

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian *Boiler*

Boiler merupakan suatu peralatan yang digunakan untuk menghasilkan *steam* (uap) dalam berbagai keperluan. Air di dalam *boiler* dipanaskan oleh panas dari hasil pembakaran bahan bakar (sumber panas lainnya) sehingga terjadi perpindahan panas dari sumber panas tersebut ke air yang mengakibatkan air tersebut menjadi panas atau berubah wujud menjadi uap. Air yang lebih panas memiliki berat jenis yang lebih rendah dibanding dengan air yang lebih dingin, sehingga terjadi perubahan berat jenis air di dalam *boiler*. Air yang memiliki berat jenis yang lebih kecil akan naik, dan sebaliknya air yang memiliki berat jenis yang lebih tinggi akan turun ke dasar (MF Syahputra.2010).

Sistem *boiler* terdiri dari: sistem air umpan, sistem *steam* dan sistem bahan bakar. Sistem air umpan menyediakan air untuk *boiler* secara otomatis sesuai dengan kebutuhan *steam*. Berbagai kran disediakan untuk keperluan perawatan dan perbaikan. Sistem *steam* mengumpulkan dan mengontrol produksi *steam* dalam *boiler*. *Steam* dialirkan melalui sistem pemipaan ke titik pengguna. Pada keseluruhan sistem, tekanan *steam* diatur menggunakan kran dan dipantau dengan alat pemantau tekanan. Sistem bahan bakar adalah semua peralatan yang digunakan untuk menyediakan bahan bakar untuk menghasilkan panas yang dibutuhkan. Peralatan yang diperlukan pada sistem bahan bakar tergantung pada jenis bahan bakar yang digunakan pada sistem (MF Syahputra.2010).

2.1.1 Fungsi *Boiler*

Fungsi dari *boiler* adalah menghasilkan uap yang digunakan untuk kebutuhan proses pabrik, dan membangkitkan listrik untuk kebutuhan pabrik maupun perumahan karyawan di sekitar pabrik. Adanya pengaruh pengotoran baik yang ditimbulkan dari bahan bakar maupun air umpan sangat berpengaruh terhadap efisiensi *boiler* (Asmudi, 2008).

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 gula. Sedangkan jenis

pipa air digunakan oleh industri/pembangkit listrik yang memerlukan tekanan uap yang tinggi, misalnya pada pusat-pusat listrik tenaga uap.

2.2 Ketel Pipa Air (*Water Tube Boiler*)

Ketel pipa air, yaitu ketel uap dengan air atau uap berada di dalam pipa - pipa atau tabung dengan pipa api atau asap berada diluarnya. Di dalam *water tube boiler*, air umpan *boiler* mengalir melalui pipa-pipa masuk ke dalam drum. *Steam* terbentuk karena sirkulasi air yang dipanaskan oleh gas pembakar yang terjadi di daerah uap di dalam drum. Sebagai ketel yang sudah sangat modern, *water tube boiler* biasanya dirancang dengan tekanan sangat tinggi dan memiliki kapasitas *steam* antara 4.500-12.000 kg/jam (UNEP, 2006).

Umumnya *water tube boiler* terdiri dari beberapa drum (biasanya 2 atau 4 buah) dengan eksternal *tubes*. Biasanya ujung-ujung *tubes* disambung atau dihubungkan langsung dengan drum-drum dengan cara di *roll* atau di ekspansi, kadang kala sambungan antara *tubes* dengan drum selain di *roll* juga diperkuat dengan las atau *seal welded*. Apabila kapasitas *boiler* lebih besar dari 20 MW atau tekanan operasi *boiler* lebih besar dari 24 bar. Maka *boiler* dianggap cocok untuk produksi uap dalam jumlah besar dengan skala industri dengan uap yang dihasilkan yaitu *superheated* (Dalimunthe, 2006).

Penggunaan *water tube boiler* diakui memiliki keuntungan yang lebih karena memiliki reaksi yang cepat terhadap beban, dan kelembapan panas termal yang dapat dikatakan kecil. Unit pengolahan yang sudah modern banyak menggunakan *water tube boiler* sebagai pilihan, karena dapat menghasilkan uap air dengan kapasitas, temperatur, dan tekanan yang tinggi sesuai kebutuhan.

