

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Plastik

Plastik adalah salah satu jenis makromolekul yang dibentuk dengan proses polimerisasi. Polimerisasi adalah proses penggabungan beberapa molekul sederhana (monomer) melalui proses kimia menjadi molekul besar (makromolekul atau polimer). Plastik merupakan senyawa polimer yang unsur penyusun utamanya adalah karbon dan hidrogen. Untuk membuat plastik, salah satu bahan yang sering digunakan adalah naphta, yaitu bahan yang dihasilkan dari penyulingan minyak bumi atau gas alam. Sebagai gambaran, untuk membuat 1 kg plastik memerlukan 1,75 kg minyak bumi, untuk memenuhi kebutuhan bahan bakunya maupun kebutuhan energi prosesnya (Kumar *et al.* 2011)..

##### 2.1.1 *Expanded Polystyrene* (EPS)

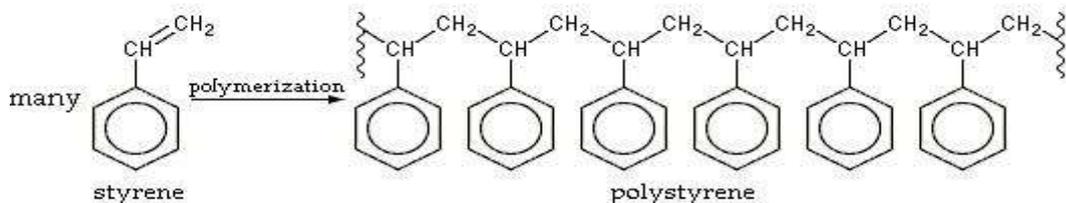
*Styrofoam* adalah kemasan makanan sekali pakai dari busa dan untuk berbagai makanan dan lainy. *Styrofoam* umumnya memiliki warna putih dan terlihat bersih, bentuknya juga simpel dan ringan. *Styrofoam* juga memiliki nama lain yaitu *polystirena*. *Styrofoam* merupakan jenis plastic *polystirena* yang terbentuk dari monomer stirena (Ramadhan dan Kholidah., 2019). Bahan baku polystirena dalah senyawa hidrokarbon (Salamah dan Maryudi., 2019). Strofoam merupakan salah satu pilihan yang paling populer untuk digunakan sebagai pengemasan barang-barang pada kalangan indsutri elektronika sebagai paking TV, kulkas, mesin cuci, komputer. Adapun butiran Styrofoam yang dijadikan untuk pengisi sofa. Styrofoam memiliki sifat terhadap tahan panas dan terhdapa korosif. Keunggulan styforoam yaitu ringan, fleksibel, tidak mudah pecah dan murah. Polysirena memiliki titik leleh pada suhu 180°C-250°C dan dapat terdekomposisi pada temperature 420°C (Rachmawati dan Herumurti., 2015). Stirena merupakan cairan yang tidak berwarnamenyerupai minyak memiliki rumus kimia  $C_6C_5CH=CH_2$  atau ditulis sebagai  $(C_8H_8)$

*Expanded Polystyrene* (EPS) merupakan plastik busa putih yang diproduksi dari butiran-butiran padat *polystyrene*. EPS paling banyak digunakan sebagai

kemasan industri untuk melindungi dan mengisolasi produk seperti peralatan medis, komponen elektronik, barang konsumen listrik, mainan, serta produk hortikultura selama transportasi dan penyimpanan. EPS merupakan busa kaku yang dihasilkan dari *styrene* dan *pentane* yang digunakan sebagai bahan pengisi. Stirena dan pentana adalah senyawa hidrokarbon yang diperoleh dari produk samping minyak bumi dan gas alam. EPS memiliki nilai konduktivitas termal dan daya penyerapan air yang rendah yaitu 0,035-0,037 W/ (m·K) at 10 °C, titik leleh plastik *Expanded Polystyrene* 82-103°C (Omnexus, 2020).

EPS atau yang sering disebut dengan nama *styrofoam* merupakan bahan plastik yang memiliki sifat khusus dengan struktur yang tersusun dari butiran dengan kerapatan rendah, mempunyai bobot ringan, dan terdapat ruang antar butiran yang berisi udara yang tidak dapat menghantar panas sehingga hal ini membuatnya menjadi isolator panas yang baik.

