

## **BAB II**

### **DASAR TEORI**

#### **2.1 Tinjauan Pustaka**

Lewerissa (2011) melakukan penelitian tentang pengaruh campuran bahan bakar bensin dan etanol terhadap prestasi mesin bensin. Penelitian dilakukan pada kondisi lima variasi putaran dengan beban konstan serta bahan bakar yang digunakan hanya satu jenis yaitu premium (bensin) dengan etanol 0%, 5%, 10%, 15% dan 20%. Prestasi mesin yang diperoleh pada mesin yang menggunakan bahan bakar campuran atau biopremium, baik untuk E-5%, E-10%, E-15% dan E-20% pada umumnya lebih tinggi dari prestasi mesin dengan menggunakan bahan bakar premium. Dari hasil pengujian bahwa rata-rata daya untuk bahan bakar campuran lebih besar dari premium murni, semakin tinggi campuran bahan bakar maka semakin rendah perbandingan udara dengan bahan bakar sehingga pembakaran yang terjadi kurang sempurna masuk kedalam ruang bakar. Prestasi mesin yang menggunakan bahan bakar campuran lebih tinggi dari prestasi mesin yang menggunakan bahan bakar premium. Konsumsi bahan bakar untuk bahan bakar campuran lebih besar dibandingkan bahan bakar premium murni.

Norsujianto (2014) telah melakukan penelitian tentang unjuk kerja dan emisi gas buang motor diesel menggunakan bahan bakar campuran minyak hasil pirolisis limbah plastik dan biosolar sebagai bahan bakar alternatif. Minyak hasil pirolisis diujikan pada motor diesel dengan variasi nilai rpm motor diesel pada putaran 1600, 1800, 2000, 2300, 2500 rpm. Persentase campuran minyak hasil pirolisis limbah plastik dan biosolar dengan perbandingan campuran 05:95 (*blend* 5%), 10:90 (*blend* 10%), 15:85 (*blend* 15%), 20:80 (*blend* 20%). Sehingga didapat hasil parameter torsi dengan campuran 10% WPO memiliki torsi sedikit lebih tinggi dari pada biosolar, sedangkan campuran 5, 15, 20% memiliki torsi yang identik dengan biosolar. Kemudian parameter daya yang dihasilkan oleh campuran 20 dan 10% sedikit lebih tinggi 0,15 dan 0,29%. BMEP sebagai fungsi dari putaran motor menunjukkan tekanan efektif rata-rata tertinggi pada *Waste Plastic Oil* (WPO) *blend* 10% sehingga WPO *blend* 10% minyak pirolisis dan biosolar lebih rendah

mengonsumsi bahan bakar dibanding dengan biosolar 100%. *Brake Thermal Efficiency* (BTE) sebagai fungsi putaran motor juga menunjukkan minyak pirolisis dan biosolar *blend* 10% lebih baik dari pada biosolar 100%.

Devaraj dkk (2015) telah melakukan investigasi eksperimental terhadap kinerja, emisi, dan pembakaran pada mesin diesel menggunakan bahan bakar campuran minyak hasil pirolisis sampah plastik dan *diethyl ether*. Minyak hasil pirolisis sampah plastik dicampur dengan 5% dan 10% *diethyl ether* sebagai bahan bakar pada mesin diesel untuk mengetahui kinerja, emisi, dan pembakaran. Hasil percobaan menunjukkan bahwa minyak hasil pirolisis sampah plastik murni dapat mengurangi asap yang keluar pada mesin. BTE (*Brake Thermal Efficiency*) meningkat bila dibandingkan dengan minyak hasil pirolisis murni dan diesel karena senyawa seperti CO (*carbon monoxide*) dan NO<sub>x</sub> (*Nitrous Oxide*) berkurang. Pengujian tersebut mengungkapkan bahwa pencampuran *diethyl ether* dan minyak hasil pirolisis sampah plastik dapat meningkatkan kualitas bahan bakar untuk diesel.

Kalargaris dkk (2016) telah meneliti tentang pembakaran, kinerja, dan analisis emisi pada mesin Diesel menggunakan minyak hasil pirolisis plastik. Minyak hasil pirolisis diproduksi menggunakan metode pirolisis cepat menggunakan bahan baku yang terdiri dari berbagai jenis plastik. Minyak hasil pirolisis diuji pada mesin diesel direct injection empat silinder dengan persentase campuran minyak hasil pirolisis plastik dan solar 0% sampai 100% pada beban mesin dari 25% sampai 100%. Hasilnya menunjukkan bahwa mesin tersebut mampu berjalan menggunakan bahan bakar minyak hasil pirolisis plastik pada beban tinggi yang menyajikan kinerja serupa pada pada diesel, sementara pada beban yang lebih rendah menyebabkan masalah stabilitas karena proses pengapian yang lebih lama. Efisiensi termal rem untuk minyak hasil pirolisis plastik pada beban penuh sedikit lebih rendah daripada diesel, namun emisi No<sub>x</sub> jauh lebih tinggi. Hasilnya menunjukkan bahwa minyak hasil pirolisis plastik dapat menjadi alternatif bahan bakar untuk mesin tertentu pada kondisi operasi tertentu.

