

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

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. Limbah plastik di pirolisis menggunakan reaktor tipe *batch* pada temperatur 450°C dengan dialirkan nitrogen dengan laju 0,8 l/menit. Selanjutnya minyak hasil pirolisis diujikan pada motor diesel *Engine Research and Test Bed* Nissan Diesel SD22 Series tanpa modifikasi dengan variasi nilai rpm motor diesel pada putaran 1600, 1800, 2000, 2300, 2500 rpm. Unjuk kerja mesin diesel menggunakan bahan bakar 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%), yang diukur secara eksperimental. 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%.

Kalargis (2016) telah melakukan analisis tentang kinerja, pembakaran dan emisi pada mesin diesel injeksi 4 silinder menggunakan bahan bakar campuran solar dan minyak hasil pirolisis plastik dari 0% sampai 100%, dan pada pembebanan mesin dari 25% sampai 100%. Karakteristik pembakaran mesin, kinerja dan emisi gas buang dianalisis dan dibandingkan dengan operasi bahan bakar diesel. Hasilnya menunjukkan bahwa mesin tersebut mampu berjalan pada pembebanan tinggi menggunakan minyak hasil pirolisis plastik yang mana kinerjanya sama dengan mesin diesel, sementara pada pembebanan yang lebih rendah membutuhkan pembakaran yang lama sehingga menyebabkan masalah stabilitas. Efisiensi termal rem pada minyak hasil pirolisis plastik pada pembebanan tinggi sedikit lebih rendah daripada diesel, tapi gas buang NO_x jauh lebih tinggi. Hasil menunjukkan bahwa minyak hasil pirolisis plastik merupakan

alternatif bahan bakar yang menjanjikan untuk aplikasi mesin tertentu pada kondisi operasi tertentu.

Lewerissa (2011) telah melakukan penelitian tentang pengaruh campuran bahan bakar bensin dan etanol terhadap prestasi mesin bensin yang dihasilkan oleh mesin Enduro XL. 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%. Hasil pengujian bahwa rata-rata daya untuk bahan bakar campuran lebih besar dari premium murni, adanya kenaikan pemakaian bahan bakar seiring dengan meningkatnya putaran karena angka oktan campuran bahan bakar bensin dan etanol lebih besar dibandingkan dengan bensin murni sehingga mudah terbakar, untuk itu prestasi mesin yang menggunakan bahan bakar campuran lebih tinggi dari prestasi mesin yang menggunakan bahan bakar premium dan konsumsi bahan bakar untuk bahan bakar campuran lebih besar dibandingkan bahan bakar premium murni.

Wardoyo (2016) telah melakukan penelitian tentang perbandingan kinerja mesin bensin dua langkah satu silinder pada sepeda motor menggunakan variasi campuran bahan bakar minyak hasil pirolisis sampah plastik dan premium dengan premium murni. Adapun variasi campuran bahan bakar yang digunakan terdiri dari 20% minyak hasil proses pirolisis sampah plastik, 80% premium dan 40% minyak hasil proses pirolisis sampah plastik, 60% premium. 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.

Devaraj (2014) telah melakukan penelitian dan investigasi tentang pengaruh campuran minyak hasil pirolisis plastik dan dietil eter terhadap kinerja,

pembakaran dan emisi pada mesin diesel. Penelitian dilakukan dengan mencampur minyak hasil pirolisis plastik dengan 5% dan 10% dietil eter yang akan digunakan sebagai bahan bakar untuk sistem pendingin satu silinder dan mesin diesel injeksi yang mana karakteristik dari kinerja, pembakaran, dan emisi gas buangnya akan diketahui pada penelitian ini. Hasil percobaan menunjukkan penurunan tingkat asap dengan menggunakan minyak hasil pirolisis plastik. Efisiensi termal rem meningkat bila dibandingkan dengan minyak hasil pirolisis plastik murni dan diesel. Polutan seperti *Carbon Monoxide* (CO) dan *Nitrogen Oxide* (NO_x) berkurang dalam bahan bakar campuran minyak hasil pirolisis plastik dan dietil eter. Telah diteliti bahwa penambahan oksigenat pada bahan bakar campuran ini dapat meningkatkan proses pembakaran dan mengurangi emisi gas buang. Dalam investigasi tersebut menyatakan bahwa pencampuran minyak hasil pirolisis plastik dan dietil eter dapat meningkatkan angka setana yang mana bagus untuk mesin diesel.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Pirolisis

