

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Ban

Ban adalah material komposit yang tersusun dari karet, baja, dan serat. Ban juga merupakan salah satu polimer sintetis (polistirena) yang berbahan dasar karet (Hondono., 2017). Ban tersusun atas bahan karet atau polimer yang sangat kuat diperkuat dengan serat-serat sintetik dan baja yang sangat kuat menghasilkan suatu bahan yang mempunyai sifat-sifat unik seperti kekuatan tarik yang sangat kuat, fleksibel, ketahanan pergeseran yang tinggi. Sebuah ban mengandung tiga puluh jenis karet sintetis, delapan jenis karet alam, delapan jenis karbon hitam, tali baja, poliester, nilon, manik-manik baja, silika, dan empat puluh jenis bahan kimia, minyak dan pigmen. Kandungan kimia yang terdapat pada ban kendaraan bermotor dapat dilihat pada Tabel 2.1.

**Tabel 2.1** Kandungan Kimia Karet Ban Kendaraan Bermotor

Nomor	Jenis Pemeriksaan	Hasil
1	Kadar karet alam	25 %
2	Kadar karet butadiena-stirena	15 %
3	Kadar butil karet	5 %
4	Kadar karbon hitam	35 %
5	Kadar ZnO	4 %
6	Kadar <i>oil</i> / nafta / aromatik	4 %
7	Kadar kotoran / debu / kaolin / kalsium	12 %

(Arita dkk., 2015)

*Cracking* karet ban bekas pada temperatur tinggi adalah proses paling sederhana untuk daur ulang karet ban bekas. Pada proses ini material polimer atau karet ban bekas dipanaskan pada temperatur tinggi. Proses pemanasan ini menyebabkan struktur makromolekul dari karet terurai menjadi molekul yang lebih kecil dan hidrokarbon rantai pendek terbentuk. Produk yang dihasilkan berupa fraksi gas, residu padat, dan fraksi cair yang mengandung parafin, olefin, nafta, dan aromatis (Arita dkk., 2015).

#### 2.2 *Polystyrene*

*Polystyrene* adalah plastik polimer dengan monomer stirena yang mudah dibentuk bila dipanaskan, rumus molekulnya adalah  $(-CHC_6H_5-CH_2-)_n$ . Pada suhu ruangan, polistirena biasanya berbentuk termoplastik padat dan dapat mencair pada temperatur yang lebih tinggi (Kholidah dkk., 2019).

*Polystyrene* merupakan hidrokarbon parafin yang terbentuk dengan cara reaksi polimerisasi, Polistirena memiliki berat molekul ringan dan memiliki bentuk padatan murni yang tidak berwarna, bersifat ringan, keras, tahan terhadap panas, agak kaku, tidak mudah patah, tidak beracun, memiliki kestabilan yang tinggi, tahan terhadap air, tahan terhadap bahan kimia non-organik, tahan terhadap alkohol, dan sangat mudah terbakar (Supriyanto dkk., 2017). Untuk sifat-sifat fisik polistirena dapat dilihat pada Tabel 2.2.

**Tabel 2.2** Sifat Fisik Polistirena

Sifat Fisik	Ukuran
Densitas	1.050 kg/m <sup>3</sup>
Densitas EPS	25 – 200 kg/m <sup>3</sup>
Konduktivitas listrik (s)	10 <sup>-16</sup> S/m
<i>Specific gravity</i>	1,05
Konduktivitas panas (k)	0,08 W/m.K
Modulus <i>Young</i> (E)	3.000 – 3.600 Mpa
Kekuatan tarik (s <sub>t</sub> )	40 – 60 Mpa
Perpanjangan	3 – 4 %
<i>Notch test</i>	2 – 5 kJ/m <sup>2</sup>
Temperatur transisi gelas (T <sub>g</sub> )	95 °C
Titik leleh	240 °C
<i>Heat transfer coefficient</i> (Q)	0,17 W/m <sup>2</sup> .K
<i>Specific heat</i>	1,3 kJ/kg.K

(Handono, 2017)

### 2.3 Pirolisis

Pirolisis yaitu pemanasan dalam kondisi bebas oksigen pada temperatur (250 – 900 °C) dengan menguraikan senyawa organik dari suatu bahan menjadi produk cair dan gas dengan melepaskan ikatan bahan-bahan anorganik yang terikat. Proses pirolisis menghasilkan tiga produk yang berupa *liquid*, *solid charcoal*, dan gas (Syamsiro dkk., 2019). Proses pirolisis dapat disebut juga dengan proses perengkahan atau *cracking*. *Cracking* adalah proses pemecahan rantai polimer menjadi senyawa dengan berat molekul yang lebih rendah. Ada tiga macam proses *cracking* yaitu *hydrocracking*, *thermal cracking* dan *catalytic cracking* (Chen., dkk., 2014).

