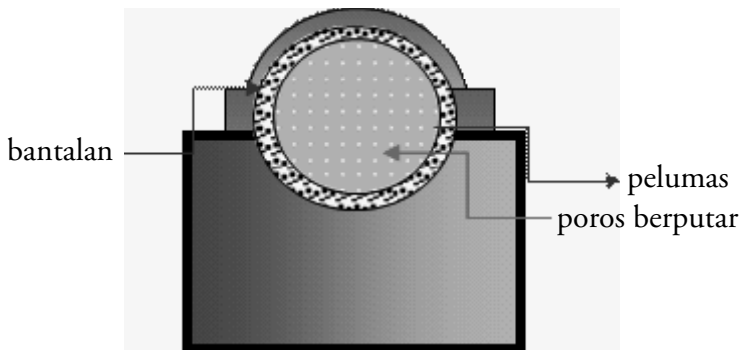
Pada proses peralihan energi diperlukan peralatan bantu yang akan menjamin berlangsungnya proses tersebut dengan lancar dan efisien. Bagian penting yang bergerak pada mesin telah dibicarakan pada pasal terdahulu. Dalam keadaan tersebut, mesin belum dapat bergerak dan hidup sebagaimana mestinya. Untuk itu masih diperlukan kelengkapan lainnya. Kelengkapan-kelengkapan yang dibutuhkan oleh suatu motor bakar adalah sistem pelumasan, sistem pendinginan, sistem bahan bakar, sistem pengapian, sistem starter dan sistem pembuangan gas bekas. Dengan kelengkapan mesin tersebut mesin akan bekerja sempurna.

Semua elemen mesin yang terbuat dari logam akan bergerak relatif antara satu dengan lainnya dapat mengalami hambatan yang besar karena gesekan permukaan. Karena hal tersebut, fungsi pelumas menjadi sangat penting. Dengan pelumasan dapat dihindari kontak langsung dari dua bagian logam mesin yang bergesekan. Pada gambar

1.1 diperlihatkan pelumasan poros dengan bantalannya. Komponen-komponen mesin akan terselimuti oleh lapisan pelumas sehingga antara bagian satu dan lainnya seperti tidak bersentuhan. Kondisi akan menimbulkan gaya gesek yang kecil antara komponen mesin. Secara garis besar fungsi pelumasan adalah sebagai berikut:

1. Mengurangi gesekan yang timbul antar komponen mesin sehingga pergerakan komponen mesin menjadi lebih ringan.
2. Menyerap panas yang timbul karena pergesekan antara komponen-komponen mesin, hal ini menguntungkan karena komponen mesin terhindar dari *overheating* atau panas berlebih.
3. Khusus pada pelumasan di silinder akan memperbaiki kerapatan antara torak dan silinder.
4. Mencegah abrasi dan korosi komponen-komponen mesin.

Untuk menjamin keberlangsungan proses pelumasan pada waktu operasi mesin sehingga komponen-komponen mesin terlumasi semua, pelumas harus disirkulasikan. Sistem yang menjamin keberlangsungan proses pelumasan pada mesin disebut sistem pelumasan.



Gambar 6.1 Pelumasan pada bantalan

6.1 Minyak Pelumas

Pelumas merupakan zat cair yang mempunyai kekentalan tinggi yang dihasilkan dari proses pengolahan minyak bumi. Untuk

menambahkan kemampuannya, pelumas banyak dicampur dengan bahan aditif. Selain dari pengolahan minyak bumi, adapula yang diperoleh dari bahan-bahan organik lainnya, misalnya minyak jarak, minyak sawit dan kastrol. Agar pelumas mempunyai kemampuan pelumasan yang baik maka pelumas yang baik harus mempunyai persyaratan sebagai berikut:

1. Viskositas minyak mesin harus sesuai dengan jenis operasi mesin yang bersangkutan. Jika viskositasnya terlampau rendah akan mengakibatkan *overheating* pada mesin. Sebaliknya jika viskositas minyak tersebut terlampau tinggi, tahanan gesek akan bertambah sehingga mungkin mesin sukar dihidupkan.
2. Memiliki daya pelapisan atau kelekatan yang baik pada permukaan logam atau komponen-komponen mesin.
3. Tidak mudah bercampur dengan barang-barang lainnya (kotoran-kotoran)
4. Memiliki titik nyala yang tinggi dan sukar menguap sehingga pelumas tidak mudah terbakar pada suhu tinggi.
5. Mempunyai koefisien perpindahan panas konduksi yang baik sehingga mudah memindahkan panas.
6. Mempunyai titik beku yang rendah, hal ini dibutuhkan pada kondisi mesin yang bekerja pada daerah dingin.

Secara garis besar pelumas diklasifikasi menurut tiga hal yaitu bahan asal pelumas, viskositas, dan yang terakhir menurut penggunaannya. Uraian adalah seperti di bawah ini:

a. Penggolongan menurut bahan asal

Pelumas dibedakan menjadi dua yaitu pelumas mineral dan sintetis. Pelumas mineral dibuat dari bahan dasar (*base oil*) yang berasal dari minyak mentah (*crude oil*), dengan tambahan aditif sekitar 10-20%. Sedangkan pelumas sintetis dibuat dari unsur-unsur kimia sintetis, baik bahan dasarnya maupun aditifnya. Bahan kimia yang banyak diaplikasi sebagai pengganti minyak mentah adalah *polyalphaolefins*, *ester berbasa dua*, *ester organofosfat*, *ester silikat*, *glikol*

polialkilena, silikon atau fluor hidrokarbon. Karena mengandalkan bahan sintetik dan proses pembuatannya pun cukup rumit, maka harga pelumas sintetik menjadi jauh lebih mahal dari pelumas mineral.

Pelumas sintetik dipakai pada mesin-mesin yang dioperasikan dalam kondisi kerja yang berat, mobil balap yang terus menerus dipacu pada rpm tinggi, atau pada kondisi “stop and go”, atau kalau memang itu direkomendasikan oleh pembuat mesin. Pelumas sintetik juga diperlukan di daerah yang beriklim sangat dingin seperti di Eropa atau sangat panas didaerah gurun. Dalam kondisi cuaca yang sangat dingin, oli mineral umumnya membeku. Pelumas sintetik memiliki kestabilan cair yang alami, yang memberikan aliran pelumas yang lebih baik di dalam mesin meski temperatur sangat rendah. Pelumas sintetik memang mempunyai kelebihan dibanding oli mineral. Pelumas sintetik umumnya memiliki rentang kekentalan yang sangat luas atau besar sehingga lebih fleksibel beradaptasi terhadap berbagai perubahan temperatur. Bahkan ada oli sintetik yang tingkat kekentalannya sangat ekstrim, misalnya SAE 10W-60 atau 5W-50. Pelumas dengan kekentalan seperti itu dapat dibidang “dingin tidak beku, panas tidak encer”.

b. Penggolongan menurut viskositas

Viskositas minyak pelumas sangat bergantung terhadap perubahan temperatur. Pada temperatur yang tinggi minyak pelumas cenderung encer dan pada temperatur yang rendah cenderung kental. *Society of Automobile Engineers* [SAE] yang berkedudukan di Amerika Serikat menggolongkan pelumas berdasarkan penomoran SAE. Dalam keadaan suhu yang sama, semakin besar nomor SAE nya menandakan semakin besar pula viskositasnya. Pada umumnya mobil menggunakan minyak lumas SAE 5 sampai dengan SAE 70. Minyak lumas SAE 40 biasanya dipakai untuk musim panas, sedangkan untuk musim dingin dipakai SAE 20. Untuk musim semi dan musim gugur dapat dipakai SAE 30. Untuk pelumas-pelumas yang dipakai mesin

yang beroperasi pada daerah bertemperatur rendah SAE menggunakan huruf “W” [winter], sebagai contoh 5W-20, 5W-30, lebih lengkapnya dapat dilihat pada Tabel 2.2. Pada umumnya penomoran dengan simbol “W” dengan viskositas yang sama dengan penomoran tanpa “W” mempunyai keunggulan kemampuan pelumasan yang sangat baik pada daerah dingin, hal ini karena pelumas dapat lebih encer dan mudah bersirkulasi untuk pelumasan, terutama pada waktu start awal dengan kondisi mesin dingin. Sebagai contoh “10W-30” mempunyai kemampuan yang sama dengan pelumas SAE 10W yang bagus pelumasannya pada daerah dingin tetapi mempunyai viskositas yang sama dengan SAE 30 pada $T = 1000C$ jadi penomorannya digabung menjadi “10W-30”.

Tabel 6.1 Penomoran SAE dan viskositasnya

SAE Viscosity Grade	Viskositas pelumas (CentiStokes @ 100°C)
10	4.00 (2 - 5)
20	7.45 (6 - 8)
30	10.90 (9 - 12)
40	14.40 (13 - 16)
50	19.10 (17 - 21)

Tabel 6.2 Penomoran SAE “W”

SAE Viscosity	Viskositas pelumas (CentiStokes @ 100°C)
0W	3.8
5W	3.8
10W	4.1
15W	5.6

20W	5.6
25W	9.3

Tabel 6.3 Penggunaan SAE 16.3 seri x”W-y

Temperatur lingkungan	Tipe SAE untuk mobil penumpang
0°C	5W-20, 5W-30, 10W-30, 10W-40, 20W-50
-180 °C	5W-20, 5W-30, 10W-30, 10W-40
< -180 °C	5W-20, 5W-30

b. Penggolongan menurut penggunaan

Untuk memperoleh hasil pelumasan yang baik maka minyak lumas dibagi dalam beberapa jenjang disesuaikan dengan penggunaannya.

Tabel 6.4 Pemakaian pelumas menurut penggunaan

Jenis Pelumas	Penggunaan
Jenis ML	Dipakai untuk motor-motor bensin yang beroperasi ringan. Jenis minyak ini tidak mengandung <i>additive</i> .
Jenis MM	Dipakai pada mesin-mesin bensin kerja sedang, mengandung bahan tambah <i>oxidation inhibitor</i> yang bersifat mencegah terjadinya karat (oksidasi).
Jenis MS	Dapat dipakai untuk motor bensin yang beroperasi berat.

