

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

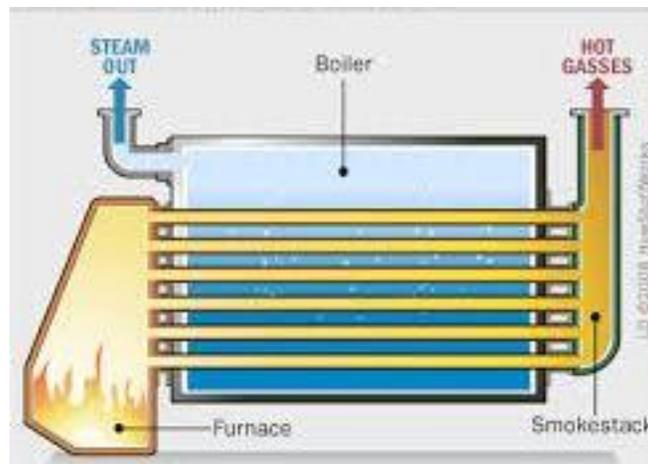
2.1 Boiler

Boiler berfungsi untuk mengubah air menjadi uap *superheated* yang bertemperatur dan bertekanan tinggi. Alat yang digunakan untuk membuat uap disebut *boiler* atau lebih tepat *steam generator* (Pembangkit Uap).

Klasifikasi boiler secara umum dibagi dua yaitu, *boiler* pipa api dan *boiler* pipa air. Jenis *boiler* pipa api banyak digunakan oleh industri yang memerlukan tekanan uap yang relatif rendah, misalnya pabrik-pabrik tahu. Sedangkan jenis pipa air digunakan oleh industri/pembangkit listrik yang memerlukan tekanan uap yang tinggi.

2.1.1 Boiler Pipa Api

Pada jenis *boiler* pipa api pada gambar 2.1 adalah tekanan uap tidak dapat dibuat terlampaui tinggi karena ketebalan drum akan sedemikian tebalnya sehingga tidak menguntungkan. *Boiler* seperti ini banyak digunakan di pabrik tahu karena tidak memerlukan tekanan uap yang tinggi.

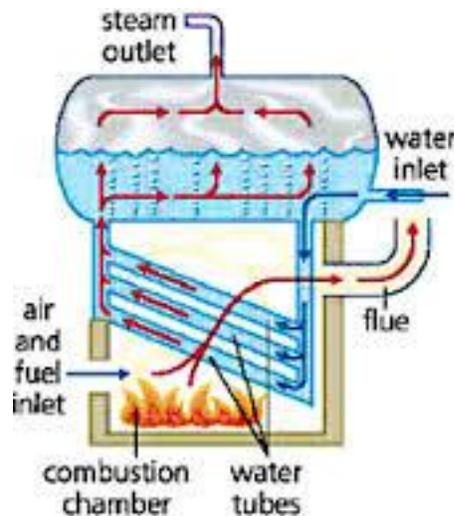


Gambar.2 Boiler Pipa Api

Sumber: matabayangan.blogspot.com

2.1.2 Boiler Pipa Air

Pada *boiler* pipa air pada gambar 2.2 jenis ini, air berada didalan pipa sedangkan gas panas berada diluar pipa. *Boiler* pipa air dapat beroperasi dengan tekanan sangat tinggi.



Gambar.3 Boiler Pipa Air

Sumber : matabayangan.blogspot.com

2.1.3 Komponen Utama Boiler

Komponen utama *Boiler* antara lain *Steam drum*, *Economizer*, *Superheater*, *Reheater*, *Furnace*, dan *Burner*.

2.1.3.1 Steam Drum

Steam drum adalah bagian dari *boiler* yang berfungsi untuk :

1. Menampung air yang akan dipanaskan pada pipa-pipa penguap (*wall tube*), dan menampung uap air dari pipa-pipa penguap sebelum dialirkan ke *superheater*.
2. Memisahkan uap dan air yang telah dipanaskan di ruang bakar
3. Mengatur kualitas air *boiler*, dengan cara membuang kotoran-kotoran yang terlarut di dalam *boiler* melalui *continous blowdown*.

4. Mengatur permukaan air sehingga tidak terjadi kekurangan saat *boiler* beroperasi yang dapat menyebabkan *overheating* pada pipa *boiler*.

Level air dari drum harus selalu dijaga agar selalu tetap setengah dari tinggi drum. Banyaknya air pengisi yang masuk ke *steam drum* harus sebanding dengan banyaknya uap yang meninggalkan *drum*, agar level air tetap konstan. Batas maksimum dan minimum level air dalam *steam drum* adalah -250 mm s/d 250 mm dari titik 0 (setengah tinggi drum).