#### 2.3.1 Hydrocracking

*Hydrocracking* adalah proses peretakan dengan mereaksikan bahan dengan hidrogen di dalam wadah tertutup yang dilengkapi dengan pengaduk pada temperatur antara 423 – 673 K dan tekanan hidrogen 3 – 10 MPa. Dalam proses *hydrocracking* ini dibantu dengan katalis. *Hydrocracking* biasanya melibatkan reaksi hidrogen dengan katalis yang berlebih dalam *autoclave batch* yang diaduk pada temperatur tinggi dan bertekanan guna memperoleh kualitas bensin yang tinggi. Untuk membantu pencampuran dan reaksi biasanya digunakan bahan pelarut *1-methyl naphthalene*, tetralin dan decalin. Katalis berfungsi untuk menggabungkan kegiatan hidrogenasi dan *cracking* (Handono., 2017).

### 2.3.2 Thermal Cracking

*Thermal cracking* termasuk proses pirolisis, yaitu dengan cara memanaskan bahan polimer tanpa oksigen melalui proses dekomposisi kimia dan termal. Di sebagian besar proses, udara dihilangkan untuk alasan keamanan, kualitas produk, dan *yield*. Proses *thermal cracking* dapat dilakukan di berbagai temperatur, waktu reaksi, tekanan, dan katalis reaktif. Pirolisis ban bekas dapat dilakukan pada temperatur rendah (150 °C), menengah (150 – 600 °C), dan tinggi (>600 °C). Dari proses ini akan dihasilkan arang, minyak dari kondensasi gas seperti parafin, isoparafin, olefin, naftalena, dan aromatik, serta gas yang memang tidak bisa terkondensasi (Handono., 2017).

### 2.3.3 Catalytic Cracking

Reaksi *catalytic cracking* atau peretakan katalitik adalah reaksi peretakan menggunakan katalis (katalis heterogen) sebagai material yang mampu mempercepat laju reaksi untuk mencapai kesetimbangan dan menghasilkan produk akhir reaksi melalui mekanisme pembentukan ion karbonium (Layla. dkk., 2017). Ion karbonium yang sudah terbentuk dapat mengalami pemutusan rantai pada posisi beta untuk membentuk olefin dan ion karbonium baru. Katalisator di sini berfungsi untuk memecah hidrokarbon rantai panjang menjadi rantai pendek. Di samping itu, katalisator mampu meningkatkan kecepatan dekomposisi dan memperbesar produk cair hasil pirolisis (Danarto, 2010). Katalis heterogen lebih mudah terpisah dari medium reaksi namun susah dalam penonaktifan karena dapat menjadi *coke* sedangkan katalis homogen sulit untuk dikeluarkan dari produk akhir sehingga katalis lebih mudah menjadi lumpur. Tabel 2.3 menunjukkan perbedaan antara *thermal cracking* dan *catalytic cracking*.

**Tabel 2.3** Perbandingan antara Thermal Cracking dan Catalytic Cracking

Thermal Cracking	Catalytic Cracking
Tanpa katalis	Menggunakan katalis
Temperatur lebih tinggi	Temperatur lebih rendah
Tekanan lebih tinggi	Tekanan lebih rendah
<i>Free radical reaction mechanism</i>	<i>Ionic reaction mechanisms</i>
<i>Moderate thermal efficiency</i>	<i>High thermal efficiency</i>
<i>Moderate yields of gasoline and other distillates</i>	<i>Good integration of cracking and regeneration</i>
<i>Gas yields feedstock dependent</i>	<i>High yield of gasoline and other distillates</i>
<i>Alkanes produced but feedstock-dependent yields</i>	<i>Low gas yields</i>
<i>Low octane number gasoline</i>	<i>Low n-alkane yields</i>
<i>Some chain branching in alkanes</i>	<i>High octane number</i>
<i>Low-to-moderate yield of C4 olefins</i>	<i>Chain branching and high yield of C4 olefins</i>
<i>Low-to-moderate yield of aromatics</i>	<i>High yield of aromatics</i>

