

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Metode pirolisis merupakan salah satu cara untuk memanfaatkan limbah, salah satunya limbah ban. Penelitian yang dilakukan dengan metode pirolisis dapat dilakukan dengan alat dan variabel yang bervariasi atau beragam pada setiap penelitian. Penelitian ini bertujuan memanfaatkan limbah ban bekas dengan melakukan variasi pada sudut kemiringan kondensor (pendingin) pada alat pirolisis. Kemiringan pada sudut kondensor diharapkan dapat menghasilkan minyak ban bekas yang lebih baik dan mengurangi dampak pencemaran pada lingkungan.

Pada penelitian Hasyim (2017) 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.

Penelitian Andriyanto (2017) ini menggunakan bahan baku sampah plastik LDPE yang dipotong dengan ukuran 5 cm x 5 cm. Alat pirolisis pada penelitian ini menggunakan variasi kemiringan kondensor terhadap reaktor yaitu 0°, 15°, 30° dan debit air pendingin untuk kondensor 6 LPM. Penelitian ini dilakukan selama 100 menit dimana waktu paling efisien untuk proses pirolisis sampah plastik LDPE terjadi pada menit ke-20 sampai menit ke-50. Hasil variasi sudut kemiringan kondensor, diperoleh minyak hasil sebanyak 600 ml dengan sisa abu 117 g pada sudut kemiringan kondensor 0°, untuk sudut 15° memperoleh minyak sebanyak 560 ml dengan sisa abu 160 g, dan sudut 30° mendapatkan hasil minyak sebanyak 500 ml dengan sisa abu 262 g. Karakteristik minyak hasil dari penelitian

setelah dilakukan uji nilai kalor, nilai viskositas, nilai densitas dan nilai *flash point* dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Perbandingan minyak hasil pirolisis plastic 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	<i>Flash Point</i> (°C)	32,2	60,2	52	43

Penelitian yang dilakukan Mukharomah (2017) ini menggunakan bahan ban bekas yang dipotong berukuran 1x1 cm dan serbuk katalis zeolite. Proses pirolisis menggunakan variasi suhu 250°C, 300°C, dan 350°C di dalam reactor dengan tekanan 1 atmosfer selama kurun waktu 60 menit, suhu kondensor dibuat konstan 26°C. Pada penelitian ini minyak yang dihasilkan 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
<i>Flash Point</i> (°C)	30	29	30

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

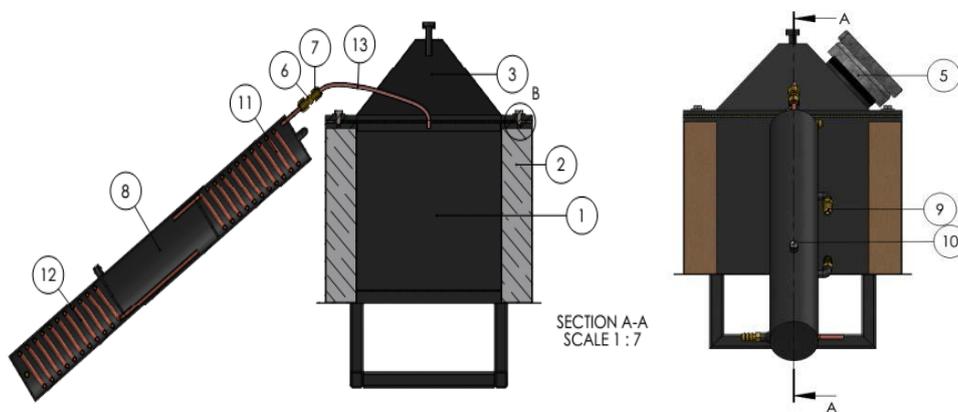
Properties	Suhu Pirolisis (°C)		
	250	300	350
Viskositas (mPa.s)	31	32	32
Densitas (kg/m ³)	780	790	790
Flash Point (°C)	29	30	29

Penelitian Syamsiro (2016) ini 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 di dalam sebuah reactor 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.

