

BAB II

DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Indah (2013) telah melakukan penelitian tentang pengolahan plastik LDPE (*Low Density Polyethylene*) dan PP (*Polypropylene*) menjadi bahan bakar alternatif, sebelum proses pirolisis dimulai, bahan – bahan plastik LDPE dan PP dibersihkan dan dicacah menjadi kecil, kemudian biomassa plastik dimasukkan ke dalam reaktor beserta katalis zeolit dan reaktor dipanaskan hingga suhu 400 °C, kemudian dilakukan kembali pada temperatur 350 °C, 300 °C, serta 250 °C. Dari proses ini menghasilkan *bio oil* paling banyak dari plastik PP pada suhu 400°C (50,08 %) sedangkan dari plastik LDPE pada suhu 300°C (46,02 %), sedangkan nilai densitas dari *bio oil* plastik PP dan LDPE mendekati nilai densitas pada minyak tanah dan solar, untuk nilai viskositas dari keduanya mendekati nilai viskositas bensin, dan nilai kalor *bio oil* dari plastik PP dan LDPE mendekati nilai kalor solar.

Mustafa (2014) melakukan penelitian tentang metode pirolisis menggunakan sampah plastik pada temperatur 900 °C. Uap hasil dari proses pirolisis kemudian dikondensasi melalui *crassflow condensor*. Dari proses ini menghasilkan *bio oil* dengan nilai kalor sebesar 46,848 MJ/kg yang memiliki arti lebih besar dari pada pengolahan sampah plastik suhu 425 °C yaitu sebesar 41.870 MJ/kg, selain itu *bio oil* yang dihasilkan memiliki sifat lebih aman terhadap sifat karsinogenik.

Norsujianto (2014) melakukan penelitian limbah plastik yang di pirolisis menjadi bahan bakar minyak dengan menggunakan reaktor tipe *Batch* bertemperatur 450 °C yang dialirkan nitrogen dengan kecepatan 0,81 /menit. Kemudian dilakukan pengujian pertama yaitu pirolis ini diuji laboratorium untuk menentukan properties bahan bakar dengan perbandingan campuran 05:95 (*blend* 5%), 10:90 (*blend* 10%), 15:85 (*blend* 15%), 20:80 (*blend* 20%). Campuran 10%

WPO memiliki torsi sedikit lebih tinggi dari pada biosolar. Campuran 5, 15 dan 20% memiliki torsi yang identik dengan biosolar, namun dengan bertambahnya putaran motor campuran 5% WPO torsinya lebih rendah lagi. Fenomena adanya nilai torsi maksimum pada putaran tertentu dikarenakan kenaikan torsi akibat kenaikan putaran mesin dibatasi waktu yang tersedia untuk pembakaran pada putaran tinggi semakin singkat dan karena adanya peningkatan rugi-rugi mekanis. Kemudian dilakukan pengujian kedua pengujian kedua minyak pirolisis plastik kemudian diujikan pada motor diesel *Engine Research and Test Bed Nissan Diesel SD22 Series* tanpa modifikasi. Daya sebagai fungsi dari putaran motor yang dihasilkan oleh campuran 20 dan 10% sedikit lebih tinggi 0,15 dan 0,29%. Semakin tinggi putaran mesin maka semakin tinggi pula daya yang dihasilkan. Hal ini dipengaruhi oleh kenaikan energi yang dilepas oleh bahan bakar, maka jumlah bahan bakar yang masuk keruang bakar semakin tinggi. Hubungan antara daya dan putaran ini membentuk kurva yang cenderung linier, namun apabila dicermati lebih lanjut kurva tersebut membentuk kurva parabolik tertutup yang mempunyai puncak pada suatu nilai tertentu.

Devaraj (2015) melakukan penelitian dengan limbah plastik yang dipirolisis dengan campuran 5 % dan 10 % dietil eter yang digunakan sebagai bahan bakar pada mesin diesel. Investigasi percobaan tersebut bertujuan untuk mencari nilai unjuk kerja, emisi, dan pembakaran pada mesin diesel. Hasil percobaan menunjukkan penurunan tingkat asap pada mesin dengan minyak hasil pirolisis sampah plastik murni. Berkurangnya senyawa polutan seperti CO (*carbon monoxide*) dan NO_x (*Nitrous Oxide*) karena terseduksi dalam campuran yang menyebabkan nilai BTE (*Brake Thermal Efficiency*) meningkat. Hasil pengujian tersebut mengungkapkan pencampuran diethyl ether dan minyak hasil pirolisis sampah plastik dapat meningkatkan kualitas bahan bakar untuk diesel dan penambahan oksigenat telah meningkatkan proses pembakaran dan mengurangi emisi.

Ilham (2016) melakukan penelitian pengujian *Dynotest* menggunakan motor Yamaha Jupiter-Z 2010 berbahan bakar pertalite dan premium. Hasil

penelitian menunjukkan torsi maksimum pada pertalite sebesar 9,11 N.m pada putaran mesin 5128 rpm. Sedangkan torsi tertinggi yang dihasilkan pada premium sebesar 8,59 N.m pada putaran mesin 4928 rpm. Sedangkan daya maksimum yang dihasilkan oleh pertalite dan premium sebesar 8,3 HP pada putaran yang berbeda, pertalite pada putaran 7567 rpm dan premium pada putaran 7642 rpm. Untuk konsumsi bahan bakar spesifik menggunakan bahan bakar pertalite terendah adalah 0,0170 kg/HP-jam pada putaran 10000 rpm, tertinggi pada 0,0652 kg/HP-jam pada putaran 4000 rpm, diikuti premium nilai spesifik terendah adalah 0,0171 kg/HP-jam pada putaran 10000 rpm, tertinggi pada 0,1061 kg/HP-jam pada putaran 4000 rpm.

Saputra (2017) Penelitian ini akan dilakukan dengan cara membandingkan konsumsi bahan bakar dari beberapa jenis bahan bakar yang ada dipasaran Indonesia. Penelitian yang dilakukan ini merupakan jenis penelitian experimental. Objek utama dalam penelitian ini yaitu membandingkan konsumsi bahan bakar sepeda motor 100cc dengan bahan bakar yang berbedabeda. Alat dan bahan penelitian yang digunakan yaitu : Tachometer. Burret, Bahan Bakar, Sepeda motor. Metode analisis data pada penelitian ini menggunakan teknis analisis deskriptif dengan melukiskan dan merangkum fenomena-fenomena terukur pada penelitian yang telah dilakukan.