(Speight, 2013)

## 2.4 Katalis

Katalis merupakan suatu zat yang dapat meningkatkan kecepatan reaksi terhadap suatu kesetimbangan tanpa adanya zat katalis yang dikonsumsi, setelah selesai katalis dapat diperoleh kembali (Afif. dkk., 2017). Katalis digunakan dalam pirolisis untuk memperoleh kualitas bahan bakar cair yang lebih tinggi yang setara dengan bahan bakar premium. Katalis berperan penting dalam proses termokimia karena dapat *promoting targeted reactions*, mengurangi temperatur reaksi, dan menaikkan efisiensi proses sistem (Devy., 2016).

Pada proses konversi limbah ban, katalis yang digunakan adalah zeolit alam, dengan variasi jumlah katalis yang digunakan adalah 2%, 4%, 6%, 8% dan 10% dari jumlah baku. Tujuan digunakannya katalis adalah untuk menurunkan temperatur reaksi, mempercepat reaksi dekomposisi, dan memperbaiki kualitas produk.

### 2.4.1 Zeolit Alam

Zeolit merupakan kristal alumina-silikat yang dibentuk oleh struktur pori seragam yang memiliki minimum diameter saluran sekitar 0,3-1 nm. Ukuran zeolit tergantung pada jenis zeolit. Zeolit memiliki aktivitas dan selektivitas yang tidak biasa untuk berbagai variasi reaksi katalis asam yang sebagian besar disebabkan sifat keasaman. Struktur zeolit terdiri atas kerangka tiga dimensi  $\text{SiO}_4$  atau tetrahedral  $\text{AlO}_4$ . Masing-masing terdiri dari atom Silikon dan Aluminium di pusat. Atom oksigen terletak berdampingan membentuk tetrahedral di mana dapat berada pada berbagai rasio dan tersusun dari berbagai cara. Kerangka yang

terbentuk terdiri atas pori-pori, saluran-saluran, dan ruang kosong. Rumus kimia unit sel zeolit adalah  $M_{a/n}[(AlO_2)_a(SiO_2)_b].wH_2O$  (Prasetyo, 2012).

Zeolit dibedakan menjadi dua, yaitu zeolit alam dan zeolit sintetis. Zeolit alam merupakan mineral yang jumlahnya banyak tetapi distribusinya tidak merata. Contoh zeolit alam yang sering ditemukan adalah *klinoptilolit*, *mordenit*, *phillipsit*, *chabazit* dan *laumontit* (Mustahiroh, 2020). Namun zeolit yang ditambang langsung dari alam masih mengandung pengotor-pengotor organik, seperti Na, K, Ca, Mg dan Fe baik berwujud kristal maupun amorf 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 (Yanti, 2015).

Proses aktivasi zeolit alam dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu secara fisika dan kimia. Secara fisika dapat dilakukan melalui pemanasan dengan tujuan untuk menguapkan air yang terperangkap di dalam pori-pori kristal zeolit sehingga luas permukaannya bertambah. Proses pemanasan zeolit dikontrol dikarenakan pemanasan yang berlebihan kemungkinan akan menyebabkan zeolit tersebut rusak. Secara kimia dilakukan dengan tujuan untuk membersihkan permukaan pori, membuang senyawa pengotor, dan mengatur kembali letak atom yang dapat dipertukarkan. Proses aktivasi zeolit dengan perlakuan asam HCl pada konsentrasi 0,1-1 N menyebabkan zeolit mengalami dealuminasi dan dekationisasi, yaitu keluarnya Al dan kation-kation dalam kerangka zeolit. Aktivasi asam menyebabkan terjadinya dekationisasi yang menyebabkan bertambahnya luas permukaan zeolit karena berkurangnya pengotor yang menutupi pori-pori zeolit (Mustahiroh, 2020).

## **2.5 Bahan Bakar Cair**

### **2.5.1 Diesel (Solar)**

Bahan bakar solar adalah fraksi minyak bumi dengan warna solar komersial kuning coklat yang jernih dan mendidih sekitar temperatur 175-370 °C. Penggunaan solar pada umumnya adalah untuk bahan bakar pada semua jenis mesin diesel dengan putaran tinggi (diatas 1000 rpm) (Susilo, 2014). Bahan bakar disel memiliki rantai atom  $C_{13} - C_{20}$  (Kholidah dkk., 2017). Bahan bakar diesel ini biasanya disebut juga *Industrial Diesel Oil* (IDO) dan *Automotive Diesel Oil* (ADO). Kualitas bahan bakar diesel dengan bilangan

setana. Bilangan setana mengindikasikan kesiapan mesin diesel untuk menyala secara spontan pada temperatur dan tekanan rendah, semakin tinggi bilangan setana, maka waktu penundaan antara injeksi dan penyalaan semakin pendek dan kualitas penyalaan semakin baik (Fadarina dkk., 2018).