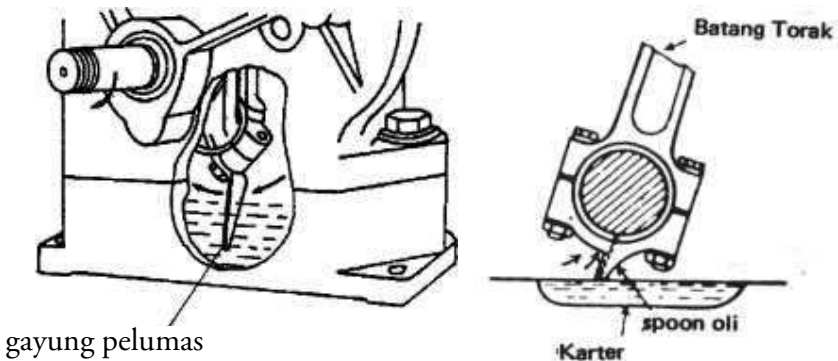
Jenis DG	Digunakan untuk motor-motor diesel yang beroperasi normal, dapat juga digunakan untuk motor bensin. Minyak ini mengandung detergen untuk mencegah pembentukan karbon. Selain itu terdapat juga <i>oxidation inhibitor</i> . Umumnya jenis minyak inilah yang banyak digunakan.
Jenis DM	Digunakan untuk motor-motor diesel yang beroperasi berat, dapat juga digunakan untuk motor bensin. Selain mengandung bahan tambahan, juga mengandung <i>pour point depressant</i> , sehingga minyak ini masih dapat memenuhi syarat walaupun bekerja pada suhu operasi yang tinggi. Oleh karena itu jenis ini disebut juga minyak bermutu tinggi (<i>high grade oil</i>).
Jenis DS	Biasanya dipakai untuk motor-motor diesel yang menggunakan bahan bakar bermutu rendah. Jenis ini masih mengandung bermacam-macam bahan tambahan dan harganya pun mahal, sehingga jarang yang menggunakannya.

6.2. Model Pelumasan

Bagian-bagian yang bergerak dalam mesin dilumasi dengan empat macam cara yaitu dengan cara percikan (*splash*), tekanan (*force feed*), gabungan dari percikan serta tekanan, yang terakhir adalah pelumasan campur bahan bakar dengan pelumas (*patrol lubrication*).

a. Sistem percikan

Minyak lumas akan terbawa oleh batang spoon atau dipper pada waktu piston bergerak ke bawah kemudian pelumas dipercikkan oleh ujung bagian bawah *connecting rod* kepada dinding silinder dan bearing. Konstruksi sistem percikan cukup sederhana, tetapi kendalanya ialah bahwa minyak lumas sangat sulit melalui celah-celah yang sempit. Oleh karenanya sistem ini sekarang jarang sekali digunakan.

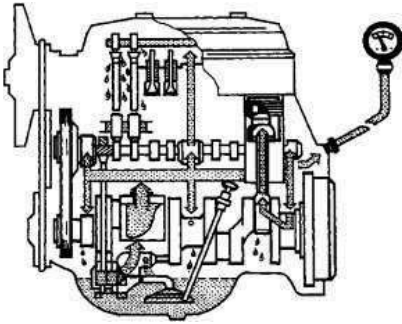


Gambar 6.2. Proses pelumasan percikan

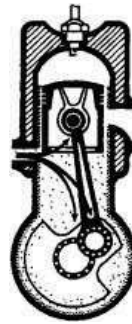
b. Sistem penyaluran paksa

Mesin yang kompleks terutama pada multsilinder mempunyai banyak bagian-bagian yang sempit dan jauh dari jangkauan tangki pelumas. Padahal semua komponen tersebut harus dilumasi, untuk itu diperlukan sistem pelumasan yang mampu mensirkulasikan pelumas ke seluruh komponen atau bagian mesin yang membutuhkan. Untuk mensirkulasikan minyak pelumas, pelumas dipompa sehingga mempunyai energi yang cukup untuk sampai ke bagian-bagian yang harus dilumasi dengan tekanan tertentu. Minyak pelumas terkumpul dalam karter dihisap oleh pompa minyak melalui saringan minyak. Dari sini minyak disalurkan ke bagian-bagian mesin melalui lubang-lubang minyak yang terdapat pada blok silinder, poros engkol dan sebagainya. Sesudah minyak melakukan pelumasan pada bagian-bagian mesin, minyak kembali lagi ke karter.

a) pelumasan paksa



b) pelumasan campur



mesin bensin multi silinder 4 tak mesin bensin 1 silinder 2 tak

Gambar 6.3 Proses pelumasan paksa dan campur

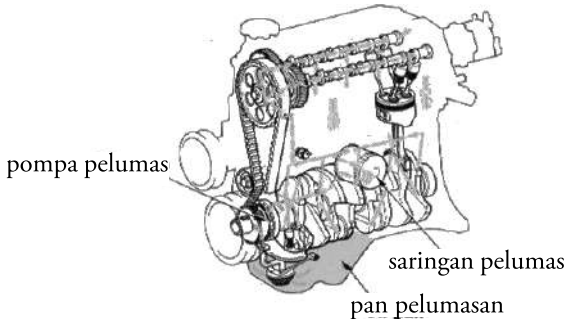
Keuntungan dengan sistem ini bahwa semua bagian-bagian pada mesin dapat dilumasi dengan baik. Kerugiannya jika pompa minyak rusak, maka sistem ini tidak dapat bekerja.

c. Sistem kombinasi percikan dan tekanan

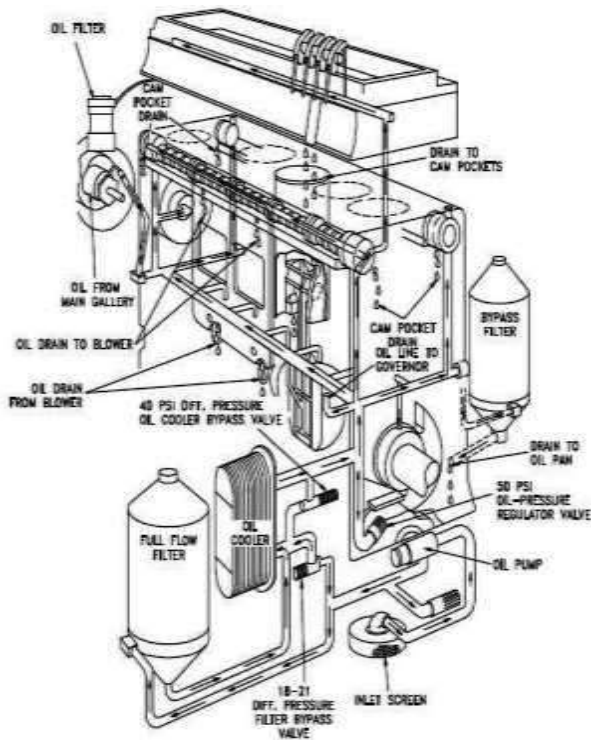
Dalarn sistem ini dipergunakan kedua sistem, sistem percikan dan tekanan.

d. Sistem campuran bahan bakar pelumas.

Sistem ini dipakai pada motor dua langkah (2 tak). Pelumas dan bahan bakar dengan komposisi campuran kurang lebih 1: 30 sampai 1:50 akan berfungsi sebagi pelumas dan sekaligus perapatan antara silinder dan piston pada waktu mesin bekerja. Kerugiannya adalah pelumas ikut terbakar sehingga metode ini sangat boros pelumas



Gambar 6.4 Komponen pelumasan dan sirkulasi pelumas



Gambar 6.5 Komponen-komponen pelumasan pada mesin disel

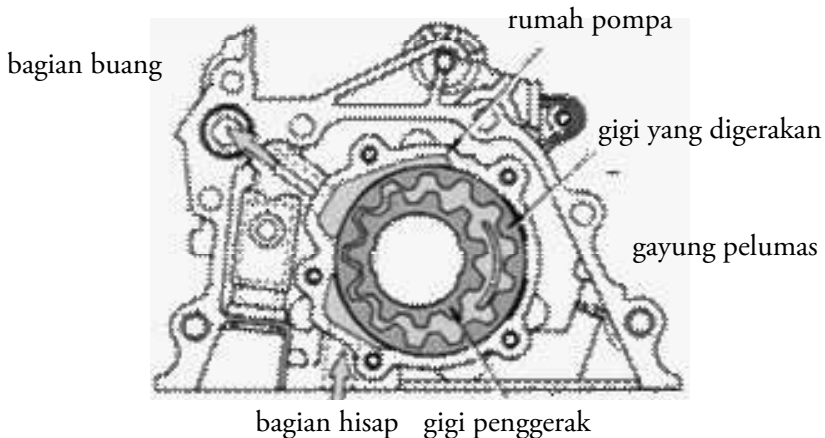
6.3 Komponen Utama Sistem Pelumasan Tekan

6.3.1 Pompa pelumas

Pompa adalah alat untuk menaikkan energi fluida yang pada sistem pelumasan ini fluidanya berupa minyak pelumas dengan kekentalan tinggi. Pompa pelumas menghisap pelumas dari karter dan menyalurkan ke seluruh bagian bagian mesin. Saringan minyak dipasangkan sebelum lubang masuk pompa untuk menyaring kotoran-koloran. Pompa minyak digerakkan oleh batang distributor atau gigi sumbu nok. Pompa minyak yang banyak digunakan adalah model roda gigi dan model rotor.

a. Pompa pelumas model roda gigi

Sistem pelumasan pada mesin membutuhkan pompa yang mampu mesirkulasikan pelumas dengan debit yang rendah tetapi harus mempunyai tinggi tekan yang besar (head tinggi). Pompa yang cocok dengan kondisi ini adalah pompa perpindahan positif model roda gigi. Pompa model roda gigi ini terdiri dari body dan dua buah roda gigi yang berkaitan di dalam body. Bila salah-satu dari roda-roda gigi ini berputar, maka roda gigi lainnya akan berputar berlawanan arah. Karena itu, minyak yang terdapat di antara celah-celah roda gigi dan body didesak ke luar dari lubang masuk ke lubang buang. Pompa minyak ini mempunyai konstruksi yang sederhana dan dapat bekerja dengan baik.

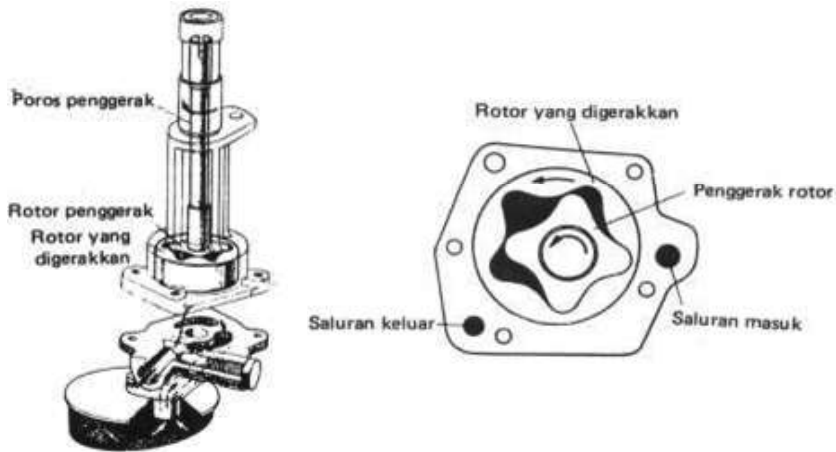


Gambar 6.6 Pompa minyak pelumas jenis roda gigi

b. Pompa model rotor

Model pompa roda gigi yang lain yang sering dipakai adalah model pompa rotor. Pada pompa model ini rotor penggerak (*drive rotor*) dan rotor yang digerakan (*driven rotor*) berkaitan bersama dalam pompa body seperti terlihat pada gambar. Poros drive rotor dibuat eksentrik terhadap bodinya, dengan demikian pada waktu drive rotor berputar, driven rotor juga berputar dan volume ruangan di antara rotor-rotor itu akan berubah-ubah. Minyak masuk melalui

saluran masuk yang terdapat pada ruang di antara rotor-rotor dan diteruskan ke bagian lainnya dengan jalan memperkecil ruangan *drive* dan *driven rotor*. Pompa minyak ini mempunyai kemampuan kerja yang sama dengan pompa minyak model roda gigi. Keuntungan lainnya ialah, pompa minyak mempunyai bentuk yang lebih kecil sehingga banyak sekali digunakan.