Berdasarkan hasil penelitian maka dapat disimpulkan bahwa (1) Bahan bakar premium lebih membutuhkan bahan bakar lebih sedikit dibandingkan dengan bahan bakar pertalite pada semua putaran mesin. (2) Bahan bakar pertalite lebih membutuhkan bahan bakar lebih banyak dibandingkan dengan bahan bakar yang lain pada semua putaran mesin. (3) Bahan bakar pertamax pada putaran bawah lebih boros dibanding premium dan pertamax turbo, tapi pada putaran menengah dan tinggi bahan bakar pertamax lebih irit dibanding dengan bahan bakar premium namun masih lebih boros dengan bahan bakar pertamax turbo. (4) Bahan bakar pertamax turbo lebih irit dibandingkan dengan bahan bakar yang lain pada putaran mesin menengah dan tinggi. Namun pada putaran rendah bahan bakar pertamax turbo lebih boros dibanding premium.

Dari hasil tinjauan pustaka yang diacu tentang pirolisis, peneliti sebelumnya hanya memvariasikan *Pyrolytic Oil* yang diperoleh dari hasil pirolisi sebagai bahan bakar pada motor bakar. Maka dari itu pada penelitian ini akan meneliti tentang *Pyrolytic Oil* sebagai bahan bakar yang akan dicampur dengan pertalite murni lalu akan diujikan pada motor bakar bensin Honda Beat 110cc untuk mendapatkan karakteristik dari campuran tersebut.

2.2. Dasar Teori

2.2.1 Pirolisis

Pirolisis adalah proses konversi dari suatu bahan organik pada suhu tinggi dan terurai menjadi ikatan molekul yang lebih kecil. Pirolisis adalah dekomposisi bahan kimia organik yang melalui proses pemanasan dengan sedikit atau tanpa oksigen atau *reagen* lainnya, di mana material yang masih mentah akan mengalami pemecahan pada struktur kimia menjadi struktur fase gas.

Pirolisis yang dilakukan pada sebuah reaktor dengan pengurangan atmosfer (tanpa udara) pada suhu hingga 500°C. Limbah plastik dan cangkang kelapa sawit melalui proses pirolisis ini mampu diubah menjadi *feedstock* petrokimia seperti *liquid*, *wax* dan *nafta* seperti pada hidrokarbon dan gas maupun minyak dasar untuk pelumas. Proses pengolahan sampah plastik menggunakan proses pirolisis terdapat kelemahan yaitu efisiensi yang kurang jika membuat dengan skala yang besar hal ini diakibatkan oleh terjadinya *bubbling*, *channeling* dan kurang ekonomis sehingga masih menyisakan residu. Untuk menangani kelemahan tersebut pada proses pirolisis diperlukan tambahan untuk mendegradasi kantong plastik dan cangkang kelapa sawit hasil sisa dari proses pirolisis. (Aydinli dan Caglar, 2010).

Menurut (Aydinli dan Caglar, 2010) proses pirolisis dikategorikan menjadi 4 macam, yaitu :

a. Pirolisis Lambat (*Slow Pyrolysis*)

Pirolisis lambat ini adalah pirolisis yang dilakukan pada pemanasan rata-rata lambat (5-7K/menit). Pirolisis lambat ini menghasilkan arang dan gas yang lebih banyak dari pad cairan yang dihasilkan.

b. Pirolisis Cepat (*Fast Pyrolysis*)

Pada pirolisis cepat ini dilakukan pada pemanasan 0,5 - 2 detik, dengan suhu 400-600°C dan dilakukan proses pemadaman yang begitu cepat pada akhir proses. Pemadaman yang cepat sangat berguna untuk mendapatkan hasil produk dengan berat molekul tinggi sebelum akhirnya akan terkonversi menjadi senyawa gas yang memiliki berat molekul rendah. Dengan metode ini dapat menghasilkan produk minyak pirolisis yang hingga 75 % lebih banyak dibandingkan dengan pirolisis konvensional.

c. Pirolisis Kilat (*Flash Pyrolysis*)

Untuk proses pirolisis kilat ini akan berlangsung hanya beberapa detik saja dengan pemanasan yang sangat tinggi. Pirolisis kilat untuk biomassa membutuhkan pemanasan yang sangat cepat dan ukuran partikel yang sangat kecil sekitar 105-250 µm.

d. Pirolisis Katalitik Biomassa

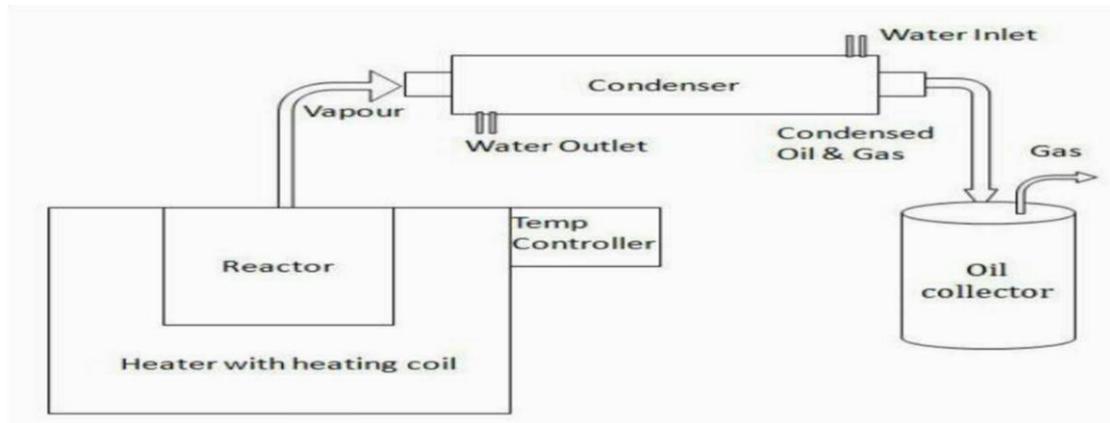
Pirolisis katalitik pada biomassa dapat membuktikan kualitas minyak yang diperoleh. Hasil minyak yang dihasilkan tersebut dapat diperoleh tanpa memerlukan metode pra-pengolahan dengan biaya mahal yang melibatkan penguapan dan kondensasi kembali.

