

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Sejarah Penelitian

Penelitian sebelumnya yang menjadi acuan dalam penelitian ini dirangkum pada tabel 2.1.

Tabel 2.1. Rangkuman Sejarah Penelitian

No	Nama	Tahun	Asal	Yield	Waktu	%Zeolit
1	Yudan Priyo Anggono, Nasrul Ilminnafik, Ahmad Adib Rosyadi dan Gaguk Jatisukamto.	2020	Universitas Jember	8,46% atau 33 ml	50 menit	Tidak diketahui
2	Aldi Okta Priyatna, Zultiniar dan Edy Saputra.	2015	Universitas Riau	<ul style="list-style-type: none">• 27,31% pada temperatur 350⁰C;• 71,94% pada temperatur 400⁰C;• 76,82% pada temperatur 450⁰C	60 menit	1,5%
3	Yusca Alvantio Permana, Santoso Mulyadi, Hari Sutjahjono dan Ahmad Adib Rosyadi.	2019	Universitas Jember	11% atau 75 ml pada temperatur 400 ⁰ C	30 menit	-

2.2. 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).

Plastik dapat dikelompokkan menjadi dua macam yaitu *thermoplastic* dan *thermosetting*. *Thermoplastic* adalah bahan plastik yang jika dipanaskan sampai temperatur tertentu akan mencair dan dapat dibentuk kembali menjadi bentuk yang diinginkan. Sedangkan *thermosetting* adalah plastik yang jika telah dibuat dalam bentuk padat, tidak dapat dicairkan kembali dengan dipanaskan. Berdasarkan sifat kedua kelompok plastik di atas, *thermoplastic* adalah jenis yang memungkinkan untuk didaur ulang. Jenis plastik yang dapat didaur ulang diberi kode berupa nomor untuk memudahkan dalam mengidentifikasi dan penggunaannya. Sedangkan *thermosetting* plastik yang melunak bila dipanaskan dan dapat dibentuk, tapi mengeras secara permanen, mereka hangus/hancur bila dipanaskan. Kebanyakan material komposit modern menggunakan plastik *thermosetting*, yang biasanya disebut resin. Kelebihan dari plastik jenis ini adalah ketahanan zat kimia yang baik meskipun berada dalam lingkungan yang ekstrim.

2.2.1 Polimer Termoplastik

Polimer termoplastik adalah polimer yang mempunyai sifat tidak tahan terhadap panas. Jika polimer jenis ini dipanaskan, maka akan menjadi lunak dan didinginkan akan mengeras. Proses tersebut dapat terjadi berulang kali, sehingga dapat dibentuk ulang dalam berbagai bentuk melalui cetakan yang berbeda untuk mendapatkan produk polimer yang baru.

Polimer yang termasuk polimer termoplastik adalah jenis polimer plastik. Jenis plastik ini tidak memiliki ikatan silang antar rantai polimernya, melainkan dengan struktur molekul linear atau bercabang.

Jenis dan karakteristik dari plastik termoplastik disajikan dalam Tabel 2.2 berikut:

Tabel 2.2 Jenis dan karakteristik plastik termoplastik

No kode plastic	Jenis	Titik leleh (°C)	Pengunaan
1	PET (<i>polyethylene terephthalate</i>)	250	botol kemasan air mineral, botol minyak goreng, jus, botol sambal, botol obat, dan botol kosmetik
2	HDPE (<i>High-density Polyethylene</i>)	200-280	botol obat, botol susu cair, jerigen pelumas, dan botol kosmetik
3	PVC (<i>Polyvinyl Chloride</i>)	160-180	pipa selang air, pipa bangunan, mainan, taplak meja dari plastik, botol shampo, dan botol sambal.
4	LDPE (<i>Low-density Polyethylene</i>)	160-240	kantong kresek, tutup plastik, plastik pembungkus daging beku, dan berbagai macam plastik tipis lainnya.
5	PP (<i>Polypropylene</i> atau <i>Polypropene</i>)	200-300	cup plastik, tutup botol dari plastik, mainan anak, dan margarine.
6	PS (<i>Polystyrene</i>)	180-260	kotak CD, sendok dan garpu plastik, gelas plastik, atau tempat makanan dari styrofoam, dan tempat makan plastik transparan
7	PC (<i>Polycarbonat</i>)	280-310	Botol susu bayi, plastik kemasan, gallon air minum, suku cadang mobil, alat-alat rumah tangga, komputer, alat-alat elektronik, sikat gigi, dan mainan lego.
	ABS (<i>Acrylonitrile</i>)	180-240	
	PA (<i>Polymaide</i>) atau Nolin	260-290	
	PA (<i>Polyacetal</i>)	185-225	

(sumber: Untoro, 2014; Gina, 2017)

2.2.2 Polimer Termosetting

Polimer termosetting adalah polimer yang mempunyai sifat tahan terhadap panas. Jika polimer ini dipanaskan, maka tidak dapat meleleh. Sehingga tidak dapat dibentuk ulang kembali. Susunan polimer ini bersifat permanen pada bentuk cetak pertama kali (pada saat pembuatan). Bila polimer ini rusak/pecah, maka tidak dapat disambung atau diperbaiki lagi. Contoh plastik termoseting yaitu: PU (*poly urethane*), UF (*urea formaldehyde*), *polyester*, epoksi dan lain-lain.

