

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 melalui proses pirolisis menggunakan reaktor tipe *batch* pada temperatur 450°C dengan dialirkan nitrogen dengan laju 0,8 l/menit. Minyak hasil pirolisis diujikan pada motor diesel Nissan Diesel SD22 Series 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. Hasil menunjukkan bahwa *Waste Plastic Oil* (WPO) *blend* 10% memiliki parameter torsi dan daya sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan campuran lainnya, begitu pula dengan BMEP dan BTE pada WPO *blend* 10% dimana lebih baik dibandingkan dengan campuran lainnya.

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 membuktikan bahwa semakin tinggi campuran bahan bakar maka semakin rendah perbandingan udara dengan bahan bakar maka pembakaran yang terjadi kurang sempurna masuk kedalam ruang bakar, efisiensi termal yang dihasilkan bahan bakar campuran rata-rata lebih rendah dari premium murni kecuali pada campuran 5 %, oleh karena itu prestasi mesin pada bahan bakar campuran lebih tinggi dibandingkan dengan prestasi mesin yang hanya menggunakan bahan bakar premium murni. 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. 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 menunjukkan bahwa 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.

Kalargis dkk. (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.

Devaraj dkk. (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. Hasil 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. 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.

Ningrum (2011) telah melakukan penelitian terhadap limbah cangkang sawit sebagai bahan baku proses pirolisis. Sebelum proses pirolisis dilakukan, cangkang sawit dicuci terlebih dahulu untuk mengurangi kadar abu dan kotoran, selanjutnya dilakukan proses pengeringan dengan tujuan menghilangkan kadar air, dan terakhir proses pencacahan. Pada penelitiannya, proses pirolisis dilakukan dengan metode Fast Pyrolysis di mana variabelnya adalah suhu 450°C, 550°C, dan 650°C, dengan kondisi operasi pada kondenser bersuhu 17°C. Pada hasil penelitian ini didapat bahwa cangkang kelapa sawit bersuhu 450°C memiliki *yield bio-oil* sebesar 58,75 %, suhu 550°C sebesar 62 % dan pada suhu 650°C sebesar 59 %. Selain itu cangkang sawit memiliki jumlah *biopolymer* (selulosa, hemiselulosa dan lignin) sebesar 94,2 %, dan jumlah kandungan karbon sebesar 53,8 %.

Ahmad dkk. (2014) telah meneliti karakteristik bio-oil pada proses pirolisis cangkang sawit. Sebelum memulai proses pirolisis, cangkang sawit dihaluskan dan dikeringkan terlebih dahulu di dalam oven bersuhu 105°C selama 2 jam untuk menghilangkan kadar airnya. Setelah dikeringkan, cangkang sawit dicacah kembali dan disaring menggunakan saringan “Shaker” sehingga didapat ukuran partikel sebesar 212 - 300 µm, 300 - 600 µm, dan 600 µm - 1,18 mm. Biomassa sebanyak 5 g di masukkan ke dalam rektor pirolisis tipe *fixed bed* dengan kecepatan suhu 50°C per menit sampai dengan suhu 350°C, 400°C, 450°C, 500°C dan 550°C dengan ditambahkan N₂ 50 ml/menit. Dari hasil percobaan didapat bahwa hasil optimum *yield bio-oil* berada pada suhu 450°C sebesar 38,40 % wt dengan ukuran biomassa sebesar 600 µm – 1,18 mm, hal ini disebabkan bahwa

ukuran partikel biomassa, suhu serta jenis bahan baku berpengaruh pada hasil biooil.