*Polystyrene* merupakan suatu jenis plastik yang dibuat dari monomer *styrene* melalui proses polimerisasi. Rumus molekulnya adalah  $(-\text{CHC}_6\text{H}_5-\text{CH}_2-)_n$ . *Polystyrene* ini bersifat sangat amorphous, mempunyai indeks refraksi tinggi, dan sukar ditembus oleh gas, kecuali uap air. Dapat larut dalam alkohol rantai panjang, kitin, ester hidrokarbon yang mengikat klorin. *Polystyrene* ini juga sangat ringan, kaku, tembus cahaya, dan murah, tetapi cepat rapuh. Karena kelemahannya tersebut, *polystyrene* dicampur dengan seng dan senyawa butadiena yang menyebabkan *polystyrene* kehilangan sifat jernihnya dan berubah warna menjadi putih susu (Hariady, dkk, 2014). Kemasan plastik berkode angka 6 dengan Rantai karbon PS dapat dilihat pada Gambar 2.5.

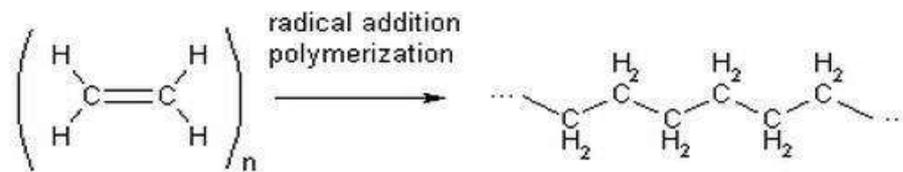


**Gambar 2. 1** Rantai Polystyrene

( Sumber: Kirk-Othmer, 2010)

### 2.1.2 High Density Polyethylene (HDPE)

Plastik jenis HDPE banyak digunakan untuk Karung, plastic tempat sampah, container kosmetik, botol susu, botol obat-obatan, mainan anak-anak. Menurut WS Hampshire, Inc., HDPE memiliki dampak ketahanan yang sangat baik, ringan rendah terhadap penyerapan air 0% (per 24 jam), titik leleh diatas 127°C (beberapa macam bekisar 135°C), HDPE bermassa jenis 0,95 Karakter dari jenis plastik ini adalah kuat, keras, buram dan tahan terhadap suhu tinggi sehingga mampu mencegah reaksi kimia antara kemasan dengan makanan dan lebih aman digunakan. (Andrew, 2010). Kode plastik jenis HDPE adalah angka 2. Adapun rantai hidrokarbon HDPE seperti pada Gambar 2.3.



**Gambar 2. 2** Rantai *Polyethylene* (HDPE)

( Sumber: *Kirk-Othmer*, 2010)

## 2.2 Katalis

Katalis adalah suatu zat yang mempercepat laju reaksi kimia pada suhu tertentu, tanpa mengalami perubahan atau terpakai oleh reaksi itu sendiri. Suatu katalis berperan dalam reaksi tapi bukan sebagai pereaksi ataupun produk. Katalis memungkinkan reaksi berlangsung lebih cepat atau memungkinkan reaksi pada suhu lebih rendah akibat perubahan yang dipicunya terhadap pereaksi. Katalis mengurangi energi yang dibutuhkan untuk berlangsungnya reaksi. Didalam industri, pemakaian katalis sangat penting karena dapat meningkatkan produk dan mengurangi biaya produksi.

### 2.2.1 Zeolit

Zeolit merupakan material yang memiliki banyak kegunaan. Zeolit telah banyak diaplikasikan sebagai adsorben, penukar ion, dan sebagai katalis. Zeolit adalah mineral kristal alumina silika tetrahidrat berpori yang mempunyai struktur kerangka tiga dimensi, terbentuk oleh tetrahedral  $[\text{SiO}_4]^{4-}$  dan  $[\text{AlO}_4]^{5-}$  yang saling

terhubungkan oleh atom-atom oksigen sedemikian rupa sehingga membentuk kerangka tiga dimensi terbuka yang mengandung kanal-kanal dan rongga-rongga yang di dalamnya terisi oleh ion-ion logam, biasanya adalah logam-logam alkali atau alkali tanah dan molekul air yang dapat bergerak bebas (Chetam, 1992).