Tabel 2.4 Karakteristik minyak ban hasil penelitian (Syamsiro, 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	

Saputra dan Arijanto (2017) melakukan penelitian dengan bahan yang digunakan adalah ban bekas dengan massa 1000 g ban tersebut dipotong-potong dengan ukuran sekitar 2-3 cm. Menggunakan pirolisator didesain *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 pembakarab menggunakan LPG. Pengujian dilakukan selama 60 menit dengan metode pendinginan *counter flow* dan *parallel flow*. Pendinginan dengan metode *counter flow* menghasilkan minyak sebanyak 165 g (200 ml), arang 691 g, gas 144 g, dan LPG yang digunakan 42 g. Sedangkan metode *parallel flow* menghasilkan minyak sebanyak 154 gr (170 ml), arang 706 g, gas 140 g, dan LPG yang menggunakan 42 g. Pendinginan dengan menggunakan *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 2.2 Alat Pirolisator *fix bed* (Saputra dan Arijanto, 2017).

Keterangan gambar 2.2. :

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 pirolisis lain dilakukan oleh (Wiga, 2017) bahan yang digunakan dalam penelitian berupa ban bekas bagian dalam yang dipotong-potong dengan ukuran 1×1 cm, dengan katalis dengan variable bebasnya adalah variasi suhu kompor 400°C, 500°C, dan 600°C. kuantitas minyak hasil pirolisis yang dihasilkan berbeda-beda meskipun tidak terlalu signifikan. Dari hasil pengujian bahan ban bekas katalis dengan jumlah 2 kg menghasilkan minyak pirolisis dengan suhu kompor 600°C pada laju pemanasan 8,5°C/menit didapatkan hasil cairan sebanyak 21 ml. kemudian pada laju pemanasan 11,1°C/menit hasil cair yang didapatkan sebesar 25 ml dan pada laju pemanasan 16,6°C/menit hasil cair yang didapatkan 31 ml. laju pemanasan sangat berpengaruh pada hasil cair yang diperoleh. Semakin tinggi laju pemanasan hasil cair yang didapatkan akan semakin banyak. Untuk sifat karakteristik yang dimiliki dilihat dari nilai viskositas, *flash point*, dan densitas. Karakteristik minyak dihasilkan dapat dilihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Karakteristik hasil minyak pada penelitian (Wiga, 2017).

No	<i>Properties</i>	8,5 °C /menit	11,1 °C/menit	16,6 °C/menit
1	<i>Viscosity</i>	31 mPa.s	30 mPa.s	28 mPa.s
2	<i>Flash Point</i>	30 °C	31 °C	31 °C
3	<i>Density</i>	0,71 g/ml	0,72 g/ml	0,73 g/ml

Pada laju pemanasan 8,5°C/menit cairan memiliki nilai viskositas 31 mPa.s. pada laju pemanasan 11,1°C/menit didapatkan viskositas hasil cair tersebut sebesar 30 mPa.s. sedangkan pada laju pemanasan 16,6°C/menit hasil viskositasnya adalah 28 mPa.s. Dari laju pemanasan 8,5°C/menit titik flash point berada pada suhu 30°C. Sedangkan pada laju pemanasan 11,1°C/menit dan 16,6

$^{\circ}\text{C}/\text{menit}$ berada pada suhu 31°C . Densitas tertinggi terdapat pada laju pemanasan $16,6^{\circ}\text{C}/\text{menit}$ dengan nilai densitas $0,73 \text{ g/ml}$. Dari hasil pembahasan mengenai sifat karakteristik minyak dari hasil pirolisis ban bekas dengan katalis memiliki hasil terbaik pada laju pemanasan $16,6^{\circ}\text{C}/\text{menit}$. Pada laju pemanasan $16,6^{\circ}\text{C}/\text{menit}$ ini cairannya memiliki warna agak jernih dan hasil yang encer tanpa adanya endapan di dibandingkan laju pemanasan $8,5^{\circ}\text{C}/\text{menit}$ dan $11,1^{\circ}\text{C}/\text{menit}$.