2.2 Dasar Teori

Pirolisis berasal dari kata *Pyro* (Fire/Api) dan *Lyo* (Loosening/Pelepasan) untuk dekomposisi termal dari suatu bahan organik. Pirolisis adalah proses konversi dari suatu bahan organik pada suhu tinggi dan terurai menjadi ikatan molekul yang lebih kecil. Pirolisis adalah dekomposisi kimia bahan organik melalui proses pemanasan tanpa atau sedikit oksigen atau reagen lainnya, di mana material mentah akan mengalami pemecahan struktur kimia menjadi fase gas

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*, *channeling* 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 (Aydinli dan Caglar, 2010) :

a. Pirolisis Lambat (*Slow Pyrolysis*)

Pirolisis yang dilakukan pada pemanasan rata-rata lambat (< 100 K/menit). Pirolisis ini menghasilkan cairan yang sedikit sedangkan gas dan arang lebih banyak dihasilkan.

b. Pirolisis Cepat (*Fast Pyrolysis*)

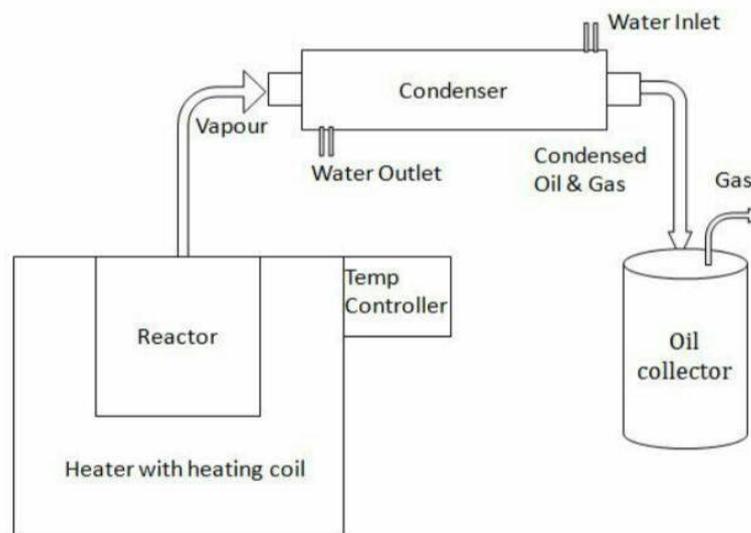
Pirolisis ini dilakukan pada pemanasan 0,5-2 detik, suhu 400-600°C dan proses pemadaman yang cepat pada akhir proses. Pemadaman yang cepat sangat penting untuk memperoleh produk dengan berat molekul tinggi sebelum akhirnya terkonversi menjadi senyawa gas yang memiliki berat molekul

rendah. Dengan cara ini dapat dihasilkan produk minyak pirolisis yang hingga 75% lebih tinggi dibandingkan dengan pirolisis konvensional.

Untuk reaktornya terdapat 5 jenis gasifier 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.

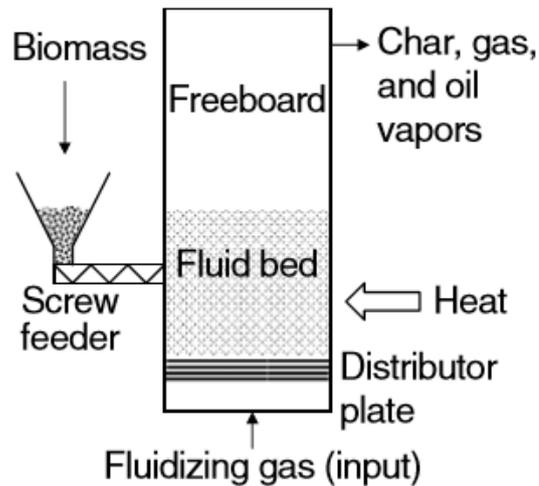


Gambar 2.1 Reaktor *Fixed Bed* (Senthilkumar, 2015)