### 2.2.2 Zeolit Alam

Zeolit alam terbentuk karena adanya proses kimia dan fisika yang kompleks dari batu-batuan yang mengalami berbagai macam perubahan di alam. Para ahli geokimia dan mineralogi memperkirakan bahwa zeolit merupakan produk gunung berapi yang membeku menjadi batuan vulkanik, batuan sedimen dan batuan metamorfosa yang selanjutnya mengalami proses pelapukan karena pengaruh panas dan dingin sehingga akhirnya terbentuk mineral-mineral zeolit. Anggapan lain menyatakan proses terjadinya zeolit berawal dari debu-debu gunung berapi yang beterbangan kemudian mengendap di dasar danau dan dasar lautan. Debu-debu vulkanik tersebut selanjutnya mengalami berbagai macam perubahan oleh air danau atau air laut sehingga terbentuk sedimen-sedimen yang mengandung zeolit di dasar danau atau laut tersebut (Setyawan, 2002). Zeolit alam adalah zeolit yang ditambang langsung dari alam. Dengan demikian harganya jauh lebih murah dibandingkan zeolit sintesis.

Zeolit alam merupakan mineral yang jumlahnya banyak tetapi distribusinya tidak merata, seperti *klinoptilolit*, *mordenit*, *phillipsit*, *chabazit* dan *laumontit*. Namun zeolit alam memiliki beberapa kelemahan, diantaranya mengandung banyak pengotor seperti Na, K, Ca, Mg dan Fe serta kristalinitasnya kurang baik. Keberadaan pengotor-pengotor tersebut dapat mengurangi aktivitas dari zeolit. Untuk memperbaiki karakter zeolit alam sehingga dapat digunakan sebagai katalis, absorben, atau aplikasi lainnya, biasanya dilakukan aktivasi dan modifikasi terlebih dahulu. Selain untuk menghilangkan pengotor-pengotor yang terdapat pada zeolit alam, proses aktivasi zeolit juga ditujukan untuk memodifikasi sifat-sifat dari zeolit, seperti luas permukaan dan keasaman. Luas permukaan dan keasaman yang meningkat akan menyebabkan aktivitas katalitik dari zeolit meningkat. Salah satu kelebihan dari zeolit adalah memiliki luas permukaan dan keasaman yang mudah dimodifikasi (Yuanita, 2010).

### 2.2.3 Sifat-Sifat Kimia dan Fisika Zeolit

Halimantun Hamdan (1992) mengemukakan bahwa zeolit merupakan suatu mineral berupa kristal silika alumina yang terdiri dari tiga komponen yaitu kation yang dapat dipertukarkan, kerangka alumina silikat dan air. Air yang terkandung dalam pori tersebut dapat dilepas dengan pemanasan pada temperatur 300-400 °C. Pemanasan pada temperatur tersebut, air dapat keluar dari pori-pori zeolit sehingga zeolit dapat berfungsi sebagai penyerap gas atau cairan (Sutarti, 1994). Jumlah air yang terkandung dalam zeolit sesuai dengan banyaknya pori atau volume pori. Zeolit banyak ditemukan dalam batuan. Kerangka dasar struktur zeolit terdiri dari unit-unit tetrahedral  $AlO_4^{2-}$  dan  $SiO_4^{4-}$  yang saling berhubungan melalui atom O dan di dalam struktur  $Si^{4+}$  dapat diganti dengan  $Al^{3+}$ . Ikatan Al-O-Si membentuk struktur kristal sedangkan logam alkali atau alkali tanah merupakan sumber kation yang dapat dipertukarkan (Sutarti, 1994). Kerangka struktur tiga dimensi senyawa alumina silikat terdiri atas dua bagian, yaitu bagian netral dan bagian bermuatan. Bagian netral semata-mata dibangun oleh silikon dan oksigen dan jenisnya bervariasi antara  $SiO_4^{4-}$  sampai  $SiO_2$  dengan perbandingan Si:O dari 1:4 sampai 1:2. Bagian bermuatan dibangun oleh ion aluminium yang kecil dan oksigen. Dalam bagian ini terjadi penggantian ion pusat silikon bervalensi empat dengan kation aluminium yang bervalensi tiga, sehingga setiap penggantian ion silikon dan ion aluminium memerlukan satu ion logam alkali atau alkali tanah yang monovalen atau setengah ion logam divalen, seperti :  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Ba^{2+}$ ,  $Sr^{2+}$ , dan lain-lain untuk menetralkan muatan listriknya.