Penelitian lainnya dilakukan oleh (Santoso, 2010) dalam penelitian ini bahan yang digunakan berupa plastik jenis PP (*Poly Propylene*) dan LDPE (*Low Density Polyethylene*) temperatur yang digunakan tetap sebesar 300°C , 350°C , 400°C , dan 450°C . Pada pirolisis plastik jenis PP didapatkan hasil tertinggi pada temperatur 450°C sebesar 66% minyak plastik pp, 5% gas dan 85% abu, sedangkan hasil terendah pada temperatur 300°C sebesar 9% minyak, 31% gas, dan 31% abu. Kemudian pada pirolisis plastik jenis LDPE didapatkan hasil tertinggi pada suhu 450°C dan terendah pada suhu 300°C , masing-masing sebesar 66% dan 34%. Jumlah gas yang dihasilkan dari proses pirolisis sampah plastik LDPE mencapai presentase tertinggi pada suhu reaktor 400°C dan terendah pada 300°C sebesar 51% dan 26%. Sedangkan hasil abu tertinggi pada suhu reaktor sebesar 300°C dan terendah pada suhu 400°C dan 450°C masing-masing sebesar 40% dan 6%. Untuk hasil karakteristik hasil pirolisis sampah plastik PP dan LDPE dapat dilihat pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6 Karakteristik hasil minyak PP (*Poly Propylene*) dan LDPE (*Low Density Polyethylene*) (Santoso, 2010).

No	Properties	PP				LDPE			
		300°C	350°C	400°C	450°C	300°C	350°C	400°C	450°C
1	Viskositas (mPa.s)	0,35	0,38	0,47	0,53	0,40	0,57	0,61	0,75
2	Densitas (g/ml)	0,71	0,72	0,74	0,74	0,74	0,75	0,76	0,77
3	Nilai kalor (Cal/g)	10270,37	11017,96	9661,32	10222,60	9974,20	10602,37	9921,66	10905,70

Data viskositas dinamik menunjukkan kekentalan minyak tertinggi diperoleh dari hasil pirolisis plastik LDPE pada suhu 450°C sebesar $0,75 \text{ mPa.s}$, kekentalan

terendah didapat dari hasil pirolisis minyak PP dengan suhu 300°C sebesar 0.35 mPa.s dan nilai rata-ratanya adalah 0.51 mPa.s. Kemudian densitas tertinggi didapat dari hasil minyak LDPE pada suhu 450°C sebesar 0.77 g/ml, nilai terendah dihasilkan dari hasil pirolisis minyak PP pada suhu 300°C sebesar 0.71 g/ml, dan nilai rata-ratanya adalah sebesar 0.74 g/ml. Selanjutnya nilai kalor tertinggi didapat dari hasil pirolisis plastik PP pada suhu 350°C sebesar 11017.96 cal/g, nilai terendah didapat dari hasil pirolisis minyak PP pada suhu 400°C sebesar 9661.32 cal/g, dan nilai rata-ratanya sebesar 10349.19 cal/g. Hasil pengujian menunjukkan bahwa perbedaan jenis plastik sangat mempengaruhi karakteristik minyak, hal ini disebabkan komposisi dari minyak pirolisis PP dan LDPE berbeda.