Polimer *termosetting* memiliki ikatan – ikatan silang yang mudah dibentuk pada waktu dipanaskan. Hal ini membuat polimer menjadi kaku dan keras. Semakin banyak ikatan silang pada polimer ini, maka semakin kaku dan mudah patah. Bila polimer ini dipanaskan untuk kedua kalinya, maka akan menyebabkan rusak atau lepasnya ikatan silang antar rantai polimer.

Dari klasifikasi polimer yang telah dijabarkan sebelumnya, dapat dilihat beberapa perbedaan dari polimer termoplastik dan polimer termoseting pada Tabel 2.3.

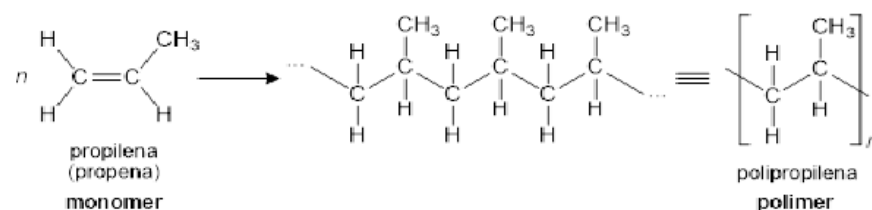
Tabel 2.3 Perbedaan Termoplastik dan *Termosetting*

Polimer Termoplastik	Polimer <i>Termosetting</i>
Mudah diregangkan	Keras dan Rigid
Fleksibel	Tidak fleksibel
Titik leleh rendah	Tidak meleleh jika dipanaskan
Dapat dibentuk ulang	Tidak dapat dibentuk ulang

(Sumber: Kumar et al, 2011).

2.3 Plastik *Polypropylene* (PP)

Polypropylene biasa disebut juga polipropilena disusun oleh sekumpulan monomer berupa senyawa yang mempunyai struktur (CH₂=CH-CH₃). Polipropilena yang disusun dari sekumpulan monomer ini tersusun melalui proses polimerisasi adisi secara umum (Rosen, 1982). Proses polimerisasi ini akan menghasilkan suatu rantai linier berbentuk –A-A-A-A-A- dengan A adalah propilena yang merupakan monomer penyusun polipropilena sehingga rumus molekulnya adalah (-CHCH₃-CH₂-)_n. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Rantai *Polypropylene* (PP)

(Sumber : Kirk-Othmer, 2010)

Polypropylene merupakan polimer kristalin yang dihasilkan dari proses polimerisasi gas propilena. *Polypropylene* dapat dijumpai pada wadah makanan, kemasan, pot tanaman, tutup botol obat, tube margarin, tutup lainnya, sedotan,

mainan, tali, pakaian dan berbagai macam botol. Polipropilena mempunyai Transisi gelas (T_g) yang cukup tinggi (190°C – 200°C), sedangkan titik kristalisasinya antara 130°C – 135°C . Polipropilena merupakan jenis bahan baku plastik ringan, dengan densitas $0,90$ - $0,92\text{ kg/m}^3$, memiliki kekerasan dan kerapuhan yang tinggi dan bersifat kurang stabil terhadap panas karena adanya hidrogen tersier. Polipropilena mempunyai ketahanan terhadap bahan kimia (*chemical resistance*) yang tinggi, tetapi ketahanan pukulnya rendah (Mujiarto, 2005).

Konduktivitas terhadap panas rendah ($0,12\text{ w/m}$), tegangan permukaan yang rendah, kekuatan benturan yang tinggi, tahan terhadap pelarut organik, bahan kimia anorganik, uap air, minyak, asam dan basa, isolator yang baik tetapi dapat dirusak oleh asam nitrat pekat, dan mudah terbakar oleh nyala yang lambat merupakan sifat yang dimiliki oleh plastik *polypropene*. Sifat kimia dari *Polypropylene* mempunyai ketahanan yang sangat baik terhadap bahan kimia anorganik non pengoksidasi, deterjen, alkohol dan sebagainya. Tetapi polipropilena dapat terdegradasi oleh zat pengoksidasi seperti asam nitrat dan hidrogen peroksida. Sifat kristalinitasnya yang tinggi menyebabkan daya regangannya tinggi, kaku dan keras (Adeo Domingus G.H. et al., 2016).

2.4 Pirolisis

Pirolisis merupakan proses pemanasan dalam kondisi bebas oksigen, mengurai senyawa organik dari suatu bahan menjadi produk cair dan gas dengan melepaskan ikatan bahan- bahan anorganik yang terikat. Proses pirolisis dapat disebut juga dengan proses perengkahan atau *cracking*. *Cracking* adalah proses pemecahan rantai polimer menjadi senyawa dengan berat molekul yang lebih rendah. Hasil dari proses *cracking* plastik ini dapat digunakan sebagai bahan kimia atau bahan bakar. Temperatur pirolisis berlangsung pada suhu 200 - 500°C . Pirolisis tidak bisa lepas dari alat separator yang digunakan sebagai media pemisah fluida produksi kedalam fasa cairan dan fasa gas, dimana fluida berat akan berada dibagian bawah dan fluida lebih ringan akan berada pada bagian atas. Berbeda hal nya dengan destilasi yaitu metode pemisahan bahan kimia yang berdasarkan perbedaan kecepatan atau titik didihnya.