Wardoyo (2016) telah melakukan penelitian tentang perbandingan kinerja mesin bensin dua langkah satu silinder pada sepeda motor menggunakan variasi

campuran bahan bakar minyak hasil proses pirolisis sampah plastik dan premium dengan persentase 20% - 80% dan 40% - 60%. Dari hasil pengujian untuk putaran yang sama yaitu 5000 – 8000 rpm mesin dengan menggunakan campuran bahan bakar 20% minyak hasil proses pirolisis sampah plastik daya rata-rata 10,04 HP, torsi rata-rata 11,10 Nm, konsumsi bahan bakar spesifik 0,100 kg/HP jam dan mesin dengan menggunakan campuran bahan bakar 40% minyak hasil proses pirolisis sampah plastik daya rata-rata 9,7 HP, torsi rata-rata 10,82 Nm, konsumsi bahan bakar spesifik 0,068 kg/HP jam. Sedangkan menggunakan premium murni daya rata-rata 9,80 HP, torsi rata-rata 10,94 Nm, konsumsi bahan bakar spesifik 0,103 kg/HP jam. Dari hasil uji coba yang didapat, maka kinerja mesin dengan menggunakan campuran bahan bakar 40% minyak hasil proses pirolisis sampah plastik dan 60% premium hampir mendekati kinerja mesin dengan menggunakan bahan bakar premium murni, dan ternyata campuran bahan bakar 20% minyak hasil pirolisis sampah plastik dan 80% premium lebih baik.

## **2.2 Pirolisis**

Pirolisis adalah sebuah proses dekomposisi termokimia dari bahan organik (bahan baku pirolisis) pada kondisi suhu tinggi dengan atau tanpa adanya oksigen untuk dijadikan produk lain seperti gas, cair, dan padat. Dalam proses pirolisis, molekul hidrokarbon yang besar akan dipecah menjadi molekul yang berukuran lebih kecil pada kondisi suhu 300°C dan 650°C dengan tekanan sebesar 0,1 – 0,5 MPa. Selama proses pirolisis berlangsung, bahan baku biomassa dipanaskan pada suhu tertentu dengan dan tanpa adanya udara atau oksigen didalam reaktor pirolisis mencapai tingkatan suhu yang telah ditentukan sebelumnya, atau dikenal sebagai suhu pirolisis dan dalam kurun waktu yang sudah ditentukan. Selama proses pirolisis berlangsung, produk awal yang dihasilkan adalah berupa gas yang dapat dan tidak dapat dikondensasi serta char padat (Basu, 2010) .

### **2.2.1 Jenis – Jenis Pirolisis**

Berdasarkan laju pemanasannya, proses pirolisis dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu proses pirolisis cepat (*Fast Pyrolysis*) dan proses pirolisis lambat (*Slow Pyrolysis*). Jenis pirolisis dikategorikan cepat atau lambat tergantung

dari waktu yang dibutuhkan untuk memanaskan bahan bakar ke suhu pirolisis apakah cepat atau lambat dari waktu pirolisis.

#### 1. Pirolisis Cepat (*Fast Pyrolysis*)

Tujuan utama proses ini adalah memaksimalkan produk cair atau *bio-oil*. Biomassa dipanaskan dengan waktu yang cepat sehingga mencapai suhu puncak (pirolisis) sebelum bahan baku terurai. Tingkat pemanasan bisa mencapai 1000°C dengan laju pemanasan sebesar 10°C per detik dengan ketentuan bila produk utamanya adalah *bio-oil* maka suhu puncaknya harus dibawah 650°C. Namun jika produk yang diinginkan berupa gas maka suhu puncaknya sekitar 1000°C.