### 2.3 Pirolisis

Pirolisis berasal dari kata *pyro* yang berarti api dan *lyo* yang berarti pelepasan. Pirolisis merupakan proses konversi atau dekomposisi kimia dan termal pada suhu tinggi dan terurai menjadi ikatan molekul yang lebih kecil. Pirolisis sering disebut juga sebagai termolisis yang merupakan proses terhadap suatu materi dengan menambahkan aksi suhu tinggi tanpa adanya udara. Secara singkat, pirolisis dapat diartikan sebagai pembakaran tanpa oksigen (Yulianty dan Arteria, 2018).

Proses pirolisis dapat dilakukan pada berbagai level suhu, waktu reaksi, tekanan dan dengan adanya katalis atau tidak. Proses pirolisis plastik dapat berlangsung pada suhu rendah ( $<400\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), suhu sedang ( $400\text{-}600\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) dan suhu tinggi ( $>600\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Kondisi tekanan biasanya pada tekanan 1 atmosfer. Tekanan subatmosfer (vakum) biasanya digunakan jika produk yang diinginkan tidak stabil secara termal, contohnya pada proses repolimerisasi, pirolisis karet dan stirena. Pada proses pirolisis, bahan polimer dipanaskan sampai suhu tinggi sehingga struktur makromolekul polimer dipecah menjadi molekul yang lebih kecil dan spektrum yang luas dari hidrokarbon yang terbentuk. Produk dari hasil proses pirolisis dapat dibagi menjadi tiga, yaitu fraksi gas, fraksi cair dan residu padat (Das S, Shaurab P, 2007). Berikut ini merupakan beberapa faktor yang mempengaruhi proses pirolisis:

#### 1. Temperatur

Temperatur adalah variabel operasi terpenting, karena menentukan kecepatan dekomposisi termal dan stabilitas raw material dan produk reaksi. Suhu tinggi ( $>600\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) dan kondisi operasi vakum menghasilkan produk gas-gas sederhana, suhu rendah dan tekanan tinggi menghasilkan produk yang lebih *viscous*, rate pirolisis yang tinggi, kecenderungan membentuk arang, lebih banyak produk sekunder, dan dehidrogenasi. Permulaan dari reaksi pirolisis sangat dipengaruhi oleh adanya zat aditif, seperti stabilizer, *plasticizer*, dan *pigments*.

#### 2. Waktu Reaksi

Waktu reaksi yang dibutuhkan pada prinsipnya ditentukan oleh suhu reaksi. Pembentukan produk primer seperti monomer biasanya pada waktu tinggal yang pendek, sementara untuk pembentukan produk-produk yang stabil secara termodinamika ( $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$ , senyawa aromatik, karbon) membutuhkan waktu yang lama. Tekanan rendah (vakum) menghasilkan produk primer berupa monomer, sementara tekanan tinggi menghasilkan produk fraksi liquid yang kompleks (Rizka dan Sri Rachmania, 2013).

## 2.4 *Catalytic Cracking*

Cara ini menggunakan katalis untuk melakukan reaksi pemecahan molekul. Dengan adanya katalis, dapat mengurangi temperatur dan waktu reaksi.

Lin YH, dkk (2004) melakukan penelitian tentang pirolisis terhadap plastik yang terkontaminasi untuk memperoleh senyawa hidrokarbon. Pirolisis dilakukan di dalam reaktor tabung dengan memasukkan material plastik. Plastik yang diproses, yaitu HDPE dalam kondisi bersih. Dalam penelitian ini temperatur pirolisis 500°C. Pirolisis dilakukan dengan katalis (*thermo-catalytic pyrolysis*) dan tanpa katalis (*thermal pyrolysis*). Katalis yang digunakan adalah Y-zeolit. Dari penelitian ini diketahui bahwa HDPE yang terkontaminasi produk volatilnya lebih tinggi dan densitasnya juga lebih tinggi. Pemakaian katalis mempengaruhi proses perengkahan pada HDPE yang tidak terkontaminasi, tetapi pada HDPE yang terkontaminasi pengaruh pemakaian katalis tidak signifikan. Pemakaian katalis menurunkan densitas dari minyak yang dihasilkan dari proses pirolisis.

## 2.5 **Thermal Cracking**

Teknologi untuk mengkonversi sampah plastik menjadi bahan bakar cair yaitu dengan proses cracking (perengkahan).