Menurut (Aydinli dan Caglar, 2010) terdapat 5 jenis reaktor yang banyak digunakan yaitu sebagai berikut :

a. *Fixed Bed Reactor*

Fixed Bed Reactor juga dapat didefinisikan sebagai suatu tabung silinder yang mampu diisi dengan partikel-partikel katalis. Selama operasi, *liquid* dan gas atau keduanya akan melewati tabung dan partikel-partikel katalis yang dapat

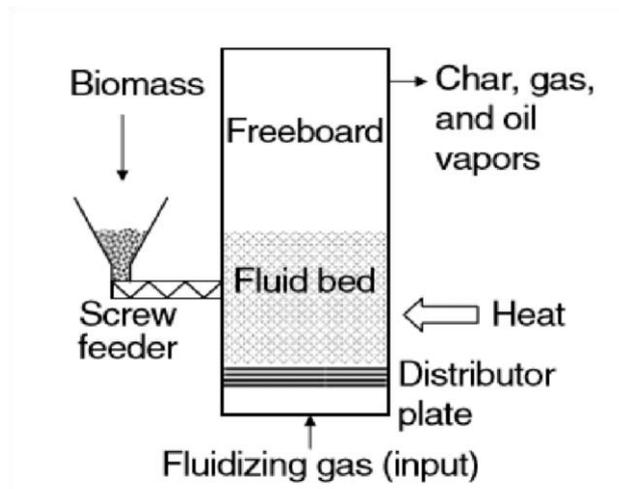
dilihat pada Gambar 2.1, sehingga akan terjadi reaksi. *Fixed bed reactor* adalah reaktor yang dalam prosesnya mempunyai prinsip kerja pengontakan langsung antara pereaktan dengan partikel-partikel katalis. *Fixed bed reactor* biasanya digunakan untuk umpan (pereaktan) yang mempunyai viskositas kecil.



Gambar 2.1 Reaktor *Fixed Bed* (Sentilkumar, 2015)

b. *Fluidized Bed Reactor*

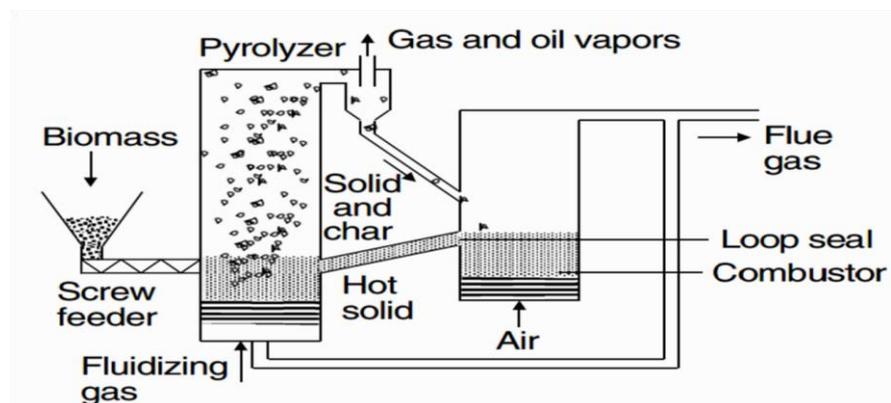
Fluidized Bed Reactor merupakan tipe reaktor kimia yang dapat digunakan untuk mereaksikan proses pirolisis dalam keadaan banyak fasa ilustrasi reaktor dapat dilihat pada Gambar 2.2. Pada reaktor tipe ini menggunakan fluida (cairan atau gas) yang akan dialirkan melalui katalis padatan (yang berupa butiran kecil) dengan kecepatan yang cukup dan katalis akan terolah sedemikian rupa sehingga akhirnya katalis tersebut dapat dianalogikan sebagai fluida juga. Proses ini, dinamakan fluidasi. *Fluidized Bed Reactor* dapat digunakan untuk pemisah dan pencampur antar fasa.



Gambar 2.2 Reaktor *Bubbling Fluidized Bed* (Basu, 2010)

c. *Entrained Flow Reactor*

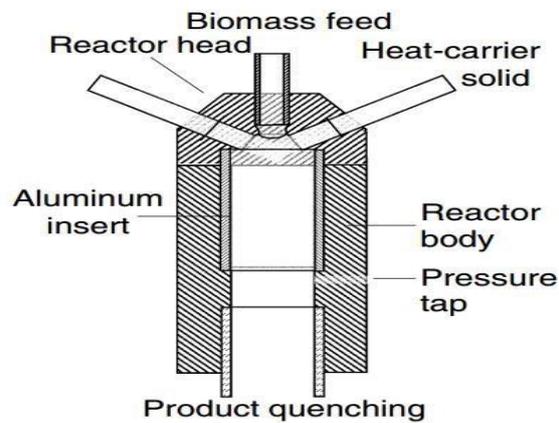
Reaktor *Entrained Flow* dapat dibagi menjadi 2 (dua) jenis yaitu *slagging* dan *non slagging*. Di dalam *gasifier slagging*, komponen-komponen yang terbentuk dari partikel debu dapat meleleh di dalam *gasifier*, mengalir turun di sepanjang dinding reaktor yang dapat dilihat pada Gambar 2.3 dan meninggalkan reaktor dalam bentuk *slag* cair. Secara umum, laju aliran massa kerak sekurang-kurangnya 7 % dari laju alir bahan bakar untuk memastikan proses berjalan dengan baik. Di dalam *gasifier non slagging*, dinding reaktor akan tetap bersih dari kerak. Tipe *gasifier* ini cocok untuk bahan baku dengan kandungan partikel debu yang rendah.