Bahan bakar diesel yang beredar di Indonesia salah satunya adalah solar 48 yang memiliki bilangan setana (*cetane number*) minimum 48. Spesifikasi solar 48 dapat dilihat pada Tabel 2.4.

**Tabel 2.4** Standar untuk Solar 48 SNI 8220:2017

No	Karakteristik	Satuan	Batasan SNI Minyak Solar 48		Metode Uji	
			Min.	Maks.	ASTM	Lain-Lain
1	Bilangan Setana		48	-	D613	
	Indeks Setana		45	-	D4737	
2	Densitas (15°C)	kg/m <sup>3</sup>	815	870	D4052/D1298	
3	Viskositas (40 °C)	mm <sup>2</sup> /s	2,0	4,5	D445	
4	Kandungan Sulfur	% m/m	-	0,30	D4294/D5453/D2622	
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	D189/D4530	
10	Kandungan Air	mm/kg	-	500	D6304	
11	Kandungan FAME	% v/v	-	20	D7806/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	-	0,5	D664	
17	Penampilan Visual		Jernih dan Terang			Visual
18	Warna	No. ASTM	-	3,0	D1500	
19	Lubricity (HFRR wear scar dia. @60 °C	micron (μ)	-	460	D6079	
20	Kestabilan Oksidasi Metode Rancimat	Jam	35	-		EN15751
21	Vanadium	mg/kg	-	100	AAS	
22	Aluminium+Silikon	mg/kg	-	25	D5184 / DAAS	

(Badan Standardisasi Nasional)

### 2.5.2 Gasoline

Gasoline (bensin) merupakan suatu campuran yang kompleks yang tersusun atas hidrokarbon rantai lurus 5 - 12 atom C (Rachmadena dkk., 2018). Kualitas suatu gasoline diukur dengan angka oktan. Angka oktan merupakan suatu parameter *antiknocking* yang terjadi pada mesin. Angka oktan merupakan perbandingan antara iso-oktana dengan n-heptana dalam suatu gasoline (Novandy, 2013). Komposisi hidrokarbon pada gasoline yakni terdiri dari 4-8% alkane, 2-5% alkena, 25-40% isoalkana, 3-7% sikloalkana, 1-4% 12 sikloalkena, dan 20-50% aromatic total (0,5-2,5% benzene) (Shamsul., 2017). Adapun standar gasoline RON 88 (premium) dapat dilihat pada Tabel 2.5.

**Tabel 2.5** Standar Gasoline RON 88 SNI 3506:2017

No.	Parameter Uji	Satuan	Batasan		Metode Uji	
			Minimal	Maksimal	ASTM	Lain-Lain
1	Bilangan oktana (angka oktana riset (RON))		88,0	-	D2699	
2	Stabilitas oksidasi	Menit	360	-	D525	
3	Kandungan sulfur	% m/m	-	0,05	D2622 / D4294 / D5453 / D7039	
4	Sulfur merkaptan	% m/m	-	0,002	D3227	
5	Kandungan timbal (Pb)	g/l	-	Injeksi timbal tidak diizinkan	D3237 / D5059	
	Kandungan logam:					
6	a. Mangan b. Besi	mg/l	-	1	D3831 / D5185	
			-	1	D5185	UOP391
7	Kandungan oksigen	% m/m	-	2,7	D4815 / D6839 / D5599	
8	Kandungan olefin				D4815 / D6839 / D6730	
9	Kandungan aromatik	% v/v	Dilaporkan		D1319 / D6839 / D6730 / D5580	
10	Kandungan benzena				D4815 / D6839 / D6730 / D3806	
	Distilasi:					
11	10 % vol. penguapan	°C	-	74		
	50 % vol. penguapan	°C	75	125	D86	
		°C	-	180		
		°C	-	215		