Proses perengkahan thermal (*Thermal Cracking*) adalah suatu proses pemecahan rantai hydrocarbon dari senyawa rantai panjang menjadi hidrocarbon dengan rantai yang lebih kecil melalui bantuan panas. Suatu proses perengkahan thermal bertujuan untuk mendapatkan fraksi minyak bumi dengan *boiling range* yang lebih rendah dari feed (umpannya). Dalam proses ini dihasilkan gas, *gasoline* (naphtha), diesel, residu atau *coke*. Pada reaksi perengkahan akan terjadi pemutusan ikatan C-C (*C-C bond scission*), dehidrogenasi, isomerisasi dan polimerisasi (Surono, 2013).

Thermal Cracking juga dikenal dengan sebutan Proses Pirolisis. Proses pirolisis plastik menjadi cara yang paling potensial yang dapat digunakan untuk mengkonversi limbah plastik menjadi bahan bakar minyak (Urrutia et al. 2016). Pirolisis merupakan dekomposisi dari material tanpa adanya oksigen atau sedikit oksigen (Brems et al. 2012). Pada penelitian yang dilakukan Siddiqui dan Redwhi (2009), pirolisis dapat mereduksi sampah plastik campuran hingga 90%.

Pirolisis plastik menghasilkan tiga jenis produk yaitu, produk cair (minyak), gas dan residu padat (Bajus and Hájeková 2010). Alat pirolisis plastik memiliki potensi yang sangat baik sebagai alat konversi energi, terutama untuk limbah plastik yang sulit untuk ditangani.

## **2.6 Proses yang Terjadi di Reaktor**

Proses pirolisis dilakukan menggunakan reaktor pirolisis dengan diameter 22 cm dan tinggi 45 cm. Limbah plastik yang digunakan adalah limbah plastik *Expanded Polystyrene* dan HDPE sebanyak 2 kg dengan katalis zeolite alam sebanyak 400 gram. Bahan baku dicampurkan dan dimasukkan ke dalam reaktor. Reaktor dalam keadaan sedikit atau tanpa udara dipanaskan menggunakan burner selama 60 menit. Pada saat temperatur mencapai titik leleh plastik *Styrofoam* dan HDPE yaitu 82-103°C untuk *Styrofoam* sedangkan HDPE diatas 127°C, plastik akan mencair dan rantai panjang hidrokarbon plastik akan terpotong menjadi rantai pendek. Produk yang dihasilkan dari proses pirolisis adalah arang (char), minyak dan gas. Pada pipa keluaran reaktor terdapat *pressure gauge* yang berfungsi untuk mengukur tekanan didalam reaktor. Ketika tekanan mencapai 5 bar, *gate valve* akan dibuka secara perlahan. Gas akan naik ke atas menuju separator

## **2.7 Sistem Kerja Separator**

Separator adalah tabung bertekanan dan bertemperatur tertentu yang digunakan untuk memisahkan fluida. Separator yang digunakan berjenis separator *vertical* dengan diameter 11 cm dan tinggi 110 cm. Sistem kerja dari separator pada pirolisis ini yaitu gas hasil proses dari reaktor menuju ke separator melalui *inlet* separator. Pada separator, gas akan naik keatas dan keluar melalui tiga pipa keluaran. Gas akan turun menuju kondenser dan dikondensasi menjadi minyak. Minyak pirolisis ini perlu dilakukan analisa GC-MS untuk mengetahui dengan pasti senyawa yang terkandung didalam minyak. Setelah mengetahui kandungan senyawa yang terdapat didalam minyak maka dapat diketahui jenis minyak tersebut.

## **2.8 Sistem Kerja Kondenser**

Kondensor adalah alat penukar panas (*heat exchanger*) yang digunakan untuk mengkondensasikan atau mengubah fase gas menjadi cair. Pada proses pirolisis ini, jenis kondensor yang digunakan adalah *water condenser*. *Water condenser* memanfaatkan air sebagai media pendingin. Sistem kerja *water condenser* adalah gas panas dari separator mengalir melalui pipa menuju *water condenser*. Ketika gas panas mengenai air di dalam *water condenser*, gas panas akan berubah fase menjadi minyak. Air dan minyak pirolisis memiliki massa jenis yang berbeda, massa jenis air lebih besar dibandingkan massa jenis minyak sehingga air akan berada dibawah. Setelah gas panas dari pipa separator habis, minyak yang berada di dalam *water condenser* dapat dikeluarkan dengan cara membuka valve yang berada dibagian bawah *water condenser*. Valve ini terhubung dengan pipa kapiler, air di dalam *water condenser* diisi sebelum mencapai pipa kapiler sehingga ketika valve dibuka maka yang keluar adalah minyak pirolisis.