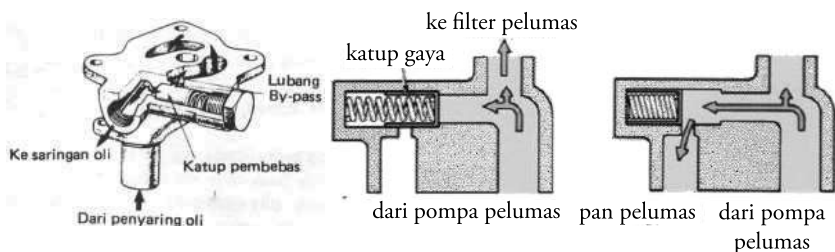


Gambar 6.7 Pompa roda gigi jenis rotor

6.3.2. Regulator minyak pelumas

Sirkulasi minyak pelumas harus diatur sehingga debitnya sesuai dengan yang dibutuhkan. Untuk kepentingan tersebut pada sistem pelumasan selalu dipasang regulator minyak. Hal ini untuk mengatasi kelebihan minyak pelumas apabila mesin bekerja dengan putaran tinggi. Regulator tekanan minyak akan mengatur tekanan minyak agar tidak terjadi penyaluran yang berlebihan.

Pengatur tekanan minyak ini terdiri dari katup yang biasanya berbentuk bola beserta pegasnya dan dipasangkan pada saluran minyak yang terdapat pada pompa minyak. Tekanan minyak harus mengalir pada kondisi tekanan tertentu. Jika kondisi tersebut tidak tercapai, maka akan timbul gangguan dan kesulitan. Kondisi tekanan minyak ini dapat terlihat pada penunjuk tekanan minyak atau lampu isyarat yang dipasangkan pada panel instrumen.



Gambar 6.8 Pengatur tekanan minyak

Bila minyak mengalir dalam keadaan normal, lubang bypass tertutup oleh katup. Tetapi bila jumlah minyak yang mengalir bertambah, tekanan minyak baik dan akan membuka katup sehingga kelebihan minyak akan mengalir kembali ke karter melalui lubang *bypass*.

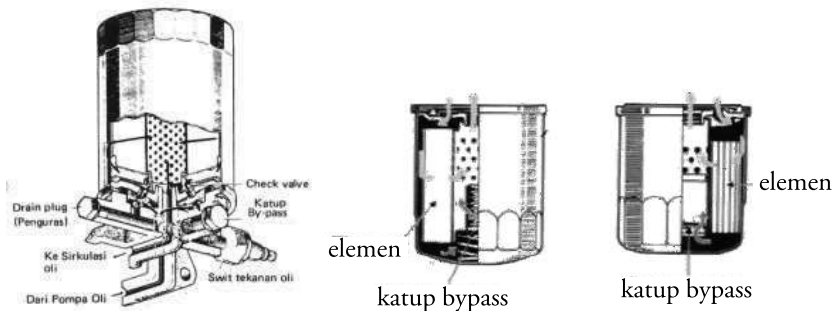
6.3. Sistem ventilasi karter

Pelumas pada tangki pelumas (karter) harus dijaga jangan sampai terlalu banyak terkontaminasi dengan air, karena hal tersebut sangat merugikan yaitu menimbulkan korosi pada logam komponen mesin. Untuk keperluan tersebut pada bak karter dipasang ventilasi. Sistem ventilasi ini berfungsi menjaga kekentalan dan kemurnian minyak lumas dari kontaminasi uap air. Penjelasan nya adalah sebagai berikut, suhu di dalam bak engkol akan naik pada saat mesin bekerja. Pada keadaan ini bahan-bahan yang tidak terbakar beserta air akan berada dalam kondisi uap. Bahan-bahan tersebut harus segera dibuang. Untuk itu dipasangkan pipa ventilasi yang menghubungkan bak engkol dengan udara luar.

6.4. Saringan minyak pelumas

Fungsi utama pelumas adalah untuk mengurangi gesekan langsung antar komponen mesin sehingga permukaan terhindar dari keausan. Akan tetapi untuk dalam jangka waktu tertentu pelumasan akan menjadi kurang efektif karena beberapa alasan, seperti beban mesin yang berlebih, pelumas yang usang tidak diganti. Kondisi ini menyebabkan keausan pada permukaan karena abrasi, korosi

dan lainnya, minyak pelumas menjadi kotor mengandung partikel-partikel logam, kotoran dari udara (abu dan debu), karbon dan bahan-bahan lainnya yang masuk ke dalam minyak lumas tersebut. Bagian-bagian yang berat akan mengendap, sedangkan bagian-bagian yang ringan akan ikut terbawa melumasi mesin. Akibatnya akan memperbesar keausan dan kemungkinan terjadinya panas yang berlebihan (*overheating*).



Gambar 6.9 Peredaran minyak pelumas dan penyaring minyak

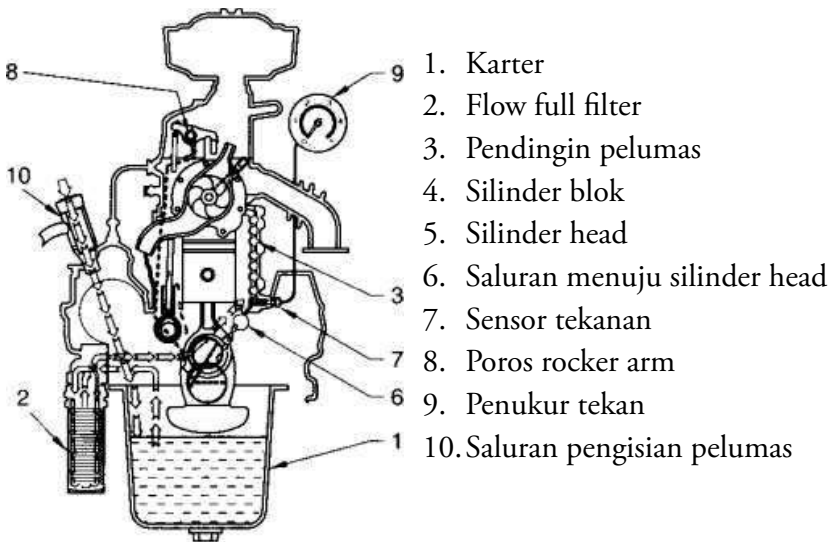
Untuk mengatasi hal tersebut pada sistem pelumasan termasuk komponen pelumasan dipasang saringan pelumas. Saringan pelumas akan menyaring kotoran-kotoran. Ada kalanya minyak lumas dibersihkan melalui saringan hanya sebagian saja, tetapi adapula seluruhnya. Cara penyaringan sebagian disebut *partial flow type*, sedangkan penyaringan seluruhnya disebut *full flow type*.

Saringan minyak biasanya dipasangkan di bagian luar mesin untuk memudahkan penggantian elemen saringan. Gambar 2.9 memperlihatkan cara kerja saringan minyak. Minyak lumas mengalir dari pompa melalui elemen saringan dan dibersihkan dari semua kotoran.

6.5 Tangkai pengukur minyak

Pelumas yang dipakai akan berkurang volumenya karena beberapa sebab, misalnya kebocoran, terbakar, dan sebab lainnya. Hal ini dapat menyebabkan proses pelumasan mejadi tidak efektif. Untuk mendeteksi jumlah minyak yang bersirkulasi di dalam mesin

digunakan tangkai pengukur volume minyak pelumas. Pemeriksaan dilakukan dengan menempatkan kendaraan pada tempat yang datar, kemudian dengan mencabut batang pengukur akan terlihat banyaknya minyak dalam bak engkol serta terlihat pula kualitasnya. Pada tangkai pengukur tersebut terdapat huruf-huruf F dan L. Bila minyak terlihat berada di antara F dan berarti volumenya cukup. Di atas F berarti berlebihan sedangkan di bawah L berarti harus ditambah.



Gambar 6.10 Sirkulasi pelumas pada mesin multisiylinder

Latihan 6. Essay

1. Jelaskan pentingnya sistem pelumasan pada sebuah mesin!
2. Sebut dan jelaskan tipe-tipe pelumasan!
3. Sebut dan jelaskan komponen utama sistem pelumasan pada mesin bensin
4. Sebut dan jelaskan komponen utama sistem pelumasan pada mesin diesel.

5. a. Sebutkan standar dalam pelumasan yang umumnya berlaku.
- b. bagaimana menentukan tipe pelumas berdasarkan kondisi lingkungan suatu tempat.

BAB VII

PENGANTAR PEMBAKARAN

Kendaraan yang kita gunakan sebagai alat transportasi umumnya menggunakan mesin pembakaran dalam (*internal combustion engine*). Proses pembakaran di dalam mesin merupakan proses terbakarnya campuran bahan bakar dengan udara. Pembakaran bahan bakar dengan campuran udara pada sebuah mesin merupakan salah satu proses dalam mengontrol daya mesin, efisiensi, dan emisi. Hal ini penting agar kita dapat memahami fenomena pembakaran dalam mesin.

Pada bab ini kita akan mempelajari tentang analisis termodinamika pada proses pembakaran. Perubahan energi kimia pada energi termal sangat penting dalam menghasilkan daya optimum pada mesin. Hukum termodinamika dan konservasi masa digunakan untuk menganalisis hal tersebut.

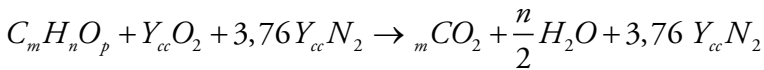
Bahan bakar yang digunakan pada mesin umumnya berupa bahan bakar cair dan bahan bakar gas. Pada mesin bensin umumnya menggunakan bahan bakar cair yang mengandung unsur utama hidrokarbon, dan solar adalah bahan bakar diesel. Bahan bakar apapun seperti bensin sebenarnya merupakan campuran dari banyak hidrokarbon. Contoh lain adalah alkohol, yang terkadang digunakan sebagai bahan bakar di mesin pembakaran dalam. Bahan

bakar hidrokarbon berbentuk gas juga merupakan campuran dari berbagai penyusun hidrokarbon.