2.1.3.2 Economizer

Economizer adalah pipa untuk menyerap panas dari gas bekas sisa pembakaran ke dalam *feed water* sebelum memasuki siklus penguapan (*evaporation*) di dalam *boiler*. Pemanasan air ini dilakukan agar perbedaan temperatur antara air pengisi dan air yang berada dalam steam drum tidak terlalu tinggi, sehingga tidak terjadi *thermal stress* (tegangan yang terjadi karena adanya pemanasan) didalam *steam drum*. Memanfaatkan gas sisa pembakaran akan meningkatkan *efisiensi Boiler* dan proses pembentukan uap juga lebih cepat. *Economizer* berupa pipa-pipa air yang dipasang ditempat laluan gas hasil pembakaran sebelum air *heater*.

Perpindahan panas yang terjadi di *economizer* terjadi dengan arah aliran kedua fluida berlawanan (*counter flow*). Air pengisi steam drum mengalir ke atas menuju *steam drum*, sedangkan udara pemanas mengalir ke bawah.

2.1.3.3 Superheater

superheater berfungsi untuk menaikkan temperatur uap jenuh menjadi uap panas lanjut dengan memanfaatkan gas panas hasil pembakaran. Uap yang masuk ke *superheater* berasal dari *steam drum*.

2.1.3.4 Reheater

Reheater berfungsi untuk memanaskan kembali uap yang keluar dari *HP turbine* dengan memanfaatkan gas hasil pembakaran yang temperaturnya relatif masih tinggi. Pemanasan ini bertujuan untuk menaikkan efisiensi sistem secara keseluruhan. Perpindahan panas yang paling dominan pada *reheater* memberikan efek yang sangat kecil sehingga proses ini biasanya diabaikan.

2.1.3.5 Furnace

Furnace merupakan suatu tempat berlangsungnya proses pembakaran bahan bakar dengan udara. Udara yang digunakan di suplai dari *force draft fan* (FD Fan). Seluruh permukaan *furnace* terdiri dari *water wall* yang di las memran nya.

2.1.3.6 Burner

Burner merupakan alat untuk menghasilkan sumber api bagi *boiler*. Yaitu dengan cara membakar campuran bahan bakar (Gas) dan udara di dalam ruang bakar *boiler*.

2.2 Burner

Sumber energi kalor atau panas diperoleh dari proses pembakaran. Proses pembakaran pada mesin tenaga uap terjadi pada *furnace*. Pada *furnace* terdapat *burner*. *Furnace* ditempatkan menyatu dengan *boiler* dan terpisah dengan fluida kerja air yang mengalir pada pipa-pipa *boiler*. Berdasarkan dari jenis bahan bakar yang digunakan, *burner* diklasifikasikan menjadi tiga yaitu:

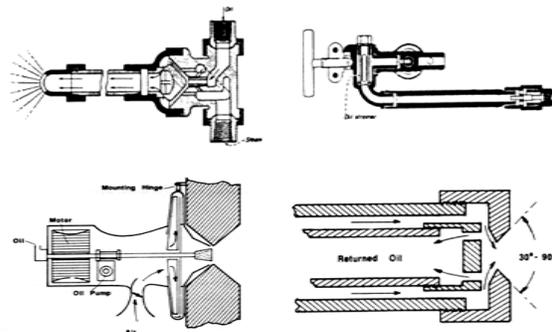
1. *Burner* untuk bahan bakar cair
2. *Burner* untuk bahan bakar gas
3. *Burner* untuk bahan bakar padat

Berbagai macam teknologi telah dikembangkan untuk menaikkan efisiensi dari proses pembakaran. Efisiensi proses pembakaran yang tinggi akan menaikkan efisiensi total dari *furnace* dan jumlah panas yang ditransfer ke *boiler* menjadi semakin besar. *Furnace* harus mudah dikendalikan untuk merespon jumlah uap dengan temperatur dan tekanan tertentu.

1. Burner untuk bahan bakar cair

Burner dengan berbahan bakar cair mempunyai permasalahan khusus yaitu proses *mixing* 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.