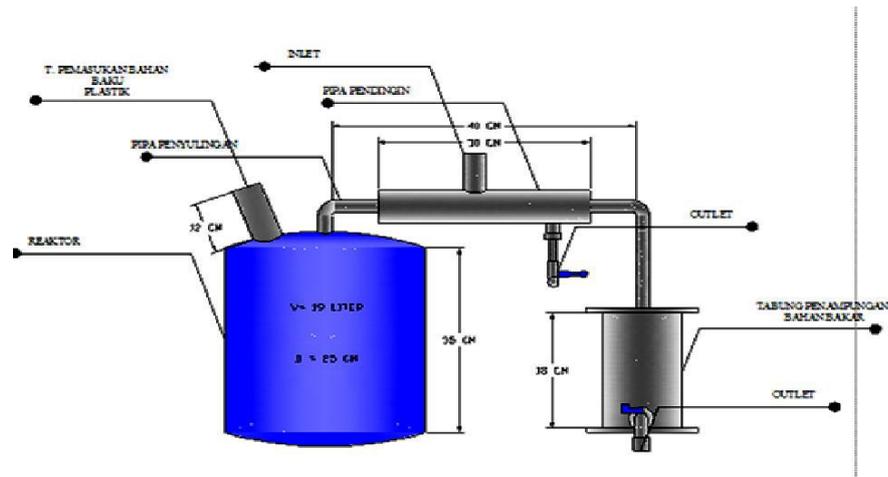
Penelitian yang dilakukan (Nugraha dkk, 2013) menggunakan bahan baku plastik *Polypropilen* dengan suhu pemanasan 400-500°C dan dialiri nitrogen selama 30 menit. Pada penelitian yang dilakukan oleh Nugraha dkk menghasilkan minyak sebanyak 500 ml.

Tabel 2.7 Karakteristik minyak plastik hasil penelitian (Nugraha dkk, 2013).

No	<i>Properties</i>	<i>Value</i>
1	Viskositas	(60°F) 0,721 mPa.s
2	Densitas	(60°F) 0,7499 gr/ml

Dilihat dari besaran densitas minyak yang dihasilkan pada penelitian (Nugraha dkk, 2013) telah memenuhi syarat spesifikasi bensin komersial pertamina. Standar bensin komersial pertamina sesuai keputusan Direktur Jenderal Minyak dan Gas Bumi No. 3674 K/24/DJM/2006 memiliki densitas (60°F) 715 – 780 kg/m³.

Pada penelitian pirolisis yang dilakukan (Kadir, 2012) bahan yang digunakan yaitu plastik jenis PET, HDPE, dan PP yang sudah di bersihkan dan di potong-potong dengan massa bahan baku 500 g. Peralatan yang digunakan adalah satu set instalasi pengolahan plastik yang dirakit manual dan satu unit pengukur temperatur (*infrared termocouple*) dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Skema alat pirolisis (Kadir, 2012).

Parameter yang diamati pada penelitian ini yaitu kekentalan bahan bakar cair dari beberapa jenis plastik dan sifat mampu bakar secara kontinyu (*Combustible*) yang dilakukan secara visual. Untuk hasil pengujian kadir dapat dilihat pada Tabel 2.8.

Tabel 2.8 Hasil Pengujian Pirolisis (Kadir, 2012).

Perbandingan			
Sumber	Bahan (gr)	Suhu maksimal (°C)	Hasil Minyak (ml)
Kadir, 2012	500 (PP)	300	484
	500 (HDPE)	415	403
	500 (PET)	400	447

Penelitian pirolisis lain dilakukan oleh (Wasesa dkk ,2016) menggunakan bahan baku plastik LDPE bening yang sudah dibersihkan, dikeringkan dan dicacah sebanyak 1kg. Alat pengolahan sampah plastik mampu menghasilkan 1100 ml dan padatan berupa residu sebanyak 178 gram dengan waktu 180 menit, suhu pirolisis 200°C - 250°C dan memerlukan bahan bakar gas LPG sebanyak 2 kg. Sampah plastik menghasilkan minyak pertama kali diwaktu 78 menit dengan suhu 170°C. Tungku pembakaran pada saat uji coba alat mencapai suhu 438°C.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Pirolisis

