

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Pirolisis adalah proses fraksinasi material oleh suhu, metode ini sudah banyak digunakan oleh peneliti terdahulu, dengan menggunakan variabel dan alat pirolisis yang sudah bervariasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui cara pengolahan limbah busa poliuretan (*polyurethane foam*) dengan lebih optimal yaitu dengan melakukan variasi kemiringan kondensor/pendingin. Dengan metode ini diharapkan dapat menghasilkan minyak busa poliuretan (*polyurethane foam*) secara optimal dan dapat mengurangi pencemaran lingkungan saat ini.

Penelitian sebelumnya yang menjadi bahan pertimbangan yaitu penelitian Endang, dkk (2016). Penelitian ini dilakukan dengan bahan baku sampah plastik *Polypropylene* dan plastik *Low Density PolyEthylene* sebanyak 500 gram dimasukkan sekaligus dalam reaktor dan produk akan dihasilkan secara terus menerus. Proses pirolisis dilaksanakan selama 60 menit dengan variasi suhu 250°C, 300°C, 350°C, serta 400°C.

Pirolisis dilakukan pada kondisi vakum untuk memaksimalkan hasil pirolisis. Selain itu ditambahkan juga pasir silika sebagai penahan panas serta zeolit sebagai katalis proses *cracking* hidrokarbon. Minyak hasil pirolisis terbanyak dari sampah plastik *Polypropylene* diperoleh pada suhu operasi 400°C sebanyak 27,05% sedangkan minyak hasil pirolisis dari sampah plastik *Low Density PolyEthylene* pada suhu operasi 300 °C sebanyak 37,43%. Viskositas minyak hasil pirolisis mendekati nilai viskositas dari bensin.

Densitas minyak hasil pirolisis mendekati nilai densitas dari solar dan minyak tanah. Nilai kalor minyak hasil pirolisis mendekati nilai dari solar dan minyak tanah. Karakteristik minyak yang dihasilkan bisa dilihat di Tabel 2.1 dan 2.2 :

Tabel 2.1 Karakteristik minyak plastik hasil penelitian Endang K, dkk (2016)

Plastik *Polypropylene* pada suhu 400°C

No	Properties	Value
1	Density	0.7905 (gr/mL)
2	Viscosity	0.72 cP
3	Calorific Value	10246.4 KKal/kg

Tabel 2.2 Karakteristik minyak plastik hasil penelitian Endang K, dkk (2016)

Plastik *Low Density PolyEthylene* pada suhu 300°C

No	Properties	Value
1	Density	0.7960 (gr/mL)
2	Viscosity	0.62 cP
3	Calorific Value	8976.7 KKal/kg

Penelitian yang dilakukan oleh Wijaya (2016) terhadap Hasil Pirolisis Plastik LDPE dengan Debit Air Pendingin 18 LPM” dalam percobaan ini peneliti menggunakan plastik LDPE (*Low Density Pelyetylene*) sebanyak 1 kg. Pengujian dilakukan pada suhu 300°C-350°C, tiap percobaan menggunakan debit yang sama yaitu 18 LPM. Sudut yang digunakan bervariasi yaitu 0°, 15°, dan 30°. Pemanasan dilakukan dengan menggunakan bahan bakar LPG dan dengan 2 arah aliran uap dan air yang berbeda yaitu *parallel flow* dan *counter flow*.

Hasil penelitian pada proses pirolisis ini dapat memproduksi minyak tertinggi pada percobaan dengan sudut 15° menghasilkan 590 ml dan perpindahan kalor tertinggi 757.64 watt, dan nilai laju perpindahan kalor tertinggi dengan nilai 490.25 watt terdapat pada sudut 30° dengan produksi minyak sebanyak 520 ml.

Penelitian Mustofa dan Zainuri (2014) dengan judul “Pirolisis Sampah Plastik Hingga Suhu 900°C sebagai Upaya Menghasilkan Bahan Bakar Ramah Lingkungan”. Peneliti menggunakan metode pirolisis limbah plastik dengan suhu 900 °C, lalu uap yang dihasilkan dikondensasi melalui crossflow kondensor. Metode ini menghasilkan bahan bakar cair dengan nilai kalor 46.848 J/g hasil yang lebih besar bila dibandingkan dengan pengolahan sampah plastik dengan suhu 425°C yang hanya 41.870J/g, disamping itu sifat lebih aman dari pengolahan sampah plastik pada suhu 425°C karena kadar senyawa yang berpotensi bersifat karsinogenik (asam borat dan siklopentanon) berkurang persentasenya.