Ada tiga macam proses cracking yaitu hidro *cracking*, *thermal cracking* dan *catalytic cracking* (Chen, et al 2014). *Hydro cracking* adalah proses cracking dengan mereaksikan bahan dengan hidrogen di dalam wadah tertutup yang dilengkapi dengan pengaduk pada tekanan hidrogen 3-10 Mpa. *Thermal cracking* adalah proses pirolisis dengan cara memanaskan bahan polimer tanpa oksigen, proses ini biasanya dilakukan pada temperatur antara 350 °C sampai 900 °C sedangkan *catalytic cracking* merupakan proses pirolisis yang menggunakan katalis untuk melakukan reaksi peretakan.

2.4.1 Faktor yang Mempengaruhi Pirolisis

Pirolisis sampah plastik dipengaruhi oleh beberapa parameter proses seperti temperatur, waktu retensi, komposisi bahan baku, penggunaan katalis, kadar air, tingkat pemanasan dan ukuran partikel (Kumaran & Sharma, 2020). Faktor yang paling penting dibahas di bawah ini:

a. Temperatur

Temperatur adalah salah satu faktor yang dapat mempengaruhi proses pirolisis karena mempengaruhi reaksi peretakan yang mengubah hasil gas dan minyak cair, semakin tinggi temperatur maka semakin banyak gas yang dihasilkan. Pada suhu rendah, hidrokarbon rantai panjang diproduksi, sedangkan peningkatan suhu menghasilkan senyawa rantai karbon pendek karena retaknya ikatan C–C.

b. Waktu retensi dan komposisi bahan baku

Waktu retensi telah menunjukkan sedikit efek pada kualitas produk pirolisis. Dalam kondisi vakum, waktu reaksi yang lama akan menyebabkan produk pirolisis menjadi gas karena semakin lama waktunya maka akan membuat hidrokarbon rantai panjang menjadi hidrokarbon rantai pendek. Produk padatan juga akan semakin berkurang karena menguap jika waktunya reaksinya semakin lama. Bahan baku tertentu memerlukan suhu yang lebih tinggi untuk degradasi karena strukturnya yang berbeda. Pada jenis termoplastik pada umumnya, hasil produk cairan adalah 80 % atau lebih, dimana PS > PP > PE.

c. Laju Pemanasan

Menurut Besler dan William (1996), ketika laju pemanasan dinaikkan maka padatan pada proses pirolisis akan menurun. Produk gas

yang dihasilkan pada temperatur antara 200°C dan 400°C adalah CO dan CO₂. Ketika laju pemanasan meningkat maka gas CO, CO₂, CH₄, CH₃ akan meningkat. Hal tersebut menunjukkan bahwa laju pemanasan yang lebih tinggi akan melepaskan gas hidrokarbon, begitupula dengan minyak akan meningkat seiring dengan kenaikan laju pemanasan.

d. Penggunaan katalis

Katalis berperan penting dalam meningkatkan kualitas produk pirolisis serta menurunkan suhu proses dan waktu retensi. Penggunaan katalis meningkatkan laju reaksi perengkahan yang mengarah pada peningkatan hasil gas dengan pengurangan hasil minyak cair (Syamsiro et al., 2014).

2.5 Catalytic Cracking

Cara ini menggunakan katalis untuk melakukan reaksi pemecahan molekul. Dengan adanya katalis, dapat mengurangi temperatur dan waktu reaksi. Perengkahan katalitik merupakan proses perengkahan yang menggunakan katalis untuk melakukan reaksi perengkahan, dimana dengan adanya katalis dapat mengurangi temperatur dan waktu reaksi. Biaya harus dikurangi untuk membuat proses lebih menarik dari segi perspektif ekonomi. Penggunaan kembali katalis dan penggunaan katalis yang efektif dalam jumlah yang lebih kecil dapat mengoptimalkan pilihan ini. Proses ini dapat dikembangkan dengan biaya yang efisien dengan menggunakan proses daur ulang polimer komersial untuk memecahkan masalah lingkungan dari pembuangan limbah ban bekas. Daurlang katalitik telah terbukti secara signifikan lebih efisien daripada perengkahan termal.