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

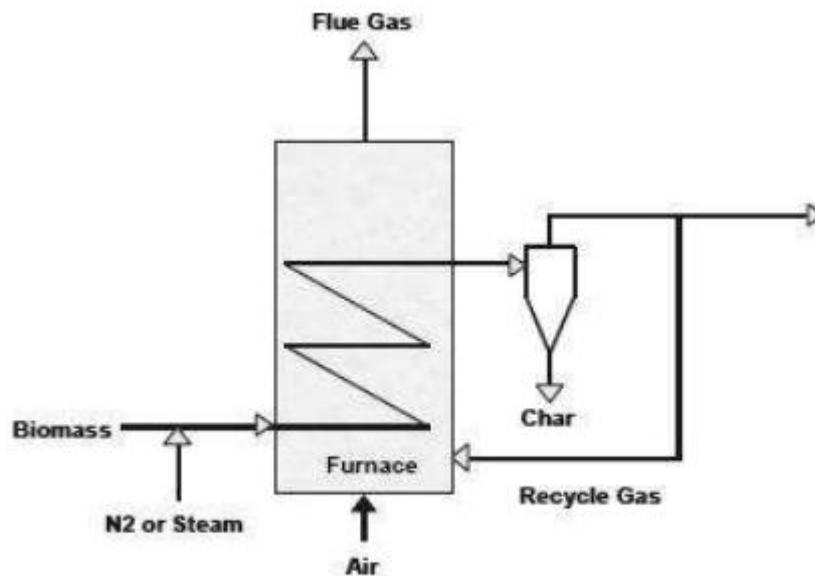
dapat dianalogikan sebagai fluida juga. Proses ini, dinamakan fluidasi. *Fluidized Bed Reactor* dapat digunakan untuk pencampuran dan pemisahan antar fasa.



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

c. *Entrained Flow*

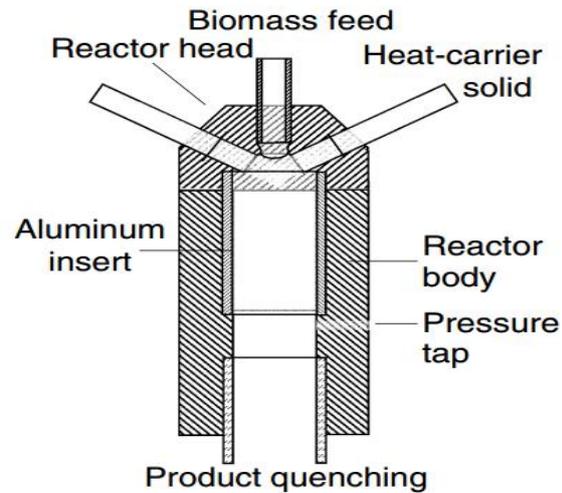
Reaktor *Entrained Flow* dapat dibagi menjadi 2 (dua) jenis yaitu *slagging* dan *non slagging*. Di dalam gasifier *slagging*, komponen-komponen yang terbentuk dari partikel debu dapat meleleh di dalam gasifier, mengalir turun di sepanjang dinding reaktor, dan meninggalkan reaktor dalam bentuk slag cair. Secara umum, laju alir massa slag sekurang-kurangnya 6 % dari laju alir bahan bakar untuk memastikan proses berjalan dengan baik. Di dalam gasifier *non slagging*, dinding reaktor tetap bersih dari slag. Oleh karena itu gasifier *non slagging* sepertinya menjadi pilihan utama untuk proses gasifikasi, juga dengan pertimbangan bahwa jenis gasifier ini lebih murah. Akan tetapi gasifier *entrained flow* jenis *slagging* lebih disukai untuk proses gasifikasi dengan umpan biomassa.



Gambar 2.3 Reaktor *Entertained Flow* (Basu, 2010)

d. *Ultra-Rapid Reactor*

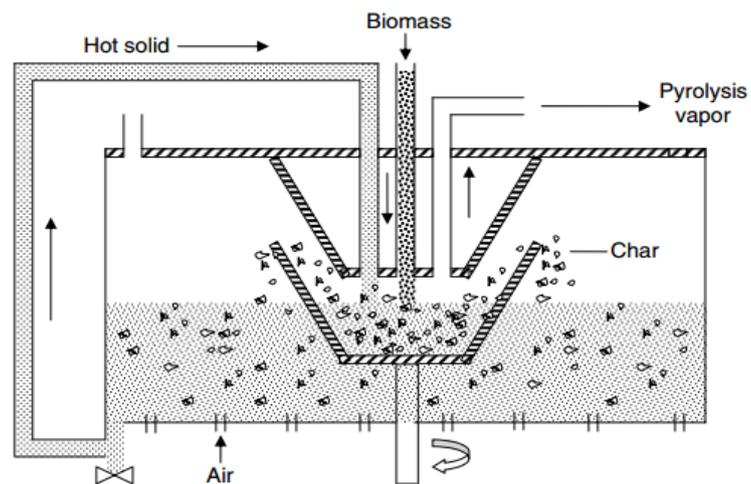
Ultra – rapid merupakan jenis reaktor yang menggunakan pemanasan yang tinggi hingga mencapai 650 °C, sehingga memungkinkan untuk mendapatkan hasil cairan sekitar 90%. Proses pemanasan dilakukan dengan menggunakan padatan panas, contohnya seperti pasir, dimana nitrogen gas inert dipanaskan pada suhu 100 °C kemudian diinjeksikan 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)