Sebelum menganalisis daya mesin dari proses pembakaran, kita perlu mengetahui kandungan pada udara. Kandungan udara di atmosfer terdiri dari sekitar 21% oksigen (O_2) dan 79% nitrogen (N_2). Jadi perbandingan nitrogen dan oksigen diudara adalah sebesar 3,76. Nilai ini akan digunakan dalam menganalisis dari pembakaran campuran bahan bakar dan udara.

7.1 Pembakaran bahan bakar-udara

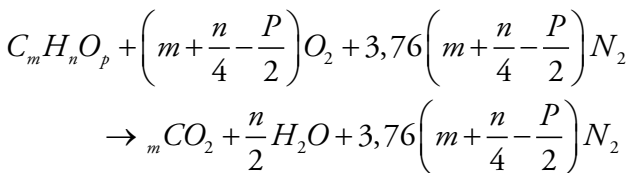
Pada umumnya kendaraan yang kita gunakan menggunakan mesin pembakaran dalam (*internal combustion engine*). Mesin pembakaran dalam membutuhkan bahan bakar yaitu $C_m H_n O_p$, dimana m, n, dan p adalah nilai molekul karbon, hidrogen, dan oksigen. Secara general persamaan untuk campuran bahan bakar-udara ditunjukkan pada persamaan berikut



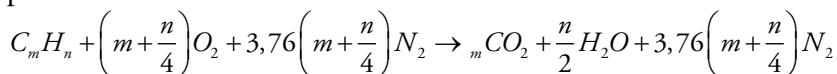
dimana Y_{cc} merupakan

$$\begin{aligned} \frac{P}{2} + Y_{cc} &= m + \frac{n}{4} \\ Y_{cc} &= m + \frac{n}{4} - \frac{P}{2} \end{aligned}$$

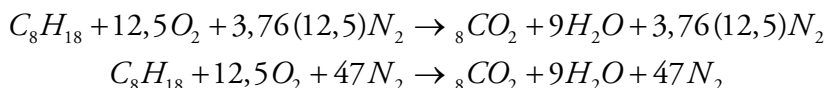
Persamaan stoikiometri ditunjukkan sebagai berikut



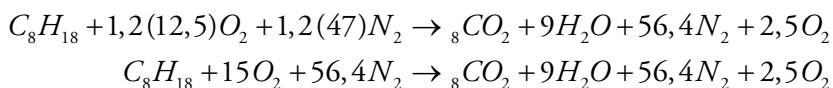
Persamaan stoikiometri bahan bakar murni hidrokarbon ($C_m H_n$), dimana oksigen tidak direpresentasikan ($p=0$) ditulis dengan persamaan berikut



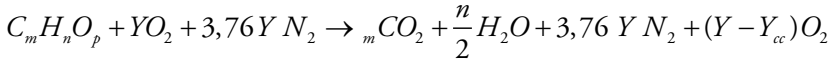
Persamaan pembakaran dengan oktan (C_8H_{18}) dapat ditulis dengan $m=8$, $n=18$



Dalam persamaan kimia di atas, hanya jumlah oksigen yang benar secara kimiawi yang dimasukkan. Stoikiometri atau jumlah udara yang benar secara kimiawi yang diperlukan untuk mengoksidasi reaktan disebut udara teoretis. Ketika pembakaran dicapai dengan udara teoritis, tidak ada oksigen yang diperoleh dalam produk. Dalam praktiknya, ini tidak mungkin. Lebih banyak oksigen daripada yang secara teoritis diperlukan untuk mencapai pembakaran reaktan yang sempurna. Udara berlebih diperlukan karena bahan bakar berukuran terbatas, dan setiap tetesan harus dikelilingi oleh lebih dari jumlah molekul oksigen yang diperlukan untuk memastikan oksidasi semua molekul bahan bakar. Udara berlebih biasanya dinyatakan sebagai persentase dari udara teoritis. Jadi, jika 20% lebih dari yang dibutuhkan secara teoritis digunakan, ini dinyatakan sebagai 120% udara alam 20% udara berlebih. Sebenarnya ada 1,2 kali lebih banyak udara yang digunakan daripada yang dibutuhkan secara teoritis. Pembakaran oktan 20% udara berlebih dapat ditulis sebagai berikut.

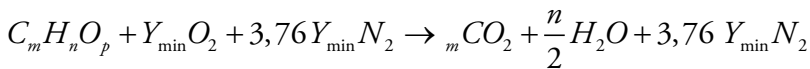


Secara umum jika nilai Y pada O_2 dipasok untuk pembakaran sempurna 1 mol bahan bakar $C_m H_n O_p$ dan $Y \geq Y_{cc}$ (udara berlebih) persamaan pembakaran dapat ditulis sebagai berikut



Jika jumlah udara tidak cukup untuk menghasilkan pembakaran sempurna, karbon tidak akan teroksidasi menjadi karbon dioksida tetapi beberapa karbon monoksida juga akan terbentuk. Ketika pembakaran tidak sempurna terjadi, informasi tentang produk diperlukan untuk menyeimbangkan persamaan pembakaran. Produk pembakaran dapat diperoleh dengan metode eksperimental. Namun, dengan asumsi tertentu persamaan pembakaran dapat ditulis. Asumsi ini adalah semua hidrogen muncul sebagai H₂O dan semua karbon teroksidasi menjadi CO. Jika ada oksigen yang tersisa, sebagian CO teroksidasi menjadi CO₂.

Misalkan Y_{min} menunjukkan mol kandungan O₂ minimum yang diijinkan dalam reaktan per mol bahan bakar, sehingga semua H₂ diubah menjadi H₂O dan semua C diubah menjadi CO. Tidak ada pembentukan CO₂ dengan mol Y_{min} O₂. Persamaan pembakaran menjadi

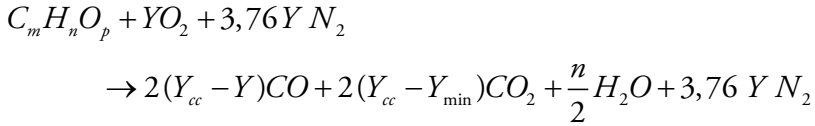


Penyeimbangan mol O₂ di kedua ruas persamaan diatas yaitu

$$\begin{aligned} \frac{P}{2} + Y_{cc} &= \frac{x}{2}(m - X) + \frac{n}{4} \\ X &= 2 \left(m + \frac{n}{4} - \frac{P}{2} - Y \right) \\ &= 2(Y_{cc} - Y) \end{aligned}$$

Oleh karena itu, mol CO yang terbentuk dalam hasil pembakaran sama dengan $2(Y_{cc} - Y)$ dan jumlah mol CO₂ yang terbentuk dalam hasil pembakaran adalah $m - 2(Y_{cc} - Y)$, yang sama dengan $2(Y - Y_{min})$.

Oleh karena itu persamaan pembakaran menjadi



Untuk campuran reaktan yang mengandung 1 mol $C_m H_n O_p$, mol $Y O_2$ dan $3,76 Y$ mol N_2 , jumlah mol hasil pembakaran untuk kedua kasus ditunjukkan pada tabel 7.1.

Tabel 7.1 Mol produk pembakaran

Konstituen	Mol penyusun	
	Kasus 1 $Y \geq Y_{cc}$	$Y_{min} \leq Y \leq Y_{cc}$
CO	$N(1) = 0$	$N(1) = 2(Y_{cc} - Y)$
CO ₂	$N(2) = m$	$N(2) = 2(Y - Y_{min})$
H ₂ O	$N(3) = \frac{n}{2}$	$N(3) = \frac{n}{2}$
N ₂	$N(4) = 3,76Y$	$N(4) = 3,76Y$
O ₂	$N(5) = Y - Y_{cc}$	$N(5) = 0$

Dalam tabel, sistem subskrip diadopsi sedemikian rupa sehingga korespondensi antara nomor mol dan gas adalah

$$1 = CO, 2 = CO_2, 3 = H_2O, 4 = N_2, 5 = O_2$$

Persamaan stoikiometri secara teoritis mendefinisikan campuran bahan bakar dan udara yang benar untuk pembakaran sempurna. Untuk memungkinkan campuran yang berbeda dari campuran yang benar, rasio ekivalensi ϕ dimasukkan. Ini didefinisikan sebagai rasio rasio bahan bakar/udara aktual (F/A)_a dengan rasio stoikiometri bahan bakar/udara (F/A)_s. Ini juga dapat didefinisikan sebagai rasio udara/bahan bakar stoikiometri (A/F)_s, dengan rasio udara/bahan bakar aktual (F/A)_a. Jadi persamaannya menjadi

$$\phi = \frac{(F/A)_a}{(F/A)_s} = \frac{(A/F)_s}{(A/F)_a}$$

Jika rasio ekivalensi ϕ lebih besar dari satu, campuran dikatakan kaya dan jika ϕ kurang dari satu, campuran dikatakan kurus. Mesin pengapian percikan biasanya dapat berjalan dengan campuran kaya dan kurus tetapi mesin pengapian kompresi biasanya berjalan dengan campuran yang kurus saja. Kebalikan dari rasio ekivalensi ϕ disebut rasio udara/bahan bakar relatif λ , oleh karena itu,

$$\lambda = \frac{1}{\phi} = \frac{(A/F)_a}{(A/F)_s}$$

campuran kurus, $\phi < 1$, $\lambda > 1$

campuran stoikiometri, $\phi = \lambda = 1$

campuran kaya, $\phi > 1$, $\lambda < 1$

rasio bahan bakar/udara atau rasio udara/bahan bakar biasanya dinyatakan dalam rasio massa yang sesuai.

Untuk oktan (C_8H_{18}) rasio stoikiometri udara/bahan bakar dapat diperoleh dari persamaan

$$\begin{aligned} (\text{air/fuel ratio})_{\text{stoichiometric}} &= \frac{\text{massa udara}}{\text{massa bahan bakar}} \\ &= \frac{(\text{massa } O_2 + \text{massa } N_2) \text{ per mol bahan bakar}}{\text{massa bahan bakar per mol bahan bakar}} \\ &= \frac{12,5 \times 32 + 47 \times 28}{12 \times 8 + 1 \times 18} \\ &= \frac{400 \times 1316}{114} = \frac{1716}{114} = 15,05 \end{aligned}$$

Jika 20% udara berlebih digunakan dalam praktik aktual, maka dari persamaan

$$(\text{air/fuel ratio})_{\text{actual}} = \frac{15 \times 32 + 56,4 \times 28}{114} = 18,06$$

Setara dengan $\phi = \frac{15,05}{18,06} = 0,833$

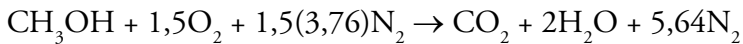
Karena rasio ekivalensi kurang dari 1, ini menunjukkan campuran kurus, yaitu udara berlebih digunakan untuk pembakaran bahan bakar.

Contoh:

- (1) Metanol dibakar dengan 20% udara berlebih.
- Tentukan rasio stoikiometri udara/bahan bakar (AFR)s dan rasio udara/bahan bakar actual (AFR)a. Jika udara dipasok pada 1 bar dan 27°C,
 - hitung volume udara yang disuplai per kmol bahan bakar
 - Tentukan berat molekul reaktan dan produk.