2.3 Sistem Boiler

Sistem yang dimiliki *boiler* untuk memenuhi kebutuhan *steam* terbagi menjadi beberapa sistem yaitu sistem air umpan (*feed water system*), sistem *steam* (*steam system*) dan sistem bahan bakar (*fuel system*) (UNEP, 2006).

- a. Sistem air umpan (*feed water system*) merupakan sistem yang berguna untuk memenuhi kebutuhan *steam* dengan cara mengalirkan air umpan ke dalam *boiler*.

- b. Sistem *steam* (*steam system*) merupakan sistem yang berguna untuk mengontrol proses produksi *steam* dan mengumpulkan berbagai data dalam *boiler* dengan cara mengalirkan uap ke titik pengguna dengan menggunakan sistem pemipaan.
- c. Sistem bahan bakar (*fuel system*) merupakan sistem yang berguna untuk mengontrol proses pembakaran dengan cara mensuplai bahan bakar ke dalam dapur pembakaran untuk menghasilkan panas yang dibutuhkan.

2.3.1 Keuntungan dan Kerugian Ketel Pipa Air

Keuntungan-keuntungan ketel pipa air:

1. Menghasilkan uap dengan tekanan lebih tinggi dari pada ketel pipa api.
2. Untuk daya yang sama, menempati ruang/tempat yang lebih kecil daripada ketel pipa api.
3. Laju aliran uap lebih tinggi.
4. Komponen-komponen yang berbeda bisa diurai sehingga mudah untuk dipindahkan.
5. Permukaan pemanasan lebih efektif karena gas panas mengalir keatas pada arah tegak lurus.
6. Pecah pada pipa air tidak menimbulkan kerusakan ke seluruh ketel.

Kerugian-kerugian ketel pipa air:

1. Air umpan mensaratkan mempunyai kemurnian tinggi untuk mencegah endapan kerak di dalam pipa. Jika terbentuk kerak di dalam pipa bisa menimbulkan panas yang berlebihan dan pecah.
2. Ketel pipa air memerlukan perhatian yang lebih hati-hati bagi penguapannya, karena itu akan menimbulkan biaya operasi yang lebih tinggi.
3. Pembersihan pipa air tidak mudah dilakukan.

2.4 Prinsip Kerja *Boiler*

Air di dalam *boiler* dipanaskan oleh panas dari hasil pembakaran bahan bakar, sehingga terjadi perpindahan panas dari sumber panas tersebut ke air, yang mengakibatkan air tersebut menjadi uap. Air yang lebih panas memiliki berat jenis

yang lebih rendah dibanding dengan air yang lebih dingin, sehingga terjadi perubahan berat jenis air di dalam boiler. Air yang memiliki berat jenis yang lebih kecil akan naik, dan sebaliknya air yang memiliki berat jenis yang lebih tinggi akan turun ke dasar (Djokosetyardjo, 1990).

Sistem *boiler* terdiri dari sistem air umpan, sistem steam dan sistem bahan bakar. Sistem air umpan menyediakan air untuk *boiler* secara otomatis sesuai kebutuhan uapnya. Sistem *steam* mengumpulkan dan mengontrol produksi uap dalam *boiler*. Sistem bahan bakar merupakan semua alat yang digunakan dalam menyediakan bahan bakar agar menghasilkan panas yang dibutuhkan. Prinsip kerja *boiler* yaitu mengubah dan memindahkan energi yang dimiliki bahan bakar menjadi energi yang dimiliki uap air. Berdasarkan bahan bakar yang digunakan, *boiler* dapat diklasifikasikan menjadi *boiler* bahan bakar padat, *boiler* bahan bakar cair, dan *boiler* bahan bakar gas. Pemanas ruangan juga merupakan salah satu aplikasi dari *boiler*. Prinsip kerja pemanas ruangan dikembangkan berdasarkan Hukum Termodinamika I dan II.