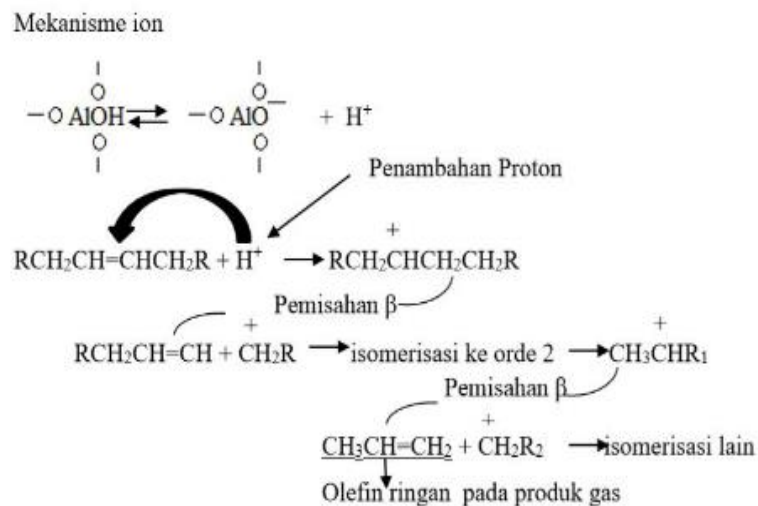
Keberadaan katalis dapat memperbesar puncak selektivitas dan menggesernya ke atom karbon yang lebih kecil. Hal ini berarti bahwa penggunaan katalis dapat meningkatkan fraksi bensin (C₅-C₁₂) dan menurunkan fraksi solar (C₁₃-C₂₀) dan minyak berat (> C₂₀). Katalis juga dapat digunakan untuk memecah rantai wax yang biasanya muncul pada proses degradasi termal (Syamsiro, 2015).

Efek utama penambahan katalis dalam pirolisis ban bekas adalah sebagai berikut (Buekens & Huang, 1998):

- Suhu pirolisis untuk mencapai konversi tertentu berkurang drastis dan jika rasio katalis / ban meningkat, suhu pirolisis dapat lebih diturunkan.
- Lebih banyak iso-alkana dan aromatik di kisaran C5-C10 dapat diproduksi.
- Laju reaksi meningkat secara signifikan; misalnya tingkat awal degradasi polipropilena dilaporkan sekitar empat kali lebih cepat daripada degradasi termal non-katalitik

2.5.1 Mekanisme Reaksi *Catalytic Cracking*

Mekanisme reaksi *catalytic cracking* dari rantai polimer sama dengan jalur dari *catalytic cracking* hidrokarbon di pabrik penyulingan minyak bumi. Mekanisme ini telah dipelajari selama beberapa tahun. Proses *catalytic cracking* berlangsung pada suhu yang cukup tinggi untuk memiliki reaksi paralel *thermal cracking*. Mekanisme *catalytic cracking* hidrokarbon berupa reaksi ion, seperti pada katalis jenis zeolit memiliki pusat bronsted asam kuat, yang akan mentransfer ion hidrogen ke rantai polimer. Gambar 2.2 menunjukkan mekanisme *catalytic cracking* hidrokarbon.



Gambar 2.2 Mekanisme *Catalytic Cracking* Hidrokarbon

(Buekens, 2008)

Ion yang dihasilkan dapat distabilkan oleh β - *splitting*, isomerisasi atau mentransfer reaksi hidrogen. Skema selanjutnya menunjukkan reaksi yang

berbeda yang dapat terjadi, masing-masing terjadi yang bergantung pada suhu. Luas permukaan dan struktur katalis yang berpori juga berperan penting. Penguraian rantai polimer dimulai pada permukaan eksternal katalis dan fragmen yang cukup kecil mungkin masuk ke dalam pori-pori, di mana reaksi cracking tambahan berlangsung, sehingga molekul gas terbentuk. Tidak seperti thermal cracking, katalis tertentu dapat membuat selektivitas terhadap produk tertentu.

Produk dari reaksi dapat diklasifikasikan sebagai produk gas (C_1-C_4) dan produk cair (C_5-C_{44}). Produk gas dianalisa dengan kromatografi gas. Produk cair dianalisis dengan distilasi simulasi (ASTM metode D-2887), yang sesuai dengan bensin, turbosine (atau bahan bakar jet atau nafta), minyak tanah, minyak gas dan fraksi bahan bakar minyak. Tabel 2.4 menunjukkan produk cair yang sesuai dengan fraksi refinery.

Tabel 2.4 Produk Cair yang Sesuai dengan Fraksi Refineri

Fraksi Refineri	Nomor Karbon	Boiling Point (°C)
<i>Gasoline</i>	C_5-C_{12}	39-220
<i>Jet Fuel, Naptha</i>	$C_{13}-C_{14}$	221-254
<i>Kerosene</i>	$C_{15}-C_{17}$	255-300
<i>Gas Oil</i>	$C_{18}-C_{28}$	301-431
<i>Fuel Oil</i>	$C_{29}-C_{44}$	432-545

(*Kirk-Othmer, 2010*)

2.6 Zeolit Alam

Zeolit merupakan kristal mineral alumunia silikat hidrat yang tersusun atas tetrahedral-tetrahedral alumina (AlO_4^{5-}) dan silika (SiO_2) yang membentuk struktur bermuatan negatif dan berongga terbuka atau berpori yang saling dihubungkan oleh atom-atom oksigen sedemikian rupa sehingga membentuk kerangka tiga dimensi terbuka. Pada ruang tiga dimensi tersebut mengandung kanal-kanal dan rongga-rongga, yang didalamnya terisi oleh ion-ion logam yang merupakan logam-logam alkali atau alkali tanah dan molekul air yang dapat bergerak bebas. Zeolit telah digunakan sebagai proses penukar ion, adsorpsi logam berat. Secara empiris, rumus molekul zeolit adalah $Mx/n.(AlO_2)_x.(SiO_2)_y.xH_2O$ (Marsidi 2001). Zeolit terbagi menjadi dua bagian

yaitu Zeolit alam dan Zeolit sintesis. Umumnya untuk Zeolit sintesis yang digunakan adalah ZSM5 karena memberikan hasil gas yang lebih banyak.