Pirolisis berasal dari kata *Pyro* (*Fire/Api*) dan *Lyo* (*Loosening/Pelepasan*) untuk dekomposisi termal dari suatu bahan organik. Proses pirolisis dimulai dari temperature tertentu, ketika komponen yang tidak stabil secara *thermal* dan *volatile matters* pada ban akan pecah dan menguap bersamaan dengan komponen lainnya. Produk cairan yang hasil pirolisis umumnya terdiri dari tiga jenis yaitu gas (H_2 , CO , CO_2 , H_2O dan CH_4), tar (*pirolitic oil*) dan arang. Parameter yang mempengaruhi pada kecepatan reaksi pirolisis mempunyai hubungan yang sangat kompleks, sehingga model matematis persamaan kecepatan reaksi pirolisis yang diformalisasikan oleh setiap penelitian selalu menunjukkan rumus empiris yang berbeda (Trianna dan Rochimoellah, 2002).

Pirolisis adalah proses penguraian dengan cara pemanasan tanpa atau dengan sedikit oksigen dan bahan akan terurai menjadi ikatan molekul yang lebih kecil. Proses ini dapat digunakan untuk merubah komposisi kimia 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 alternative dari bahan bakar fosil yang ada pada saat ini (Putra, 2016).

Faktor-faktor atau kondisi yang mempengaruhi proses pirolisis adalah :

1. Waktu

Waktu berpengaruh terhadap produksi yang dihasilkan karena, semakin lama waktu proses pirolisis berlangsung produk yang dihasilkan (residu padat, tar, dan gas) makin naik. Kenaikan itu sampai dengan waktu tak hingga yaitu waktu yang diperlukan sampai hasil padatan residu, tar dan gas mencapai konstan. Untuk itu pada proses pirolisis penentuan waktu optimal sangat lah penting.

2. Suhu

Suhu sangat mempengaruhi produk yang dihasilkan karena sesuai dengan persamaan arhenius suhu semakin tinggi nilai konstan

dikomposisikan thermal makin esar akibat laju pirolisis bertambah dan konversi naik.

3. Ukuran Partikel

Ukuran partikel berpengaruh terhadap hasil. Semakin besar ukuran partikel luas permukaan per satuan berat semakin kecil, sehingga proses akan menjadi lambat (Wahyudi, 2001).

4. Berat Partikel

Semakin banyak bahan yang dimasukkan menyebabkan hasil bahan bakar cair tar arang meningkat (Wahyudi, 2001).

5. Bahan baku

komposisi kimia, kadar air.

6. Suhu lingkungan

Suhu lingkungan sekitar juga dapat berpengaruh pada suhu kerja di dalam kondensor yaitu ketika suhu lingkungan lebih tinggi dari suhu fluida kondensor dikarenakan suhu pendingin yang terpengaruh suhu lingkungan akan berkurang keefektifannya di dalam memberikan pendingin pada pipa tembaga yang ada dalam kondensor.

2.2.2 Ban

Ban terbuat dari bahan dasar karet yang merupakan salah satu jenis Polimer sintesis (*polystyrene*). *Polistyrene* adalah molekul yang memiliki berat molekul ringan, terbentuk dari monomer *stirena* yang berbau harum. *Polistyrene* sendiri memiliki sifat ringan, keras, tahan panas, agak kaku, tidak mudah patah dan tidak beracun. (Surdia dan Saito, 2005) Ban yang berbahan dasar karet terbuat dari karet sintetis (*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 organic* yang tidak dapat terurai oleh bakteri dan setiap tahun penggunaan an semakain meningkat karena pengaruh kemajuan teknologi. 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 , 2002).

2.2.3 Bahan Bakar Cair

Bahan bakar cair merupakan gabungan senyawa hidrokarbon yang diperoleh dari alam maupun secara buatan. Bahan bakar cair umumnya berasal dari minyak murni karena bahan bakar cair mudah terbakar. Kemungkinan bahan bakar cair berasal dari oli *sheal*, tar sands, batubara dan biomasa.