Perpindahan panas pada kasus pemanas ruangan adalah memindahkan energi dalam bentuk panas dari suatu titik yang bersuhu tinggi ke titik yang bersuhu lebih rendah (Djojodihardjo, 1985).

Untuk menghangatkan ruangan dibutuhkan suatu fluida (berupa air, udara atau uap) yang dipanaskan di dalam *boiler*, dialirkan melalui pipa, menuju radiator yang berhubungan langsung dengan udara ruangan, fluida akan mengalir kembali lagi ke *boiler* untuk dipanaskan kembali.

2.5 Steam

Uap atau *steam* merupakan gas yang dihasilkan dari proses yang disebut penguapan. Bahan baku yang digunakan untuk menghasilkan steam adalah air bersih. Air dari *water treatment* yang telah diproses dialirkan menggunakan pompa ke deaerator *tank* hingga pada level yang telah ditentukan. Dengan meningkatnya suhu dan air telah mendekati kondisi didihnya, beberapa molekul mendapatkan energi kinetik yang cukup untuk mencapai kecepatan yang membuat sewaktu-waktu lepas dari cairan ke ruang di atas permukaan, sebelum jatuh kembali ke cairan. Pemanasan lebih lanjut menyebabkan eksitasi lebih besar dan

sejumlah molekul dengan energi cukup untuk meninggalkan cairan jadi meningkat. Dengan mempertimbangkan struktur molekul cairan dan uap, dapat diambil kesimpulan bahwa densitas steam lebih kecil dari air, sebab molekul *steam* terpisah jauh satu dengan yang lain. Ruang yang secara tiba-tiba terjadi diatas permukaan air menjadi terisi dengan molekul *steam* yang padat. Dalam hal ini pembakaran air dalam *boiler* adalah air yang melalui deaerator yang telah melalui pemanasan didalamnya yang dialirkan ke drum *boiler* (penampung *steam*) dan kemudian disuplai kedalam *boiler* untuk dipanaskan lebih lanjut sehingga menjadi *steam* basah.

Jumlah molekul yang meninggalkan permukaan cairan lebih besar dari yang masuk kembali, maka air akan menguap dengan bebas. Pada keadaan ini air telah mencapai titik didihnya atau suhu jenuhnya, yang dijenuhkan oleh energi panas. Jika tekanannya tetap penambahan lebih banyak panas tidak mengakibatkan kenaikan suhu lebih lanjut namun menyebabkan air akan membentuk *steam* jenuh. Pada tekanan atmosfer suhu jenuh air adalah 100 °C, tetapi jika tekanannya bertambah maka akan ada penambahan lebih banyak panas dan peningkatan suhu tanpa perubahan fase. Oleh karena itu, kenaikan tekanan secara efektif akan meningkatkan entalpi air dan suhu jenuhnya. Hubungan antara suhu jenuh dan tekanan dikenal sebagai kurva steam jenuh. Air dan *steam* dapat berada secara bersamaan pada berbagai tekanan dalam kurva ini, keduanya akan berada pada suhu jenuh. *Steam* pada kondisi diatas kurva jenuh dikenal dengan *superheated steam* (*steam* lewat jenuh), sedangkan air yang berada pada kondisi dibawah kurva disebut air sub-jenuh.

Steam mengalir dari *boiler* pada kecepatan yang sama dengan yang dihasilkannya, penambahan panas lebih lanjut akan meningkatkan laju produksinya. Jika *steam* yang sama tertahan tidak meninggalkan *boiler*, dan jumlah panas yang masuk dijaga tetap, energi yang mengalir ke *boiler* akan lebih besar daripada energi yang mengalir keluar. Energi yang berlebih ini akan menaikkan tekanan, yang pada gilirannya akan menyebabkan suhu jenuh meningkat, karena suhu *steam* jenuh berhubungan dengan tekanannya.