#### 2. Pirolisis Lambat (*Slow Pyrolysis*)

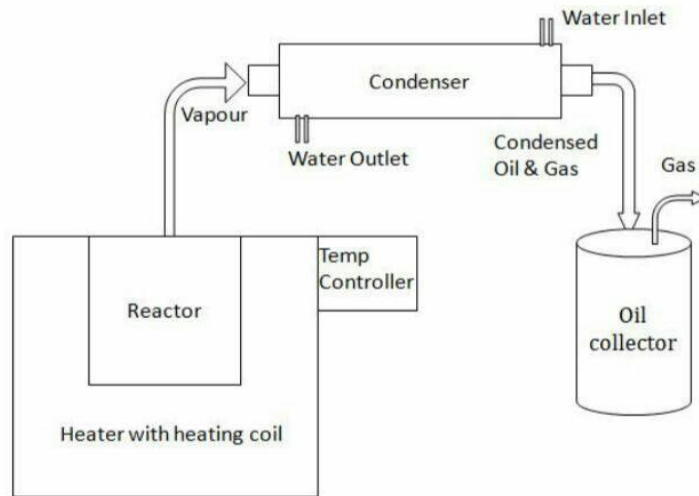
Karbonisasi adalah tujuan utama dari proses ini, dimana produksi arang (*char*) adalah tujuannya. Selain itu pada proses ini juga memungkinkan waktu yang cukup untuk proses pengkondensasian gas menjadi *bio-oil* dan menghasilkan gas yang tidak dapat dikondensasi. Pada saat pirolisis lambat berlangsung biomassa dipanaskan perlahan dengan tidak adanya oksigen ke suhu yang relatif rendah sekitar 400°C dengan periode waktu yang lama.

### 2.2.2 Reaktor Pirolisis

Ada beberapa jenis reaktor yang saat ini, jenis – jenis tersebut memiliki berbagai macam fungsi dan memiliki keuntungannya masing - masing, tergantung produk seperti apa yang kita inginkan seperti jenis produk cair atau gas yang ingin kita dapatkan. Berikut beberapa jenis reaktor pirolisis yang ada saat ini:

#### 1. *Fixed Bed Reactor*

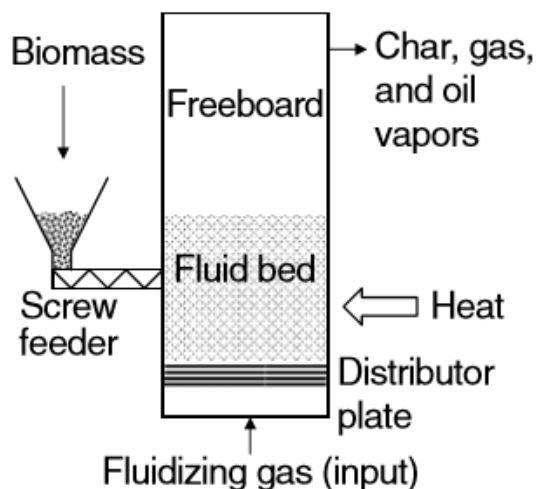
*Fixed Bed Reactor* dapat didefinisikan sebagai suatu tube silindrikal yang dapat diisi dengan partikel-partikel katalis. Selama operasi, gas atau liquid atau keduanya akan melewati tube dan partikel-partikel katalis, sehingga akan terjadi reaksi. *Fixed bed reactor* adalah reaktor yang dalam prosesnya mempunyai prinsip kerja pengontakan langsung antara pereaktan dengan partikel-partikel katalis. Panas yang dihasilkan bersumber dari luar dan bahan baku biomassa berada di sebuah ruangan (tabung) hampa udara.



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

## 2. *Bubbling Fluidized Bed*

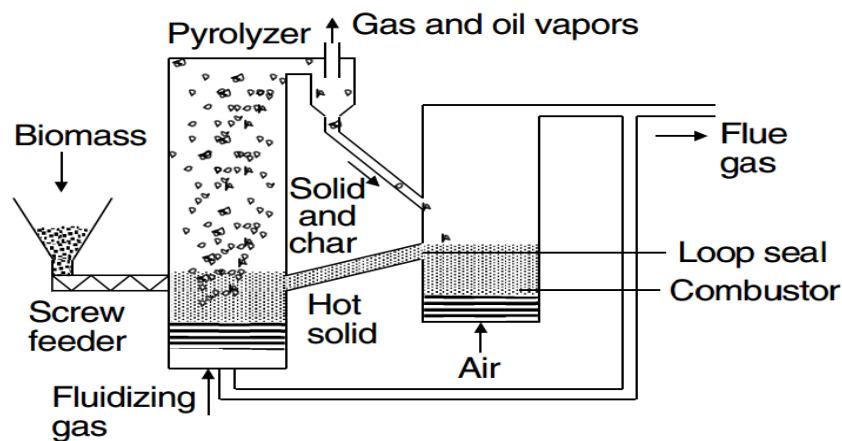
*Fluidized Bed Reactor* adalah adalah jenis reaktor kimia yang dapat digunakan untuk mereaksikan bahan dalam keadaan banyak fasa. Reaktor jenis ini menggunakan fluida (cairan atau gas) yang dialirkan melalui katalis padatan (biasanya berbentuk butiran-butiran kecil). Pirolisis jenis ini menggunakan media pasir (biasanya pasir silika) yang bersuhu tinggi, yang mana bahan baku biomassa di masukkan ke dalam pasir tersebut sehingga terjadi proses pemanasan bahan baku pirolisis. Keuntungan dari jenis ini adalah suhu yang dapat dikontrol dengan mudah.