Menurut Aprian dan Munawar (2012) pirolisis atau devolatilisasi adalah proses fraksinasi material oleh suhu. Proses pirolisis dimulai pada temperatur sekitar 230 °C, ketika komponen yang tidak stabil secara termal, dan *volatile matters* pada sampah akan pecah dan menguap bersamaan dengan komponen lainnya. Produk cair yang menguap mengandung tar dan *polyaromatic hydrocarbon*.

Pirolisis dilakukan di dalam sebuah reaktor dengan pengurangan atmosfer (hampa udara) pada temperatur hingga 500°C. Limbah plastik dan cangkang kelapa sawit melalui proses pirolisis mampu diubah menjadi *feedstock* petrokimia seperti nafta, liquid dan wax seperti hidrokarbon dan gas serta minyak dasar untuk pelumas. Proses pengolahan sampah plastik dengan proses pirolisis memiliki kelemahan yaitu tidak efisien pada pembuatan reaktor dalam skala besar hal ini diakibatkan oleh terjadinya bubbling, channelling, dan kurang ekonomis sehingga

masih menyisakan residu. Untuk mengatasi kelemahan tersebut proses pirolisis diperlukan proses tambahan untuk mendegradasi secara sempurna sampah plastik dan cangkang kelapa sawit hasil sisa dari proses pirolisis. Proses pirolisis dikategorikan menjadi 2 tipe yaitu :

1. Pirolisis Lambat (*Slow Pyrolysis*)

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

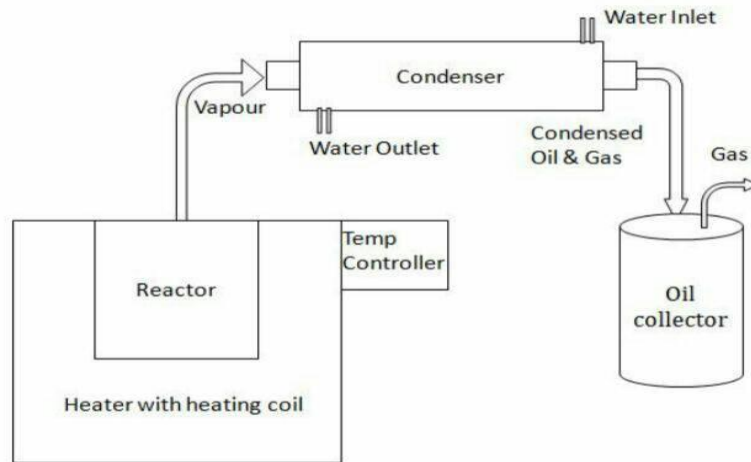
2. Pirolisis Cepat (*Fast Pyrolysis*)

Pirolisis ini dilakukan pada pemanasan 0,5-2 detik, suhu 400-600°C dan proses pemadaman yang cepat pada akhir proses. Pemadaman yang cepat sangat penting untuk memperoleh produk dengan berat molekul tinggi sebelum akhirnya terkonversi menjadi senyawa gas yang memiliki berat molekul rendah. Dengan cara ini dapat dihasilkan produk minyak pirolisis yang hingga 75% lebih tinggi dibandingkan dengan pirolisis konvensional.

Untuk reaktornya terdapat 5 jenis reaktor yang banyak digunakan yaitu sebagai berikut:

- a. *Fixed Bed Reactor*

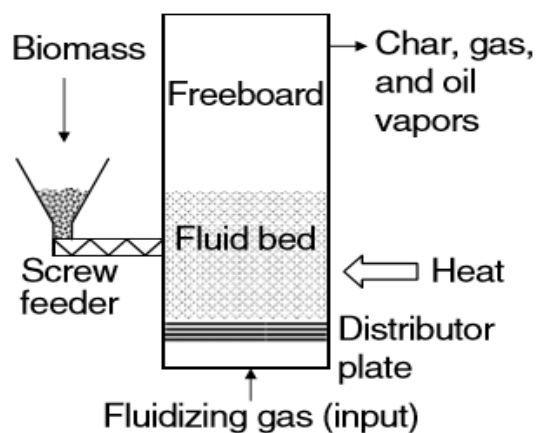
Fixed Bed Reactor dapat didefinisikan sebagai suatu tube silindrikal yang dapat diisi dengan partikel-partikel katalis. Selama operasi, gas atau liquid atau keduanya akan melewati tube dan partikel-partikel katalis, sehingga akan terjadi reaksi. *Fixed bed reactor* adalah reaktor yang dalam prosesnya mempunyai prinsip kerja pengontakan langsung antara pereaktan dengan partikel-partikel katalis. *Fixed bed reactor* biasanya digunakan untuk umpan (pereaktan) yang mempunyai viskositas kecil.



Gambar 2.1 Reaktor *Fixed Bed* (kumar dkk, 2016)

b. Fluidized Bed Reactor

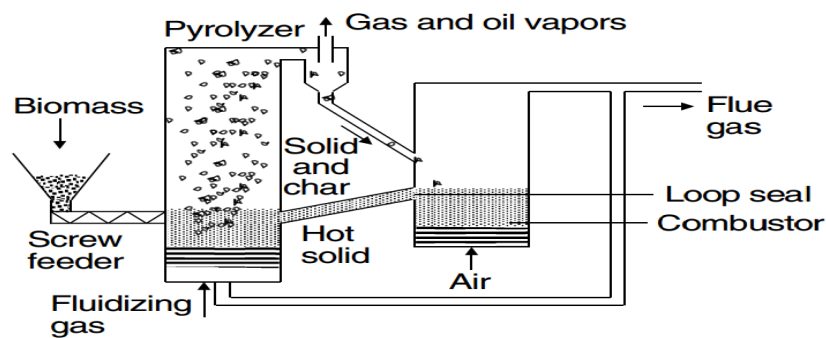
Fluidized Bed Reactor adalah adalah jenis reaktor kimia yang dapat digunakan untuk mereaksikan bahan dalam keadaan banyak fasa. Reaktor jenis ini menggunakan fluida (cairan atau gas) yang dialirkan melalui katalis padatan (biasanya berbentuk butiran-butiran kecil) dengan kecepatan yang cukup sehingga katalis akan terolak sedemikian rupa dan akhirnya katalis tersebut dapat dianalogikan sebagai fluida juga. Proses ini, dinamakan fluidasi. *Fluidized Bed Reactor* dapat digunakan untuk pencampuran dan pemisahan antar fasa.



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

c. *Entertained Flow*

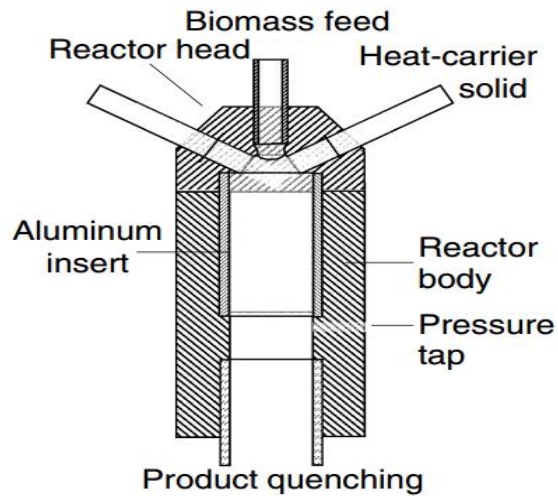
Reaktor *Entrained Flow* dapat dibagi menjadi 2 (dua) jenis yaitu *slagging* dan *non slagging*. Di dalam gasifier *slagging*, komponen-komponen yang terbentuk dari partikel debu dapat meleleh di dalam gasifier, mengalir turun di sepanjang dinding reaktor, dan meninggalkan reaktor dalam bentuk slag cair. Secara umum, laju alir massa slag sekurang-kurangnya 6 % dari laju alir bahan bakar untuk memastikan proses berjalan dengan baik. Di dalam reaktor *non slagging*, dinding reaktor tetap bersih dari slag. Jenis gasifier ini cocok untuk umpan yang kandungan partikel debu nya tidak terlalu tinggi.