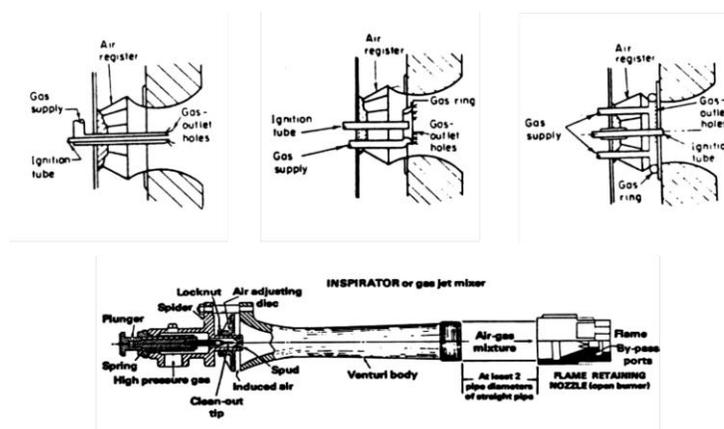


Gambar. 4 *Liquid Fuel Burner*

Sumber : Atsarium 2011

2. *Burner* untuk bahan bakar Gas

Proses pembakaran bahan bakar gas tidak memerlukan proses pengkabutan atau atomisasi, bahan bakar langsung berdifusi dengan udara. Bahan bakar gas dan udara tidak bercampur dulu sebelum terjadi proses pembakaran. Bahan bakar gas bertekanan dilewatkan melalui nosel, udara akan berdifusi secara alami dengan bahan bakar. Proses pembakaran dengan *burner* tipe ini dinamakan pembakaran difusi.



Gambar. 5 *Gas Burner*

sumber: Atsarium, 2011

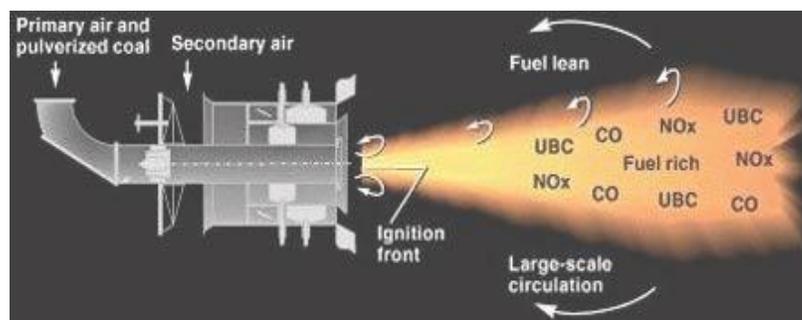
3. *Burner* untuk bahan bakar padat

Bahan bakar padat merupakan bahan bakar yang sangat berlimpah 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 *burner*.

Ada beberapa tipe *burner* atau *stoker* yang dipasang di *furnace* sebagai berikut:

a. *Pulvizer fuel burner*

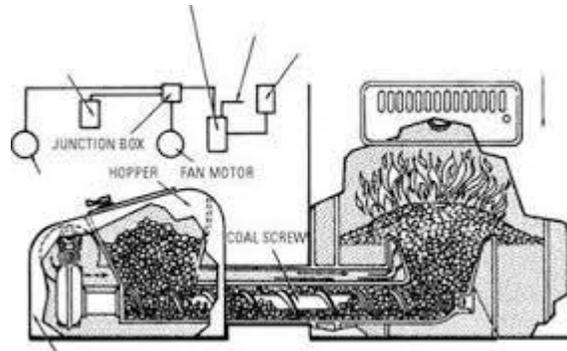
Bahan bakar padat akan dihancurkan lebih dahulu dengan alat *pulvizer* sampai ukuran tertentu sebelum dicampur dengan udara. Selanjutnya campuran serbuk batu bara dan udara diberi tekanan kemudian disemprotkan menggunakan *diffuser*. Proses pembakaran dibantu dengan penyalaan dengan bahan bakar gas atau cair untuk menguapkan air dan zat terbang. Udara tambahan diperlukan untuk membantu proses pembakaran sehingga lebih efisien



Gambar.6 *Pulvizer fuel burner*

Sumber : (https://www.researchgate.net/figure/227992885_fig1_figure-1-Schematic-of-a-wall-fired-low-NOx-pulverized-coal-burner-Air-staging-reduce)

b. Underfeed stoker



Gambar. 7 *Underfeed stoker*

Sumber : Atsarium 2011

Stoker jenis ini banyak dipakai untuk industri skala kecil, konstruksinya sederhana. Bahan bakar di dalam berupa batu bara dimasukkan ke perapian dengan *screw* 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 tambahn digunakan untuk membantu proses pembakaran sehingga lebih efisien.

2.3 Pembakaran

Pembakaran adalah serangkaian reaksi-reaksi kimia eksotermal antara bahan bakar dan oksidan berupa udara yang disertai dengan produksi energy berupa panas dan konveksi senyawa kimia. Pelepasan panas dapat mengakibatkan timbulnya cahaya dalam bentuk api. Bahan bakar yang umum digunakan dalam pembakaran adalah senyawa organik, khususnya hidrokarbon dalam fasa gas cair atau padat.