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

### 3. *Circulating Fluidized Bed*

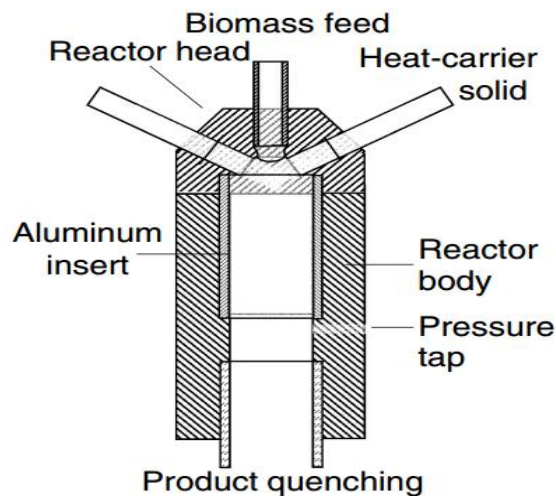
Bahan baku pirolisis pada jenis ini akan mendapatkan tekanan dari bawah tabung reaktor berupa gas (biasanya gas N<sub>2</sub>), kemudian produk dari bahan baku tersebut naik ke atas reaktor dan akan mengalami proses pemanasan di bagian pyrolizer lainnya. Proses ini akan berlangsung terus menerus sampai suhu dan waktu yang diinginkan. Keuntungan dari tipe ini adalah komponen-komponen yang tidak diinginkan dari bahan baku pirolisis dapat dengan mudah dipisahkan. Gambar 2.3 memperlihatkan bagaimana skema reaktor jenis *Circulating Fluidized Bed* bekerja.



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

### 4. *Ultra-Rapid Reactor*

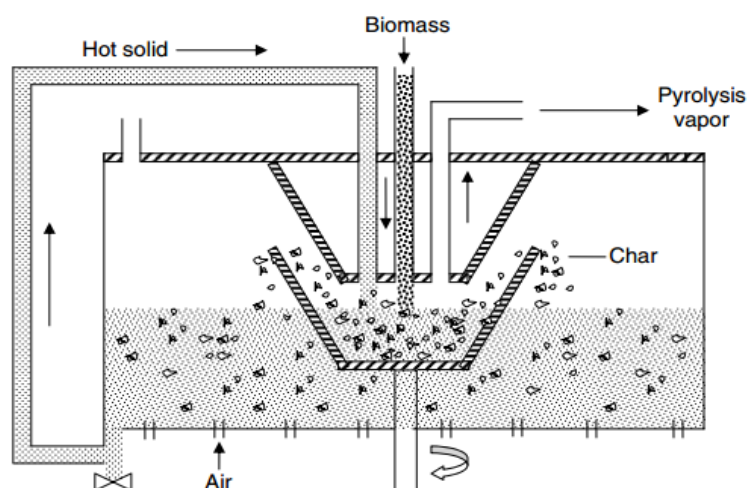
*Ultra-rapid* merupakan jenis reaktor yang menggunakan pemanasan yang tinggi mencapai 650°C, sehingga akan mendapatkan hasil 90% dari berat biomassa yang digunakan (Hulet dkk, 2005). Pemanasan yang tinggi dan waktu tinggal bahan baku yang singkat adalah syarat utama untuk menghasilkan produk cair yang tinggi pada proses ini. Gas nitrogen sebagai gas *inert* dipanaskan pada suhu 100°C dan disuntikkan ke dalam reaktor dengan kecepatan yang sangat tinggi dan kemudian bertumbukkan dengan bahan baku yang dimasukkan dari atas reaktor. Selain itu pada jenis reaktor ini media padatan seperti pasir juga dapat digunakan sebagai media pemanasan secara eksternal.



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

5. *Rotating Cone Reactor*

Cara kerja proses pirolisis ini adalah, bahan baku pirolisis diumpukan dari atas ke bawah menuju kerucut yang sedang berputar di dalam reaktor. Gaya sentrifugal mendorong partikel ke atas dinding yang panas, sedangkan produk berupa gas akan menguap ke atas reaktor. Keuntungan proses ini adalah proses pemanasan dapat cepat berlangsung. Reaktor *Rotating Cone* dapat dilihat pada gambar 2.5.

