

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Pemanfaatan sampah salah satunya limbah ban dengan menggunakan metode pirolisis sudah banyak diteliti oleh peneliti pendahulu. Alat dan variabel yang digunakan dalam penelitiannya juga bervariasi dan beragam pada setiap penelitian. Oleh sebab itu penelitian ini memiliki tujuan yaitu bagaimana cara memanfaatkan limbah ban bekas agar lebih optimal dengan melakukan variasi pada sudut kemiringan kondensor (pendingin) pada alat pirolisis. Dengan melakukan sedikit modifikasi sudut kemiringan kondensor pada alat pirolisis diharapkan dapat menghasilkan produksi minyak ban yang lebih optimal dan dapat mengurangi pencemaran lingkungan.

Syamsiro *et al.* (2016) melakukan penelitian menggunakan bahan baku sampah ban dalam sepeda motor yang dipotong kecil berukuran 2x2 cm dan ban luar yang dicacah, masing-masing massa ban yang digunakan 500 gram setiap eksperimen dengan campuran katalis sebanyak 75 gram. Suhu pirolisis yang digunakan pada penelitian ini yaitu dengan suhu 250°C, 300°C, dan 350°C yang dilakukan didalam sebuah reaktor tipe *rotary kiln*. Pada penelitian ini suhu yang paling optimal untuk menghasilkan minyak adalah pada suhu 350°C dapat menghasilkan minyak 10,92% untuk ban dalam dan 13,6% untuk ban luar. Dengan penambahan katalis produk minyak yang dihasilkan bertambah sebesar 3,19% untuk ban dalam dan 2,14% untuk ban luar. Dari pengaruh jenis ban yang digunakan pada penelitian ini, menunjukkan bahwa ban luar menghasilkan minyak yang lebih banyak dibandingkan dengan ban dalam. Pengaruh penggunaan katalis hanya berpengaruh sedikit terhadap produksi minyak yang dihasilkan baik untuk ban dalam maupun ban luar. Karakteristik minyak yang dihasilkan dari penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Karakteristik minyak ban hasil penelitian (Syamsiro *et al.*, 2016)

No.	Properties	Jenis Bahan	Non Katalis	Katalis
1	Viskositas (mPa.s)	Ban dalam	1,58-2,16	1,18-2,42
		Ban luar	1,31-1,92	1,14-2,11
2	Densitas (g/cm ³)	Ban dalam	0,75-0,80	0,80-0,90
		Ban luar	0,81-0,86	0,80-0,84
3	Nilai Kalor (MJ/kg)	Ban	35,45	

Mukharomah (2017) melakukan penelitian menggunakan bahan ban bekas yang dipotong berukuran 1x1 cm dan serbuk katalis zeolit. Proses pirolisis menggunakan variasi suhu 250°C, 300°C, dan 350°C di dalam reaktor dengan tekanan 1 atmosfer selama kurun waktu 60 menit, suhu kondensor dibuat konstan 26°C. Pada penelitian ini minyak yang dihasilkan paling banyak pada suhu 350°C sebanyak 190 ml untuk ban murni, sedangkan ban dengan campuran katalis menghasilkan minyak sebanyak 165 ml. Sifat karakteristik minyak yang dihasilkan dari penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 2.2 dan 2.3.

Tabel 2.2 Karakteristik minyak ban murni hasil penelitian (Mukharomah, 2017) terhadap pengaruh variasi temperatur

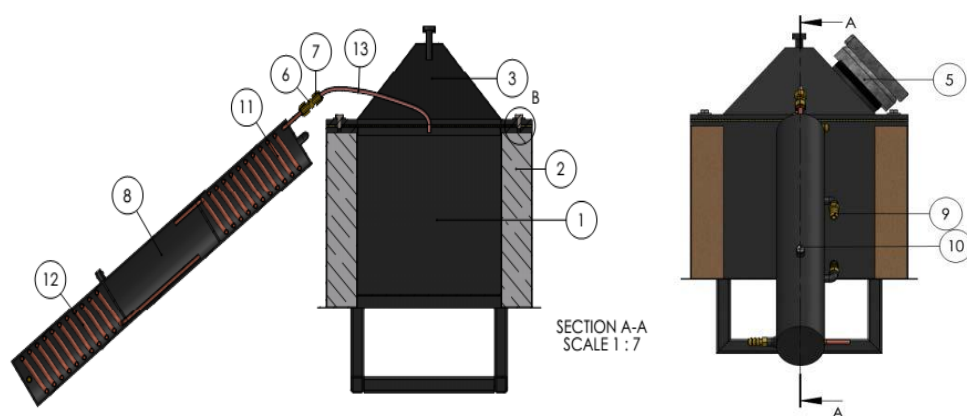
Properties	Suhu Pirolisis (°C)		
	250	300	350
Viskositas (mPa.s)	30	29	30
Densitas (kg/m ³)	730	710	730
Flash Point (°C)	30	29	30