	90 % vol. penguapan Titik didih akhir Residu	% vol	-	2,0		
12	Sedimen	mg/l	-	1	D5452	
13	<i>Unwashed gum</i>	gr/100	-	70	D381	
			Batasan		Metode Uji	
No	Parameter Uji	Satuan	Minimal	Maksimal	ASTM	Lain-Lain
14	Washedgum	ml	-	5		
15	Tekanan Uap	kPa	45	69	D5191/ D323	
16	Berat Jenis (15°C)	Kg/m <sup>3</sup>	715	770	D4052/ D1298	
17	Korosi bilah Tembaga		-	Kelas Ib	D130	
18	Tampilan		Jernih dan Terang			Visual
19	Warna		Kuning			Visual

## 2.6 Karakteristik Bahan Bakar Cair

Karakteristik bahan bakar cair yang akan digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

### 2.6.1 Densitas (ASTM D-1298)

Massa jenis atau yang biasa disebut densitas merupakan indikator banyaknya zat pengotor hasil reaksi. Jika massa jenis suatu bahan bakar melebihi ketentuan, maka akan meningkatkan keausan mesin dan menyebabkan kerusakan mesin (Qurratul'uyun, 2017)

Densitas ( $\rho$ ) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\rho = \frac{\text{massa sampel}}{\text{volume}} \quad (\text{Qurratul'uyun, 2017})$$

### 2.6.2 Titik Nyala (ASTM D-93)

Titik nyala merupakan temperatur di mana uap yang berada di atas minyak akan menyala sementara atau meledak seketika kalau ada api (Fadarina dkk., 2018). Titik nyala suatu bahan bakar menunjukkan jarak didih di mana pada temperatur tersebut bahan bakar akan aman terhadap bahaya kebakaran selama penyimpanan, penanganan, dan transportasi. Titik nyala mengindikasikan tinggi rendahnya volatilitas dan kemampuan suatu bahan bakar untuk terbakar (Qurratul'uyun, 2017).

### 2.6.3 Viskositas (ASTM D445)

Viskositas suatu minyak merupakan ukuran ketahanan terhadap pengalirannya sendiri dan merupakan indikasi adanya minyak pada permukaan bidang pelumasan. Pengukuran viskositas dimaksudkan untuk mengetahui kekentalan minyak pada suhu tertentu sehingga minyak dapat dialirkan pada suhu tersebut. Pada umumnya, makin ringan fraksi minyak bumi maka akan semakin kecil viskositasnya (Fadarina dkk., 2018). Viskositas dapat dihitung menggunakan rumus:

$$\eta = k \times (\rho_{\text{bola}} - \rho_{\text{minyak}}) \times t_{\text{jatuh bola}} \quad (\text{Sinaga, dkk., 2014})$$

$$v = \frac{\eta}{\rho_{\text{minyak}}}$$

Keterangan:

1.  $\eta$  = viskositas dinamis (Pa.s)
2.  $v$  = viskositas kinematis ( $\text{m}^2/\text{s}$ )

### 2.6.4 Nilai Kalor (ASTM D240-19)

Nilai kalor merupakan jumlah energi panas maksimum yang dibebaskan oleh suatu bahan bakar melalui reaksi pembakaran sempurna per satuan massa atau volume bahan bakar tersebut. Analisa nilai kalor suatu bahan bakar dimaksudkan untuk memperoleh data tentang energi kalor yang dapat dibebaskan oleh suatu bahan bakar dengan terjadinya reaksi atau proses pembakaran (Yoga., 2019).

### 2.6.5 Persen Konversi

Persen konversi dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\% \text{ konversi} = \frac{m_{\text{produk}}}{m_{\text{bahan baku}}} \times 100 \% \quad (\text{Adicha., 2017})$$

### 2.6.6 Analisa Senyawa Kimia dengan *Gas Chromatography-Mass Spectroscopy* (GC-MS)

GC-MS (*Gas Chromatography-Mass Spectroscopy*) merupakan suatu instrumen yang terdiri dari dua metode analisis. Kromatografi gas berfungsi untuk mendeteksi masing-masing molekul komponen dalam suatu senyawa, sedangkan spektrometri massa berfungsi untuk mendeteksi masing-masing molekul komponen yang telah dipisahkan pada kromatografi gas. Gas kromatografi merupakan pemisahan campuran menjadi konstituennya dalam fase gerak berupa gas yang melalui fase diam yang berupa sorben. Gas kromatografi dapat digunakan untuk analisis kualitatif maupun kuantitatif (Qurratul'uyun, 2017).