## **2.9 Bahan Bakar Cair**

Bahan bakar cair adalah bahan bakar yang strukturnya tidak rapat, jika dibandingkan dengan bahan bakar padat molekulnya dapat bergerak bebas. Gasoline, solar, kerosen adalah contoh bahan bakar cair. Bahan bakar cair yang biasa dipakai pada industri, transportasi maupun rumah tangga adalah fraksi minyak bumi. Minyak bumi adalah campuran berbagai hidrokarbon yang termasuk dalam kelompok senyawa : parafin, naphtena, olefin, dan aromatik.

Dengan kemudahan penggunaan, penanganan serta pengangkutan yang lebih mudah, menyebabkan penggunaan minyak bumi sebagai sumber utama penyedia energi semakin meningkat. Menurut data ESDM (2006) cadangan minyak Indonesia hanya tersisa sekitar 9 miliar barel. Apabila terus dikonsumsi tanpa ditemukannya cadangan minyak baru, diperkirakan cadangan minyak ini akan habis dalam dua dekade mendatang. .

### **2.9.1 Bensin**

Bensin adalah campuran kompleks yang terdiri dari senyawa-senyawa hidrokarbon yang digunakan sebagai bahan bakar mesin motor bakar (Rita, N., 2016). Menurut Permana (2010) dikutip dari Kholidah N (2014), Bensin didapat

dari hasil proses distilasi minyak bumi menjadi fraksi-fraksi yang diinginkan. Jangkauan titik didih senyawa ini antara lain 40 °C sampai 220 °C yang terdiri dari senyawa karbon C<sub>5</sub>-C<sub>12</sub>. Berikut ini merupakan spesifikasi bahan bakar bensin 88 yang dipasarkan di dalam negeri berdasarkan surat keputusan Direktur Jendral Minyak dan Gas Bumi Nomor 3674.K/24/DJM/2006: Standar dan mutu (Spesifikasi) bensin dapat dilihat pada tabel 2.2

### 2.9.2 Kerosin

Minyak tanah atau disebut juga dengan kerosin merupakan bahan bakar yang diperoleh dengan cara distilasi bertingkat pada suhu 150°C - 275°C. Minyak ini tidak berwarna (jernih). Memiliki rantai karbon dari C<sub>11</sub> sampai C<sub>15</sub>. Selain digunakan sebagai bahan bakar lampu minyak dan kompor, namun sekarang penggunaan kerosin lebih diprioritaskan sebagai bahan bakar kendaraan bermesin jet atau roket. Standar dan mutu (Spesifikasi) kerosin dapat dilihat pada tabel 2.3

### 2.9.3 Solar

Menurut Susilo (2014) dikutip dari Rafmiwati (2018), Bahan bakar solar adalah fraksi minyak bumi dengan warna solar komersial kuning coklat yang jernih dan mendidih sekitar temperatur 175-370 °C. Berikut ini merupakan spesifikasi bahan bakar solar 48 yang dipasarkan di dalam negeri berdasarkan surat keputusan Direktur Jendral Minyak dan Gas Bumi Nomor 28.K/10/DJM.T/2016: Standar dan mutu (Spesifikasi) solar dapat dilihat pada tabel 2.4

## 2.10 Sifat Fisik-Kimia Produk

### 2.10.1 Massa Jenis

Massa jenis atau *density* adalah kuantitas konsentrasi zat yang dinyatakan dalam massa persatuan volume. Nilai massa jenis suatu zat dipengaruhi oleh temperatur. Semakin tinggi temperatur, kerapatan suatu zat semakin rendah karena molekul molekul yang saling berikatan akan terlepas. Kenaikan temperatur menyebabkan volume suatu zat bertambah, sehingga massa jenis dan volume suatu zat memiliki hubungan yang berbanding terbalik. Secara matematika massa jenis dinyatakan dengan persamaan (Saputra, A.T., dkk, 2017):

—

Dengan  $\rho$  adalah densitas ( $\text{gr/cm}^3$ ),  $m$  adalah massa sampel (gr) dan  $v$  adalah volume piknometer ( $\text{cm}^3$ ).