Tabel 2.3 Karakteristik minyak ban dicampur katalis zeolit hasil penelitian (Mukharomah, 2017) terhadap pengaruh variasi temperatur

Properties	Suhu Pirolisis (°C)		
	250	300	350
Viskositas (mPa.s)	31	32	32
Densitas (kg/m ³)	780	790	790
Flash Point (°C)	29	30	29

Hasyim (2017) juga melakukan penelitian dengan variasi temperatur 250°C, 300°C, 350°C, 400°C, dan 450°C di dalam reaktor selama 60 menit. Bahan baku yang digunakan dengan perbandingan 2,5 kg ban bekas dan 2,5 kg serabut kelapa sawit menghasilkan minyak terendah pada suhu 250°C sebanyak 120 ml, sedangkan hasil minyak terbanyak didapat pada suhu 450°C yaitu 220 ml. Karakteristik minyak hasil yang paling optimal pada penelitian ini didapat pada suhu 350°C dengan nilai viskositas 33 mPa.s, nilai densitas 790 kg/m³, dan *flash point* 30°C.

Saputra dan Arijanto (2017) melakukan penelitian dengan bahan yang digunakan adalah ban bekas dengan massa 1000 gr yang dipotong menjadi ukuran 2-3 cm. Pirolisator yang digunakan dideasin *fix bed* karena untuk penelitian skala kecil, alat dapat dilihat pada Gambar 2.1. Suhu yang digunakan pada penelitian ini yaitu 250°C-350°C dengan bahan bakar untuk pembakaran menggunakan LPG. Pengujian dilakukan selama 60 menit dengan metode pendinginan *counter flow* dan *parallel flow*. Pendinginan dengan metode *counter flow* menghasilkan minyak sebanyak 165 gr (200 ml), arang 691 gr, gas 144 gr, dan LPG yang digunakan 42 gr. Sedangkan metode *parallel flow* menghasilkan minyak sebanyak 154 gr (170 ml), arang 706 gr, gas 140 gr, dan LPG yang digunakan 42 gr. Pendinginan dengan *counter flow* menyerap kalor sebesar 1177,65 kJ dan hilang pada gas sebesar 505,62 kJ, sedangkan pendinginan *parallel flow* hanya menyerap kalor 1135,52 kJ dan hilang pada gas sebesar 577,16 kJ.



Gambar 2.1 Alat Pirolisator *fix bed* (Saputra dan Arijanto, 2017)

Keterangan gambar 2.1. :

1. Reaktor
2. Bata tahan api
3. Kubah reaktor
5. Penutup reaktor
6. *Double nipple*
7. *Pipe fitting nut*
8. Kondensor
9. *House nipple*
10. *Pipe dop*
11. Pipa tembaga spiral kondenser 1
12. Pipa tembaga spiral kondenser 2
13. Pipa distribusi

Penelitian lain yang dilakukan oleh (Andriyanto, 2017) menggunakan bahan baku sampah plastik LDPE dengan total 3 kg dimana setiap percobaan menggunakan 1 kg sampah plastik LDPE yang dipotong dengan ukuran 5 cm x5 cm. Alat pirolisis pada penelitian ini menggunakan variasi kemiringan kondensor terhadap reaktor yaitu 0°, 15°, 30° dan debit air pendingin untuk kondensor 6 LPM. Dalam penelitian ini waktu percobaan dilakukan selama 100 menit dimana waktu yang paling efisien untuk proses pirolisis sampah plastik LDPE terjadi pada menit ke-20 sampai menit ke-50. Dari hasil variasi sudut kemiringan kondensor, diperoleh minyak hasil sebanyak 600 ml dengan sisa abu 117 gr pada sudut kemiringan kondensor 0°, untuk sudut 15° memperoleh minyak sebanyak 560 ml dengan sisa abu 160 gr, dan sudut 30° mendapatkan hasil minyak 500 ml dengan sisa abu 262 gr. Karakteristik minyak hasil dari penelitian setelah dilakukan uji nilai kalor, nilai viskositas, nilai densitas dan nilai *flash point* dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Perbandingan minyak hasil pirolisis plastik LDPE (Andriyanto, 2017) dengan bahan bakar minyak lain