Secara teknis bahan bakar cair merupakan energi yang terbaik mudah ditangani, mudah dalam penyimpanan dan nilai kalor pemakaran cenderung konstan. Beberapa kelebihan dari bahan bakar cair dibandingkan dengan bahan bakar padat antara lain :

- Kebersihan dari hasil pemakaran
- Menggunakan alat bakar yang lebih kompak
- Pengangan nya lebih mudah

2.2.4 Karakteristik bahan bakar cair

Karakteristik bahan bakar cair yang akan dipakai tergantung dengan penggunaan tertentu untuk mesin atau peralatan lain perlu diketahui terlebih dahulu. Dengan maksud agar hasil dari pemakaran dapat tercapai secara optimal. Secara umum karakteristik bahan bakar cair yang perlu diketahui adalah sebagai berikut:

2.2.4.1 Titik tuang (*pour point*)

Titik tuang adalah suatu angka yang menyatakan suhu terendah dari bahan bakar minyak sehingga bahan bakar tersebut masih dapat mengalir karena gaya gravitasi. Titik tuang ini diperlukan sehubungan dengan adanya persyaratan praktis dari prosedur penimunan dan pemakaian dari bahan bakar minyak. Hal ini dikarenakan bahan bakar minyak sering sulit untuk dipompa, apabila suhu telah dibawah titik tuang.

2.2.4.2 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 resiko 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 2.9 Tabel *Flash Point* Biodiesel (Dermanto, 2008).

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

2.2.4.3 Viskositas

Viskositas dihasilkan oleh gaya kohesi antara molekul zat cair sehingga menyebabkan adanya tegangan geser antara molekul-molekul yang bergerak (Mutmainnah dan Eka Suci).

Viskositas adalah suatu angka yang menyatakan besar perlawanan atau hambatan dari suatu bahan akar cair untuk mengalir atau ukuran tahanan geser dari bahan cair. Makin tinggi viskositas minyak akan makin kental dan lebih sulit mengalir. Demikian sebaliknya makin rendah viskositas minyak makin encer dan lebih mudah minyak untuk mengalir. Viskositas dapat dianggap sebagai gerakan dibagian dalam (internal) suatu fluida (Sears & Zemansky, 1982). Viskositas (kekentalan) berasal dari perkataan *Viscous* (Soedjo, 1986).

Cara pengukuran besaran viskositas tergantung pada viscometer yang digunakan dan hasil yang didapat harus di bubuhkan nama viscometer yang digunakan serta temperatur minyak pada pengukuran. Viskositas pada pelumas akan meningkat seiring meningkatnya juga tekanan yang ada di sekitar pelumas (Hangar, dalam Syahputra HR, 2007).

Berikut adalah faktor faktor yang mempengaruhi viskositas (Rana, 2015)

1. Tekanan

Viskositas fluida cair naik ketika adanya kenaikan tekanan, sedangkan viskositas pada gas tidak dipengaruhi oleh tekanan.

a. Temperatur

Viskositas fluida cair turun dengan adanya kenaikan pada temperatur, sedangkan pada viskositas gas naik dengan adanya kenaikan temperatur. Molekul yang ada pada fluida cair akan bergerak sehingga interaksi antar molekul melemah. Dengan begitu viskositas fluida cair turun dengan kenaikan pada temperatur.

b. Kehadiran Zat lain

Penambahan gula tebu akan meningkatkan viskositas air, adanya tambahan seperti bahan suspensi dapat menaikkan viskositas air. Pada minyak ataupun gliserin adanya penambahan air akan menyebabkan viskositas turun karena minyak akan semakin encer dan waktu alirnya semakin cepat.

c. Ukuran dan berat molekul

Kenaikan berat molekul dapat membuat kenaikan pada viskositas. Aliran alkohol cepat, larutan minyak laju aliran lambat dan kekentalannya tinggi serta laju aliran lambat sehingga viskositasnya juga tinggi adalah beberapa contoh.

d. Berat Molekul

Ikatan rangkap yang bertambah banyak akan menyebabkan kenaikan pada viskositasnya.

e. Kekentalan pada Molekul

Ikatan hidrogen dapat menaikkan viskositas air.

f. Konsentrasi Larutan

Viskositas berbanding lurus dengan konsentrasi larutan. Larutan dengan konsentrasi tinggi akan memiliki viskositas yang tinggi, konsentrasi pada larutan menyatakan banyak partikel zat yang terlarut, gesekan antar partikel semakin tinggi dan viskositasnya semakin tinggi pula.