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

d. *Ultra-Rapid Reactor*

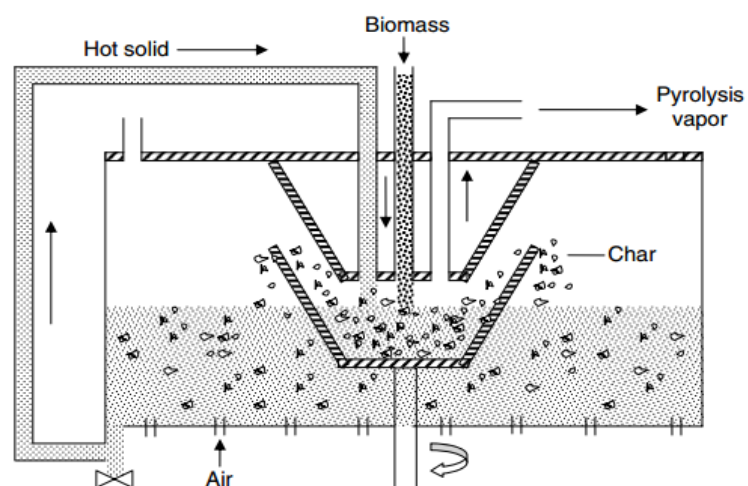
Ultra - rapid merupakan jenis reaktor yang menggunakan pemanasan yang tinggi hingga mencapai 650 °C, sehingga memungkinkan untuk mendapatkan hasil cairan sekitar 90%. Proses pemanasan dilakukan dengan menggunakan padatan panas, contohnya seperti pasir, dimana nitrogen gas inert dipanaskan pada suhu 100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



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 Cangkang Kelapa Sawit

Kelapa sawit merupakan salah satu komoditi andalan Indonesia dan perkembangannya sekarang cukup pesat. Seiring produksi minyak kelapa sawit yang tinggi, maka limbah pabrik kelapa sawit juga tinggi. Kondisi yang semacam itu sebenarnya banyak sekali manfaat yang dapat diperoleh dari pemanfaatan cangkang sawit tersebut.

Perkebunan kelapa sawit terus meningkat dari data statistik kelapa sawit Indonesia menunjukkan, luas perkebunan sawit tahun 1980 0,29 juta hektar meningkat pesat 11,3 juta hektar pada 2015 (Sitanggang, 2017). Di samping itu, produksi sawit yang terus meningkat, akan diikuti dengan peningkatan jumlah limbahnya. Salah satu limbah yang dihasilkan dalam jumlah besar pada pengolahan kelapa sawit adalah limbah padat. Limbah ini terdiri atas cangkang, janjang, tandan kosong, dan kulit buah.

Limbah padat hasil pengolahan kelapa sawit mempunyai potensi untuk dikembangkan menjadi produk yang bermanfaat dan bernilai ekonomis karena mengandung bahan organik dengan kadar yang cukup tinggi. Hal ini sesuai dengan pernyataan Habibati. (2010), bahwa komposisi kimia tandan kosong kelapa sawit terdiri atas selulosa (36,81%), hemiselulosa (27,01%), lignin (15,70%), dan abu (6,04%). Dan komposisi kimia tandan kosong terdiri atas hemiselulosa (34,78%), selulosa (28,28%), lignin (21,56%), lemak (6,95%), dan protein (6,94%), sedangkan kandungan kimia cangkangnya terdiri atas hemiselulosa (31,70%), selulosa (32,53%), lignin (20,09%), lemak (5,33%), dan protein (4,45%). Analisa *Ultimate* dan *Proximate* dari cangkang kelapa sawit dapat dilihat pada tabel 2.1 dan 2.2.