2.2.1 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. Dengan kondisi yang semacam itu sebenarnya banyak sekali manfaat yang dapat diperoleh dari pemanfaatan cangkang sawit tersebut.

Menurut Hashim (1994), limbah padat kelapa sawit terdiri atas hemiselulosa (pentosan) 24%, selulosa (heksosan) 40%, lignin 21%, abu serta komponen lain sebanyak 15%, sedangkan menurut Khor dkk. (2009), pada limbah padat kelapa sawit mengandung hemiselulosa 33,52%, selulosa 38,52%, lignin 20,36%, zat ekstraktif 3,68% dan abu sebesar 3,92%. Analisa *Proximate* dan *Ultimate* dari cangkang kelapa sawit dapat dilihat pada Tabel 2.1 dan 2.2.

Tabel 2.1 Analisis *Ultimate* cangkang kelapa sawit
(Najib dan Darsopuspito, 2012)

Analisis <i>Ultimate</i>	
Carbon (C) (weight %)	47,89
Hydrogen (H) (weight %)	6,09
Oxygen (O) (weight %)	45,75
Nitrogen (N) (weight %)	0,22
Sulphur (S) (weight %)	0,05

Tabel 2.2 Analisis *Proximate* cangkang kelapa sawit
(Najib dan Darsopuspito, 2012)

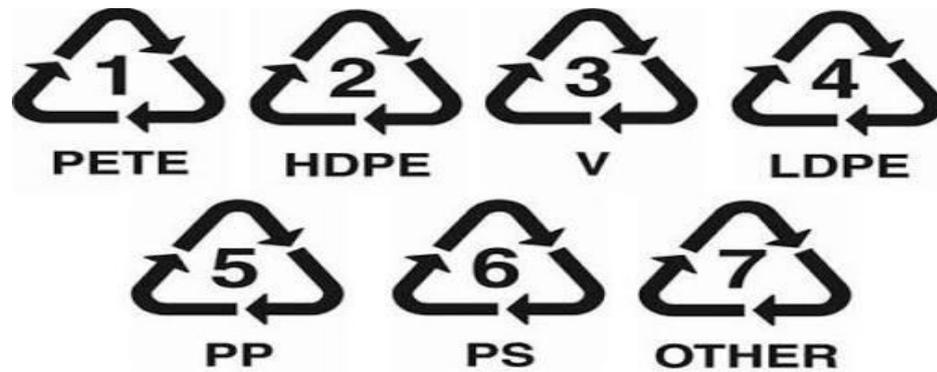
Analisis <i>Proximate</i>	
Volatile Matter (weight %)	68,82
Moisture (weight %)	6,51
Ash (weight %)	7,56
Fixed Carbon (weight %)	17,11

Berdasarkan komponen kimia tersebut, penumpukan dan pembakaran bukan merupakan metode yang tepat dan efektif untuk menangani permasalahan limbah padat kelapa sawit. Penanganan limbah tersebut secara tidak tepat akan mencemari lingkungan diantaranya dilakukan pirolisis terhadap cangkang sawit tersebut akan diperoleh rendemen berupa asap cair yang dapat digunakan sebagai biopreservatif baru pengganti preservatif kimia, arang maupun tar. Asap cair merupakan hasil kondensasi dari pirolisis bahan yang mengandung sejumlah besar senyawa yang terbentuk akibat proses pirolisis konstituen kayu seperti selulosa, hemiselulosa dan lignin. Proses pirolisa melibatkan berbagai proses reaksi yaitu dekomposisi, oksidasi, polimerisasi, dan kondensasi.