No.	Parameter	Minyak Plastik LDPE	Minyak Tanah	Solar	Premium
1	Viskositas (mPa.s)	3 - 3,2	1,4	2 - 4,5	0,7
2	Nilai Kalor (cal/g)	10727,6 – 10836,8	10939,1	9240	11245
3	Densitas (g/ml)	0,8	0,9	0,8	0,7
4	Flash Point (°C)	32,2	60,2	52	43

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Pirolisis

Proses pirolisis telah lama dikenal dan sudah banyak peneliti yang melakukan penelitian pirolisis serta telah dipatenkan. Pada dasarnya proses pirolisis adalah proses perusakan suatu bahan menggunakan panas (*thermal*) (Falaah dan Cifriadi, 2012). Proses pirolisis merupakan metode yang optimal dan ramah lingkungan untuk proses penguraian dengan cara pemanasan tanpa atau dengan sedikit oksigen. Proses ini dapat digunakan untuk merubah komposisi kimia bahan seperti batubara, sampah organik dan non-organik (kertas, plastik) untuk menghasilkan sesuatu yang berguna seperti gas, arang (material padat), dan material cair (*bio-oil*) yang diharapkan akan menjadi bahan bakar alternatif dari bahan bakar fosil yang ada saat ini (Putra *et al.*, 2016).

Proses pirolisis atau devolatisasi adalah proses fraksinasi material oleh suhu yang dimulai pada temperatur 230°C komponen tidak stabil secara termal dan *volatile matters* pada sampah akan pecah dan menguap bersama komponen lainnya yang menghasilkan produk cair yang dipengaruhi oleh suhu, waktu dan juga laju pemanasan (Hasyim, 2017). Hossain *et al.* (2017) pirolisis adalah degradasi termal komponen organik yang berasal dari limbah padat dengan suhu pirolisis yang biasa digunakan berkisar 300°C-600°C untuk menghasilkan produk minyak, gas dan arang.

Pirolisis limbah ban merupakan teknologi yang masih perlu dikembangkan. Kendala dalam proses pirolisis yang biasa ditemui adalah pengkondensasian yang kurang optimal. Terjadinya kontak antara fluida gas dengan limbah ban di dalam reaktor menyebabkan terbawanya material hidrokarbon yang sudah mengalami perengkahan (*cracking*). Penyebaran fluida gas yang tidak merata pada saat proses kontak berlangsung disebabkan karena adanya penggelembungan, penorakan (*slugging*), dan saluran-saluran fluida yang terpisah. Hal ini mengakibatkan kontak antara fluida limbah ban dengan fluida pendingin menjadi tidak maksimal sehingga mempengaruhi volume minyak yang dihasilkan dan gas yang gagal terkondensasi akan terbuang ke lingkungan begitu saja yang berimbas pada kualitas minyak ban yang dihasilkan.

2.2.2 Ban

2.2.2.1 Pengertian Ban

Ban adalah peranti (komponen) yang menutupi *velg* suatu roda. Ban yang berbahan dasar karet termasuk dalam jenis polimer sintesis (*polystirene*), dimana polimer ini terbentuk dari molekul yang memiliki berat molekul ringan, terbentuk dari monomer stirena yang berbau harum. Kelebihan dari *polystirene* adalah ringan, keras, tahan panas, agak kaku, tidak mudah patah dan tidak beracun (Somad, 2010). Surdia dan Saito (2005) Ban yang berbahan dasar karet terbuat dari karet sintetik (*butadiene*), dimana karet ini dibuat dari kopolimerisasi antara butadien dan stiren menjadi polimer jenis SBR (*Stiren Butadien Rubber*).

Limbah ban bekas merupakan salah satu sampah non-organik yang setiap tahun produksinya terus meningkat di seluruh dunia karena diimbangi dengan pertumbuhan kendaraan bermotor yang setiap tahunnya mengalami peningkatan. Pada umumnya komposisi senyawa untuk penyusun ban yaitu 85,16 % karbon, 7,27 % hidrogen, 0,54 % oksigen, 0,38 % nitrogen, 2,30 % sulfur, dan 4,36 % *ash* (abu) (Galvagno *et al.* 2002).