2.6 Dasar Termodinamika

Termodinamika adalah ilmu yang mempelajari perpindahan energi ketika suatu sistem mengalami proses termodinamika dari suatu keadaan ke keadaan lain. Berbagai aplikasi teknik yang menunjukkan pentingnya prinsip-prinsip termodinamika teknik seperti pada sistem energi alternatif, pembangkit listrik, sistem pendingin, pompa kalor merupakan sistem – sistem yang menghasilkan suatu konversi energi (Lestari, 2011).

2.6.1 Hukum Termodinamika I

Bunyi hukum Termodinamika I adalah “Energi tidak dapat diciptakan ataupun dimusnahkan, melainkan hanya dapat diubah bentuknya saja.” Berdasarkan uraian tersebut terbukti bahwa kalor (Q) yang diserap sistem tidak hilang. Oleh sistem, kalor ini akan diubah menjadi usaha luar (W) dan atau penambahan energi dalam (U) (Lestari, 2011).

2.6.2 Hukum Termodinamika II

Hukum kedua termodinamika dinyatakan dengan entropi. Pada hukum pertama, energi dalam digunakan untuk mengenali perubahan yang diperbolehkan sedangkan pada hukum kedua entropi digunakan mengenali perubahan spontan di antara perubahan–perubahan yang diperbolehkan ini. Hukum kedua berbunyi entropi suatu sistem bertambah selama ada perubahan spontan.

Proses irreversibel (seperti pendinginan hingga mencapai temperatur yang sama dengan lingkungan dan pemuaiian bebas dari gas) adalah proses spontan, sehingga proses itu disertai dengan kenaikan entropi. Proses irreversibel menghasilkan entropi, sedangkan proses reversibel adalah perubahan yang sangat seimbang, dengan sistem dalam keseimbangan dengan lingkungannya pada setiap tahap. Proses reversibel tidak menghasilkan entropi, melainkan hanya memindahkan entropi dari suatu bagian sistem terisolasi ke bagian lainnya (Atkins, 1999).

Sifat atau keadaan perilaku partikel dinyatakan dalam besaran entropi, entropi didefinisikan sebagai bentuk ketidakteraturan perilaku partikel dalam sistem. Entropi didasarkan pada perubahan setiap keadaan yang dialami partikel dari keadaan awal hingga keadaan akhirnya. Semakin tinggi entropi suatu sistem,

semakin tidak teratur pula sistem tersebut, sistem menjadi lebih rumit, kompleks, dan sulit diprediksi.

Untuk mengetahui konsep keteraturan, mula-mula kita perlu membahas hukum kedua termodinamika yang dikenal sebagai ketidaksamaan Clausius dan dapat diterapkan pada setiap siklus tanpa memperhatikan dari benda mana siklus itu mendapatkan energi melalui perpindahan kalor. Ketidaksamaan Clausius mendasari dua hal yang digunakan untuk menganalisis sistem tertutup dan volume tetap berdasarkan hukum kedua termodinamika yaitu sifat entropi dan neraca entropi. Pada saat hukum kedua termodinamika diterapkan, diagram entropi sangat membantu untuk menentukan lokasi dan menggambarkan proses pada diagram dimana koordinatnya adalah nilai entropi. Diagram dengan salah satu sumbu koordinat berupa entropi yang sering digunakan adalah diagram temperatur-entropi (T-s).

2.6.3 Siklus Rankine

Siklus ideal yang mendasari siklus kerja dari suatu pembangkit daya uap adalah siklus Rankine. Siklus Rankine berbeda dengan siklus-siklus udara ditinjau dari fluida kerjanya yang mengalami perubahan fase selama siklus pada saat evaporasi dan kondensasi. Perbedaan lainnya secara termodinamika, siklus uap dibandingkan dengan siklus gas adalah bahwa perpindahan kalor pada siklus uap dapat terjadi secara isothermal. Proses perpindahan kalor yang sama dengan proses perpindahan kalor pada siklus Carnot dapat dicapai pada daerah uap basah dimana perubahan entalpi.

Fluida kerja akan menghasilkan penguapan atau kondensasi, tetapi tidak pada perubahan temperatur. Temperatur hanya diatur oleh tekanan uap fluida. Kerja pompa pada siklus Rankine untuk menaikkan tekanan fluida kerja dalam fase cair akan jauh lebih kecil dibandingkan dengan pemampatan untuk campuran uap dalam tekanan yang sama pada siklus Carnot.