Pembakaran yang sempurna dapat terjadi jika ada oksigen dalam prosesnya. Oksigen (O_2) merupakan salah satu elemen bumi paling umum yang jumlahnya mencapai 20.9 % dari udara. Bahan bakar padat atau cair harus diubah kebentuk gas sebelum dibakar. Biasanya diperlukan panas untuk mengubah cairan atau padatan

menjadi gas. Bahan bakar gas akan terbakar pada keadaan normal jika terdapat udara yang cukup.

Hampir 79 % (tanpa adanya oksigen) merupakan nitrogen, dan sisanya merupakan elemen lainnya. Nitrogen dianggap sebagai pengencer yang menurunkan suhu yang harus ada untuk mencapai oksigen yang dibutuhkan untuk pembakaran. Nitrogen mengurangi efisiensi pembakaran dengan cara menyerap panas dari pembakaran bahan bakar dan mengencerkan gas buang. Nitrogen juga mengurangi transfer panas pada permukaan alat penukar panas, juga meningkatkan volume hasil samping pembakaran, yang juga harus dialirkan melalui alat penukar panas sampai ke cerobong.

Nitrogen ini juga dapat bergabung dengan oksigen (terutama pada suhu nyala yang tinggi) untuk menghasilkan oksida nitrogen (NO_x), yang merupakan pencemar beracun. Karbon, hydrogen, dan sulfur dalam bahan bakar bercampur dengan oksigen di udara membentuk karbon dioksida, uap air dan sulfur dioksida, melepaskan panas masing-masing 8.084 kkal, 28.922 kkal dan 2.224 kkal. Pada kondisi tertentu, karbon juga dapat bergabung dengan oksigen membentuk karbon monoksida, dengan melepaskan sejumlah kecil panas (2.430 kkal/kg karbon). Karbon terbakar yang membentuk CO₂ akan menghasilkan lebih banyak panas persatuan bahan bakar dari pada bila menghasilkan CO atau asap.

Terdapat bermacam – macam jenis pembakaran yang dapat dijelaskan pada poin-poin berikut ini :

1. Complete combustion

Pada pembakaran sempurna, reaktan akan terbakar dengan oksigen, menghasilkan sejumlah produk yang terbatas. Ketika hidrokarbon yang terbakar dengan oksigen, maka hanya akan dihasilkan gas karbon dioksida dan uap air. Namun kadang kala akan dihasilkan senyawa nitrogen di dalam udara. Pembakaran sempurna hampir tidak mungkin tercapai pada kehidupan nyata.

2. Incomplete combustion

Pembakaran tidak sempurna umumnya terjadi ketika tidak tersedianya oksigen dalam jumlah yang cukup untuk membakar bahan bakar sehingga dihasilkannya karbondioksida dan air. Pembakaran yang tidak sempurna menghasilkan zat-zat seperti karbondioksida, karbonmonoksida, uap air dan karbon. Pembakaran yang tidak sempurna sangat sering terjadi, walaupun tidak diinginkan, karena karbon monoksida merupakan zat yang sangat berbahaya bagi manusia. Kualitas pembakaran dapat ditingkatkan dengan perancangan media pembakaran yang lebih baik dan optimasi proses.

3. Smouldering combustion

Smouldering merupakan bentuk pembakaran yang lambat bertemperatur rendah, dan tidak berapi, yang dipertahankan oleh panas ketika oksigen menyerang permukaan dari bahan bakar fase yang terkondensasi. Pembakaran ini dapat dikategorikan sebagai pembakaran yang tidak sempurna. Contoh pembakaran ini adalah inisiasi kebakaran yang dikarenakan rokok, dan sisa kebakaran hutan yang masih menghasilkan hawa panas.

4. Rapid Combustion

Rapid Combustion merupakan pembakaran yang melibatkan energy dalam jumlah yang banyak dan menghasilkan pula energy cahaya dalam jumlah yang besar. Jika dihasilkan volume gas yang besar dalam pembakaran ini dapat mengakibatkan peningkatan tekanan yang signifikan sehingga terjadi ledakan .

5. Turbulent combustion

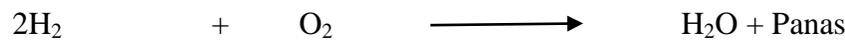
Pembakaran yang menghasilkan api yang turbulen sangat banyak digunakan untuk aplikasi industri, misalnya mesin berbahan bakar bensin, turbin gas, dll. Karena turbulensi membantu proses pencampuran antara bahan bakar dan pengoksida.