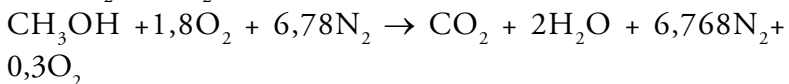
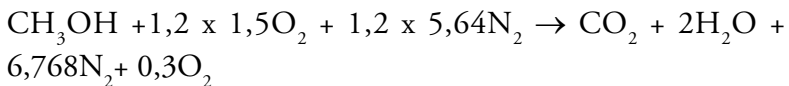
Solusi:

- (a) persamaan stoikiometri pembakaran yaitu:



$$\text{Stoikiometri AFRs} = \frac{1,5 \times 32 + 5,63 \times 28}{32} = 6,435$$

persamaan pembakaran dengan 20% yaitu:



$$\text{AFR aktual} = \frac{1,8 \times 32 + 6,768 \times 28}{32} = 7,772$$

1 kmol bahan bakar CH₃OH direaksikan dengan 1,8 + 6,768 = 8,568 kmol udara

- (b) Volume udara, $V = \frac{nRT}{P}$
- $$= \frac{8,568 \times 8314 \times 300}{1 \times 10^5}$$
- $$= 213,7 \text{ m}^3/\text{kmol bahan bakar}$$

(c) Berat mol pada reaksi ketika udara berlebih dipasok
= 1 mol CH_3OH + 1,8 mol O_2 + 6,768 N_2
= 9,568 mol

Fraksi mol tersebut adalah:

$$\text{CH}_3\text{OH} = \frac{1}{9,568} = 0,1045$$

$$\text{O}_2 = \frac{1,8}{9,568} = 0,1881$$

$$\text{N}_2 = \frac{6,768}{9,568} = 0,7074$$

Berat molekul reaktan = $0,1045 \times 32 + 0,1881 \times 32 + 0,7074 \times 28 = 29,17$

Jumlah total mol dalam produk

= 1 mol CO_2 + 2 mol H_2O + 6,768 mol N_2 + 0,3 mol O_2
= 10,068 mol

Fraksi mol dari produk tersebut adalah:

$$\text{CO}_2 = \frac{1}{10,068} = 0,0993$$

$$\text{H}_2\text{O} = \frac{2}{10,068} = 0,1987$$

$$\text{N}_2 = \frac{6,768}{10,068} = 0,6722$$

$$\text{O}_2 = \frac{0,3}{10,068} = 0,0298$$

Berat molekul produk

= $0,0993 \times 44 + 0,1987 \times 18 + 0,6722 \times 28 + 0,0298 \times 32 = 27,2$

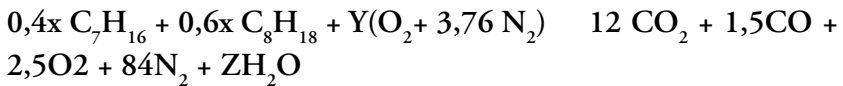
Tekanan parsial uap air

= $0,1987 \times 1 \text{ bar} = 0,1987 \text{ bar}$.

- (2) Campuran bahan bakar 40% C_7H_{16} dan 60% C_8H_{18} berdasarkan volume yang digunakan adalah mesin yang memiliki lubang 120 mm dan panjang langkah 145 mm. Rasio kompresinya adalah 8,5. Persentase komposisi hasil pembakaran kering menurut volume adalah $CO_2 = 12\%$, $CO = 1,5\%$, $O_2 = 2,5\%$ dan sisanya N_2 . Hitung perbandingan udara/bahan bakar (AFR) dan massa gas residu yang tertinggal di silinder pada ujung langkah buang jika tekanan 1,1 bar dan temperatur 720 K.

Solusi: Persentase N_2 dalam produk kering pembakaran
 $= 100 - (12 + 1,5 + 2,5) = 100 - 16 = 84\%$

Persamaan pembakaran dapat ditulis sebagai berikut



N_2 tidak bereaksi

$$3,76 Y = 84$$

$$Y = 22,34$$

Atau

22,34 mol O_2 dipasok

Dengan menyeimbangkan C di kedua sisi reaksi

$$2,8X + 4,8X = 13,5$$

$$X = 1,776$$

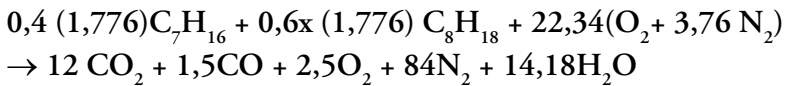
Dengan menyeimbangkan O_2

$$Y = 12 + 0,75 + 2,5 + \frac{Z}{2}$$

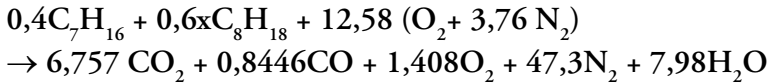
$$22,34 = 15,25 + \frac{Z}{2}$$

$$Z = 14,18$$

Persamaan pembakaran menjadi



Persamaan pembakaran per mol bahan bakar dapat dituliskan sebagai



Persamaan di atas harus diperiksa keseimbangan H_2 juga

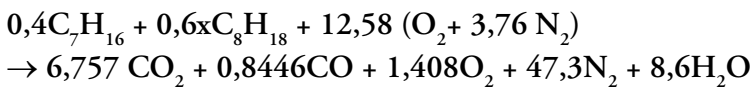
$$\text{Jumlah mol } H_2 \text{ di L.H.S.} = \frac{6,4 + 10,8}{2} = 8,6$$

$$\text{Jumlah mol } H_2 \text{ pada R.H.S.} = 7,98$$

$$\text{Perbedaan mol} = 8,6 - 7,98 = 0,62$$

Perbedaan ini harus ditambahkan ke R.H.S. untuk menyeimbangkan persamaan pembakaran di atas.

Mari kita asumsikan bahwa H_2 ini juga hadir dalam bentuk H_2O dalam produk: sesuai dengan 0,31 mol O_2 ini diasumsikan terdapat dalam reaktan dari sumber lain. Persamaan yang seimbang sekarang menjadi



$$AFR = \frac{12,58(32 + 3,76 \times 28)}{0,4 \times 100 + 0,6 \times 114} = 15,93$$

$$\begin{aligned} \text{Volume silinder} = V_s &= \frac{\pi}{4} d^2 L \\ &= \frac{\pi}{4} (0,12)^2 (0,145) \\ &= 1,64 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Clearance volume } V_c &= \frac{V_s}{r-1} \\ &= \frac{1,64 \times 10^{-3}}{7,5} \\ &= 0,2187 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Berat molekul produk =

$$\frac{6,757 \times 44 + 0,8446 \times 28 + 1,408 \times 32 + 47,3 \times 28 + 8,6 \times 18}{6,757 + 0,8446 + 1,408 + 47,3 + 8,6}$$

Konstanta gas R =

$$\frac{R}{\text{mol.wt.}} = \frac{8314}{28,43} = 292,4 \text{ J/(Kg K)}$$

Massa gas buang di ruang kosong

$$\begin{aligned} M &= \frac{PV_c}{RT} = \frac{1,1 \times 10^5 \times 0,2187 \times 10^{-3}}{292,4 \times 720} \\ &= 0,1143 \times 10^{-3} \text{ kg} \end{aligned}$$

Latihan 7. Essay

- Bensin (C_8H_{18}) dibakar dengan 15% udara berlebih.
 - Tentukan rasio stoikiometri udara/bahan bakar (AFR)_s dan rasio udara/bahan bakar aktual (AFR)_a. Jika udara dipasok pada 1 bar dan 30°C,
 - hitung volume udara yang disuplai per kmol bahan bakar
 - Tentukan berat molekul reaktan dan produk.
- Bahan bakar hidrokarbon memiliki komposisi hasil pembakaran kering sebagai berikut dengan volume $CO_2 = 10\%$, $CO = 0,5\%$, $O_2 = 4\%$, dan sisanya N_2 . Tentukan AFR, persen teoritis dan persentase komposisi bahan bakar berdasarkan massa.

BAB VIII

TEKNOLOGI PEMBAKARAN DAN PENGENDALIAN EMISI

Pembakaran yang dilakukan dengan bahan bakar cair, padat, dan gas dapat menghasilkan gas-gas sisa. Gas sisa pembakaran ini bila tidak dikontrol dapat merugikan lingkungan serta Kesehatan manusia. Pada mesin pembakaran dalam misalnya, bila mesin bensin yang digunakan jika pembakaran yang terjadi tidak sempurna dapat menghasilkan CO, SO, NO₂. Pada mesin disel dapat menghasilkan jelaga. Pada industri pembangkit dapat menghasilkan banyak SO₂. Oleh karena itu diperlukan teknologi dalam pengendalian emisi.

8.1 *Catalytic Converter*

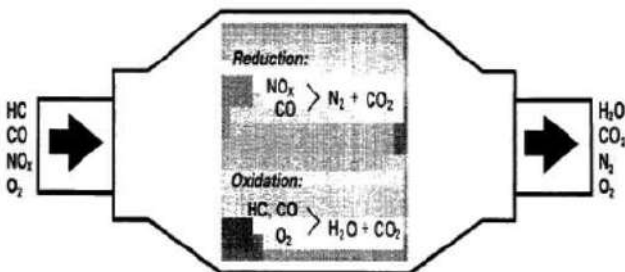
Industri otomotif sebagian besar masih menggunakan bahan bakar bensin sebagai bahan bakar utama. Saat ini penggunaan kendaraan bermotor berbahan bakar bensin seperti pada mobil, sepeda motor semakin meningkat. Peningkatan jumlah kendaraan umum berakibat pada meningkatnya tingkat polusi udara yang disebabkan oleh emisi dari kendaraan berbahan bakar bensin, beberapa jenis emisi tersebut di antaranya Karbon Monoksida (CO), Hidro carbon (HC), Nitrogen Dioksida (NO_x) dan Sulfur Dioksida (SO₂), yang memiliki dampak yang buruk terhadap kesehatan tubuh

manusia, kerugian ekonomi, dan mengikis lapisan ozon yang ada pada atmosfer yang menyebabkan perubahan iklim.

Catalytic Converter merupakan alat yang berfungsi mereduksi emisi gas buang berbahaya pada kendaraan. Alat ini biasanya diletakkan di *exhaust*. Sebuah katalis bekerja secara efektif bila temperatur dari katalis mencapai 300°C , jika temperatur di bawah 300°C fungsi dari sebuah *Catalytic Converter* kurang efektif. Dan temperatur input harus lebih besar dari pada temperature output. Jadi pada temperatur tertentu laju reaksi kimia di katalis lebih cepat, berikut merupakan persyaratan dari sebuah katalis. *Catalytic Converter* Biasanya menggunakan dua macam katalis yang berbeda yang berfungsi satu untuk *reduction catalyst* dan *oxydation catalyst*.