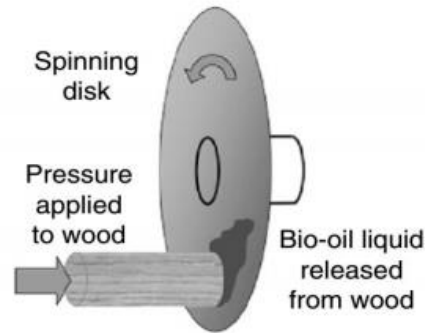


Gambar 2.5 Reaktor *Rotating Cone* (Basu, 2010).

6. *Ablative Pyrolizer*

Proses ini melibatkan bahan baku pirolisis dan dinding reaktor yang berputar dan saling bergesekan dengan cara bahan baku ditekan ke dinding reaktor

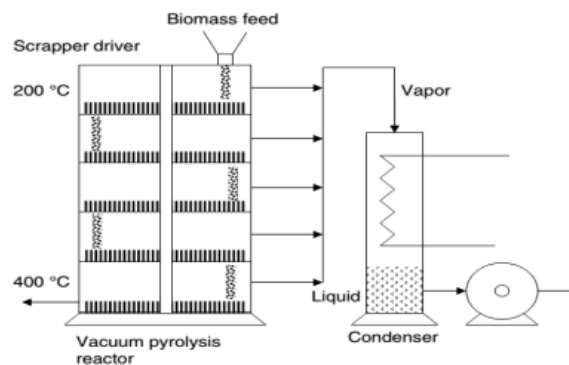
tersebut sehingga akan terjadi proses pemanasan akibat gesekan tersebut. Keuntungan dari cara ini adalah memungkinkan perpindahan panas tanpa adanya hambatan dari dinding ke bahan baku pirolisis sehingga produk cair yang dihasilkan akan meleleh keluar dari bahan baku. Gambar 2.6 memperlihatkan skema pirolisis pada reaktor jenis *Ablative Pyrolizer* bekerja.



Gambar 2.6 *Ablative Pyrolizer* (Basu, 2010).

#### 7. *Vacuum Pyrolizer*

*Vacuum Pyrolizer* terdiri dari sejumlah plat melingkar yang dipanaskan, di mana pada plat bagian atas bersuhu sekitar 200°C, sedangkan plat bagian bawah bersuhu sekitar 400°C. Biomassa diumpankan dari atas piringan plat dan turun ke bawah secara berturut-turut, dan selama proses tersebut bahan baku mengalami proses pengeringan. Tidak ada gas pembawa (inert) dalam reaktor tipe ini, hanya char saja yang akan tertinggal di dalam reaktor bagian bawah.



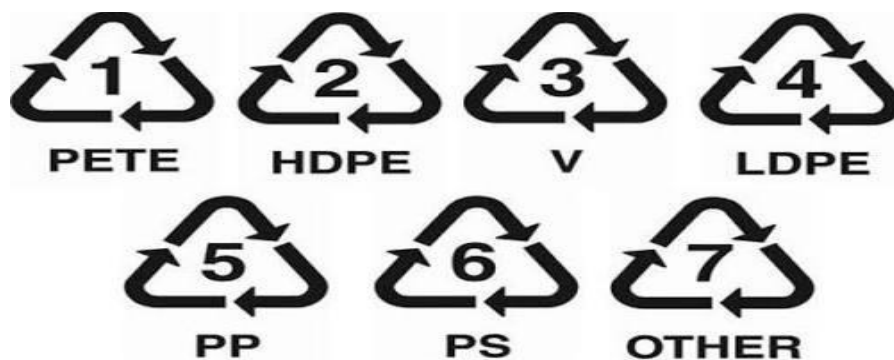
Gambar 2.7. *Vacuum Pyrolizer* (Basu, 2010).



### 2.3 Plastik

Plastik adalah suatu material organik sintetik atau material organik semi sintetik. Plastik berasal dari bahasa Yunani yaitu “*platicos*” artinya kemudahan untuk dibentuk atau dicetak. Atau “*platos*” artinya dicetak, karena sifat plastik yang mudah dicetak atau kekenyalannya dalam pembuatan yang membuatnya mudah dibuat. Ada 2 macam tipe plastik yaitu *thermoplastics* dan *thermosetting polymer*. *Thermoplastics* adalah plastik yang tidak mengalami perubahan komposisi kimia ketika dipanaskan dan dapat dicetak kembali, misalnya *polyethylene*, *polystyrene*, *polyvinyl chloride* dan *polytetrafluoroethylene* (PTFE). *Thermosetting* dapat dicairkan namun setelah dibuat dalam bentuk solid tidak dapat dicairkan kembali dengan cara dipanaskan.