Gambar 2.3 Reaktor *Circulating Fluidized Bed* (Basu, 2010)

d. *Ultra-Rapid Reactor*

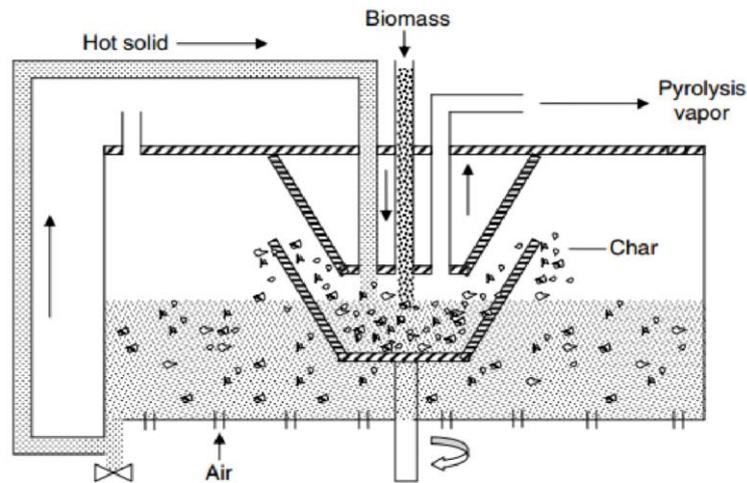
Reaktor *Ultra – rapid* merupakan jenis reaktor yang menggunakan pemanasan yang tinggi hingga mencapai 650 °C, sehingga memungkinkan untuk mendapatkan hasil cairan sekitar 90 %. Proses pemanasan dilakukan dengan menggunakan padatan panas, contohnya seperti pasir, dimana nitrogen gas inert dipanaskan pada suhu 100 °C kemudian diinjeksikan pada kecepatan yang sangat tinggi ke dalam reaktor agar bertabrakan dengan aliran biomassa yang disuntikkan. Ilustrasi reaktor dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Reaktor *Ultra-Rapid* (Basu, 2010)

e. *Rotating Cone Reactor*

Rotating cone adalah reaktor yang menggunakan pasir silika sebagai pemanas, dan akan bercampur langsung dengan biomassa di dalam wadah seperti yang terlihat pada Gambar 2.5. Oleh karena itu biomassa akan mengalami pemanasan yang cepat, sehingga abu yang dihasilkan dari biomassa akan jatuh yang diakibatkan oleh putaran dari wadah.

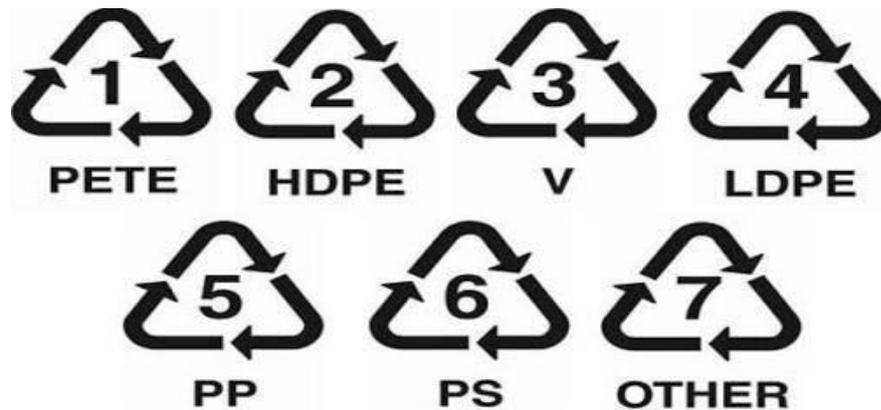


Gambar 2.5 Reaktor *Rotating Cone* (Basu, 2010)

2.2.2 Plastik

Plastik merupakan suatu material organik semi sintetis atau organik sintetis. Kata plastik berasal dari bahasa Yunani yaitu “*platikos*” yang berarti kemudahan untuk dicetak atau dibentuk. Atau “*platos*” yang artinya dicetak, karena sifat dari plastik yang mudah untuk dicetak dan kekenyalannya dalam pembuatan yang membuatnya mudah dibuat. Terdapat dua jenis plastik yaitu *thermosetting* dan *thermoplastics polymer*. *Thermoplastics* merupakan jenis plastik yang tidak mengalami perubahan komposisi kimia ketika plastik ini dipanaskan dan dapat jenis plastik ini dapat dicetak kembali, misalnya *polystyrene*, *polyethylene*, *polyvinyl chloride* dan *polytetra fluoroethylene* (PTFE). *Thermosetting* dapat diubah menjadi cair namun setelah diubah ke dalam bentuk yang solid maka tidak dapat dicairkan kembali dengan cara dipanaskan.

Berdasarkan sifat dari kedua jenis plastik di atas, *thermoplastic* merupakan jenis plastik yang mungkin dapat didaur ulang. Jenis-jenis plastik yang dapat didaur ulang kembali diberi kode nomor agar memudahkan dalam mengidentifikasi penggunaannya (lihat Gambar 2.6 dan Tabel 2.1).



Gambar 2.6 Nomor kode plastik (UNEP, 2009)

Tabel 2.1 Jenis plastik, kode dan penggunaannya (Surono, 2013)

No. Kode	Jenis Plastik	Penggunaan
1	PET (<i>Polyethylene terephthalate</i>)	botol minyak goreng plastik, botol air mineral, botol minyak goreng plastik , wadah jus, botol sambel, botol obat plasitik dan botol untuk kosmetik.
2	HDPE (<i>High Density Polyethylene</i>)	botol obat plastik, botol susu cair plastik, jerigen untuk pelumas dan botol kosmetik.
3	PVC (<i>Polyvinyl Chloride</i>)	pipa bangunan, mainan plastik, selang pipa air, taplak meja plastik dan botol shampo.
4	LDPE (<i>Low Density Polyethylene</i>)	tutup plastik tipis , kantong kresek, plastik pembungkus daging beku dan berbagai macam plastik tipis lainnya.

No. Kode	Jenis Plastik	Penggunaan
7	Other, Jenis plastik selain dari nomor 1 sampai 6	botol susu bayi plastik, plastik kemasan, gallon air minum, suku cadang mobil dari plastik, alat-alat rumah tangga dari plastik, komputer, alat-alat elektronik, mainan lego dan sikat gigi.