2.2.3 Bahan Bakar Cair

Bahan bakar cair merupakan campuran dari senyawa hidrokarbon yang didapat dari alam maupun secara buatan. Umumnya bahan bakar cair berasal dari minyak bumi. Kemungkinan dimasa yang akan datang bahan bakar cair yang berasal dari *oil shale*, *tar sands*, batu bara dan biomassa akan meningkat jumlahnya. Minyak bumi berasal dari campuran alami hidrokarbon cair dengan sedikit belerang, nitrogen, oksigen, sedikit metal, dan mineral (Wiratmaja, 2010). Kebanyakan dari bahan bakar cair adalah campuran hidrokarbon yang didapat dari minyak mentah melalui tahapan proses destilasi (penyulingan), dan *cracking* (pemecahan) (Suprpto, 2004).

Dari segi penggunaannya yang mudah, efisiensi termis lebih tinggi, serta penanganan dan pengangkutannya lebih mudah, mengakibatkan penggunaan minyak bumi sebagai penyedia sumber energi yang utama menjadi semakin meningkat. Secara teknis, bahan bakar cair merupakan sumber energi yang terbaik, mudah ditangani, mudah dalam penyimpanan dan nilai kalor pembakarannya cenderung konstan. Ada beberapa kelebihan dari bahan bakar cair dibandingkan dengan bahan bakar padat lainnya diantaranya yaitu :

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

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

2.2.4 Karakteristik Bahan Bakar

Karakteristik bahan bakar cair yang dipakai untuk penggunaan tertentu, seperti pembakaran pada mesin atau peralatan-peralatan yang menggunakan bahan bakar pastilah memiliki karakteristik yang berbeda-beda. Karakteristik ini yang akan menentukan sifat-sifat dalam proses pembakaran. Untuk mengoptimalkan hasil pembakaran bahan bakar cair yang akan digunakan, sebaiknya perlu mengetahui karakteristiknya terlebih dahulu. Secara umum karakteristik bahan bakar cair yang perlu diketahui adalah sebagai berikut :

2.2.4.1 Titik nyala (*Flash Point*)

Titik nyala (*flash point*) adalah suhu terendah suatu bahan bakar minyak dimana akan menimbulkan nyala api sesaat, ketika permukaan minyak tersebut di dekatkan nyala api. Titik nyala ini diperlukan sehubungan dengan adanya pertimbangan faktor keamanan dari penimbunan minyak dan pada saat pengangkutan bahan bakar minyak terhadap risiko bahaya kebakaran yang bisa terjadi. Titik nyala ini tidak berpengaruh besar dalam persyaratan pemakaian bahan bakar minyak untuk mesin diesel dan ketel uap. Beberapa contoh titik *flash point* bahan bakar minyak dapat dilihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5. Tabel *Flash Point* Biodiesel (Dermanto, 2008)

Bahan Bakar	<i>Flash Point</i>
Bensin	7,2 °C
Solar	51,6 °C
Biodiesel	148,8 °C

2.2.4.2 Viskositas (*Viscosity*)

Viskositas adalah suatu angka yang menyatakan ukuran hambatan (kekentalan) suatu fluida untuk mengalir atau ukuran besarnya tahanan geser dari fluida. Viskositas suatu fluida akan menurun dengan meningkatnya temperatur. Semakin besar nilai viskositas suatu fluida maka akan semakin kental dan sulit mengalir. Sebaliknya jika nilai viskositas rendah fluida semakin encer dan lebih mudah mengalir. Di dalam fluida cair, viskositas dihasilkan oleh gaya kohesi antara molekul zat cair. Sedangkan dalam gas, viskositas ditimbulkan akibat tumbukan antara molekul gas. Cara mengukur besar viskositas yaitu dengan alat *viscometer*, dan hasil (besarnya viskositas) yang didapat harus disebutkan nama *viscometer* yang digunakan serta temperatur minyak pada saat pengukuran.

Viskositas berpengaruh terhadap derajat pemanasan awal yang diperlukan untuk *handling* (perlakuan), penyimpanan dan atomisasi yang optimal. Jika minyak terlalu kental akan menyulitkan pada saat proses pemompaan, sulit menyalakan *burner*, dan sulit untuk dialirkan. Atomisasi yang jelek

mengakibatkan terbentuknya endapan karbon pada ujung atau dinding *burner*. Oleh karena itu pemanasan awal penting untuk proses atomisasi. Faktor-faktor yang mempengaruhi viskositas adalah sebagai berikut (Rana, 2015) :

1. Tekanan

Naiknya suatu tekanan sebanding dengan naiknya cairan viskositas, sedangkan viskositas gas tidak dipengaruhi oleh tekanan.