Katalis yang digunakan pada penelitian ini merupakan katalis zeolit karena dapat memperbesar puncak selektivitas dan menggesernya ke atom yang lebih kecil. Hal ini menandakan bahwa penggunaan katalis dapat meningkatkan fraksi bensin. Zeolit alam merupakan zeolit yang ditambang langsung dari alam. Sehingga harganya jauh lebih murah dari pada zeolit sintetis. Zeolit alam terbentuk karena adanya proses kimia dan fisika yang kompleks dari batuan-batuan yang mengalami berbagai macam perubahan di alam. Zeolit alam memiliki kelemahan yakni mengandung banyak pengotor diantaranya Na, K, Ca, Mg, dan Fe serta kristalinitasnya kurang baik. Adanya pengotor-pengotor ini dapat mengurangi aktivitas dari zeolit. Perlu dilakukan aktivasi dan modifikasi terlebih dahulu sehingga zeolit alam dapat digunakan sebagai katalis, adsorben, atau aplikasi lainnya (Lestari, 2010).

Zeolit alam sebelum digunakan harus diaktivasi terlebih dahulu. Aktivasi zeolit alam dapat dilakukan baik secara fisika maupun kimia. Aktivasi secara fisika dilakukan dengan pengecilan ukuran butir, pengayakan, dan pemanasan pada suhu tinggi yang bertujuan untuk menghilangkan pengotor-pengotor organik, memperbesar pori, dan memperluas permukaan. Sedangkan aktivasi secara kimia dapat dilakukan dengan cara pengasaman. Tujuannya pengasaman ini sebagai proses dealuminasi. Pengasaman ini akan menyebabkan rasio Si/Al menjadi tinggi (Ertan & Ozkan, 2005).

Aktivasi pada zeolit alam selain untuk menghilangkan pengotor juga bertujuan untuk memodifikasi sifat-sifat dari zeolit alam, seperti luas permukaan dan keasaman. Luas permukaan dan keasaman yang meningkat akan menyebabkan aktivitas katalitik dari zeolit meningkat (Yunita, 2010). Zeolit secara umum digunakan sebagai katalis dalam berbagai reaksi yang memerlukan katalis asam. Zeolit memiliki aktivitas katalis asam yang tinggi dibandingkan dengan silika/alumina untuk beberapa reaksi. Aktivitas katalitik zeolit dapat dipengaruhi oleh situs asam Bronsted dan Lewis. Situs asam Bronsted adalah situs yang dapat melepaskan ion H^+ dan situs asam Lewis adalah situs yang dapat menerima pasangan elektron (Akpolat et al., 2004).

Zeolit dimanfaatkan sebagai katalis karena tersedianya pusat aktif dalam sistem pori katalis. Sistem pori ini berhubungan dengan sifat kristal dari zeolit. Zeolit dapat berfungsi sebagai katalis asam karena kationnya dapat dipertukarkan. Contohnya pada zeolit alam yang memiliki kation jenis alkali (Na^+), jika kation dipertukarkan dengan NH_4^+ yang diikuti pemanasan, maka pada permukaan zeolit akan terdapat ion H^+ . Secara katalitik, ion H^+ berfungsi sebagai pusat aktif (inti aktif) (Togar, 2012).

2.7 Bahan bakar Cair

Bahan bakar cair adalah bahan bakar yang strukturnya tidak rapat, jika dibandingkan dengan bahan bakar padat yang molekulnya dapat bergerak dengan bebas. Bahan bakar cair umumnya digunakan dalam industri, transportasi maupun rumah tangga adalah fraksi dari minyak bumi. Bahan bakar cair merupakan gabungan senyawa hidrokarbon yang diperoleh dari alam ataupun buatan. Dengan kemudahan penggunaan, ditambah dengan efisiensi termis yang lebih tinggi, serta penanganan dan pengangkutan yang lebih mudah, menyebabkan penggunaan minyak bumi sebagai sumber utama penyedia energi semakin meningkat. Secara teknis, bahan bakar cair merupakan sumber energi yang terbaik, mudah ditangani, mudah dalam penyimpanan dan nilai kalor pembakarannya cenderung konstan.