Material dasar plastik berasal dari minyak bumi dan gas alam. Plastik akan terurai ketika dipanaskan beberapa ratus derajat celcius. Kebanyakan plastik tersusun atas polimer dari *karbon*, dan *hidrogen* atau dengan oksigen, nitrogen, chlorin atau sulfur. Plastik adalah juga merupakan material yang berbahan dasar polimer, contohnya adalah *polypropylene* (PP), *polyvinyl chloride* (PVC), high density polyethylene (HDPE), linear low density polyethylene (LLDPE), *low density polyethylene* (LDPE), *polyester thermoplastic* (PETE), *polystyrene* (PS), dan *phenolic*. *Polypropylene* adalah plastik tidak jernih atau berawan, lebih kuat, ringan, daya tembus yang rendah, ketahanan yang baik terhadap lemak, stabil pada suhu tinggi, mengkilap, aman untuk menyimpan makanan/minuman (Wibowo, 2011).

Plastik juga merupakan salah satu jenis makromolekul yang dibentuk dengan proses polimerisasi. Polimerisasi sendiri adalah proses penggabungan dari beberapa molekul sederhana (monomer) dengan melalui proses kimia menjadi molekul besar (makromolekul atau polimer). Plastik merupakan senyawa polimer yang unsur penyusun utamanya adalah *karbon* dan *hidrogen* (Surono, 2013). Dari produk plastik, dihasilkan beberapa macam diantaranya *polyethylene terephthalate* (PET), *high density polyethylene* (HDPE), *polyvinyl chloride* (PVC), *low density polyethylene* (LDPE), *polypropylene* (PP), dan *polystyrene* (PS), yang menghasilkan limbah plastik rata – rata sekitar 50-60 % jenis PE, 20-30 % jenis PP, 10-20 % jenis PS, dan 10 % jenis PVC (Sarker, 2013).

Analisa *Proximate* dan *Ultimate* dari beberapa jenis plastik dapat dilihat pada tabel 2.2 dan 2.3

Tabel 2.2 Analisis *Proximate* beberapa jenis plastik (Rachmati dan Herumurti, 2015)

<i>Proximate</i>	Jenis Plastik	Kadar Air (%)	<i>Volatile Solid (%)</i>	Kadar Abu (%)	Nilai Kalor (kal/g)
	HDPE	0,52	82,22	17,78	9,192
	PET	0,35	99,93	0,07	5,399
	PS	0,47	96,99	3,01	10,847

Tabel 2.3 Analisis *Ultimate* plastik jenis LDPE (Rachmati dan Herumurti, 2015)

<i>Ultimate</i>	Jenis Plastik	C (%)	H(%)	O(%)	N(%)	S(%)
	LDPE	85,83	14,38	0	0,16	0,07

2.2.3 Katalis

Katalis merupakan zat yang dapat mempercepat laju reaksi kimia di suhu tertentu, dengan tanpa mengalami perubahan atau terpakai oleh reaksi kimia itu sendiri (Wang 2017). Suatu katalis dapat berperan dalam reaksi tetapi bukan sebagai produk ataupun pereaksi. Katalis juga memungkinkan reaksi dapat berlangsung lebih cepat atau dapat memungkinkan reaksi pada suhu yang lebih rendah akibat perubahan terhadap pereaksi. Katalis juga menyediakan suatu jalur dengan energi aktivasi yang lebih rendah. Katalis dapat mengurangi energi yang

dibutuhkan untuk berlangsungnya reaksi kimia tersebut. Untuk golongan pada katalis dapat dibedakan ke dalam dua tipe utama: yaitu katalis homogen dan katalis heterogen.

Katalis heterogen merupakan katalis yang ada pada tahap yang berbeda dengan pereaksi dalam reaksi yang dikatalisinya, sedangkan untuk katalis homogen berada dalam tahap yang sama dengan pereaksi dalam reaksi yang dikatalisinya. Contoh sederhana pada katalisis heterogen adalah katalis akan menyediakan suatu permukaan di mana pereaksi-pereaksi (atau substrat) untuk sementara terjerap. Ikatan yang terdapat dalam substrat-substrat menjadi melemah sedemikian rupa sehingga memadai terbentuknya produk baru sehingga ikatan antara produk dan katalis menjadi lebih lemah dan akhirnya terlepas.

Pada umumnya katalis homogen dapat bereaksi dengan satu atau lebih pereaksi untuk membentuk suatu perantara kimia dan selanjutnya katalis akan bereaksi untuk membentuk produk akhir reaksi, dalam proses yang memulihkan katalisnya. Contoh pada katalis heterogen misalnya MgO, CaO, SrO, Zeolit, ZnO, Al₂O₃, TiO₂ dan ZrO telah digunakan dalam proses transesterifikasi. Diantara katalis-katalis ini, logam alkali oksida (misalnya CaO, MgO dan SrO) memiliki aktivitas yang tinggi untuk dapat digunakan dalam proses transesterifikasi. Dari logam-logam alkali oksida ini, senyawa CaO dapat lebih mudah ditemukan di lingkungan. Pada umumnya senyawa Ca(NO₃)₂, Ca(OH)₂ atau CaCO₃, adalah bahan baku untuk memproduksi katalis CaO. Terdapat beberapa sumber kalsium alam berasal dari limbah untuk mensintesis katalis CaO seperti kulit telur, tulang dan kulit moluska. (Hameed, 2009)

Katalis CaO dibentuk dengan cara impregnasi CaO dengan serbuk besi. Serbuk besi dan Ca(NO₃)₂ ditimbang dengan persentase berat 55%-b serbuk besi dan 45%-b Ca(NO₃)₂. Ca(NO₃)₂ yang telah ditimbang kemudian dimasukkan ke dalam labu leher tiga dan ditambahkan aquades. Kondisi proses dilakukan pada temperatur 80°C selama 1 jam dengan kecepatan pengadukan 400 rpm. Kemudian, serbuk besi yang telah ditimbang ditambahkan dan diadu kembali selama 4 jam. Hasil dari pencampuran dikeringkan pada

suhu Setelah itu ($\text{Ca}(\text{OH})_2$ dan serbuk besi) di-furnace selama dua jam pada suhu 900°C . (Liu dkk, 2010)

Alasan untuk menggunakan katalis CaO ini karena mudah didapat, harganya relatif murah, mempunyai aktivitas yang tinggi, kondisi reaksi yang lebih ringan dan masa katalis yang lama.