Catalytic converter memiliki dua jenis katalis yang bekerja, katalis reduksi dan katalis oksidasi. Kedua jenis tersebut terdiri dari struktur keramik yang dilapisi dengan katalis logam, biasanya platina, rhodium, dan atau paladium. Tujuannya adalah untuk membuat struktur yang memperlihatkan luas permukaan maksimum katalis ke aliran pembuangan.

Katalis reduksi adalah tahap pertama dari *catalytic converter*. Proses ini menggunakan platina dan rhodium untuk membantu mengurangi emisi NO_x . Ketika molekul NO atau NO_2 kontak dengan katalis, katalisator memisahkan atom nitrogen dari molekul dan menahannya, serta melepaskan O_2 . Atom nitrogen terikat dengan atom nitrogen lain yang juga menempel pada katalis, membentuk N_2



Gambar 8.1 Cara kerja *catalytic converter*

Katalis oksidasi adalah tahap kedua dari pengubah katalitik. Ini mengurangi hidrokarbon yang tidak terbakar dan karbon monoksida dengan membakar (mengoksidasi) mereka dengan katalis platina dan paladium. Katalis ini membantu reaksi CO dan hidrokarbon dengan sisa oksigen dalam gas buang.

Reaksi katalis berlangsung dengan menggunakan oksigen sebagai oksidanya. Mekanismenya sebagai berikut:

- a. Mekanisme Mars-Van Krevelen. Oksidasi CO berlangsung melalui adsorpsi CO pada katalis diikuti terjadinya reaksi CO dengan atom O dari katalis kemudian melepas CO₂ sebagai hasil reaksi.
- b. Mekanisme Langmuir-Hinshelwood. Molekul CO dapat mengalami kondensasi di atas permukaan katalis dan atom oksigen berada disampingnya, selanjutnya keduanya berinteraksi di permukaan katalis dan terbentuk ikatan baru.
- c. Mekanisme Eley-Rideal. Hanya oksigen teradsorpsi pada permukaan katalis, sedangkan karbon monoksida dapat mengalami ikatan dengan oksigen selama proses tumbukan.

Catalytic Converter dapat diklasifikasikan menjadi tiga yaitu

(a) *Catalytic Converter* Oksidasi

Catalytic Converter Oksidasi sering disebut juga sebagai *Single Bed Oxydation*. *Catalytic Converter* jenis *Packed Bed* sangat cocok untuk kendaraan bermesin diesel, disebabkan karena emisi yang dikeluarkan mengandung jelaga berfasa padat. *Catalytic Converter* dapat mengubah CO, dan HC dan H₂O, dan *Catalytic* bekerja pada kendaraan dengan udara berlebih (*Excess air*). Dengan udara berlebihan ini digunakan untuk proses oksidasi yang di dapat melalui pengaturan campuran kurus ($\lambda > 1$).

(b) *Catalytic Converter Dual Bed*

Pada sistem ini memiliki cara kerja hampir sama dengan sistem *Single Bed Oksidasi*, Namun pada sistem ini ada dua sistem katalis yang di pasang segaris. Emisi gas buang pertama kali melalui sistem

katalitik Reduksi dan kemudian dilanjutkan melalui katalitik oksidasi. Pada sistem pertama yaitu terjadi proses reduksi yang berfungsi menurunkan kadar emisi NO_x , Kemudian dilanjutkan pada sistem yang kedua yang terjadi nya Oksidasi untuk menurunkan kadar emisi HC dan CO. Mesin yang dilengkapi dengan sistem ini merupakan mesin yang di operasikan dengan kondisi campuran kaya ($\lambda < 1$).

(c) *Three Way Catalytic Converter*

Pada sistem sama seperti sistem *Catalytic Converter Single Bed* dan *Catalytic Converter Dual Bed*, Tetapi yang membedakan salah satu nya pada sistem ini mempunyai sebuah sistem kontrol yaitu *lambda sensor/oxygen sensor* yang berfungsi untuk mengatur Nilai λ sehingga dapat berfungsi secara optimal. Tujuan *Catalytic Converter Three Way* adalah mengurangi emisi gas pembuangan motor bakar, Dari CO, HC, dan NO_x yang keluar di ubah melalui reaksi kimia menjadi CO_2 , Uap air (H_2O), dan Nitrogen (N_2).



<https://otopedia.com/berita/konverter-katalitik/>

Gambar 8.2. *Catalytic converter*

8.2 Flue Gas Desulphuration (FGD)

Secara alami sulfur melakukan siklus yang melibatkan tumbuhan dan hewan. Sebagian besar sulfur yang tersebar di atmosfer dalam bentuk hydrogen sulfida (H_2S) yang dihasilkan dari proses pembusukan makhluk hidup. Gas H_2S tersebut lama kelamaan teroksidasi membentuk SO_2 . Pada kondisi atmosfer, SO_2 secara

alami berasimilasi Kembali ke lingkungan. Hal tersebut sangat berbeda dengan gas SO_2 hasil dari proses pembakaran bahan bakar fosil. Karena jumlahnya yang terlalu banyak secara alamiah kondisi lingkungan tidak dapat mendaur ulang Kembali ke alam. Apabila kadar sulfur di atmosfer berlebihan hal ini akan menyebabkan hujan asam yang berdampak buruk bagi lingkungan dan manusia. Untuk itu diperlukan teknologi dalam meminimalisir emisi dari sisa hasil pembakaran, baik dari kendaraan (mesin bensin dan diesel) maupun proses pembakaran dari pembangkit listrik.

Kandungan sulfur yang paling banyak secara alami adalah batubara. Kandungannya mencapai sekitar maksimal 10% dari kualitas batubara tersebut. Semakin tinggi kualitas batubara, kandungan sulfur didalamnya semakin sedikit.

Energi listrik merupakan kebutuhan pokok masyarakat saat ini. Energi listrik diperoleh dari proses pembakaran batu bara pada boiler. Penggunaan batubara sebagai bahan bakar utama boiler tidak akan terlepas dari permasalahan emisi sulfur dioksida (SO_2). Meskipun yang digunakan adalah batubara dengan kualitas terbaik, emisi (SO_2). Contohnya bila batubara yang digunakan pada sebuah boiler PLTU 700 MW memiliki kandungan sulfur 5%, PLTU ini akan membutuhkan batubara sekitar ± 280 ton perjamnya pada beban penuh. Emisi yang dihasilkan berupa sulfur dioksida yang terbang setiap jamnya dapat mencapai 13 ton. Nilai tersebut tentunya sangat besar. Hal ini tentu akan sangat berbahaya bagi lingkungan apabila tidak diberi perlakuan khusus sebelum dibuang ke udara bebas.

Untuk meminimalisir kandungan SO_2 yang dihasilkan oleh boiler, terdapat tiga cara, yaitu a. *pre-combustion*, b. *Modification Combustion proses*, dan c. *post combustion*.

a. **pre-combustion**

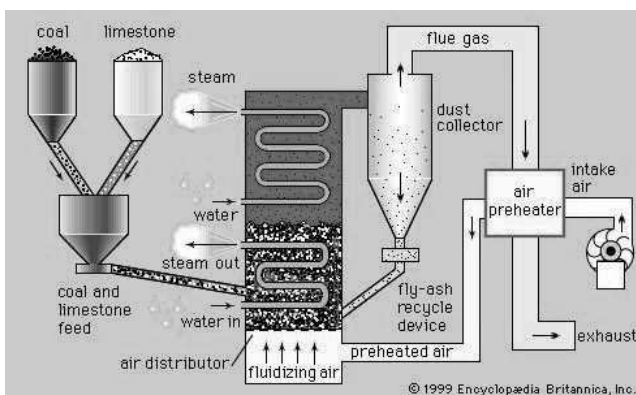
Teknik *pre-combustion* adalah dengan cara memodifikasi bahan bakar yang digunakan oleh boiler. Modifikasi bahan bakar boiler dengan gas alam misalnya, akan mengurangi emisi SO_2 sampai

dengan 0%. Alternatif lain dengan menggunakan solar kualitas terbaik sehingga dapat meminimalisir kandungan SO_2 meskipun tidak sampai 0%. Kandungan sulfur yang rendah pada solar dan gas alam memang menjadi keuntungan, namun karena sifat kedua bahan bakar tersebut yang mudah menguap dan terbatas ketersediannya membuat teknik ini menjadi kurang efisien.

Mengganti bahan bakar boiler dari batubara dengan gas alam ataupun solar, membutuhkan perhatian khusus dalam pengadaan sarana penyimpanan bahan bakar, saluran pendistribusiannya, peralatan proses pembakaran (*burner*), termasuk desain boiler dan keselamatannya. Oleh sebab itu, teknik ini membutuhkan biaya yang cukup besar.

b. Modification combustion proses

Teknik yang kedua yaitu memodifikasi proses pembakaran yang terjadi. Salah satu teknik yang digunakan yaitu menggunakan sistem *Fluidized Bed Combustion (FBC)*, sistem ini mencampurkan udara dengan gas buang dan mengarahkan campuran tersebut ke material penyerap sulfur seperti batu kapur (limestone) dan *dolomit*. Sistem ini dapat menyerap sulfur hingga 95% dari keseluruhan polutan sulfur yang dihasilkan dari proses pembakaran batubara. Proses FBC ditunjukkan pada Gambar 8.3.

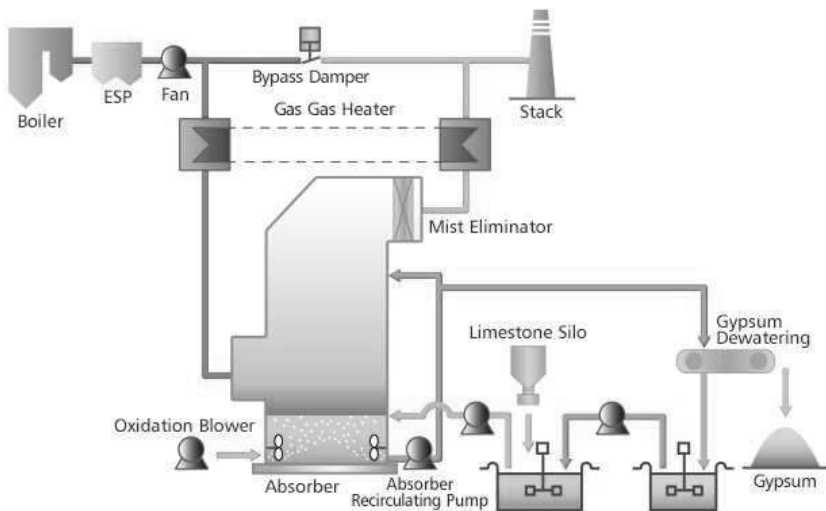


<https://www.thermodyneboilers.com/fluidized-bed-combustion/>

Gambar 8.3. Proses *Fluidized Bed Combustion (FBC)*

c. Modifikasi Post-Combustion

Teknik terakhir untuk meminimalisir emisi sulfur dioksida adalah dengan memodifikasi sistem setelah proses pembakaran (*Post-Combustion*). Sistem kontrol emisi yang digunakan pada jenis ini berfungsi untuk menyerap polutan-polutan berbahaya yang dihasilkan oleh proses pembakaran batubara. Sistem modifikasi Post-Combustion yang sering digunakan yaitu *Flue Gas Desulphurization* (FGD).