Tabel 2.1 *Ultimate Analysis* Cangkang Sawit (Wardana dkk, 2016)

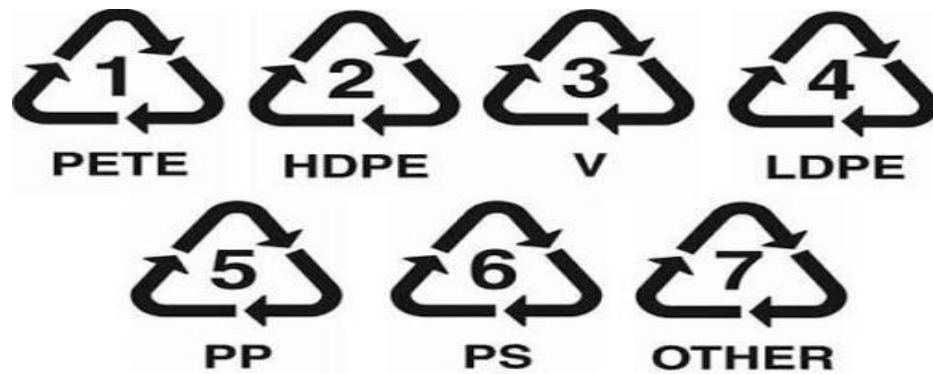
| Karbon | Hidrogen | Oksigen | Nitrogen | Sulfur |
|--------|----------|---------|----------|--------|
| 50,73% | 5,97% | 40,83% | 0,36% | 0,06% |

Tabel 2.2 *Proximate Analysis* Cangkang Sawit (Wardana dkk, 2016)

| <i>Ash</i> | <i>Volatile</i> | <i>Fixed Carbon</i> |
|------------|-----------------|---------------------|
| 2,05 wt% | 75,21 wt% | 22,74 wt% |

2.2.3 Plastik

Sampah plastik merupakan masalah tersendiri yang dihadapi dalam penanganan persampahan, hal ini dikarenakan sampah plastik tersusun atas polimer hidrokarbon dengan ikatan rantai yang tidak mudah diurai oleh alam baik secara fisika, kimia, maupun biologi, sehingga di butuhkan waktu yang sangat lama untuk mengurai sampai plastik. Selain itu plastik memiliki banyak kelebihan dibandingkan bahan lainnya. Secara umum, plastik memiliki densitas yang rendah, bersifat isolasi terhadap listrik, mempunyai kekuatan mekanik yang bervariasi, ketahanan suhu terbatas, serta ketahanan bahan kimia yang bervariasi. Selain itu, plastik juga ringan, mudah dalam perancangan, dan biaya pembuatan murah. Sebagian besar plastik yang digunakan masyarakat merupakan jenis plastik polietilena. Ada dua jenis polietilena, yaitu high density polyethylene (HDPE) dan low density polyethylene (LDPE). HDPE banyak digunakan sebagai botol plastik minuman, sedangkan LDPE untuk kantong plastik. Di balik segala kelebihannya, limbah plastik sulit terurai dan menyebabkan lingkungan hidup tercemar. Berdasarkan sifat plastik di atas, ada jenis plastik yang mungkin dapat didaur ulang. Jenis plastik yang dapat didaur ulang diberi kode berupa nomor yang memudahkan dalam mengidentifikasi dan penggunaannya (lihat Gambar 2.6 dan Tabel 2.3).



Gambar 2.6 Nomor kode plastik (Surono, 2009)

Tabel 2.3 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. |

| No. Kode | Jenis Plastik | Penggunaan |
|----------|---|---|
| 5 | PP (<i>Polypropylene</i>) | Cup plastik, tutup botol dari plastic, 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 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. Plastik *polypropylene* ini mempunyai rumus molekul $(C_3H_6)_n$ (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 2.4 dan 2.5.

Tabel 2.4 *Proximate Analysis* beberapa jenis plastik (Rachmati dan Herumurti, 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 2.5 *Ultimate Analysis* plastik jenis LDPE (Wardana dkk, 2016)

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

2.2.4 Motor Bakar

Motor bakar adalah suatu perangkat/mesin yang mengubah energi termal/panas menjadi energi mekanik. Energi ini dapat diperoleh dari proses pembakaran yang terbagi menjadi 2 (dua) golongan, yaitu:

1. Motor bakar pembakaran luar, yaitu suatu mesin yang mempunyai sistim pembakaran yang terjadi diluar dari mesin itu sendiri. Misalnya mesin uap dimana energi thermal dari hasil pembakaran dipindahkan kedalam fluida kerja mesin. Pembakaran air pada ketel uap menghasilkan uap kemudian uap tersebut baru dimasukkan kedalam sistim kerja mesin untuk mendapatkan tenaga mekanik.