Tabel 2.3 Nilai kalor hasil pengujian (Mustafa dan Zainuri, 2014)

No	Nilai Kalor	CV (Cal/g)	ΔT
1	BBM Plastik	11.189	8.915
2	Premium	11.245	3,993
3	Standar mutu ESDM RI	10.000	-

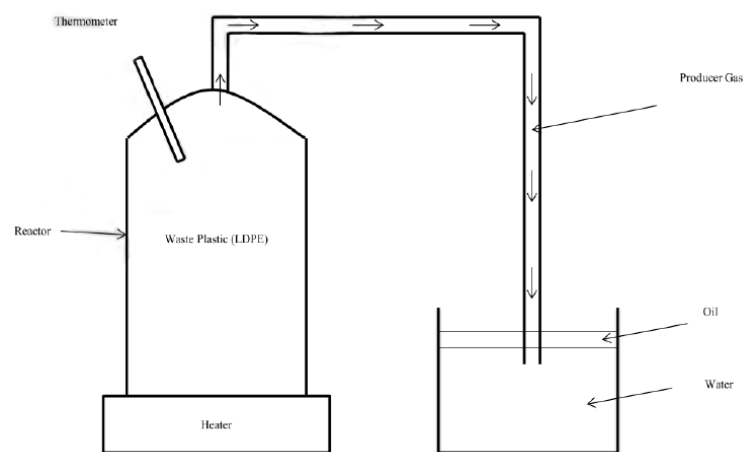
Penelitian Gaurav, dkk (2014) dengan bahan baku yang dipakai adalah sampah Plastik LDPE dengan suhu pirolisis 300°C-500°C tanpa menggunakan oksigen. Pirolisis dimulai ketika suhu mencapai 100 °C ketika plastik menjadi cair. Plastik mulai berubah menjadi uap pada saat suhu mencapai 270 °C mengalir melawati kondensor. Pemanasan akan berlanjut dan stabil sampai suhu 400 °C. Penelitian ini menghasilkan minyak sebanyak 90% dan 4% abu. Zat pengotor harus dipisahkan dari minyak yang dihasilkan. Karakteristik dari minyak yang dihasilkan :

Tabel 2.4 Karakteristik minyak plastik hasil penelitian Gaurav et al (2014)

No	Properties	Value
1	Density	702.5 kg/m ³
2	Viscosity	5.27 cP
3	Flash Point	22°C

No	Properties	Value
4	Fire Point	29°C
5	Calorific Value	43796.02 KJ/kg

Penelitian Sudhir dan Galage (2015) menggunakan bahan plastik LDPE sebanyak 150gr. Menggunakan suhu pembakaran samapai 300°C. Proses pirolisis dilakukan selama 35 menit , minyak yang dihasilkan sebnayk 100 ml dan 150 gr abu sisa pembakaran. Skema alat yang digunakan dapat dilihat pada Gambar sebagai berikut :



Gambar 2.1. Skema alat pirolisis Sudhir dan Galage (2015)

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Pirolisis

Proses pirolisis merupakan proses dekomposisi senyawa organik yang terdapat dalam sampah melalui proses pemanasan dengan sedikit atau tanpa melibatkan oksigen (Endang, dkk, 2016). Pirolisis atau devolatilisasi adalah proses fraksinasi material oleh suhu yang dimulai pada temperatur sekitar 230 °C, ketika komponen yang tidak stabil secara termal, dan *volatile matters* pada sampah akan pecah dan menguap bersamaan dengan komponen lainnya (Haryadi, 2015).

Teknik pirolisis telah digunakan sudah lama dimana sampah melalui proses perlakuan panas yang dikonversi menjadi produk berupa cair (*bio-oil*),

padat (*bio-coal*) dan gas (*syngas*) dalam suatu reaktor tanpa melibatkan oksigen didalam reaktor. Temperatur adalah faktor yang paling penting untuk hasil pirolisis. Biasanya temperatur yang sering digunakan berkisar 300°C-600°C untuk produk dominan *liquid* (Wibowo, 2016).