Siklus Rankine ideal terdiri dari 4 tahapan proses : 1-2 kompresi isentropik dengan pompa 2-3 penambahan panas dalam *boiler* secara isobar 3-4 ekspansi isentropik pada turbin 4-1 pelepasan panas pada kondenser secara isobar dan isothermal Air masuk pompa pada kondisi 1 sebagai cairan jenuh dan dikompresi sampai tekanan operasi *boiler*. Temperatur air akan meningkat selama kompresi

isentropik karena menurunnya volume spesifik air. Air memasuki *boiler* sebagai cairan terkompresi (*compressed liquid*) pada kondisi 2 dan akan menjadi uap *superheated* pada kondisi 3. Dimana panas diberikan ke *boiler* pada tekanan yang tetap. *Boiler* dan seluruh bagian yang menghasilkan *steam* ini disebut *steam generator*. Uap *superheated* pada kondisi 3 kemudian akan memasuki turbin untuk diekspansi secara isentropik dan akan menghasilkan kerja untuk memutar shaft yang terhubung dengan generator listrik sehingga dapat dihasilkan listrik. Tekanan dan temperatur dari *steam* akan turun selama proses ini menuju keadaan 4 dimana *steam* akan masuk kondenser dan biasanya sudah berupa uap jenuh. *Steam* ini akan dicairkan pada tekanan konstan didalam kondenser dan akan meninggalkan kondenser sebagai cairan jenuh yang akan masuk pompa untuk melengkapi siklus ini (Cengel dan Boles, 2006 : 553).

2.7 Proses Pembakaran

Pembakaran merupakan oksidasi cepat bahan bakar disertai dengan produksi panas, atau panas dan cahaya. Pembakaran sempurna bahan bakar terjadi hanya jika ada pasokan oksigen yang cukup. Dalam setiap bahan bakar, unsur yang mudah terbakar adalah karbon, hidrogen dan sulfur. Dalam proses suatu pembakaran jika tidak ada cukup oksigen, maka karbon tidak akan terbakar seluruhnya, contohnya sebagai berikut : $C + O_2 \rightarrow CO_2$ (Carbon terbakar sempurna) $2C + O_2 \rightarrow 2CO$ (carbon tidak terbakar sempurna) Tujuan dari pembakaran yang baik adalah melepaskan seluruh panas yang terdapat dalam bahan bakar. Hal ini dilakukan dengan pengontrolan “tiga T” yaitu:

- a. T- Temperatur Temperatur yang digunakan untuk pembakaran yang baik harus cukup tinggi sehingga dapat menyebabkan terjadinya reaksi kimia.
- b. T- Turbulensi Turbulensi yang tinggi menyebabkan terjadinya pencampuran yang baik antara bahan bakar dan pengoksidasi.
- c. T- Time Waktu harus cukup agar input panas dapat terserap oleh reaktan sehingga berlangsung proses termokimia. Dalam proses pembakaran tidak terlepas dari penyalaan yaitu sebuah keadaan transisi dari tidak reaktif ke reaktif karena rangsangan atau dorongan eksternal yang memicu reaksi termokimia diikuti dengan transisi yang cepat sehingga pembakaran dapat berlangsung.

Penyalaan terjadi bila panas yang dihasilkan oleh pembakaran lebih besar dari panas yang hilang ke lingkungan. Dalam proses penyalaan ini dapat dipicu oleh energi thermal yang merupakan transfer energi termal ke reaktan oleh konduksi, konveksi, radiasi atau kombinasi dari ketiga macam proses tersebut, kimia yaitu dengan memasukkan bahan kimia reaktif.