2.2.2 Plastik

Plastik adalah suatu material organik sintetik atau material organik semi sintetik. Plastik berasal dari bahasa Yunani yaitu "*platikos*" 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 2.6 dan Tabel 2.3).



Gambar 2.6 Nomor kode plastik (UNEP, 2009)

Tabel 2.3 Jenis plastik, kode dan penggunaannya (Surono, 2013)

No. Kode	Jenis Plastik	Penggunaan
1	<i>Polyethylene Terephthalate (PET)</i>	botol kemasan air mineral, botol minyak goreng, jus, botol sambal, botol obat, dan botol kosmetik.
2	<i>High Density Polyethylene (HDPE)</i>	botol obat, botol susu cair, jerigen pelumas, dan botol kosmetik.
3	<i>Polyvinyl Chloride (PVC)</i>	pipa selang air, pipa bangunan, mainan, taplak meja dari plastik, botol shampo, dan botol sambal
4	<i>Low Density Polyethylene (LDPE)</i>	kantong kresek, tutup plastik, plastik pembungkus daging beku, dan berbagai macam plastik tipis lainnya.
5	<i>Polypropylene (PP)</i>	cup plastik, tutup botol dari plastik, mainan anak, dan margarine.
6	<i>Polystyrene (PS)</i>	kotak CD, sendok dan garpu plastik, gelas plastik, atau tempat makanan dari styrofoam, dan tempat makan plastik transparan.

Tabel 2.3 Jenis plastik, kode dan penggunaannya (Surono, 2013) (Lanjutan)

No. Kode	Jenis Plastik	Penggunaan
7	Lainnya, Jenis plastik selain dari nomor 1 sampai 6	Plastik kemasan, galon air minum, mainan lego, suku cadang mobil, botol susu bayi.

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 (C₃H₆). (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 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)
	LDPE	0,02	99,83	0,15	110,585
	PET	0,35	99,93	0,07	5,399
	PS	0,47	96,99	3,01	10,847

Tabel 2.5 Analisis *Ultimate* plastik jenis LDPE (Haryono, 2016)

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

2.2.3 Katalis

Keberadaan katalis mempunyai peranan penting di dalam proses pirolisis karena dapat menurunkan kebutuhan energinya dibandingkan dengan yang tanpa katalis serta menghasilkan formasi hidrokarbon cabang yang lebih banyak. Katalis juga dapat menurunkan waktu reaksi inisiasi dan memperbaiki kuantitas dan kualitas produk keluarannya. Katalis juga dapat mendorong selektifitas produk akhir sesuai dengan yang diinginkan.

Ada beberapa jenis katalis yang dapat digunakan dalam proses pirolisis seperti katalis sintesis (Zeolite ZSM, Y Zeolite, X Zeolite dan FCC), katalis alam (zeolite alam dan dolomite alam) dan katalis basa heterogen (MgO, CaO, SrO, dll). Katalis sintesis cenderung mahal harganya sehingga tidak ekonomis. Katalis alam seperti zeolite alam dan dolomite lebih mudah didapat dan harganya relatif lebih murah. Di Indonesia banyak tersedia katalis alam, terutama di daerah Klaten, Malang, Wonosari dan Sukabumi. Sedangkan katalis basa heterogen merupakan katalis yang mempunyai fasa yang tidak sama dengan reaktan produk, keuntungan menggunakan katalis ini adalah: mempunyai aktivitas yang tinggi,

kondisi reaksi yang ringan, masa hidup katalis yang panjang, biaya katalis yang rendah, dan tidak korosif.

Kalsium oksida atau CaO adalah salah satu katalis basa heterogen yang biasanya dibuat oleh dekomposisi termal dari bahan seperti kapur, yang mengandung kalsium karbonat (CaCO_3 ; mineral kalsit). Hal ini tercapai dengan memanaskan bahan sampai suhu diatas 825°C , proses ini dinamakan *calcination* atau *lime-burning*, untuk memisahkan CO_2 dari senyawa. Ini dilakukan dengan memanaskan material di atas 825°C . CaO telah diteliti sebagai katalis basa mempunyai banyak manfaat, misalnya aktivitas yang tinggi, kondisi reaksi yang rendah, masa katalis yang lama, serta biaya katalis yang murah (Indah, 2011).