Proses pirolisis merupakan teknologi konversi termokimia yang masih perlu dikembangkan. Keterbatasan data-data kinetik untuk penentuan persamaan laju termal dekomposisi secara menyeluruh. Proses perengkahan limbah busa poliuretan menjadi energi umunya menggunakan reaktor katalitik terfluidisasi atau *fluidized bed reaktor* (FBR). Dalam reaktor, terjadi kontak antar fluida gas dengan limbah busa poliuretan. Kontak ini akan menyebabkan terbawanya material hidrokarbon yang telah mengalami *cracking* atau perengkahan. Pada reaktor dengan skala besar proses kontak antara fluida gas dengan limbah busa poliuretan, sering terjadi penyebaran fluida gas yang tidak merata saat proses kontak berlangsung. Hal ini disebabkan karena adanya penggelembungan, penorakan, dan saluran-saluran fluida yang terpisah. Saluran-saluran fluida yang terpisah terjadi karena tidak meratanya penyebaran fluida pada seluruh permukaan limbah busa poliuretan, sehingga menyebabkan hanya sebagian dari limbah busa poliuretan yang berkontak dengan fluida. Hal ini dapat mengakibatkan penurunan kualitas *yield* yang diperoleh selama proses pirolisis limbah busa poliuretan. Selain ketiga faktor tersebut, faktor lain yang berpengaruh adalah kecepatan minimum *fluidisasi* yang didefinisikan sebagai kecepatan minimal yang dibutuhkan untuk proses fluidisasi terjadi. Kecepatan fluidisasi mempengaruhi kontak antara fluida yang digunakan dalam proses konversi dengan limbah busa poliuretan. Kontak yang terjadi menyebabkan ikatan antara molekul fluida dengan molekul hidrokarbon dari hasil *cracking* limbah busa poliuretan, yang selanjutnya diolah menjadi energi.

2.2.2 Busa Poliuretan

2.2.2.1 Pengertian Busa Poliuretan

Busa poliuretan (*polyurethane foam*) adalah polikondensasi dari senyawa poli-hidroksi (poliol) dengan isosianat. Fenomena busa terjadi ketika sejumlah bahan peniup (*blowing agent*) dan air ditambahkan selama proses polimerisasi. Air berreaksi dengan kelompok isosianat memberikan asam karbonat yang secara spontan kehilangan CO₂, sehingga menghasilkan gelembung busa (Ezmaeilnezhad dkk, 2009).

Limbah busa poliuretan merupakan salah satu sampah anorganik yang diproduksi setiap tahun diseluruh dunia, hal ini disebabkan karena busa poliuretan merupakan jenis yang paling banyak aplikasinya diantara produk uretan.

Busa poliuretan diklasifikasikan menjadi 3 tipe yaitu busa fleksibel, busa kaku (*rigid*) dan busa semi kaku (*semi rigid*). Perbedaan sifat fisik dari 3 tipe busa poliuretan tersebut berdasarkan pada perbedaan berat molekul, fungsional poliol dan fungsionalitas isosianat. Sedangkan berdasarkan struktur selnya, busa dibedakan menjadi dua yaitu sel terbuka (*open cell*) dan sel tertutup (*close cell*). Busa dengan struktur *closed cell* merupakan jenis busa kaku sedangkan dengan struktur *opened cell* adalah busa fleksibel (Cheremisinoff, 1989).

2.2.3 Bahan Bakar Cair

Bahan bakar cair merupakan campuran yang komplit dari sejumlah hidrokarbon yang dapat diperoleh dari alam maupun buatan, yang terdiri dari unsur karbon (C), dan hidrogen (H₂). Kebanyakan bahan bakar cair merupakan campuran hidrokarbon yang diperoleh dari minyak mentah melalui proses destilasi (penyulingan), dan pemecahan (Suprptono, 2004).

Dengan kelebihan yang dimiliki bahan bakar cair yaitu penggunaan yang mudah, dan efisiensi yang 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. Beberapa bahan bakar cair dibandingkan dengan bahan bakar padat antara lain :

- a. Kebersihan dari hasil pembakaran.
- b. Menggunakan alat bakar yang lebih kompak.
- c. Penanganannya lebih mudah.