2. Motor pembakaran dalam, pada umumnya motor pembakaran dalam dikenal dengan motor bakar. Proses pembakaran bahan bakar terjadi didalam mesin itu sendiri sehingga gas hasil pembakaran berfungsi sekaligus sebagai fluida kerja mesin. Motor bakar itu sendiri dibagi menjadi beberapa macam berdasarkan sistim yang dipakai, yaitu motor bakar torak, motor bakar turbin gas, dan motor bakar propulsi pancar gas. Untuk motor bakar torak dibagi atas 2 (dua) macam, yaitu motor bensin dan motor diesel. Menurut langkah kerjanya motor bakar dibagi menjadi mesin dengan proses dua langkah dan mesin dengan proses empat langkah.

Berdasarkan siklusnya, motor bakar dibagi menjadi 2 (dua) macam, yaitu :

a. Motor Bakar 2 Langkah



Gambar 2.7 Siklus kerja engine 2 tak/2 langkah (Takarina, 2014)

1. Langkah Masuk (*Intake*)

Campuran bahan bakar - udara dihisap masuk ke dalam rumah engkol akibat tekanan vakum yang terjadi pada saat piston bergerak ke atas.

2. Langkah Penyaluran (*Transfer/Exhaust*)

Pada saat mendekati posisi TMB, saluran masuk terbuka dan campuran bahan bakar - udara masuk ke dalam silinder. Pada saat yang sama masuknya campuran bahan bakar dan udara tersebut mendorong sisa hasil pembakaran keluar melalui saluran pengeluaran pada sisi yang berlawanan dari lubang pemasukan.

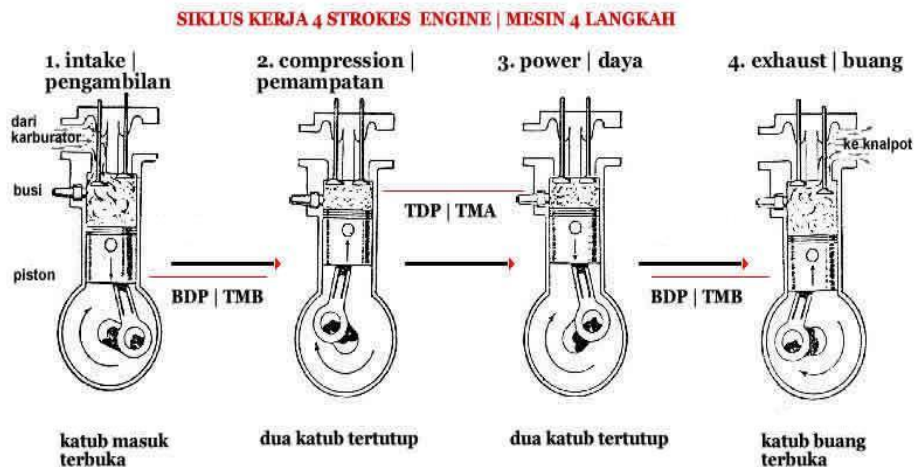
3. Langkah Pemampatan (*Compression*)

Selanjutnya piston bergerak ke atas dan menekan campuran bahan bakar - udara. (pada saat yang sama terjadi langkah masuk yang berikutnya di bagian bawah piston).

4. Langkah Tenaga (*Power*)

Pada saat mendekati posisi TMA busi akan menyala dan menyundut campuran bahan bakar - udara sehingga terjadi pembakaran yang mendorong piston ke bawah

b. Motor Bakar 4 Langkah



Gambar 2.8 Siklus kerja engine 4 tak/4 langkah (Aiufustars, 2012)

1. Langkah Masuk (*Intake*)

Sewaktu piston bergerak ke titik mati bawah (TMB) diruang pembakaran menjadi vakum dan klep pemasukan terbuka sehingga campuran gas dari karburator masuk ke dalam silinder (ruang bakar) untuk meningkatkan efisiensi pemasukan campuran bahan bakar dan udara katup pemasukan terbuka sesaat sebelum titik mati atas (TMA) dan menutup setelah titik mati bawah (TMB).