#### 2.10.2 Viskositas

Viskositas adalah daya hambatan yang dilakukan oleh cairan untuk mengalir pada suhu tertentu, yaitu berupa bilangan yang menunjukkan mudah tidaknya suatu fluida mengalir pada suhu tertentu. Cara menentukan viskositas suatu zat menggunakan alat yang dinamakan viskometer. Prinsip kerjanya adalah menggelindingkan bola (yang terbuat dari kaca) melalui tabung gelas yang berisi zat cair yang diselidiki. Kecepatan jatuhnya bola merupakan fungsi dari harga resiprok sampel (Rita, N., 2016). Viskositas dinyatakan dengan persamaan berikut ini : Dengan  $v$  adalah viskositas kinematik (cSt),  $\mu$  adalah viskositas dinamik (cp) dan  $\rho_f$  adalah densitas fluida ( $\text{gr/cm}^3$ ).

#### 2.10.3 Titik Nyala

Titik nyala adalah suatu titik dimana pada temperatur terendah minyak menghasilkan cukup uap untuk menyambar suatu percikan api sehingga terjadi pembakaran sesaat. Makin tinggi  $^{\circ}\text{API gravity}$  nya, titik didihnya makin rendah, maka jelaslah *flash point* juga makin rendah dan mudah dapat terbakar karena percikan api (Rita, N., 2016).

#### 2.10.4 Nilai Kalor

Menurut Lubis (2007) dikutip dari Komariah, dkk (2013), Nilai kalor atau *heating value* adalah jumlah energi yang dilepaskan pada proses pembakaran per satuan volume atau per satuan massa. Satuan nilai kalor adalah kalori. Air dalam bahan bakar cair merupakan air eksternal, berperan sebagai pengganggu.

#### 2.10.5 Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GCMS)

GCMS merupakan metode yang mengkombinasikan kromatografi gas dan spektrometri massa untuk mengidentifikasi senyawa yang berbeda dalam analisis sampel. Dengan menggabungkan teknik tersebut diharapkan dapat meningkatkan

kemampuan dalam menganalisis sampel dengan mengambil kelebihan masing-masing teknik dan meminimalisir kekurangannya.

GCMS terdiri dari dua blok bangunan utama : kromatografi gas dan spektrometer massa. Kromatografi gas menggunakan kolom kapiler yang tergantung pada dimensi kolom itu (panjang, diameter, ketebalan film) serta sifat fase. Perbedaan sifat kimia antara molekul-molekul yang berbeda dalam suatu campuran dipisahkan dari molekul dengan melewati sampel sepanjang kolom. Molekul-molekul memerlukan jumlah waktu yang berbeda (disebut waktu retensi) untuk keluar dari kromatografi gas, dan ini memungkinkan spektrometer massa untuk menangkap, ionisasi, mempercepat, membelokkan, dan mendeteksi molekul terionisasi secara terpisah. Spektrometer massa melakukan hal ini dengan memecah masing-masing molekul menjadi terionisasi mendeteksi fragmen menggunakan massa untuk mengisi rasio.

**Tabel 2. 1 Standar dan Mutu (Spesifikasi) Bensin 88**

No.	Karakteristik	Satuan	Batasan		Metode Uji	
			Min.	Maks.	ASTM	Lain
1.	Bilangan Oktana Angka Oktana Riset (RON)					
		RON	88,0	-	D 2699	
2.	Stabilitas Oksidasi	Menit	360	-	D 525	
3.	Kandungan Sulfur	%m/m	-	0,05	D 2622 atau D 4294 atau D 7039	
4.	Kandungan Timbal (Pb)	g/l		0,013	D 3237	
			- Injeksi timbal tidak diijinkan			
5.	Kandungan Logam (Mangan, Besi)	mg/l	Tidak Terlacak		D 3831 atau D 5185	UOP 391
6.	Kandungan Oksigen	%m/m	-	2,7	D 4851 atau D 6839 atau D 6730	
7.	Kandungan Olefin	%v/v	Dilaporkan		D 1319 atau D 6839 atau D 6730	
8.	Kandungan Aromatik	%v/v			D 1319 atau D 6839 atau D 6730	
9.	Kandungan Benzena	%v/v			D 5580 atau D 6839 atau D 6730 atau D 3606	
10.	Distilasi : 10% vol. penguapan 50% vol. penguapan 90% vol. penguapan Titik didih akhir Residu				D 86	
		°C	-	74		
		°C	75	125		
		°C	-	180		
		°C	-	215		
		%vol	-	2,0		
11.	Sedimen	mg/l	-	1	D 5452	
12.	<i>Unwashed gum</i>	mg/ 100 ml		70	D 381	
13.	<i>Washed gum</i>	mg/ 100 ml		5	D 381	
14.	Tekanan Uap	kPa		69	D 5191 atau D 323	
15.	Berat Jenis (pada suhu 15°C)	kg/m <sup>3</sup>		770	D 4052 atau D 1298	
16.	Korosi bilah tembaga	Merit	Kelas I		D 130	
17.	Sulfur Mercaptan	%massa	-	0,002	D 3227	
18.	Penampilan visual		Jernih dan terang			
19.	Bau		Dapat dipasarkan			
20.	Warna		Kuning			
21.	Kandungan pewarna	g/100 l	-	0,13		