Temperatur adiabatik merupakan temperatur teoritis maksimum yang dicapai oleh produk-produk pembakaran bahan bakar dengan oksigen atau udara. Temperatur adiabatik terjadi pada udara lebih sama dengan nol (kondisi stokimetri). Namun temperatur adiabatik juga bisa tidak tercapai hal ini disebabkan oleh:

- a. Kehilangan panas yaitu proses pembakaran tidak terjadi seketika. Pembakaran yang cepat akan mereduksi kehilangan panas. Akan tetapi jika pembakaran berjalan lambat maka gas terdinginkan dan akan terjadi pembakaran yang tidak sempurna.
- b. Terjadinya diasosiasi CO_2 dan H_2O pada temperatur diatas 300°F , CO_2 dan H_2O terdisosiasi dengan menyerap panas. Jika gas mendingin produk disosiasi berekombinasi dan melepas energi disosiasinya. Jadi panasnya tidak hilang akan tetapi temperatur nyala aktual lebih rendah. (Hidayat, 2004 dalam Daneswari, 2015).

2.7.1 Kebutuhan Udara Pembakaran

Dalam suatu pembakaran perbandingan campuran bahan bakar dan udara memegang peranan yang penting dalam menentukan hasil proses pembakaran. Rasio campuran bahan bakar dan udara dapat dinyatakan dalam beberapa parameter yang lazim antara lain AFR (*Air Fuel Ratio*), FAR (*Fuel Air Ratio*), dan Rasio Ekuivalen (ϕ).

2.7.2 Rasio Udara-Bahan Bakar (*Air Fuel Ratio*/AFR)

Rasio ini merupakan parameter yang paling sering digunakan dalam mendefinisikan campuran dan merupakan perbandingan antara massa dari udara dengan bahan bakar pada suatu titik tinjau. Secara simbolis, AFR dihitung sebagai adalah jumlah mol bahan bakar.

2.7.3 Rasio Bahan Bakar-Udara (*Fuel Air Ratio/ FAR*)

Rasio bahan bakar-udara merupakan kebalikan dari AFR yang dapat juga dinyatakan dalam perbandingan volume. Untuk bahan bakar gas, perbandingan volume lebih sering dipergunakan karena sebanding dengan perbandingan jumlah mol.

2.7.4 Rasio Ekivalen (*Equivalent Ratio*)

Rasio ini termasuk juga rasio yang umum digunakan. Rasio ekivalen didefinisikan sebagai perbandingan antara rasio udara-bahan bakar (AFR) stoikiometri dengan rasio udara-bahan bakar (AFR) aktual atau juga sebagai perbandingan antara rasio bahan bakar-udara (FAR) aktual dengan rasio bahan bakar-udara (FAR) stoikiometri (Mahandri,2010:10).

2.8 Kualitas Steam

Menurut (Cengel & Boles, 2006) kualitas uap merupakan perbandingan entalpi uap pada sebuah kondisi terhadap selisih entalpi pada fase uap jenuh dan cair jenuh.

Untuk melakukan analisis energi kalor campuran uap, perlu diketahui proporsi atau fraksi fase cair dan uap pada fase campuran. Pada fase uap campuran atau mixing region dibutuhkan sebuah perhitungan untuk menentukan jumlah fraksi uap pada kondisi tertentu. Jumlah fraksi uap tersebut disimbolkan sebagai X. Pengertian kualitas uap didefinisikan sebagai sebuah persamaan berikut,

$$X_{\text{steam}} = \frac{h_{\text{steam}} - h_f}{h_g - h_f} \quad (\%)$$

Keterangan :

X_{steam} = kualitas uap (%)

h_{steam} = entalpi uap pada kualitas tertentu (kJ/kg)

h_f = entalpi fluida pada fase cair jenuh (kJ/kg)

h_g = entalpi fluida pada fase uap jenuh (kJ/kg)

$h_{fg} = (h_g - h_f)$ = selisih entalpi fluida fase gas dan cair (kJ/kg)

Nilai kualitas uap dapat digunakan untuk menunjukkan jumlah energy yang dikandung oleh uap tersebut pada tekanan dan temperature tertentu. (Tambunan, 2019).

2.9 Bahan Bakar

Bahan bakar yang digunakan pada uji kinerja *two drum cross section water tube boiler* adalah solar. Berikut adalah pembahasan mengenai jenis bahan bakar tersebut.

2.9.1 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.