2. Langkah Pemampatan (*Compression*)

Sewaktu piston bergerak keatas (ke TMA) kedua klep tertutup campuran bahan bakar diruang bakar dikompresikan.

3. Langkah Tenaga (*Power*)

Sebelum akhir langkah kompresi busi memercikan bunga api dan membakar campuran bahan bakar dan udara yang dikompresikan campuran terbakar sangat cepat dan tekanan pembakaran mendorong piston kebawah selanjutnya memutar poros engkol melalui batang piston.

4. Langkah Pembuangan (*Exhaust*)

Sebelum piston mencapai titik mati bawah (TMB) Klep pembuangan terbuka dan gas sisa pembakaran mengalir keluar sewaktu piston mulai naik dari TMB mendorong gas pembakaran yang masih tertinggal setelah piston melewati TMA klep pengeluaran tertutup dan campuran mulai mengalir kedalam silinder.

Motor bakar dapat diklasifikasikan menjadi 2 (dua) macam. Adapun pengklasifikasian motor bakar adalah sebagai berikut:

1. Berdasarkan sistem pembakarannya

1) Mesin bakar dalam

Mesin pembakaran dalam atau sering disebut sebagai Internal Combustion Engine (ICE), yaitu dimana proses pembakarannya berlangsung di dalam motor bakar itu sendiri sehingga gas pembakaran

yang terjadi sekaligus berfungsi sebagai fluida kerja. Hal-hal yang dimiliki pada mesin pembakaran dalam yaitu :

- a. Pemakaian bahan bakar irit
- b. Berat tiap satuan tenaga mekanis lebih kecil
- c. Konstruksi lebih sederhana

2) Mesin bakar luar

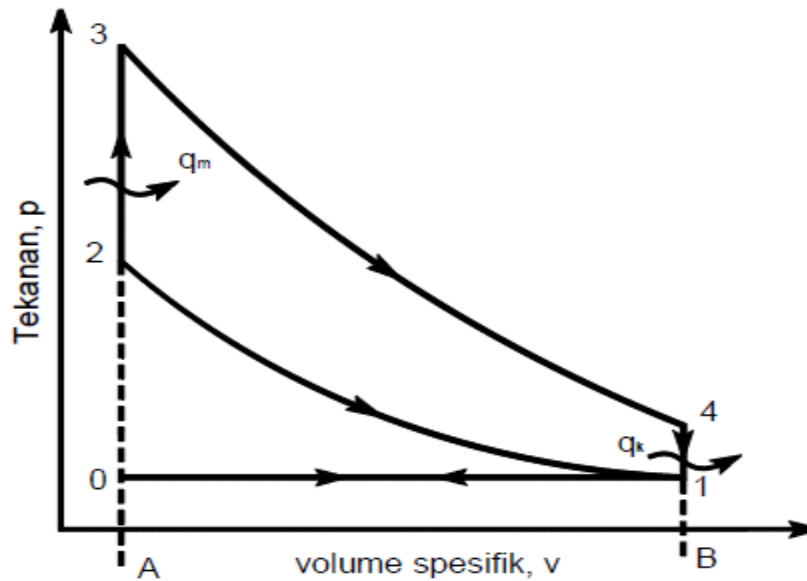
Mesin pembakaran luar atau sering disebut sebagai Eksternal Combustion Engine (ECE) yaitu dimana proses pembakarannya terjadi di luar mesin, energi termal dari gas hasil pembakaran dipindahkan ke fluida kerja mesin. Hal-hal yang dimiliki pada mesin pembakaran luar yaitu :

- a. Dapat memakai semua bentuk bahan bakar
- b. Dapat memakai bahan bakar bermutu rendah
- c. Cocok untuk melayani beban-beban besar dalam satu poros
- d. Lebih cocok dipakai untuk daya tinggi