2.7.1 Jenis-jenis Bahan Bakar Cair

1. Bensin

Bensin atau *gasoline* (Amerika) atau *petrol* (Inggris) merupakan jenis bahan bakar minyak yang biasanya digunakan pada kendaraan bermotor roda dua, tiga, dan empat. Bensin dibuat dari minyak mentah, cairan berwarna hitam yang dipompa dari perut bumi dan biasa disebut dengan *petroleum*. Cairan ini mengandung hidrokarbon, atom-atom karbon dalam minyak mentah ini berhubungan satu dengan yang lainnya dengan cara membentuk rantai yang panjang. Secara sederhana, bensin tersusun dari hidrokarbon rantai lurus, mulai dari C_7 (heptana) sampai dengan C_{11} . Dengan kata lain, bensin terbuat dari

molekul yang hanya terdiri dari hidrogen dan karbon yang terikat antara satu dengan yang lainnya sehingga membentuk rantai.

Bahan bakar bensin memiliki jenis yang berbeda dan tentunya memiliki mutu atau perilaku (*performance*) yang berbeda. Mutu bensin dipergunakan dengan istilah bilangan oktan (*Octane Number*). Nama oktan berasal dari oktana (C_8), karena dari seluruh molekul penyusun bensin, oktana yang memiliki sifat kompresi paling bagus. Bilangan Oktan adalah angka yang menunjukkan seberapa besar tekanan yang bisa diberikan sebelum bensin terbakar secara spontan. Di dalam mesin, campuran udara dan bensin (dalam bentuk gas) ditekan oleh piston sampai dengan volume yang sangat kecil dan kemudian dibakar oleh percikan api yang dihasilkan busi. Karena besarnya tekanan ini, campuran udara dan bensin juga bisa terbakar secara spontan sebelum percikan api dari busi keluar. Jika campuran gas ini terbakar karena tekanan yang tinggi (dan bukan karena percikan api dari busi), maka akan terjadi *knocking* atau ketukan di dalam mesin. *Knocking* ini akan menyebabkan mesin cepat rusak, sehingga sebisa mungkin harus dihindari.

Berikut ini merupakan beberapa jenis bensin berdasarkan perbedaan bilangan oktan :

a. Bahan Bakar Bensin Jenis 88 (Premium)

Bahan bakar premium adalah bahan bakar minyak jenis distilat berwarna kekuningan jernih yang didalamnya terdapat kandungan oktan 88 dan menggunakan pewarna dye serta menghasilkan NO_x dan CO_x dalam jumlah banyak. Spesifikasi bahan bakar premium dapat dilihat pada tabel 2.5.

Tabel 2.5. Spesifikasi Bahan Bakar Bensin RON 88 (Premium)

Karakteristik	Satuan	Batasan		Metode Uji (ASTM)
		Min	Max	
Angka Oktana Riset	RON	88	-	D 269
Stabilitas Oksidasi	menit	360	-	D 525
Kandungan Sulfur	% m/m	-	0,05	D 2622/D 4294/D 7039
Kandungan Timbal (Pb)	gr/l	-	0,013	D 3237
Injeksi imbal tidak diizinkan				
Kandungan Logam (Mn,Fe)	mg/l	tidak terlacak		D 3831/D 5185
Kandungan Oksigen	%m/m	-	2,7	D 4815/D 6839/D 5599
Kandungan Olefin	%v/v	Dilaporkan		D 1319/D 6839/D 6730
Kandungan Aromatik	%v/v	Dilaporkan		D 1319/ D 6839/ D 6730
Kandungan Benzene	%v/v	Dilaporkan		D 5580 / D 6839 / D 6730 / D 3606
Distilasi :				
10% vol.Penguapan	°C	-	74	
50% vol.Penguapan	°C	75	125	
90% vol.Penguapan	°C	-	180	
Titik didih akhir	°C	-	215	
Residu	% vol	2		
Sedimen	mg/l	-	1	D 5452
Unwashed Gum	mg/100 ml	-	70	D 381
Washed Gum	mg/100 ml	-	5	D 381
Tekanan Uap	kPa	45	69	D 5191/ D 323
Berat Jenis (pada suhu 15°C)	kg/m ³	715	770	D 4052/D 1298
Korosi bilah tembaga	Merit	Kelas 1tif		D 130
Sulfur Merkaptan	% massa	-	0,002	D 3227
Penampilan Visual		Jernih dan terang		
Bau		Dapat dipasarkan		
Warna		Kuning		
Kandungan pewarna	gr/100 l	-	0,13	

(Keputusan Direktorat Jendral Minyak dan Gas Bumi No: 933.K/10/DJMS/2013)

b. Bahan Bakar Bensin Jenis 90 (Pertalite)

Pertalite diluncurkan pada tanggal 24 Juli 2015, merupakan bahan bakar gasoline yang memiliki angka oktan 90 serta berwarna hijau terang dan jernih. Bahan bakar Pertalite memiliki kualitas yang lebih baik daripada bahan bakar Premium karena angka oktan pertalite yang lebih tinggi sehingga mampu menstabilkan knocking mesin kendaraan menjadi lebih optimal. Spesifikasi bahan bakar pertalite dapat dilihat pada tabel 2.6.