Berdasarkan sifat kedua kelompok plastik di atas, *thermoplastic* adalah jenis yang mungkin dapat didaur ulang. Jenis plastik yang dapat didaur ulang diberi kode berupa nomor yang memudahkan dalam mengidentifikasi dan penggunaannya (lihat Gambar 2.8 dan Tabel 2.1).



Gambar 2.8 Nomor kode plastik (Surono, 2013)

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

No. Kode	Jenis Plastik	Penggunaan
1	PET ( <i>Polyethylene terephthalate</i> )	botol kemasan air mineral, botol minyak goreng, jus, botol sambal, botol obat, dan botol kosmetik.
2	HDPE ( <i>High Density Polyethylene</i> )	botol obat, botol susu cair, jerigen pelumas, dan botol kosmetik.
3	PVC ( <i>Polyvinyl Chloride</i> )	pipa selang air, pipa bangunan, mainan, taplak meja dari plastik, botol shampo, dan botol sambal
4	LDPE ( <i>Low Density Polyethylene</i> )	kantong kresek, tutup plastik, plastik pembungkus daging beku, dan berbagai macam plastik tipis lainnya.
5	PP ( <i>Polypropylene</i> )	cup plastik, tutup botol dari plastik, mainan anak, dan margarine.
6	PS ( <i>Polystyrene</i> )	kotak CD, sendok dan garpu plastik, gelas plastik, atau tempat makanan dari styrofoam, dan tempat makan plastik transparan.
7	Other, Jenis plastik selain dari nomor 1 sampai 6	botol susu bayi, plastik kemasan, gallon air minum, suku cadang mobil, alat-alat rumah tangga, komputer, alat-alat elektronik, sikat gigi, dan mainan lego.

Material dasar plastik berasal dari minyak bumi dan gas alam. Plastik akan terurai ketika dipanaskan beberapa ratus derajat celsius. 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 (Rachmawati dkk, 2015).

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

Tabel 2.3 Analisis *Ultimate* Plastik (Haryono, 2016).

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

Semakin meningkatnya penggunaan akan bahan plastik ini akan menjadi masalah yang sangat serius untuk ditangani, penanganan masalah sampah plastik yang populer kini disebut 3R (*Reuse, Reduce, Recycle*), *Reuse* adalah memakai berulang kali barang - barang yang terbuat dari plastik. *Reduce* adalah mengurangi pembelian atau penggunaan barang - barang dari plastik, terutama barang-barang yang sekali pakai. *Recycle* adalah mendaur ulang barang-barang yang terbuat dari plastik. Penguraian sampah plastik di alam memerlukan waktu yang relatif sangat lama tergantung pada keadaan lingkungan maupun struktur kimia polimer limbah plastik, sedangkan produksi sampah plastik Indonesia mencapai 175.000 ton per hari, hal ini tentu akan menimbulkan masalah serius bagi lingkungan, baik untuk generasi sekarang bahkan untuk generasi yang akan datang.

Perlu adanya alternatif proses daur ulang yang lebih efisien, salah satunya mengkonversi sampah plastik menjadi bahan bakar cair yang saat ini sudah banyak diteliti dan dikembangkan prosesnya. Hal ini bisa dilakukan karena pada dasarnya plastik berasal dari minyak bumi. Selain itu plastik juga mempunyai nilai kalor cukup tinggi, setara dengan bahan bakar fosil seperti bensin dan solar.

## 2.4 Motor Bakar

Motor bakar adalah salah satu jenis mesin kalor, yaitu mesin yang mengubah energi kimia bahan bakar menjadi energi mekanik berupa kerja. Sebelum menjadi energi mekanik, energi kimia bahan bakar diubah terlebih dahulu menjadi energi termal melalui pembakaran bahan bakar dengan udara. Pada dasarnya pembakaran yang terjadi pada motor bakar dikategorikan menjadi dua (2), yaitu:

- a. Motor pembakaran luar atau *External Combustion Engine* (ECE) yaitu suatu mesin yang mempunyai sistem pembakaran yang terjadi di luar dari mesin itu sendiri sehingga untuk melakukan pembakaran digunakan mesin tersendiri.