2.3.1 Reaksi Pembakaran

Hasil utama pembakaran adalah CO₂ dan disertai energi panas. Selain itu pembakaran juga menghasilkan CO, Sulfur, abu, NOX atau sulfur tergantung dari jenis bahan bakar yang digunakan. Dibawah merupakan reaksi pembakaran :



Dari bahan bakar Dari udara



Dari bahan bakar Dari udara

Pada pembakaran stokiometri, ketika karbon terbakar dengan oksigen, maka reaksi utama akan menghasilkan karbondioksida, air, nitrogen dan beberapa gas lainnya (kecuali oksigen).

2.3.2 Faktor Utama Proses Pembakaran

Terjadinya proses pembakaran bergantung pada tiga faktor utama yang dikenal dengan “3T”, yaitu:

1. *Time* (waktu),
2. *Turbulence* (turbulensi aliran)
3. *Temperature* (suhu)

Artinya tercapainya suatu fase pembakaran harus memenuhi waktu penyalaan (*time to ignition*) yang bergantung pada beberapa suhu ideal agar pembakaran dapat terjadi dan bagaimana kondisi aliran fluidanya. Semakin turbulen aliran fluida yang terjadi, maka proses perpindahan panas juga akan semakin cepat.

Pada proses pembakaran dengan proses penyalaan api yang normal, dibutuhkan tiga komponen utama untuk tercapainya suatu fase pembakaran, yaitu panas, bahan bakar, dan oksigen. Ketiganya merupakan elemen-elemen yang harus ada untuk mewujudkan terjadinya proses pembakaran, sehingga jika salah satu elemen ditiadakan maka proses pembakaran yang ditandai dengan adanya nyala api

dapat terhenti. Konsep inilah yang kemudian dijadikan dasar dalam mengontrol nyala api dari pembakaran. Tetapi, pada dasarnya keberadaan tiga elemen itu saja belum cukup untuk memenuhi syarat terjadinya nyala api pembakaran.

Nyala api yang terbentuk dari proses pembakaran merupakan fenomena yang terjadi dalam fasa gas, karena proses pembakaran baru terjadi apabila campuran udara dan bahan bakar sudah berada pada fase yang sama (fase gas). Sehingga pembakaran yang menghasilkan nyala api dengan bahan bakar cair dan padat harus didahului dengan proses fase bahan bakar menjadi fase gas terlebih dahulu untuk dapat bercampur dengan udara. Untuk bahan bakar cair, proses ini pada umumnya berupa penguapan sederhana dari hasil pendidihan pada permukaan bahan bakar. Pada dasarnya, vaporisasi dari bahan bakar cairan hanya akan terjadi pada tingkat temperature permukaan tertentu dari cairan itu sendiri.

Selanjutnya, uap hasil vaporasi tersebut akan bercampur dengan oksigen yang terkandung di dalam udara (*oxidizer*) untuk membentuk campuran yang dapat terbakar. Setelah bahan bakar berubah fase menjadi gas dan bersifat mudah terbakar (*volatile*), bahan bakar akan dengan mudah bercampur dengan udara sebagai oksidator, kemudian ketika reaksi campuran udara dan bahan bakar sudah cukup panas, nyala api akan terbentuk sebagai tanda terjadinya proses pembakaran dengan atau pemantikan menggunakan *electrical spark igniter*.

2.3.3 Proses Pembakaran di *Furnace*

Pembakaran gas untuk menghasilkan panas terjadi di dalam furnace pada boiler dengan temperature tertentu yang sangat tinggi. Proses pembakaran dibantu dengan suatu system yang dirancang untuk mendukung terjadinya pemanasan yang paling efisien dan tidak mengganggu kelestarian lingkungan sekitar. Proses pembakaran pada kebutuhan pembakaran yaitu bahan bakar, oksigen yang cukup, panas, dan reaksi kimia. Gas yang digunakan dalam proses pembakaran diharapkan dapat terbakar seoptimal mungkin. Oksigen yang cukup perlu diberikan melalui suatu

system fan serta system pemantik awal pembakaran dengan desain khusus. Pembakaran yang terjadi tidak selalu sempurna.

Proses pembakaran yang terjadi di dalam boiler menggunakan konsep pembakaran tangensial. Bahan bakar dan udara disuplai ke dalam furnace melalui windbox yang terdapat di pojok-pojok boiler. Nozzle yang merupakan tempat keluarnya bahan bakar dan udara diarahkan secara tangensial

2.4 Bahan Bakar Padat, Cair, Gas

1. LPG (*Liquified Petroleum Gas*)

LPG (*liquefied petroleum gas*) adalah campuran dari berbagai unsur hidrokarbon yang berasal dari gas alam. Dengan menambah tekanan dan menurunkan suhunya gas berubah menjadi cair. Komponennya didominasi propane (C_3H_8) dan butana (C_4H_{10}). LPG juga mengandung hidrokarbon ringan lain dalam jumlah kecil, misalnya etana (C_2H_4) dan pentane (C_5H_{12}). Sifat LPG terutama adalah sebagai berikut:

- a. Cairan dan gasnya sangat mudah terbakar.
- b. Gas tidak beracun, tidak berwarna, dan biasanya berbau menyengat.
- c. Gas dikirimkan sebagai cairan yang bertekanan di dalam tangki atau silinder.
- d. Cairan dapat menguap jika dilepaskan dan menyebar dengan cepat.
- e. Gas ini lebih berat dibanding udara sehingga akan banyak menempati daerah yang rendah.