2.2.4 Motor Bakar

➤ Motor bakar merupakan suatu alat/mesin yang dapat mengubah energi panas/termal menjadi energi mekanik. Energi panas tersebut dapat diperoleh dari proses pembakaran yang terbagi menjadi dalam 2 (dua) jenis, yaitu: (Wiraatmaja, 2010)

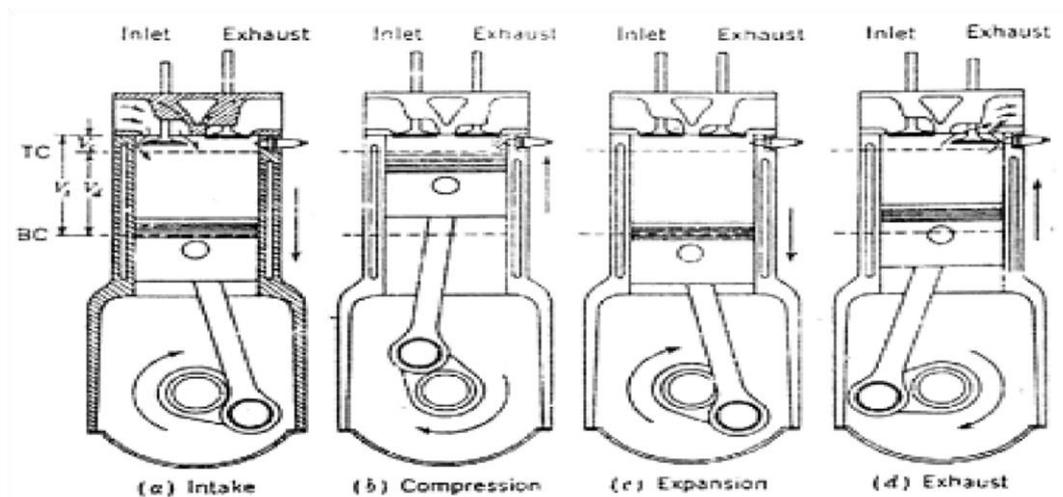
a. Motor bakar pembakaran luar, motor bakar pembakaran luar adalah suatu mesin yang mempunyai sistem pembakaran yang terjadi diluar dari mesin itu. Contoh dari pembakaran luar adalah mesin uap dimana energi panas dari hasil pembakaran akan dipindahkan kedalam fluida kerja mesin. Pembakaran pada air yang terdapat pada ketel uap menghasilkan uap kemudian uap tersebut yang akan dimasukkan kedalam sistim kerja mesin untuk mendapatkan energi mekanik.

b. Umumnya motor pada pembakaran dalam lebih dikenal dengan sebutan motor bakar. Proses motor bakar untuk pembakaran dalam bahan bakar terjadi didalam mesin itu sendiri, sehingga hasil gas yang terjadi dari pembakaran tersebut berfungsi sebagai fluida kerja mesin. Motor bakar itu sendiri dapat dibagi menjadi beberapa tipe berdasarkan sistem yang akan dipakai, yaitu motor bakar turbin gas dan motor bakar propulsi pancar gas. Untuk motor bakar torak terbagi menjadi 2 (dua) golongan, yaitu motor diesel dan motor bensin. Untuk langkah kerjanya motor bakar terbagi menjadi dua langkah yaitu : mesin dua langkah dan mesin dengan proses empat langkah.

➤ Berdasarkan siklus kerjanya, motor bakar dibagi menjadi 2 (dua) macam, yaitu :

a. Prinsip Kerja Motor Bakar 4 Tak (4 Langkah)

Pada motor bakar satu siklus kerja diperlukan empat kali langkah kerja torak atau dua kali putaran poros engkol. Adapun keempat langkah tersebut yaitu : langkah isap, langkah kompresi, langkah kerja dan langkah pembuangan. Ilustrasi dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Cara Kerja Motor Bakar Empat Langkah (Wiraatmaja, 2010)

1) Langkah Isap (*Intake*)

Untuk langkah isap (*Intake*) terjadi ketika torak yang bergerak dari titik mati atas (TMA) menuju titik mati bawah (TMB) yang akan menghasilkan tekanan yang sangat rendah di dalam ruang silinder sehingga campuran antara udara dan bahan bakar akan masuk mengisi ruang silinder melalui katup masuk yang terbuka saat langkah isap sampai torak meninggalkan TMB, sedangkan katup buang dalam keadaan tertutup.

2) Langkah Kompresi

Langkah kompresi dimulai saat torak meninggalkan TMB menuju TMA, lalu mengkompresikan campuran antara udara dan bahan bakar didalam ruang silinder. Pada bunga api listrik dipercikan melalui busi ketika torak berada beberapa derajat pada poros engkol sebelum TMA membakar campuran antara bahan bakar dan udara untuk menghasilkan suhu dan tekanan yang tinggi.

3) Langkah Kerja (Ekspansi)

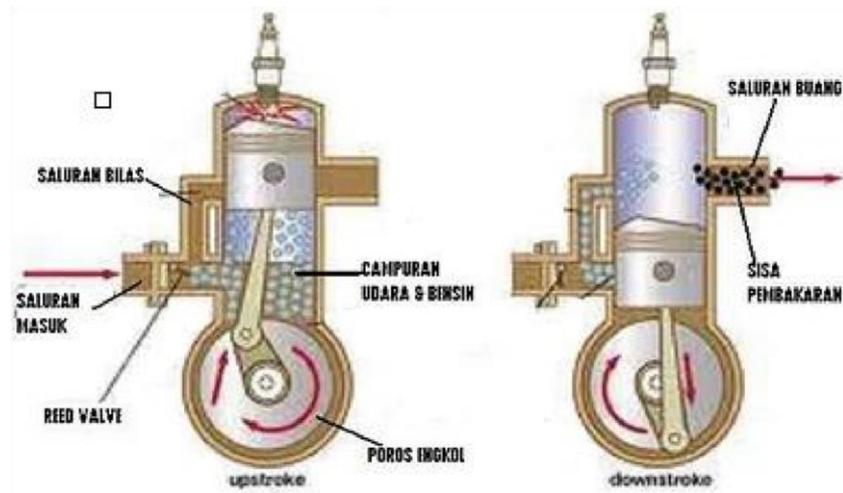
Langkah kerja (Ekspansi) dimulai saat torak bergerak dari TMA menuju pada TMB. Gerakan pada torak ini terjadi karena gas termal hasil dari pembakaran berekspansi sehingga dapat memperbesar volume silinder.