Salah satu kekurangan bahan bakar cair ini adalah harus menggunakan proses pemurnian yang cukup kompleks.

2.2.4 Karakteristik Bahan Bakar

Setiap pembakaran memiliki karakteristik yang berbeda-beda. Karakteristik inilah yang menentukan sifat-sifat dalam proses pembakaran. Untuk mengoptimalkan hasil pembakaran bahan bakar cair yang akan dipakai pada penggunaan tertentu untuk mesin perlu diketahui karakteristik terlebih dahulu. Secara umum karakteristik bahan bakar cair yang perlu diketahui adalah sebagai berikut :

2.2.4.1 Titik nyala (*Flash Point*)

Titik nyala adalah titik temperatur terendah dimana bahan bakar dapat menimbulkan api dalam sekejap apabila pada permukaan bahan bakar minyak tersebut dipercikan api. Hal ini berkaitan dengan keamanan dalam penyimpanan dan penanganan bahan bakar terhadap bahaya kebakaran. Titik nyala tidak mempunyai pengaruh yang besar dalam persyaratan pemakaian bahan bakar minyak untuk mesin diesel atau ketel uap (Suprpto, 2004).

Tabel 2.5. *Flash Point Biodiesel* (Dermanto, 2014)

No	Bahan Bakar	Flash Point
1	Bensin	7.2°C
2	Solar	51.6°C
3	Biodiesel	148.8°C

2.2.4.2 Viskositas (*Viscosity*)

Viskositas menunjukkan kemampuan bahan bakar untuk mengalir, viskositas ditentukan dengan mengukur waktu yang dibutuhkan sejumlah bahan bakar untuk mengalir karena pengaruh gaya gravitasi bumi. Semakin kecil viskositas semakin bagus atomisasi di ruang bakar (Zubaidah, 2009).

Cara mengukur besar viskositas adalah tergantung pada viscometer yang digunakan, dan hasil (besarnya viskositas) yang dapat harus dibubuhkan nama viscometer yang digunakan serta temperatur minyak pada saat pengukuran.

Viskositas merupakan sifat yang sangat penting dalam penyimpanan dan penggunaan bahan bakar minyak. Viskositas mempengaruhi derajat pemanasan awal yang diperlukan untuk handling, penyimpanan dan atomisasi yang memuaskan. Jika minyak terlalu kental, maka akan menyulitkan dalam pemompaan, sulit untuk menyalakan *burner*, dan sulit dialirkan. Atomisasi yang jelek akan mengakibatkan terjadinya pembentukan endapan karbon pada ujung burner atau pada dinding-dinding. Oleh karena itu pemanasan awal penting untuk atomisasi yang tepat. Faktor - faktor yang mempengaruhi viskositas adalah sebagai berikut (Rana, 2015):

a. Tekanan

Viskositas suatu zat cair akan naik jika dipengaruhi oleh tekanan, sedangkan viskositas gas tidak dipengaruhi oleh tekanan.

b. Temperatur

Viskositas akan turun dengan naiknya suhu, sedangkan viskositas gas akan naik dengan naiknya suhu. Pemanasan zat cair menyebabkan molekul-molekulnya memperoleh energi. Molekul-molekul cairan bergerak sehingga menimbulkan gaya interaksi antar molekul menjadi melemah. Dengan demikian viskositas suatu zat cair akan turun dengan naiknya temperatur.

c. Kehadiran zat lain

Penambahan gula tebu dapat mengakibatkan meningkatkan viskositas air. Adanya bahan tambah seperti bahan suspensi akan menaikkan viskositas air. Pada minyak ataupun gliserin, adanya penambahan air akan menyebabkan

viskositasnya menurun karena gliserin maupun minyak akan semakin encer pada waktu alirannya cepat.

d. Ukuran dan berat molekul

Viskositas akan naik bersamaan dengan naiknya berat molekul. Misalnya laju aliran alkohol cepat, larutan minyak laju alirannya lambat dan kekentalannya tinggi sehingga viskositasnya juga tinggi.