LPG terdiri dari campuran utama yang mempunyai komposisi 50% propane (C_3H_8) dan 50% butana (C_4H_{10}) hal ini berdasarkan volume atau mol. Sedikit persentase hidrokarbon tidak jenuh (propilen dan butilen) dan beberapa fraksi C2 yang lebih ringan dan C5 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), serta etil mercaptane sebagai zat pembau.

Dalam kondisi atmosfer, LPG akan berbentuk gas namun dapat diembunkan menjadi bentuk cair pada suhu normal dengan tekanan yang cukup besar. Volume

LPG dalam bentuk cair lebih kecil dibandingkan dalam bentuk gas untuk berat yang sama.

Tabel 1. Spesifikasi LPG

Description	Min	Max
<i>Specific Gravity</i> at 60/60 °F	<i>To be reported</i>	
<i>Vapour pressure</i> 100°F psig	-	120
<i>Weathering test</i> at 36°F % Vol	95	-
<i>Copper Corrosion</i> 1 hrs 100 °F	-	ASTM No.1
Total Sulphur, grains/100 cuft	-	-
<i>Water content</i>	<i>Free of water</i>	<i>Free of water</i>
Komposisi:		D-2163 Test
C2 % vol	-	0.2
C5 + (C5 and heavier) % vol	97.5	-
<i>Ethyl or Butyl mercaptan added</i> ml/100 AG		50

Sumber : Pertamina

2. Kerosen

Kerosene atau disebut juga dengan Minyak Tanah, merupakan bahan bakar jenis distilat yang tidak berwarna (jernih). Penggunaan minyak tanah pada umumnya adalah untuk keperluan industri (seperti solvent atau aerosol) dan sebagian masih digunakan sebagai bahan bakar di rumah tangga (memasak, penerangan, dll).

Tabel 2. Spesifikasi Kerosen

No.	Karakteristik	Satuan	Batasan		Metode Uji	
			Min	Max	ASTM	Lain
1	Densitas	Kg/m ³	-	835	D 1298	-
2	Titik Asap	Mm	15	-	D 1322	-
3	Nilai Jelaga	Mg/kg	-	40	-	IP 10
4	Distilasi	% vol	18	-	D 86	-
5	Titik Nyala	°C	38	-	-	IP 10
6	Kandungan Belerang	% Massa	-	0,20	D 1266	-
7	Korosi	-	-	No.1	D 130	-
8	Bau dan Warna	-	Dapat dipasarkan		-	-

3.Solar

Bahan bakar solar adalah bahan bakar minyak nabati hasil destilasi dari minyak bumi mentah. Bahan bakar ini berwarna kuning coklat yang jernih. Penggunaan solar pada umumnya adalah untuk bahan bakar pada semua jenis mesin diesel dengan putaran tinggi (diatas 1000 rpm), yang juga dapat digunakan sebagai bahan bakar pada pembakaran langsung dalam dapur-dapur kecil yang terutama diinginkan pembakaran yang bersih. Minyak solar ini biasa juga disebut *Gas Oil*, *Automotive Diesel Oil*, *High Speed Diesel* (Pertamina, 2005). Bahan bakar solar mempunyai sifat-sifat utama, yaitu:

- a. Warna sedikit kekuningan dan berbau
- b. Encer dan tidak mudah menguap pada suhu normal
- c. Mempunyai titik nyala yang tinggi (40 °C sampai 100°C)
- d. Terbakar secara spontan pada suhu 350°C
- e. Mempunyai berat jenis sekitar 0,82 – 0,86
- f. Mampu menimbulkan panas yang besar (10.500 kcal/kg)
- g. Mempunyai kandungan sulfur yang lebih besar daripada bensin.