4) Langkah Pembuangan

Langkah yang terakhir yaitu langkah pembuangan, langkah pembuangan terjadi saat torak bergerak dari TMB menuju TMA yang menekan gas hasil sisa dari pembakaran keluar melalui katup buang yang berada pada posisi terbuka dan katup masuk dengan keadaan yang masih tertutup. Katup masuk akan terbuka dan katup buang akan tertutup ketika torak bergerak kembali melakukan langkah isap berikutnya.

b. Prinsip Kerja Motor Bakar 2 Tak (2 Langkah)

Pada motor bakar dua langkah untuk menyelesaikan satu siklus kerja memerlukan 2 (dua) kali langkah torak atau satu kali putaran poros engkol. Kedua langkah tersebut yaitu : langkah isap dan langkah kompresi, langkah usaha dan buang. Gambar cara kerja motor bakar dua langkah dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Cara Kerja Motor Bakar 2 Langkah. (Rusyiam, 2013)

1) Langkah Isap dan Kompresi

Saat piston bergerak ke atas ruang dibawah piston menjadi hampa udara, yang berakibat campuran bahan bakar dan udara terhisap masuk ke dalam ruang dibawah piston. Sementara itu dibagian ruang atas pada piston akan terjadi langkah kompresi, dimana udara dan campuran bahan bakar yang sudah berada pada ruang atas piston membuat temperatur dan tekanannya menjadi naik. Lalu pada saat 10-5 derajat sebelum titik mati atas, busi akan memercikan bunga api, lalu campuran bahan bakar dan udara yang telah naik tekanan dan temperatur menjadi terbakar dan meledak.

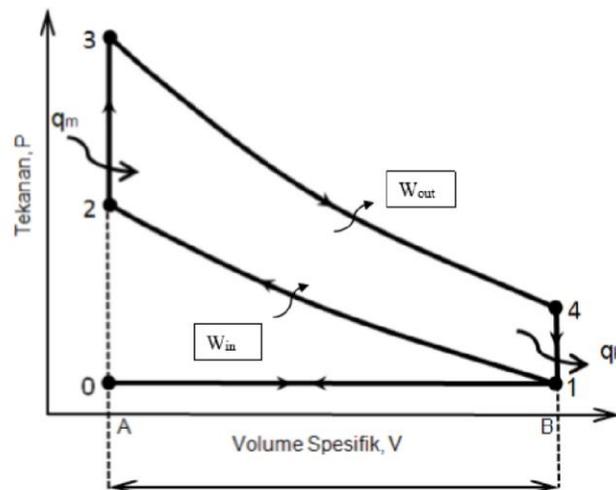
2) Langkah Usaha dan Buang

Hasil dari pembakaran pada langkah sebelumnya membuat piston akan bergerak ke bawah. Pada saat piston bergerak ke bawah, ruang pada piston bawah akan dikompresikan. Sehingga campuran bahan bakar dan udara yang berada di ruang bawah piston menjadi terdesak lalu keluar dan naik ke ruang diatas piston melalui saluran bilas. Sementara itu hasil sisa pembakaran tadi akan terdorong keluar menuju saluran buang, kemudian hasil sisa dikeluarkan menuju knalpot. Langkah kerja ini akan terjadi berulang-ulang selama mesin masih hidup.

➤ Berdasarkan sistem pembakarannya dibagi menjadi dua yaitu :

a. Motor Bensin

Motor bensin juga dapat disebut sebagai motor otto. Motor tersebut dilengkapi dengan karburator dan busi. Busi akan menghasilkan loncatan bunga api listrik yang dapat membakar udara dan campuran bahan bakar karena itu motor ini juga dapat disebut sebagai *spark ignition engine*. Pembakaran pada bahan bakar dengan udara ini dapat menghasilkan daya. Di dalam siklus otto ini (siklus ideal) pembakaran tersebut dapat dimisalkan sebagai pemasok panas pada volume konstan. Gambar siklus otto dapat dilihat pada Gambar 2.9.

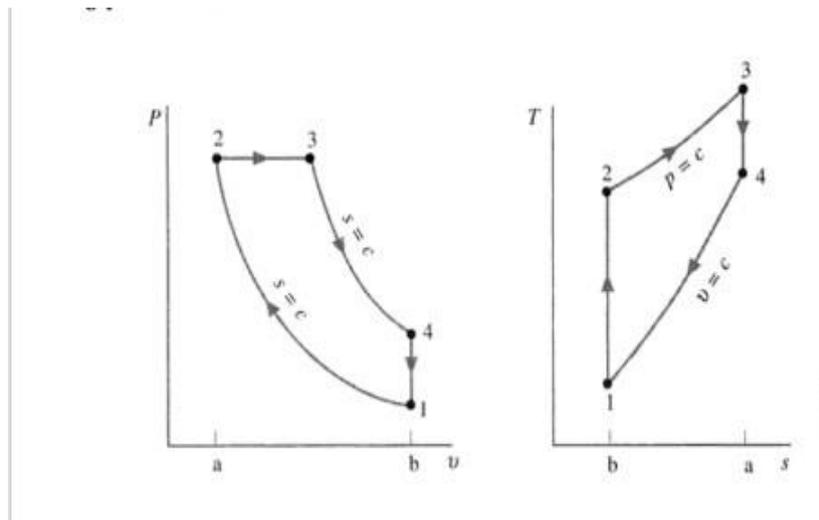


Gambar 2.9 Siklus Otto / mesin bensin (Nababan dkk, 2013)

Langkah isap (0-1) adalah proses tekanan dengan konstan. Langkah kompresi (1-2) merupakan proses isentropik. Proses pembakaran pada volume-konstan (2-3) disebut sebagai proses pemasukan kalor pada volume yang konstan. Langkah kerja (3-4) adalah proses isentropik. Proses pembuangan (4-1) disebut sebagai proses pengeluaran kalor pada volume yang konstan. Langkah buang (1-0) adalah proses pada tekanan yang konstan.