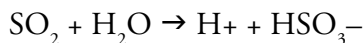


<https://power.mhi.com/products/aqcs/lineup/flue-gas-desulfurization>

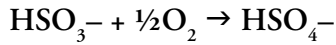
Gambar 8.4 Proses *Flue Gas Desulphurization* (FGD)

Ada dua tipe *Flue Gas Desulphurization* yang umum digunakan pada berbagai jenis boiler, yaitu tipe basah (*Wet Flue Gas Desulphurization*) dan tipe kering (*Dry Flue Gas Desulphurization*). Untuk yang tipe basah, FGD menggunakan bahan baku air laut sebagai media penyerap emisi sulfur.

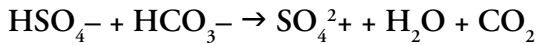
Flue gas yang keluar dari boiler, dialirkan ke sistem FGD dan disemprot dengan menggunakan air laut. Reaksi kimia yang terjadi sebagai berikut



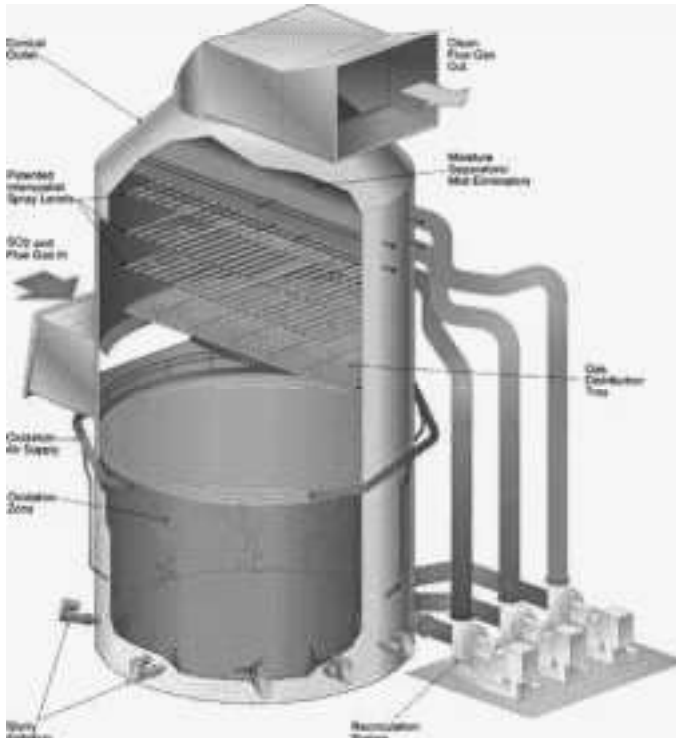
Proses berikutnya adalah proses oksidasi. Dengan menggunakan bantuan *oksidation air blower*, udara dari atmosfer dimasukkan ke dalam tangki larutan campuran antara air laut dengan hasil dari reaksi kimia sebelumnya. Pada fase ini terjadi reaksi kimia berikut:



Pada akhir proses, terjadi reaksi kimia secara alami, yaitu:

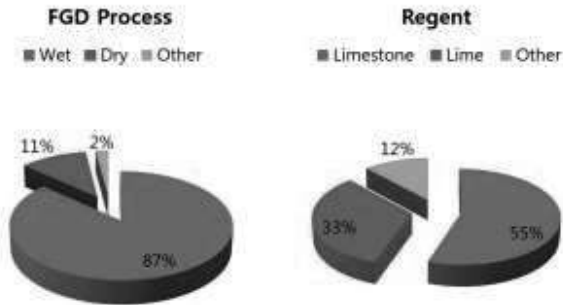


hasil reaksi kimia di atas merupakan zat-zat yang menjadi penyusun alami air laut. Penambahan zat-zat tersebut ke dalam air laut masih tidak berpengaruh terhadap keseimbangan air laut.



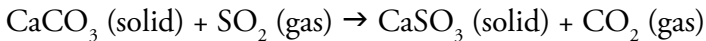
Gambar 8.5 Flue Gas Desulphurization Tipe Basah

Type of FGD Process and Regent



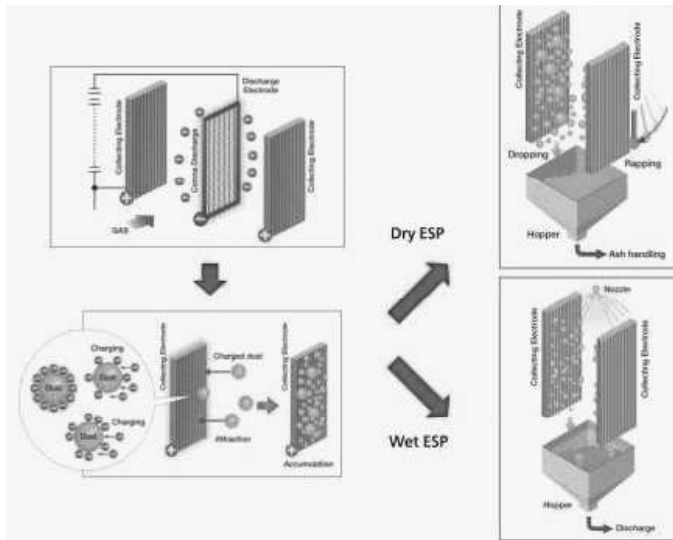
Gambar 8.6 Persentase penggunaan material pada FGD

Pada *Flue Gas Desulphurization* tipe kering, udara flue gas dimasukkan ke dalam sistem dan disemprot dengan zat kimia absorber sulfur. Zat kimia absorber yang digunakan bukan air laut, melainkan bahan-bahan kimia seperti CaCO_3 atau batu kapur dengan reaksi kimia absorpsi berikut:



Selain menggunakan CaCO_3 dapat menggunakan bahan lain seperti $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dan $\text{Mg}(\text{OH})_2$ (magnesium hidroksida). Material absorpsi tersebut dikabutkan oleh *rotary atomizer* sehingga didapatkan ukuran partikel yang cukup kecil untuk mengoptimalkan proses penyerapan SO_2 .

Electrostatic Precipitator (ESP) adalah sebuah teknologi untuk menangkap abu hasil proses pembakaran dengan jalan memberi muatan listrik padanya. Prinsip kerja ESP yaitu dengan memberi muatan negatif kepada abu-abu tersebut melalui beberapa elektroda (*discharge electrode*). Setelah abu terakumulasi pada plat tersebut, sebuah sistem rapper khusus akan membuat abu tersebut jatuh ke bawah dan keluar dari sistem ESP. ESP dibedakan menjadi dua tipe yaitu tipe kering dan tipe basah.



<https://power.mhi.com/products/aqcs/lineup/dust-collector>

Gambar 8.7 Prinsip kerja ESP

ElectroStatic Precipitator (ESP) adalah salah satu alternatif penangkap debu dengan efisiensi tinggi (mencapai diatas 90%) dan rentang partikel yang didapat cukup besar. Dengan menggunakan electro static precipitator (ESP) ini, jumlah limbah debu yang keluar dari cerobong diharapkan hanya sekitar 0,16 % (efektifitas penangkapan debu mencapai 99,84%), ukuran partikel debu terkecil yang diperoleh $< 2 \mu\text{C}$.

Proses pembentukan medan listrik;

1. Terdapat dua jenis elektroda, yaitu discharge electrode yang bermuatan negatif dan plat pengumpul bermuatan positif.
2. *Discharge electrode* diletakkan diantara plat pengumpul pada jarak tertentu.
3. *Discharge electrode* diberi listrik arus searah (DC) dengan muatan minus, pada level tegangan antara 55 – 75 KvDC (sumber listrik awalnya adalah 380 volt AC, kemudian dinaikkan oleh transformer menjadi sekitar 55 – 75 Kv dan dirubah menjadi listrik DC oleh rectifier, diambil hanya potensial negatifnya).

4. Plat pengumpul ditanahkan (di-grounding) agar bermuatan positif.
5. Dengan demikian, pada saat discharge electrode diberi arus DC maka medan listrik terbentuk pada ruang yang berisi tirai-tirai elektroda tersebut dan partikel-partikel debu akan tertarik pada pelat-pelat tersebut. Gas bersih akan terus bergerak kecerobong asap.

Latihan 8. Essay

1. Jelaskan prinsip kerja *catalytic converter*
2. Jelaskan klasifikasi *catalytic converter*
3. Jelaskan proses kerja *Fluidized Bed Combustion* (FBC)
4. Jelaskan apa yang dimaksud dengan flue gas desulphuration
5. Material apa yang digunakan sebagai reaktan dalam FGD?

Latihan 8. Pilihan Ganda

1. Catalytic converter merupakan alat yang berfungsi
 - a. Meningkatkan CO
 - b. Mereduksi O₂
 - c. Meningkatkan H₂O
 - d. Meminimalisir HC
 - e. Meningkatkan SO₂
2. Catalytic converter biasanya dipasang pada
 - f. Intake manifold
 - g. Exhaust manifold
 - h. Blok silinder
 - i. Samping bodi mesin
 - j. Meningkatkan SO₂
3. Catalytic converter biasanya bekerja berdasarkan
 - k. Katalis reduksi dan katalis oksidasi
 - l. Katalis reduksi dan katalis hidrolisasi

- m. Katalis oksidasi dan katalis hidrogenasi
 - n. Katalis reduksi dan katalis hidrolisis
 - o. Katalis oksidasi dan katalis hidrogenasi
4. Dalam mereduksi gas berbahaya proses pertama pada catalytic converter menggunakan material..
 - a. Platina dan nitrogen
 - b. Platina dan platium
 - c. Rhodium dan nitrogen
 - d. Paldium dan hydrogen
 - e. Rodhium dan platina
 5. Catalytic Converter Oksidasi...
 - a. CC Single Bed
 - b. CC Double Bed
 - c. CC triggerbed
 - d. CC dualbed
 - e. CC triple bed
 6. Sebagian besar sulfur yang berasal dari proses pembusukan makhluk hidup di atmosfer berbentuk..
 - a. N_2S
 - b. H_2S
 - c. C_2H_5
 - d. SO_4
 - e. H_4SO_2
 7. Teknik modifikasi pre combustion..
 - a. Menggunakan FBC
 - b. Menggunakan FGD
 - c. Menggunakan Dry combustion
 - d. Menggunakan gas alam
 - e. Menggunakan limestone
 8. Teknik modifikasi process combustion ...
 - a. Menggunakan FBC
 - b. Menggunakan FGD
 - c. Menggunakan Dry combustion