2.2.4 Motor Bakar

Motor bakar adalah suatu perangkat/mesin yang mengubah energi termal/panas menjadi energi mekanik. Berdasarkan proses pembakarannya, motor bakar terbagi menjadi 2 golongan, yaitu:

- a. 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 ke dalam fluida kerja mesin. Pembakaran air pada ketel uap menghasilkan uap kemudian uap tersebut baru dimasukkan kedalam sistim kerja mesin untuk mendapatkan tenaga mekanik.
- b. 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 siklus kerjanya, motor bakar dibagi menjadi 2 (dua) macam, yaitu :

a. Motor Bakar 2 Langkah



Gambar 2.7 Siklus kerja engine 2 tak/2 langkah (Fauzien, 2008)

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.

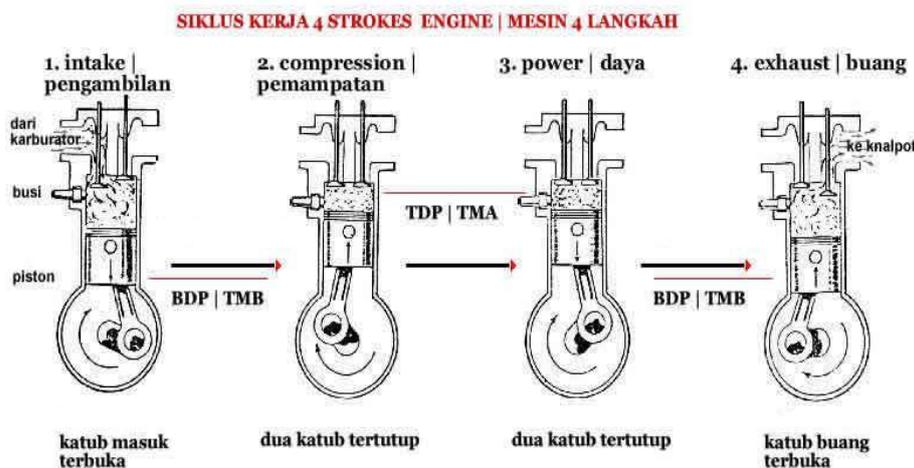
3. Langkah Pemampatan (*Compression*)

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 (Wardono, 2004)

1. Langkah Masuk (*Intake*)

Sewaktu piston bergerak ke posisi 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 posisi TMA dan menutup setelah posisi TMB.

2. Langkah Pemampatan (*Compression*)

Sewaktu piston bergerak keatas 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 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:

a. Berdasarkan sistem pembakarannya

a) 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

b) 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 :