Tabel 3. Spesifikasi Solar

No.	Karakteristik	Min.	Maks.	ASTM	
1	Bilangan Cetana :				
	- Angka Cetana atau	-	51	-	D 613 – 95
	- Indeks Cetana	-	48	-	D 4737 - 96a
2	Berat Jenis (pada suhu 15 ⁰ C)	Kg/m ³	820	860	D 445 – 97
3	Viskositas (pada suhu 15 ⁰ C)	mm ² /s	2	4,5	D 445 – 97
4	Kandungan Sulfur	% mm	-	0,05	D 2622 – 98
5	Distilasi				
	T 90	⁰ C	-	340	
	T 95	⁰ C	-	360	
6	Titik Didih Akhir	⁰ C	-	370	
7	Titik Nyala	⁰ C	55	-	D 93 – 799c
8	Titik Tuang	⁰ C	-	18	D 97

Sumber : Keputusan Direktur Jenderal Minyak dan Gas Bumi (2006)

4. Oli bekas

Minyak pelumas mesin atau yang lebih dikenal oli mesin memang banyak ragam dan macamnya. Bergantung jenis penggunaan mesin itu sendiri yang membutuhkan oli yang tepat untuk menambah atau mengawetkan usia pakai (*life time*) mesin. Kekentalan/SAE suatu oli mesin bukanlah ukuran mutu suatu oli. SAE hanyalah sebagai pembeda atau kelas kelas suatu oli mesin berdasarkan tingkat sifat kekentalannya. Semua jenis oli pada dasarnya sama. Yakni sebagai bahan pelumas agar mesin berjalan mulus dan bebas gangguan. Sekaligus berfungsi sebagai pendingin dan penyekat. Oli mengandung lapisan-lapisan halus, berfungsi mencegah terjadinya benturan antar logam dengan logam komponen mesin seminimal mungkin, mencegah goresan atau keausan. Untuk beberapa keperluan tertentu, aplikasi khusus pada fungsi tertentu, oli dituntut memiliki sejumlah fungsi-fungsi tambahan. Mesin diesel misalnya, secara normal beroperasi pada kecepatan rendah tetapi memiliki temperatur yang lebih tinggi dibandingkan dengan Mesin bensin. Mesin diesel juga memiliki kondisi kondusif (peluang) yang lebih besar yang dapat menimbulkan oksidasi oli, penumpukan deposit dan perkaratan logam-logam bearing.

Kontaminasi terjadi dengan adanya benda-benda asing atau partikel pencemar di dalam oli. Terdapat beberapa macam benda pencemar biasa terdapat dalam oli yakni:

1. Keausan elemen. Ini menunjukkan beberapa elemen biasanya terdiri dari tembaga, besi, chrominium, aluminium, timah, molybdenum, silikon, nikel atau magnesium.
2. Kotoran atau jelaga. Kotoran dapat masuk kedalam oli melalui embusan udara lewat sela-sela ring dan melauai sela lapisan oli tipis kemudian merambat menuruni dinding selinder. Jelaga timbul dari bahan bakar yang tidak habis. Kepulan asam hitam dan kotornya filter udara menandai terjadinya jelaga.

3. Bahan Bakar

Tabel.4 Spesifikasi Oli Bekas

Keadaan Fisik	Cairan
Warna	Kuning-kecoklatan
Bau	Khas Pelumas
Titik Nyala	220°C
Viskositas	57,74 cSt pada 40°C 9,96 cSt pada 100°C
Titik Tuang	-51°C
Berat Jenis	847 kg/m ³ pada 20°C
Kelarutan	Tidak larut dalam air

Sumber : MSDS Castorl

2.4.1 Nilai Kalor Bahan Bakar

Reaksi kimia antara bahan bakar dengan oksigen dari udara menghasilkan panas. Besarnya panas yang timbulkan jika satu satuan bahan bakar dibakar sempurna disebut nilai kalor bahan bakar (*Calorific Value*). Berdasarkan asumsi ikut tidaknya panas laten pengembunan uap air dihitung sebagai bagian dari nilai kalor suatu bahan bakar, maka nilai kalor bahan bakar dapat dibedakan menjadi nilai kalor atas dan nilai kalor bawah.

Nilai kalor atas (*High Heating Value*) merupakan nilai kalor yang diperoleh secara eksperimen dengan menggunakan calorimeter dimana hasil pembakaran bahan bakar didinginkan sampai suhu kamar sehingga sebagian besar uap air yang terbentuk dari pembakaran hydrogen mengembun dan melepaskan panas latennya. Secara teoritis, besarnya nilai kalor atas (HHV) dapat dihitung bila diketahui komposisi bahan bakar dengan menggunakan persamaan *Dulong*:

$$\text{HHV} = 33950 + 144200 \left(H_2 - \frac{O_2}{8} \right) + 9400 S \dots\dots\dots(10)$$

Dimana:

- HHV = Nilai kalor atas (kJ/kg)
- C = Persentase karbon dalam bahan bakar
- H₂ = Persentase hidrogen dalam bahan bakar
- O₂ = Persentase oksigen dalam bahan bakar

S = Persentase sulfur dalam bahan bakar

Nilai kalor bawah (*Low Heating Value*) merupakan nilai kalor bahan bakar tanpa panas laten yang berasal dari pengembunan uap air. Umumnya kandungan hidrogen dalam bahan bakar cair berkisar 15% yang berarti setiap satu satuan bahan bakar dan 0,15 bagian merupakan hidrogen. Pada proses pembakaran sempurna, air yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar adalah setengah dari jumlah mol hidrogennya.