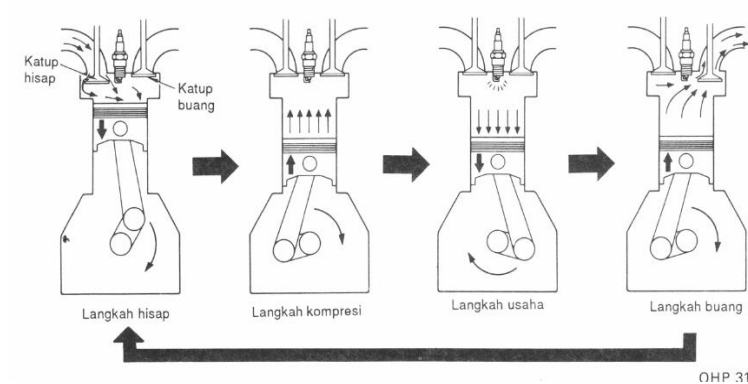
Panas dari hasil pembakaran bahan bakar tidak langsung diubah menjadi tenaga mekanis. Salah satu contohnya adalah turbin uap.

- b. Motor pembakaran dalam atau *Internal Combustion Engine* (ICE) yaitu suatu mesin yang proses pembakaran bahan bakarnya terjadi di dalam mesin itu sendiri sehingga panas yang dihasilkan pembakaran bahan bakar dapat langsung diubah menjadi energi mekanik. Salah satu contohnya adalah motor bakar pada torak.

Sedangkan jika ditinjau dari penggunaan bahan bakarnya, motor bakar dibedakan menjadi dua macam yaitu motor bensin (*otto*) dan motor diesel. Bahan bakar yang digunakan pada motor bensin diantaranya adalah Premium, Pertalite dan Pertamina. Sedangkan pada motor diesel bahan bakar yang digunakan diantaranya adalah Solar dan Pertamina Dex. Perbedaan lain dari motor bensin dan motor diesel adalah sistem penyalanya dimana pada motor bensin menggunakan busi sebagai sistem penyalanya dimana loncatan bunga api dari busi berfungsi untuk membakar bahan bakar. Sedangkan pada motor diesel memanfaatkan suhu kompresi yang tinggi untuk dapat membakar bahan bakar.

#### 2.4.1 Prinsip Kerja Motor Bensin

Motor bensin bekerja dengan gerakan torak bolak balik (bergerak naik turun pada motor gerak). Motor bensin bekerja menurut prinsip 4 langkah (*tak*) dan 2 langkah (*tak*). Yang dimaksud dengan istilah “langkah” disini adalah perjalanan torak dari satu titik mati atas ke titik mati bawah.



Gambar 2.9. Prinsip kerja motor bensin 4 langkah (Toyota, 2011).

#### 1. Langkah Hisap

Pada langkah ini katup masuk terbuka kemudian piston bergerak ke Titik Mati Bawah (TMB). Gerakan tersebut mengakibatkan tekanan yang rendah atau terjadi kevakuman di dalam silinder. Karena itu campuran udara dan bahan bakar terisap dan masuk melalui katup masuk. Ketika piston hampir mencapai TMB, silinder sudah berisi sejumlah campuran bahan bakar dan udara.

#### 2. Langkah Kompresi

Setelah piston menyelesaikan langkah hisap, katup masuk menutup piston kembali ke Titik Mati Atas (TMA) . Dengan kedua katup hisap dan buang tertutup, campuran bahan bakar – udara yang berada dalam silinder di kompresikan. Akibat proses kompresi tersebut, terjadi kenaikan suhu di dalam silinder.

#### 3. Langkah Usaha atau Ekspansi

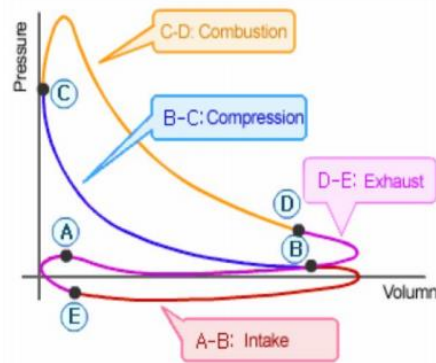
Beberapa derajat sebelum TMA, busi memercikan bunga api. Api dari busi tersebut membakar campuran bahan bakar dan udara. Sehingga campuran bahan bakar dan udara terbakar mendorong piston bergerak menuju TMB.

#### 4. Langkah Buang

Beberapa derajat sebelum piston mencapai TMB, katup buang mulai membuka. Piston mulai bergerak ke atas. Memompa sisa hasil pembakaran melalui lubang katup buang. Ketika piston hampir mencapai TMA, katup hisap mulai membukakan dan bersiap untuk memulai siklus berikutnya.