- d. Menggunakan gas alam
 - e. Menggunakan limestone
9. Teknik modifikasi pasca pembakaran ...
- a. Menggunakan FBC
 - b. Menggunakan FGD
 - c. Menggunakan Dry combustion
 - d. Menggunakan gas alam
 - e. Menggunakan limestone
10. Material yang biasanya digunakan untuk modifikasi pembakaran ...
- a. limesmone
 - b. limeglukosa
 - c. limestone
 - d. tetra ethyl
 - e. drystones

Daftar Pustaka

- A. Fitriyatus, A. Fauzi, and B. Juanda, "Prediction of Fuel Supply and Consumption in Indonesia with System Dynamics Model," *J. Ekon. dan Pembang. Indones.*, vol. 17, no. 2, pp. 118–137, 2018.
- Ana Fitriyatus Sa'adah. Akhmad Fauzi, Bambang Juanda. 2017. Peramalan Penyediaan dan Konsumsi Bahan Bakar Minyak Indonesia dengan Model Sistem Dinamik. *Jurnal Ekonomi dan Pembangunan Indonesia*. Vol. 17 No. 2 Januari 2017: 118–137.
- Anonamius, 1992. *Doe Fundamental Handbook of Thermodynamic*. Ansar, Diah Ajeng Setiawati, Murad dan Baiq Sulasi Muliani. 2020.
- Karakteristik Fisik Briket Tempurung Kelapa Menggunakan Perkat Tepung Tapioka. *Jurnal Agritechno*, Vol. 13, No. 1, April 2020. Hal 1-7
- Arhamsyah. 2010. Pemanfaatan Biomassa Kayu Sebagai Sumber Energi Terbarukan. *Jurnal Riset Industri Hasil Hutan* Vol.2, No.1, Juni 2010: 42– 48.
- Cahyo Setyo Wibowo. 2016. Pengujian Laboratorium dan Spesifikasi Bahan Bakar Pada Pesawat Udara (Avgas) Bahan Bakar Pada Pesawat Udara (Avgas). Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral. Kpppt Aplikasi Produk Pusat Penelitian Dan Pengembangan Teknologi Minyak Dan Gas Bumi "Lemigas"

Badan Penelitian Dan Pengembangan Energi Dan Sumber Daya Mineral.

Cengel, Y.A., 2005. Thermodynamics An Engineering Approach. Edisi 5. McGraw Hill. New York.

El-Mallahawy, F., 2000, Fundamentals and Technology of Combustion, McGraw Hill.

H.N. Gupta. 2009. Fundamentals Internal Combustion Engine. Karnal Roa Industrial Area Delhi-11033. Heat Transfer and Fluid Flow, U.S. Department of Energy, Washington D.C

http://foodnutrition.lecture.ub.ac.id/files/2017/06/Analisa-Kalori-dengan-Bom-Kalorimeter_Ilzamha.pdf

<https://www.britannica.com/technology/calorimeter> <https://www.thoughtco.com/definition-of-calorimeter-in-chemistry-604397>

<https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2018/10/10/berapa-konsumsi-energi-nasional-diakses-pada-tanggal-12-februari-2021-pukul-2021>

<https://trends.directindustry.com/u-therm-international-hk-limited/project-65661-137524.html>

<https://docplayer.info/47656613-Analisa-kalori-dengan-bom-kalorimeter-oleh-ilzamha-hadijah-r-s-tp-m-sc.html>

http://foodnutrition.lecture.ub.ac.id/files/2017/06/Analisa-Kalori-dengan-Bom-Kalorimeter_Ilzamha.pdf

<https://www.parrinst.com/https://www.parrinst.com/products/oxygen-bomb-calorimeters/https://money.kompas.com/read/2014/12/01/102616526/Apa.bedanya.LPG.LNG.dan.CNG>

<https://money.kompas.com/read/2014/12/01/102616526/Apa.bedanya.LPG.LNG.dan.CNG>

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) (2015) Indonesia 2050 Pathway Calculator: Panduan Pengguna untuk Sektor Pasokan Bioenergi, Kementerian ESDM, Jakarta.

- Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2016. Pengujian Laboratorium dan Spesifikasi Bahan Bakar Pada Pesawat Udara (Avgas) http://knkt.dephub.go.id/knkt/ntsc_aviation/Article/ARF%20Cirebon%2013%20Oktober%202016/03%20Bahan%20P%20resentasi%20Mogas_LEMIGAS_FINAL.pdf.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM). 2016. Pedoman Investasi Bioenergi di Indonesia (Investment Guidelines Bioenergy In Indonesia). Direktorat Bioenergi Direktorat Jenderal energi Baru, terbarukan, dan Konservasi energi Kementerian energi dan sumber daya mineral.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM). 2019. Handbook of energy and economic statics of Indonesia. Direktorat Bioenergi. Direktorat Jenderal energi Baru, terbarukan, dan Konservasi energi Kementerian energi dan sumber daya mineral.
- Mathur, M.L. dan Sharma, R.P., 1980, A course in Internal Combustion Engine, Edisi 3, Delhi India, Hanpat Rai and Sons, Nai Sarak.
- Muhammad Yerizam, Faizal, M, Marsi, Novia. 2013. Characteristics of Composite Rice Straw and Coconut Shell as Biomass Energy Resources (Briquette) (Case study: Muara Telang Village, Banyuasin of South Sumatra). International Journal on Advanced Science Engineering and Information Technology. Hal 42-48.
- Sayig, A.A.M, 1997, "Renewable Energi", Journal of the World Renewable Energi, UK.
- Luthfi Parinduri dan Taufik Parinduri. 2020. Konversi Biomassa Sebagai Sumber Energi Terbarukan. Journal of Electrical Technology, Vol. 5, No.2, Juni 2020.
- Mochamad Syamsiro. 2016. Peningkatan Kualitas Bahan Bakar Padat Biomassa Dengan Proses Densifikasi Dan Torrefaksi. Jurnal Mekanika dan Sistem Termal, Vol. 1(1), April 2016 hal 7-16

Samuel Sembiring, Ruben Leonardo Panjaitan, Susianto, dan Ali Altway. 2019. Pemanfaatan Gas Alam sebagai LPG (Liquified Petroleum Gas). *JURNAL TEKNIK ITS* Vol. 8, No. 2. F206-F211.

Theodora Noely Tambaria dan Berlian Filda Yofita Serli. Kajian Analisis Proksimat pada Briket Batubara dan Briket Biomassa.

Triswan Suseno dan Harta Haryadi. 2013. Analisis Kebijakan Pengendalian Produksi Batubara Nasional Dalam Rangka Menjamin Kebutuhan Energi Nasional. *Jurnal Teknologi Mineral dan batubara* Vol 9 No 1. Hal 23-34.

www.esdm.go.id, 2011, Sumber daya batubara Indonesia



BAHAN BAKAR DAN PELUMAS

 **CV MAHATA**
MAGNA RAHARJA TAMA

ISBN 978-623-6480-17-5



9 786236 480175

REPUBLIC INDONESIA
KEMENTERIAN HUKUM DAN HAK ASASI MANUSIA

SURAT PENCATATAN CIPTAAN

Dalam rangka perlindungan ciptaan di bidang ilmu pengetahuan, seni dan sastra berdasarkan Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta, dengan ini menerangkan:

Nomor dan tanggal permohonan : EC00202200811, 5 Januari 2022

Pencipta

Nama : **Dr. Eng. Karnowo, S.T., M.Eng., Dony Hidayat Al-Janani, S.T., M.T., Ph. D. dkk**

Alamat : Perum Green Village RT. 06 RW. 03, Ngijo Gunungpati Semarang, Semarang, JAWA TENGAH, 50228

Kewarganegaraan : Indonesia

Pemegang Hak Cipta

Nama : **Dr. Eng. Karnowo, S.T., M.Eng., Dony Hidayat Al-Janani, S.T., M.T., Ph. D. dkk**

Alamat : Perum Green Village RT. 06 RW. 03, Ngijo Gunungpati Semarang, Semarang, JAWA TENGAH, 50228

Kewarganegaraan : Indonesia

Jenis Ciptaan : **Buku**

Judul Ciptaan : **BAHAN BAKAR DAN PELUMAS**

Tanggal dan tempat diumumkan untuk pertama kali : 7 Oktober 2021, di Semarang
di wilayah Indonesia atau di luar wilayah Indonesia

Jangka waktu perlindungan : Berlaku selama hidup Pencipta dan terus berlangsung selama 70 (tujuh puluh) tahun setelah Pencipta meninggal dunia, terhitung mulai tanggal 1 Januari tahun berikutnya.

Nomor pencatatan : 000315949

adalah benar berdasarkan keterangan yang diberikan oleh Pemohon.

Surat Pencatatan Hak Cipta atau produk Hak terkait ini sesuai dengan Pasal 72 Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta.



a.n Menteri Hukum dan Hak Asasi Manusia
Direktur Jenderal Kekayaan Intelektual
u.b.
Direktur Hak Cipta dan Desain Industri

Dr. Syarifuddin, S.T., M.H.
NIP.197112182002121001

Disclaimer:

Dalam hal pemohon memberikan keterangan tidak sesuai dengan surat pernyataan, Menteri berwenang untuk mencabut surat pencatatan permohonan.

LAMPIRAN PENCIPTA

No	Nama	Alamat
1	Dr. Eng. Karnowo, S.T., M.Eng.	Perum Green Village RT. 06 RW. 03, Ngijo Gunungpati Semarang
2	Dony Hidayat Al-Janani, S.T., M.T., Ph. D.	Perum Anugrah I-A RT.04 RW. 03 Ngijo Gunungpati Semarang
3	Sonika Maulana, S.Pd., M.Eng.	Pegandon Kidul RT.01 RW.01, Pegandon, Karangdadap Pekalongan
4	Ari Dwi Nur Indriawan Musyono, S.Pd., M.Pd.	Perum Bumi Wirabaru II Jl. Nuri No. 15 RT.05/10, Wiradesa Pekalongan
5	Rizki Setiadi, S.Pd., M.T.	Sudimoro RT. 02 RW. 08, Karangmalang Gebog Kudus

LAMPIRAN PEMEGANG

No	Nama	Alamat
1	Dr. Eng. Karnowo, S.T., M.Eng.	Perum Green Village RT. 06 RW. 03, Ngijo Gunungpati Semarang
2	Dony Hidayat Al-Janani, S.T., M.T., Ph. D.	Perum Anugrah I-A RT.04 RW. 03 Ngijo Gunungpati Semarang
3	Sonika Maulana, S.Pd., M.Eng.	Pegandon Kidul RT.01 RW.01, Pegandon, Karangdadap Pekalongan
4	Ari Dwi Nur Indriawan Musyono, S.Pd., M.Pd.	Perum Bumi Wirabaru II Jl. Nuri No. 15 RT.05/10, Wiradesa Pekalongan
5	Rizki Setiadi, S.Pd., M.T.	Sudimoro RT. 02 RW. 08, Karangmalang Gebog Kudus