2. Temperatur

Naiknya suhu mengakibatkan turunnya nilai viskositas, sedangkan naiknya viskositas gas diimbangi dengan naiknya suhu. Pemanasan zat cair menyebabkan molekul-molekulnya mendapatkan energi. Molekul-molekul cairan akan bergerak sehingga gaya antar molekul melemah. Dengan demikian viskositas cairan akan turun dengan kenaikan temperatur.

3. Kehadiran zat lain

Penambahan gula tebu dapat meningkatkan viskositas air. Adanya bahan tambahan seperti bahan suspensi dapat menaikkan viskositas air. Pada minyak ataupun gliserin adanya zat penambah berupa air akan menyebabkan nilai viskositas menurun karena minyak maupun gliserin akan semakin encer, sehingga waktu alirnya semakin cepat.

4. Ukuran dan berat molekul

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

5. Ikatan Rangkap

Viskositas akan naik jika ikatan rangkap antar molekul semakin banyak.

6. Kekuatan antar molekul

Viskositas air mengalami kenaikan dengan adanya ikatan molekul hidrogen, viskositas molekul CPO dengan gugus OH pada trigliserida naik secara bersamaan.

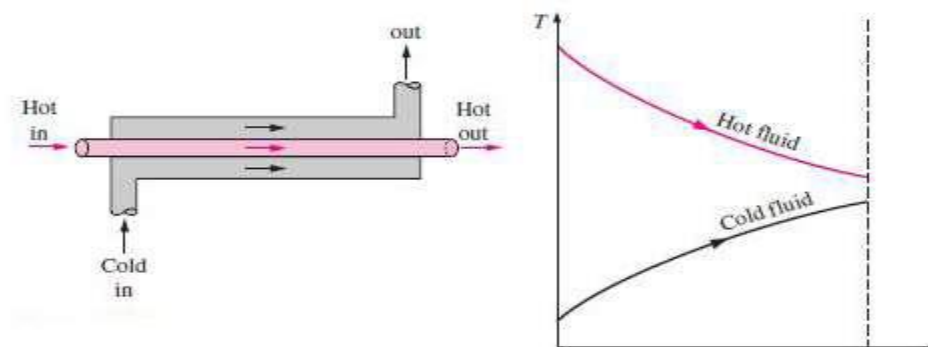
2.2.4.3 Nilai Kalor (*Calorific Value*)

Nilai kalor merupakan suatu nilai yang menyatakan jumlah panas (kalori) dari hasil proses pembakaran bahan bakar dengan udara / oksigen. Nilai kalor bahan bakar minyak umumnya berkisar antara 18,300 – 19,800 Btu/lb atau 10,160 – 11,000 kkl/kg. Nilai kalor berbanding terbalik dengan berat jenis (*density*). Semakin besar berat jenis minyak maka semakin kecil nilai kalornya, sebaliknya semakin kecil berat jenis minyak maka semakin besar nilai kalornya. Nilai kalor untuk bahan bakar cair ditentukan dengan pembakaran menggunakan oksigen bertekanan pada *bomb calorimeter*. Peralatan ini terdiri dari *container stainless steel* yang dikelilingi bak air yang besar di dalam *bomb calorimeter*. Penggunaan bak air bertujuan untuk meyakinkan bahwa temperatur akhir dari produk akan berada sedikit di atas temperatur awal reaktan, yaitu 25°C (Wiratmaja, 2010).

Nilai kalori dari BBM jenis bensin dengan angka oktan 90-96 adalah sebesar $\pm 10,500$ kkal/kg. Nilai kalori suatu bahan bakar cair diperlukan untuk menghitung jumlah konsumsi bahan bakar minyak yang dibutuhkan untuk suatu mesin. Umumnya nilai kalor dinyatakan dalam satuan Kcal/kg atau Btu/lb (satuan british) (Andriyanto, 2017).

2.2.5 Tipe Aliran Sejajar (*Parallel Flow*)

Tipe aliran sejajar atau biasa disebut dengan *parallel flow* adalah penukaran kalor dengan fluida panas dan fluida dingin, dimana masuk dan keluarnya fluida arahnya sama (Cengel, 2003). Skema dan grafik rata-rata ΔT dalam aliran *parallel flow* dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Skema *parallel flow* (Sumber: Cengel, 2003: 668).

Rumus untuk mencari laju perpindahan panas *parallel flow*:

$$q = m.c (T_3-T_2) \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan : m = Laju massa fluida (kg/s) untuk debit 6 liter / menit = 0,1 kg/s

c = Kalor jenis air (4180 J/kg °C)

T₃ = Suhu keluar fluida pendingin (°C)

T₂ = Suhu masuk fluida pendingin (°C)