2.2.5 Nilai kalor

Nilai kalor adalah jumlah energi kalor yang dilepaskan bahan bakar pada waktu terjadinya oksidasi unsur-unsur kimia yang ada pada bahan bakar tersebut (Farel, 2006). Nilai kalor merupakan jumlah panas yang dihasilkan oleh pembakaran sempurna dari bahan bakar. Diukur dalam satuan energi per jumlah material misalnya KJ/Kg nilai kalor ada dua macam yaitu:

1. *Lower Heating Value* (LHV)

Lower Heating Value Adalah nilai kalor atas. Nilai kalor atas ditentukan oleh H₂O pada produk pembakaran berbentuk cairan

2. *Higher Heating Value* (HHV)

Higher Heating Value adalah nilai kalor bawah. Nilai kalor bawah ditentukan pada saat H₂O pada produk pembakaran berbentuk gas

Nilai kalor dirumuskan dengan persamaan (2.1) sebagai berikut :

$$\text{Nilai kalor} = H_{\text{produk}} (H_p) - H_{\text{reaktan}} (H_r) \dots\dots\dots (2.1)$$

Dengan:

$$H_p = \sum_i (N_{p,i} \cdot h_{f,p,i}^{\circ})$$

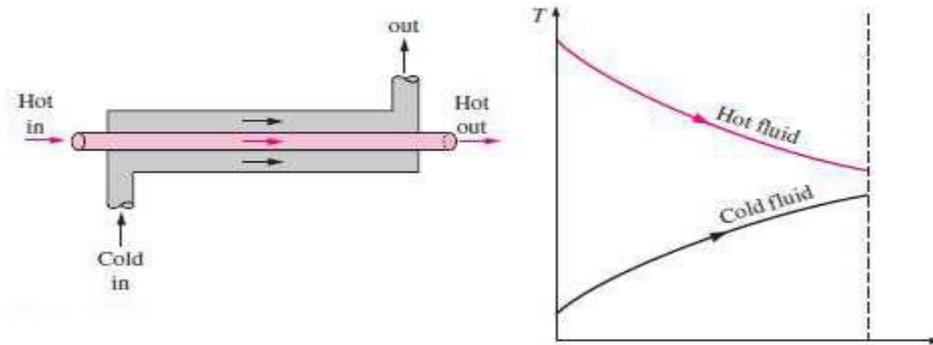
$$H_r = \sum_j (N_{p,j} \cdot h_{f,p,j}^{\circ})$$

Nilai kalor 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*). Semakin besar berat jenis minyak maka semakin kecil nilai kalornya, sebaliknya semakin kecil berat jenis minyak maka semakin besar nilai kalornya. Nilai kalori dari BBM jenis bensin dengan angka oktan 90-96 adalah sebesar ±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*) (Andriyanto2017).

2.2.6 Tipe Aliran Sejajar

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 dan grafik rata-rata ΔT dalam aliran *parallel flow*.

Rumus untuk mencari laju perpindahan panas *parallel flow*:

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

Keterangan : \dot{m} = Laju massa fluida (kg/s) untuk debit 6 liter / menit

$$= 0,1 \text{ kg/s}$$

c = Kalor jenis air (4180 J/kg °C)

T_3 = Suhu keluar fluida pendingin (°C)

T_2 = Suhu masuk fluida pendingin (°C)