b) Motor diesel

Motor diesel merupakan motor bakar torak yang berbeda prinsip dengan motor bensin. Proses penyalanya untuk motor disel tidak lagi menggunakan percikan bunga api listrik. Pada waktu torak hampir mencapai titik mati atas lalu bahan bakar disemprotkan ke dalam ruang bakar. Maka terjadilah pembakaran di ruang bakar silinder dikarenakan udara didalam sudah bertemperatur tinggi. Hal ini dapat terjadi apabila perbandingan kompresi yang digunakan cukup tinggi. Proses penekanan dan pemuaiian secara adiabatik pada siklus diesel ini dapat digambarkan melalui diagram pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10. Diagram T-s dan P-v untuk mesin diesel ideal

(Moran dkk, 2005)

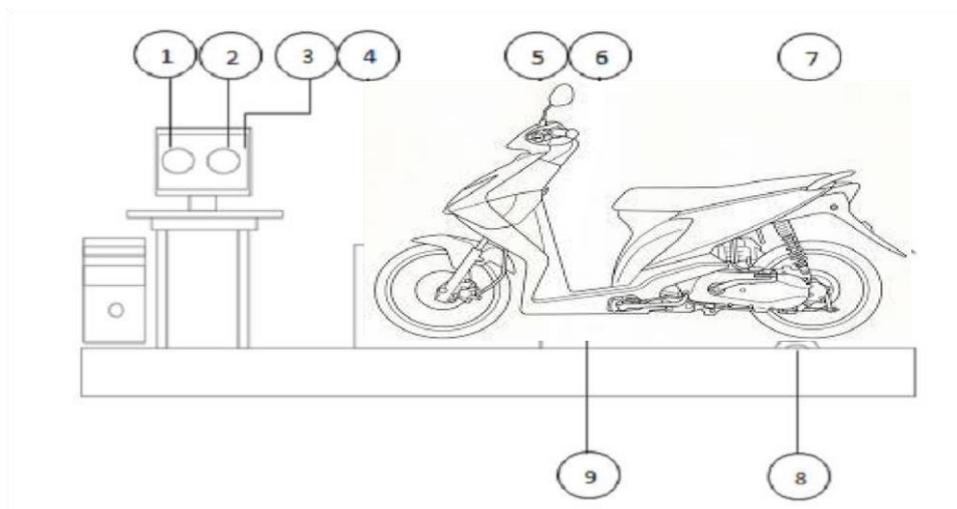
2.2.5 Uji Dinamometer

Dinamometer adalah sebuah alat yang data digunakan untuk mengukur gaya puntir dan tenaga (kekuatan) yang akan dihasilkan mesin pada kecepatan tertentu agar mendapatkan nilai torsi dan nila daya yang dihasilkan oleh mesin pada RPM (*Revolutions Per Minute*) yang telah ditentukan.

Adapun manfaat dari alat dinamometer yaitu untuk mendapatkan nilai daya dan torsi yang dihasilkan oleh mesin pada RPM tertentu. Torsi merupakan gaya yang dibutuhkan untuk memutar suatu benda pada porosnya, sedangkan daya adalah gaya untuk mengungus beban selama waktu tertentu.

Selain itu manfaat atau peran yang dimiliki oleh dinamometer diantaranya :

1. Untuk manufaktur kendaraan, dapat digunakan untuk *quality control* pada kendaraan hasil produksinya, untuk dapat memastikan apakah kendaraan yang diproduksi sudah sesuai dengan standard yang telah ditentukan.
2. Bagi *research & development* uji dynamometer dapat digunakan sebagai uji coba untuk menghasilkan rancangan terbaik dari hasil formula mereka, baik itu dari segi bahan bakar, modifikasi mesin, maupun pada kendaraan mereka.
3. Bagi distributor *engine* atau *repair engine*, digunakan untuk menguji pada performa atau ketahanan produk mereka maupun untuk dapat memastikan bahwa produk yang telah diperbaiki sudah dalam keadaan/kondisi yang terbaik sebelum dikirim ke pelanggan.



Gambar 2.11 Skema alat uji *Dynotest* (Maulana, 2017)

Keterangan gambar :

1. *Torsiometer*
2. *Tachometer*
3. Laptop
4. Penahan Motor
5. Indikator petunjuk bahan bakar (*Burret*)
6. Karburator
7. Knalpot
8. *Dynamometer*
9. Mesin

2.2.7 Perhitungan Torsi, Daya dan Konsumsi Bahan Bakar

2.2.7.1 Torsi

Torsi merupakan suatu indikator baik dari ketersediaan mesin ataupun untuk kerja. Torsi dapat juga didefinisikan sebagai daya yang bekerja pada jarak momen dan apabila dihubungkan dengan kerja dapat ditunjukkan oleh persamaan (2.1) (Heywood, 1988).

$$T = F \times r \dots\dots\dots(2.1)$$

Dengan :

T = Torsi (N.m)

F = Gaya (N)

r = Panjang lengan (m)

2.2.7.2 Daya

Daya merupakan besar usaha yang dihasilkan dari mesin tiap satuan waktu, daya juga dapat didefinisikan sebagai laju kerja pada mesin, daya dapat ditunjukkan pada persamaan (2.2) (Heywood, 1988).

$$P = \frac{2\pi n T}{60.000} \text{ (kW)} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dengan :

P = Daya (kW)

n = Putaran Mesin (rpm)

T = Torsi (N.m)

2.2.7.3 Konsumsi Bahan Bakar

Konsumsi bahan bakar spesifik merupakan pemakaian bahan bakar yang terpakai untuk setiap daya yang dihasilkan pada motor bakar per jam. Konsumsi bahan bakar setiap detik ditunjukkan dengan persamaan (2.3).

$$K_{bb} = \frac{s}{v} \text{ (km/}\ell\text{)} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dengan :

K_{bb} = Konsumsi Bahan Bakar (km/ ℓ)

s = Jarak Tempuh (km)

v = Volume (ℓ)