(Sumber : Dirjen Minyak dan Gas Bumi, 2013)

**Tabel 2. 2** Standar dan Mutu (Spesifikasi) Minyak Tanah

No	Karakteristik	Satuan	Batasan SNI Minyak Tanah		Metode Uji	
			Min.	Maks.	ASTM	Lain
1.	Berat Jenis (pada suhu 15°C)	Kg/m <sup>3</sup>	-	835	D1298/D4052	-
2.	Titik Asap	Mm	15	-		
3.	Nilai Jelaga ( <i>Char Value</i> )	%m/m	-	0,004	-	IP 10
4.	Distilasi :				D 86	
4.1	Prolehan Volume (pada 200°C)	% vol	18	-	-	-
4.2	Titik akhir		-	310	-	
5.	Titik Nyala Abel		38,0	-	-	IP 170
6.	Kandungan Sulfur	%m/m	-	0,20	D 1266 atau D 2622 atau D 4294 atau D 5453	
7.	Korosi Bilah Tembaga	Menit	Kelas I		D 130	-
8.	Bau an Warna	-	Dapat dipasarkan		-	-

(Sumber : Dirjen Minyak dan Gas Bumi, 2020)

**Tabel 2. 3** Standar dan Mutu (Spesifikasi) Solar 48

No.	Karakteristik	Satuan	Batasan SNI Minyak Solar 48		Metode Uji	
			Min.	Maks.	ASTM	Lain
1.	Bilangan Setana Angka Setana atau Indeks Setana		48		D613	
			45	-	D4737	
2.	Berat Jenis (pada suhu 15°C)	Kg/m <sup>3</sup>	815	870	D4052/D1298	
3.	Viskositas (pada suhu 40°C)	mm <sup>2</sup> /s	2,0	4,5	D445	
4.	Kandungan Sulfur	% m/m	-	0,35 <sup>1</sup> 0,30 <sup>2</sup> 0,25 <sup>3</sup> 0,05 <sup>4</sup> 0,005 <sup>5</sup>	D4294/D5453	
5.	Distilasi : 90% vol. Penguapan	C°	-	370	D86	
6.	Titik Nyala	C°	52	-	D93	
7.	Titik Kabut	C°		18	D2500	
8.	Titik Tuang	C°		18	D97	
9.	Residu Karbon	% m/m	-	0,1 <sup>4</sup>	D189	
10.	Kandungan Air	mm/kg	-	500	D6304	
11.	Kandungan FAME	% v/v	-	20	D7086/D7371	
12.	Korosi Bilah Tembaga		-	Kelas 1	D130	
13.	Kandungan Abu	% m/m	-	0,01	D482	
14.	Kandungan Sedimen	% m/m	-	0,01	D473	
15.	Bilangan Asam Kuat	Mg KOH/g	-	0	D664	
16.	Bilangan Asam Total	Mg KOH/g	-	0,6	D664	
17.	Penampilan visual		Jernih dan Terang	69	D 381	
18.	Warna	No. ASTM	-	3,0	D1500	
19.	Lubricity (HFRR wear scar dia (60°C))	Micron	-	460	D6079	

20.	Kestabilan Oksidasi Metode Rancimat	Jam	35			ENI 5751
-----	--	-----	----	--	--	-------------

*(Sumber : Dirjen Minyak dan Gas Bumi, 2016)*