2. Berdasarkan sistem pembakarannya

1) Motor bensin

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

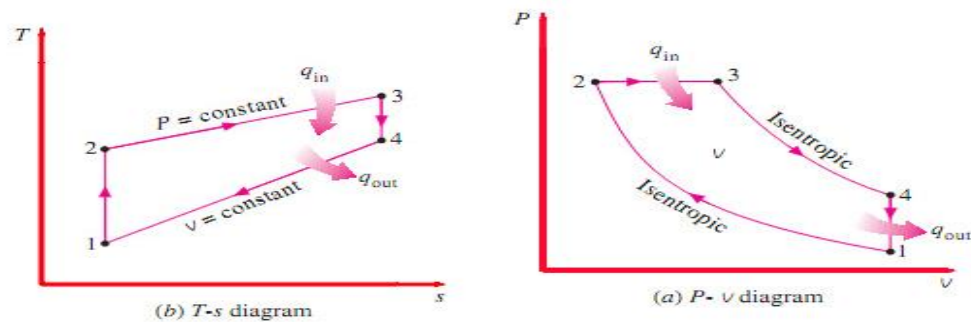


Gambar 2.9 Siklus Otto / mesin bensin (Nababan dkk, 2013)

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

2) Motor diesel

Motor diesel adalah motor bakar torak yang berbeda dengan motor bensin. Proses penyalanya bukan menggunakan loncatan bunga api listrik. Pada waktu torak hampir mencapai titik TMA bahan bakar disemprotkan ke dalam ruang bakar. Terjadilah pembakaran pada ruang bakar pada saat udara dalam silinder sudah bertemperatur tinggi. Persyaratan ini dapat terpenuhi apabila perbandingan kompresi yang digunakan cukup tinggi. Proses pemuaihan dan penekanan secara adiabatik pada siklus diesel bisa dilihat pada gambar 2.10 diagram T-s dan P-v.



Gambar 2.10. Diagram T-s dan P-v untuk mesin diesel ideal
(Wiratmaja, 2010)

2.2.5 Uji Dynamometer

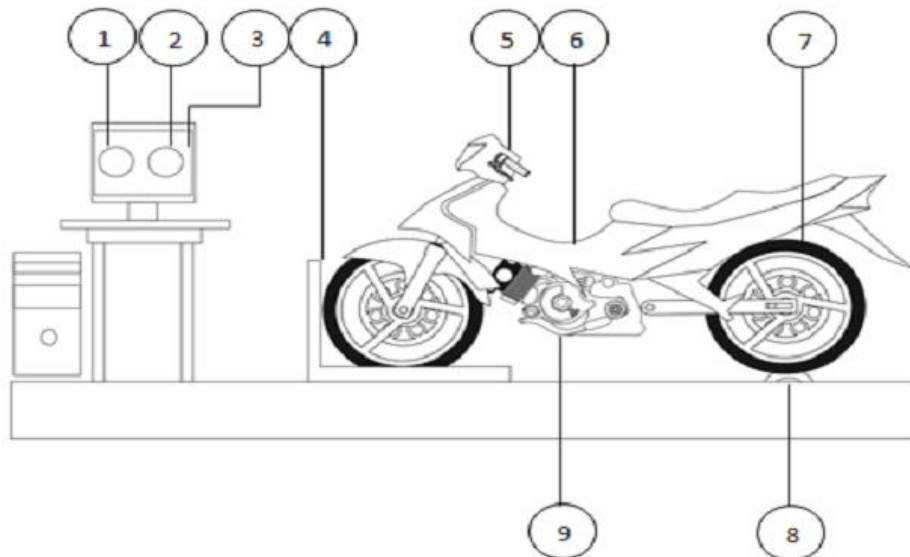
Dynamometer merupakan sebuah alat yang digunakan untuk mengukur tenaga (kekuatan) & gaya puntir yang dihasilkan mesin pada kecepatan tertentu dengan tujuan mendapatkan nilai torsi dan horse yang dihasilkan oleh mesin pada RPM (Revolutions Per Minute) tertentu.

Manfaat utama dari alat dynamometer adalah untuk mendapatkan nilai torsi dan *horsepower* (HP) yang dihasilkan oleh mesin pada RPM tertentu. Torsi merupakan gaya untuk memutar 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 sudah dalam kondisi terbaik sebelum dikirim ke pelanggan.



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

Keterangan gambar :

1. Tachometer
2. Torsimeter
3. Laptop
4. Penahan Motor
5. Indikator petunjuk bahan bakar
6. Karburator
7. Knalpot
8. Mesin