Selain berasal dari pembakaran hidrogen, uap air yang terbentuk pada proses pembakaran dapat pula berasal dari kandungan air yang memang sudah ada didalam bahan bakar (*moisture*). Panas laten pengkondensasian uap air pada tekanan parsial 20 kN/m^2 (tekanan yang umum timbul pada gas buang) adalah sebesar 2400 kJ/kg , sehingga besarnya nilai kalor bawah (LHV) dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut:

$$\text{LHV} = \text{HHV} - 2400 (M + 9 H_2) \dots\dots\dots(11)$$

Dimana:

LHV = Nilai kalor bawah (kJ/kg)

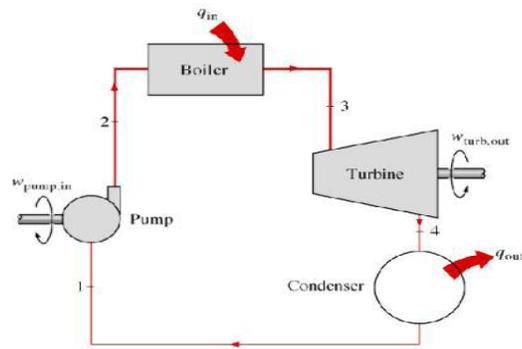
M = Persentase kandungan air dalam bahan bakar (*moisture*)

Dalam perhitungan efisiensi panas dari mesin bakar, dapat menggunakan nilai kalor bawah (LHV) dengan asumsi pada suhu tinggi saat gas buang meninggalkan mesin tidak terjadi pengembunan uap air. Namun dapat juga menggunakan nilai kalor atas (HHV) karena nilai tersebut umumnya lebih cepat tersedia. Peraturan pengujian berdasarkan ASME (*American of Mechanical Engineers*) menentukan penggunaan nilai kalor atas (HHV), sedangkan peraturan SAE (*Society of Automotive Engineers*) menentukan penggunaan nilai kalor bawah (LHV).

2.5 Pembangkit Listrik Tenaga Uap

Pembangkit listrik tenaga uap merupakan satu dari jenis pembangkit, dimana pembangkit ini memanfaatkan uap yang dihasilkan oleh boiler sebagai sumber energy untuk menggerakkan turbin dan sekaligus memutar generator sehingga akan

dihasilkan tenaga listrik. Sistem pembangkit tenaga uap yang sederhana terdiri dari empat komponen utama yaitu boiler, turbin uap, kondensator dan pompa kondensat. Skema pembangkit listrik tenaga uap dapat ditunjukkan pada gambar berikut :



Gambar 8. Skema Pembangkit Listrik Tenaga Uap
Sumber: Yunus A. Cengel dan Michael A. Boles (1994)

2.5.1 Prinsip Kerja PLTU

Prinsip Kerja dari PLTU adalah dengan menggunakan siklus air-uap-air yang merupakan suatu sistem tertutup air dan kondensat atau air dari hasil proses pengondensasian di kondensator dan *air make up water* (air yang dimurnikan) dipompa oleh *condensat pump* ke pemanas tekanan rendah. Disini air dipanasi kemudian dimasukkan oleh daerator untuk menghasilkan oksigen, kemudian air dipompa oleh *boiler feed water pump* masuk ke *economizer*. Dari *economizer* yang selanjutnya dialirkan ke pipa untuk dipansakan pada tube boiler.

Pada *tube boiler*, air dipanasi berbentuk uap air. Uap air ini dikumpulkan kembali pada steam drum. Kemudian dipanaskan lebih lanjut pada superheater sudah berubah menjadi uap kering yang mempunyai tekanan dan temperature tinggi, dan selanjutnya uap ini digunakan untuk menggerakkan sudu turbin tekanan tinggi, untuk sudu turbin menggerakkan poros turbin. Hasil dari putaran poros turbin kemudian memutar poros generator yang dihubungkan dengan *coupling*, dari putaran ini dihasilkan energy listrik. Energy listrik yang dihasilkan dari generator disalurkan dan didistribusikan lebih lanjut ke pelanggan. Uap bebas dari turbin selanjutnya dikondensasikan dari kondensator dan bersama air dari *make up water pump*, pemanas.