Tabel 2.6. Spesifikasi Bahan Bakar Bensin Jenis 90 (Pertalite)

Karakteristik	Satuan	Batasan	
		Min	Max
Angka Oktana Riset	RON	90	-
Stabilitas Oksidasi	Menit	360	-
Kandungan Sulfur	% m/m	-	0,05
Kandungan Timbal (Pb)	gr/l	-	0,013
Kandungan Logam (Mangan (Mn), Besi (Fe))	mg/l	tidak terdeteksi	
Kandungan Oksigen	%m/m	-	2,7
Kandungan Olefin	%v/v	Dilaporkan	
Kandungan Aromatik	%v/v	Dilaporkan	
Kandungan Benzene	%v/v	Dilaporkan	
Distilasi :			
10% vol.Penguapan	°C	-	74
50% vol.Penguapan	°C	88	125
90% vol.Penguapan	°C	-	180
Titik didih akhir	°C	-	215
Residu	% vol	-	2
Sedimen	mg/l	-	1
Unwashed Gum	mg/100 ml	-	70
Washed Gum	mg/100 ml	-	5
Tekanan Uap	kPa	45	60
Berat Jenis (pada suhu 15°C)	kg/m ³	715	770
Korosi bilah tembaga	Menit	Kelas 1	
Sulfur Merkaptan	% massa	-	0,002
Penampilan Visual		Jernih dan terang	
Bau		Dapat dipasarkan	
Warna		Hijau	
Kandungan pewarna	gr/100 l	-	0,13

(Keputusan Direktur Jenderal Minyak dan Gas Bumi No: 0486.K/10/DJMS/2017)

c. Bahan Bakar Bensin Jenis 98 (Pertamax Turbo)

Pertamax Turbo merupakan bahan bakar bensin yang memiliki angka oktan 98 dan berwarna merah. Pertamax Turbo didesain untuk mesin berteknologi tinggi dengan minimum kompresi rasio 12:1 atau mesin kendaraan dengan *supercharger technology* dan *turbocharger technology*. Pertamax Turbo diformulasikan dengan *Ignition Boost Formula* yang membuat mesin lebih responsif pada pembakaran mesin dan membuat performa kendaraan menjadi sempurna. Spesifikasi pertamax turbo dapat dilihat pada tabel 2.7.

Tabel 2.7 Bahan Bakar Bensin Jenis 98 (Pertamax Turbo)

Karakteristik	Satuan	Batasan	
		Min	Max
Angka Oktana Riset	RON	98	-
Stabilitas Oksidasi	Menit	480	-
Kandungan Sulfur	% m/m	-	0,05
Kandungan Timbal (Pb)	gr/l	-	0,013
Injeksi timbal tidak diizinkan			
Kandungan Fosfor	mg/l	tidak terdeteksi	
Kandungan Logam (Mn, Fe)	mg/l	tidak terdeteksi	
Kandungan Silikon	mg/kg	tidak terdeteksi	
Kandungan Oksigen	%m/m	-	2,7
Kandungan Olefin	%v/v	-	-
Kandungan Aromatik	%v/v	-	40
Kandungan Benzene	%v/v	-	5
Distilasi :			
10% vol.Penguapan	°C	-	70
50% vol.Penguapan	°C	77	110
90% vol.Penguapan	°C	130	180
Titik didih akhir	°C	-	205
Residu	% vol	-	2
Sedimen	mg/l	-	1
Unwashed Gum	mg/100 ml	-	70
Washed Gum	mg/100 ml	-	5
Tekanan Uap	kPa	45	60
Berat Jenis (pada suhu 15°C)	kg/m ³	715	770
Korosi bilah tembaga	Merit	Kelas 1	
Uji Doctor		Negatif	
Sulfur Merkaptan	% massa	-	0,002
Penampilan Visual		Jernih dan terang	

(Keputusan Direktora Jendral Minyak dan Gas Bumi No: 0177.K/10/DJMT/2018)

2. Solar

Minyak solar adalah suatu produk destilasi minyak bumi dengan titik didih antara 250°C sampai 350°C atau disebut juga middle destilat. Minyak solar digunakan sebagai bahan bakar mesin diesel, misalnya digunakan pada kendaraan bermotor seperti bus, truk, kereta api, dan traktor. Angka setana merupakan tolak ukur kemudahan menyala atau terbakarnya suatu bahan bakar di dalam mesin diesel. Angka setana produk solar yang ada di pasaran adalah 48. Spesifikasi bahan bakar solar dapat dilihat pada tabel 2.8.

Tabel 2.8. Spesifikan Bahan Bakar Solar

Karakteristik	Satuan	Batasan		Metode Uji (ASTM)
		Min.	Maks.	
Bilangan Cetana	-	48	-	D 613
Indeks Setana	-	45	-	D 4737
Berat Jenis, 15 C	kg/m ³	815	860	D 4052
Viskositas, 40 C	mm ² /sec	2	4,5	D 445
		-	0,35	
		-	0,3	
Kandungan Sulfur	%m/m	-	0,25	D2622/D 5453
		-	0,05	
		-	0,005	
Distilasi 90 % vol.penguapan	°C	-	370	D 86
Titik Nyala	°C	52	-	D 93
Titik Tuang	°C	-	18	D 97
Residu Karbon	%m/m	-	0,1	D 4530/ D 189
Kandungan Air	mg/kg	-	500	D 6304
Biological Growth	-	Nihil		
Kandungan FAME	% v/v	-	-	
Kandungan metanol	% v/v	Tak Terdeteksi		D 4815
Korosi Bilah Tembaga	Merit	-	Kelas 1	D 130
Kandungan Abu	% v/v	-	0,01	D 482
Kandungan Sedimen	% m/m	-	0,01	D 473
Bilangan Asam Kuat	mgKOH/gr	-	0	D 664
Partikulat	mg/l	-	-	D 2276
Penampilan Visual	-	Jernih & Terang		
Warna	No.ASTM	-	3	D 1500
Lubicity	Micron	-	460	D 6079

