

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 (Handono., 2017). Ban tersusun atas bahan karet atau polimer yang sangat kuat diperkuat dengan serat-serat sintetik dan baja yang sangat kau 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 / aromatic	4 %
7	Kadar kotoran / debu / kaolin / kalsium	12 %

(Sumber: 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 makro-molekul 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 Polistirena

Polistirena 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 ., 2019).

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^3
Densitas EPS	25 – 200 kg/m^3
Kekuatan tarik (s_t)	40 – 60 Mpa
Perpanjangan	3 – 4 %
Temperatur transisi gelas (T_g)	95 °C
Titik leleh	240 °C

(Sumber: *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). Kebanyakan proses pirolisis menggunakan reaktor tertutup yang terbuat dari

baja, sehingga bahan tidak terjadi kontak langsung dengan oksigen. Pada umumnya proses pirolisis berlangsung pada suhu diatas 300 °C dalam waktu 4-7 jam (Kholidah dkk., 2019). Namun, keadaan ini sangat bergantung pada bahan baku dan cara pembuatannya. 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

2.3.3 *Catalytic Cracking*

Reaksi *catalytic cracking* atau peretakan katalitik adalah reaksi peretakan menggunakan katalis sebagai material yang mampu mempercepat laju reaksi untuk mencapai kesetimbangan dan menghasilkan produk akhir reaksi melalui mekanisme pembentukan ion karbonium (Sihombing., 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.

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 (Reza. 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 (Ratnasari. dkk, 2016).

Pada proses konversi limbah ban, katalis yang digunakan adalah γ -Al₂O₃ dan zeolit alam, dengan jumlah katalis yang digunakan adalah 10 %w/w dari jumlah baku. Tujuan digunakannya katalis adalah untuk menurunkan temperatur reaksi, mempercepat reaksi dekomposisi, dan memperbaiki kualitas produk.

2.4.1 Aluminium Oksida

Aluminium oksida (alumina) adalah senyawa kimia dari aluminium dan oksigen dengan rumus kimia Al₂O₃. Secara alami, alumina terdiri dari mineral korundum, dan memiliki bentuk kristal. Senyawa ini termasuk dalam kelompok material aplikasi karena memiliki sifat-sifat yang sangat mendukung pemanfaatannya dalam beragam peruntukan. Senyawa ini diketahui merupakan insulator listrik yang baik, sehingga digunakan secara luas sebagai bahan isolator suhu tinggi, karena memiliki kapasitas panas yang besar. Alumina juga dikenal sebagai senyawa berpori sehingga dimanfaatkan sebagai adsorben. Sifat lain dari

alumina yang sangat mendukung aplikasinya adalah daya tahan terhadap korosi dan titik lebur yang tinggi, yakni mencapai 2053-2072 °C (Reza. dkk., 2017).

Alumina ditemukan dalam tiga fasa, yang dikenal sebagai γ , β dan α alumina. Ketiga fasa di atas diketahui memiliki sifat-sifat yang berbeda, sehingga memiliki aplikasi yang khas (unik). Alumina juga sering dijumpai dalam bentuk lain misalnya η , χ , γ , δ , dan θ alumina.

Gamma alumina (γ -Al₂O₃) merupakan alumina transisi yang berbentuk padatan *amorphous*. Gamma alumina adalah kelompok alumina aktif yang banyak digunakan sebagai katalis dan adsorben, misalnya sebagai katalis katalisator substrat di dalam industri otomotif dan petroleum, komposisi struktural untuk pesawat ruang angkasa dan pakaian pelindung dari gesekan dan panas atau abrasi dan thermal. γ -Al₂O₃ stabil dalam proses katalis dan pada suhu tinggi, mudah dibentuk dalam proses pembuatannya dan tidak mahal. Gamma alumina (γ -Al₂O₃) terbentuk melalui pemanasan pada suhu 500-800 °C . Pemanasan Al(OH₃) menyebabkan Al(OH₃) terdekomposisi menjadi suatu oksida dengan sistem mikropori dan luas permukaan yang besar. Sebagai katalis Gamma alumina (γ -Al₂O₃) memiliki karakteristik luas permukaan yang besar (50-300 m²/g), *mesopore size* (5-15 nm), *pore volume* (0,6 cm³/g), dan stabilitas termal tinggi (Samadhi. dkk., 2011).

2.4.2 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 SiO₄ atau tetrahedral AlO₄. 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}[(AlO₂)_a(SiO₂)_b].wH₂O

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 seta 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

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. Bahan bakar disel memiliki rantai atom $C_{13} - C_{20}$ (Kholidah., 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, 2017).

Tabel 2.3 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 ³	815	870	D4052/D1298	
3	Viskositas (40 °C)	mm ² /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	

(Sumber: *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. 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 dkk., 2017).

2.6 Karakteristik Bahan Bakar Cair

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

1. Densitas dengan menggunakan Metode ASTM D-1298

Densitas fluida didefinisikan sebagai massa per satuan volume. Densitas (ρ) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\rho = \frac{\text{Massa Sampel}}{\text{Volume}} \quad (\text{Sumber: Ismi, 2017})$$

Massa jenis atau yang biasa disebut densitas merupakan indicator banyaknya zat-zat pengotor hasil reaksi. Jika massa jenis suatu bahan bakar melebihi ketentuan, maka akan meningkatkan keausan mesin dan menyebabkan kerusakan mesin (Syamsiro dkk, 2012).

2. 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. Viskositas dapat dihitung menggunakan rumus:

$$\eta = k \times (\rho_{\text{bola}} - \rho_{\text{minyak}}) \times t_{\text{jatuh bola}}$$

$$v = \frac{\eta}{\rho_{\text{minyak}}} \quad (\text{Sumber: Fadarina, 2017})$$

Keterangan:

η = viskositas dinamis (Pa.s)

v = viskositas kinematis (m^2/s)

3. Titik Nyala dengan menggunakan Metode ASTM D-6550

Titik nyala merupakan temperature dimana timbul sejumlah uap dengan udara membentuk suatu campuran yang mudah menyala (Ismi, 2017). Titik nyala suatu bahan bakar menandakan batas aman terhadap bahaya kebakaran selama penyimpanan, penanganan, dan transportasi. Titik nyala mengindikasikan tinggi rendahnya volatilitas dan kemampuan suatu bahan bakar untuk terbakar *Yield* merupakan perbandingan antara jumlah produk yang dihasilkan dengan jumlah bahan baku yang digunakan. Yield dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\%Yield = \frac{m_p}{m_b} \times 100\% \quad (\text{Sumber : Ismi, dkk 2017})$$

4. Analisa Senyawa Kimia dengan *Gas Chromatography-Mass Spectroscopy* (GC-MS)

GCMS merupakan suatu instrumen yang terdiri dari dua metode analisis. Kromatografi gas berfungsi sebagai pemisah 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.