#### 2.4.2 Siklus *Otto* Aktual

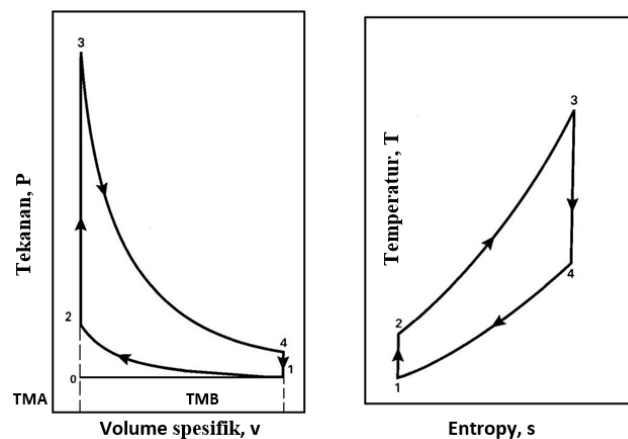
Fluida kerja siklus *otto* aktual adalah campuran bahan bakar – udara, jadi ada proses pembakaran untuk sumber panas. Pada langkah hisap, tekanannya lebih rendah dibandingkan dengan langkah buang. Proses pembakaran dimulai dari penyalaan busi (ignition) sampai akhir pembakaran. Proses kompresi dan ekspansi tidak adiabatik, karena terdapat kerugian panas yang keluar ruang bakar.



Gambar 2.10. Diagram P-V siklus *Otto* aktual (Marlindo, 2012).

### 2.4.3 Siklus *Otto* Ideal

Siklus udara volume konstan (siklus otto) dapat digambarkan dengan grafik P dan V di tunjukan pada gambar 2.11 sebagai berikut:



Gambar 2.11. Diagram P-V dan T-S siklus *otto* ideal (Siregar, 2009).

## 2.5 Dynamometer

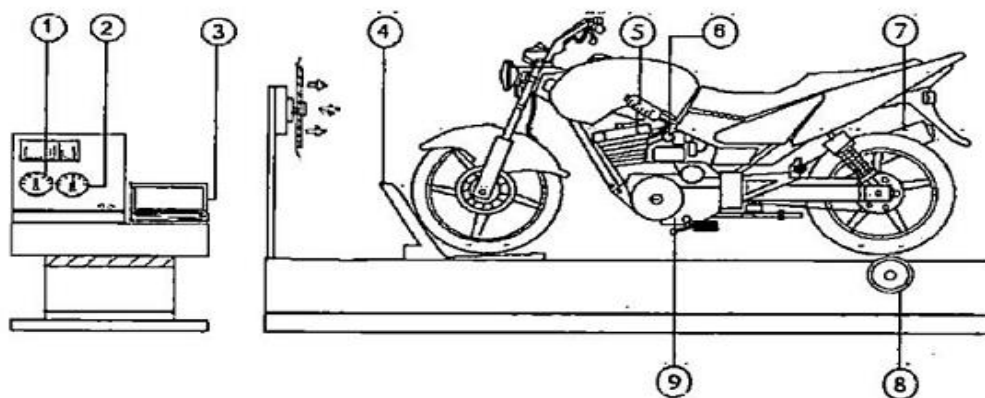
Dynamometer merupakan sebuah alat yang digunakan untuk mengukur tenaga (kekuatan) & gaya puntir yang dihasilkan mesin pada kecepatan tertentu dengan tujuan mendapatkan nilai torsi dan horse yang dihasilkan oleh mesin pada RPM (Revolutions Per Minute) tertentu.

Manfaat utama dari alat dynamometer adalah untuk mendapatkan nilai torsi dan *horsepower* (HP) yang dihasilkan oleh mesin pada RPM tertentu. Torsi merupakan gaya untuk memutarakan suatu benda pada porosnya, sedangkan *horsepower* (HP) adalah kemampuan untuk mengusung beban selama periode

tertentu. Selain hal di atas manfaat atau peran yang dimiliki oleh dynamometer diantaranya :

1. Bagi manufaktur kendaraan, digunakan untuk *quality control* terhadap kendaraan hasil produksinya, untuk memastikan kendaraan yang diproduksi sesuai standard yang ditentukan.
2. Bagi *research & development* digunakan untuk uji coba demi menghasilkan formula terbaik dari hasil rancangan mereka, baik itu bahan bakar, modifikasi *engine*, maupun kendaraan mereka.

Bagi distributor *engine* atau *repair engine*, digunakan untuk menguji performa atau ketahanan produk maupun untuk memastikan bahwa produk yang diperbaiki/*overhaul* sudah dalam kondisi terbaik sebelum dikirim ke pelanggan.



Gambar 2.12. Skema alat uji Dynotest (Maulana, 2017)

Keterangan gambar :

1. Tachometer
2. Torsiometer
3. Komputer
4. Penahan Motor
5. Indikator petunjuk bahan bakar
6. Karburator
7. Knalpot
8. Dynamometer