(Keputusan Direktorat Jendral Minyak dan Gas Bumi No: 28.K/10/DJMT/2016)

3. 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 C1 sampai C15. Selain digunakan sebagai bahan bakar lampu minyak dan kompor, namun sekarang kerosin lebih diprioritaskan sebagai bahan bakar kendaraan bermesin jet atau roket.

2.8 Tempurung Kelapa

Tanaman kelapa merupakan tanaman yang banyak dijumpai di Indonesia, sehingga hasil alam berupa kelapa di Indonesia sangat melimpah. Tanaman kelapa (*Cocos nucifera*) merupakan salah satu tanaman yang termasuk dalam famili *Palmae* dan banyak tumbuh di daerah tropis, seperti di Indonesia. Tanaman kelapa

membutuhkan lingkungan hidup yang sesuai untuk pertumbuhan dan produksinya. Faktor lingkungan itu adalah sinar matahari, temperatur, curah hujan, kelembaban, dan tanah (Amin, 2010).

Salah satu bagian yang terpenting dari tanaman kelapa adalah buah kelapa. Buah kelapa terdiri dari beberapa bagian, yaitu epicarp, mesocarp, endocarp, dan endosperm. Epicarp yaitu kulit bagian luar yang permukaannya licin agak keras dan tebalnya + 1/7 mm. Mesocarp yaitu kulit bagian tengah yang disebut sabut. Bagian ini terdiri dari serat-serat yang keras, tebalnya 3-5 cm. Endocarp yaitu bagian tempurung yang sangat keras. Tebalnya 3-6 mm. Bagian dalam melekat pada kulit luar dari endosperm yang tebalnya 8-10 mm. Buah kelapa yang telah tua terdiri dari 35% sabut, 12% tempurung, 28% endosperm, dan 25% air (Purnama, 2013). Bagian dari buah kelapa yang dimanfaatkan sebagai bahan pangan dalam kehidupan sehari-hari adalah daging buah dan air kelapanya, sehingga tempurung kelapa dibuang begitu saja dan kurang dimanfaatkan. Oleh karena itu, studi pemanfaatan tempurung kelapa perlu dilakukan agar lebih memiliki nilai guna, sehingga dapat mereduksi jumlah tempurung kelapa dalam timbunan sampah.

Kandungan kimia dari tempurung kelapa adalah selulosa, hemiselulosa, lignin, dan abu dengan komposisi masing-masing dapat dilihat pada Tabel 2.9.

Tabel 2.9. Komposisi Kimia Tempurung Kelapa.

Komponen	Persentase (%)
Selulosa	34
Lignin	27
Hemiselulosa	21
Abu	18

(Sumber: Tamado, 2013)

2.9 Karakteristik Bahan Bakar Cair

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

2.9.1 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 (ρ) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

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

2.9.2 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).

2.9.3 *Specific Gravity* (ASTM D4052-18a) dan *°API Gravity* (ASTM D287-12b)

Tujuan dilakukannya pengukuran terhadap *specific gravity* (berat jenis) dan *°API gravity* adalah untuk indikasi mutu minyak di mana semakin tinggi *°API gravity* akan semakin rendah berat jenisnya, maka minyak tersebut akan semakin berharga karena banyak mengandung bensin (Fadarina dkk., 2018). *°API gravity* dan *specific gravity* dapat dihitung menggunakan rumus:

$$\text{spgr} = \frac{\rho_{\text{hidrokarbon } 60^{\circ}\text{F}}}{\rho_{\text{air } 60^{\circ}\text{F}}} \quad (\text{Sumber: Fadarina dkk., 2018})$$

$$\text{°API gravity} = \frac{141,5}{\text{spgr}} - 131,5 \quad (\text{Sumber: Fadarina dkk., 2018})$$

2.9.4 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:

$$\eta = k \times (\rho_{\text{bola}} - \rho_{\text{minyak}}) \times t_{\text{jatuh bola}} \quad (\text{Sumber: Kasi Laboratorium Teknologi Bioenergi, 2019})$$

$$v = \frac{\eta}{\rho_{\text{minyak}}} \quad (\text{Sumber: Fadarina dkk., 2018})$$

Keterangan:

1. η = viskositas dinamis (Pa.s)
2. v = viskositas kinematis (m^2/s)

2.9.5 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 D. P., 2019)

2.9.6 Persen *yield* (%*yield*)

Persen *yield* dapat dihitung dengan menggunakan rumus:.

$$\% \text{ yield} = \frac{m_{\text{produk}}}{m_{\text{bahan baku}}} \times 100 \% \quad (\text{Sumber: Adicha A. P., 2017})$$