e. Berat molekul

Viskositas akan naik jika ikatan rangkap antar molekul semakin banyak.

f. Kekuatan antar molekul

Viskositas air akan naik dengan adanya ikatan molekul hidrogen, viskositas molekul CPO dengan gugus OH pada trigliserida naik dalam keadaan sama.

g. Konsentrasi larutan

Viskositas berbanding lurus dengan konsentrasi larutan. Suatu larutan dengan konsentrasi tinggi akan memiliki viskositas yang tinggi pula, karena konsentrasi larutan menyatakan bahwa banyaknya partikel zat yang terlarut tiap satuan volume. Semakin banyak pula partikel yang terlarut, gesekan antar partikel semakin tinggi dan viskositasnya semakin tinggi pula.

2.2.4.3 Nilai Kalor (*Calorific Value*)

Nilai kalor adalah jumlah panas yang dibutuhkan oleh suatu gram bahan bakar tersebut dengan meningkatkan temperatur 1 gr air dari 3.5°C – 4.5°C , dengan suatu kalori (Nabawiyah, 2010). Nilai kalor dari bahan bakar minyak umumnya berkisar antara 18,300 – 19,800 Btu/lb atau 10,160 -11,000 kkal/kg. Nilai kalor berbanding terbalik dengan berat jenis (*density*). Pada volume yang sama, semakin besar berat jenis suatu minyak, semakin kecil nilai kalornya, demikian juga sebaliknya semakin rendah berat jenis semakin tinggi nilai kalornya. Nilai kalor atas untuk bahan bakar cair ditentukan dengan pembakaran dengan oksigen bertekanan pada bomb calorimeter. Peralatan ini terdiri dari container stainless steel yang dikelilingi bak air yang besar. Bak air tersebut

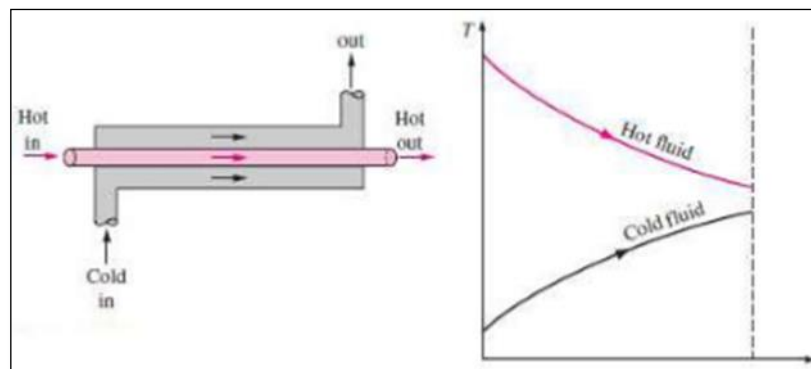
bertujuan meyakinkan bahwa temperatur akhir produk akan berada sedikit diatas temperatur awal reaktan, yaitu 25°C.

Nilai kalori dari bensin yang memiliki angka oktan 90-96 adalah sebesar $\pm 10,500$ kkal/kg. Nilai kalori diperlukan karena dapat digunakan untuk menghitung jumlah konsumsi bahan bakar minyak yang dibutuhkan untuk suatu mesin dalam suatu periode. Nilai kalori umumnya dinyatakan dalam satuan Kcal/kg atau Btu/lb (satuan british).

2.2.5 Tipe Aliran Penukar Kalor

2.2.5.1 Aliran Searah (parallel flow)

Penukaran kalor aliran searah (*Parallel flow*) adalah penukaran kalor dimana fluida panas akan masuk dan keluar searah dengan fluida pendingin, (cengel, 2003). Skema dan rata-rata ΔT dalam aliran parallel flow dapat dilihat pada Gambar 2.9 berikut :



Gambar 2.3 Skema dan Grafik rata-rata ΔT parallel flow

Laju perpindahan panas *parallel flow* :

$$q = m.c (T_2 - T_3)$$

Dimana : m = Laju masa fluida (kg/s) untuk debit 18 liter / menit = 0,3 kg/s

c = Kalor jenis air (4180 J / Kg °C)

T_3 = Suhu keluar fluida pendingin

T_2 = Suhu masuk fluida pendingin