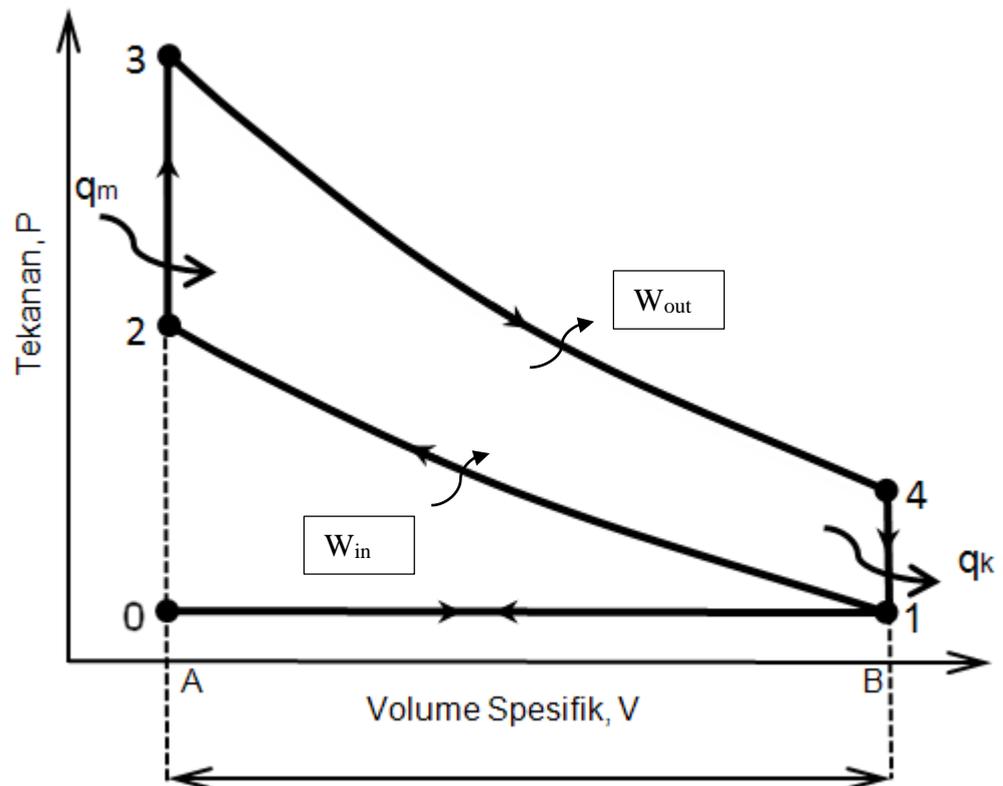
- a. Dapat memakai semua bentuk bahan bakar
- b. Dapat memakai bahan bakar bermutu rendah
- c. Cocok untuk melayani beban-beban besar dalam satu poros
- d. Lebih cocok dipakai untuk daya tinggi

b. Berdasarkan penyalaan bahan bakar

a) 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.



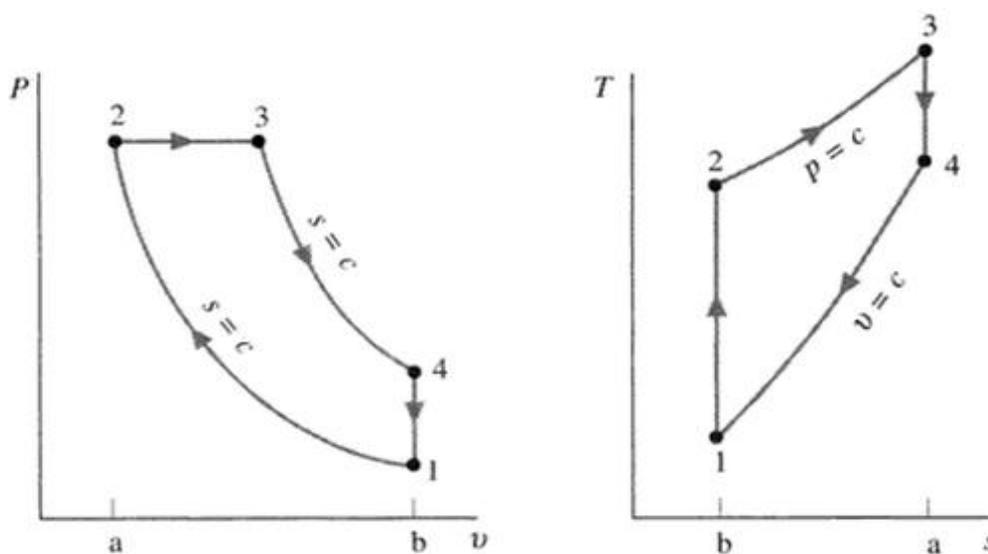
Gambar 2.9 Siklus Otto / mesin bensin
(Nababan dkk, 2013)

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.

b) Motor diesel

Motor diesel adalah motor bakar torak yang berbeda dengan motor bensin. Proses penyalaannya 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. Proses pemanasan dan penekanan secara adiabatik pada siklus diesel bisa digambarkan melalui diagram pada Gambar 2.10.



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

Siklus diesel ideal menggunakan asumsi berikut: (1) fluida kerja udara-standar yang berperilaku seperti gas ideal; (2) penambahan kalor berlangsung pada proses tekanan konstan yang dimulai saat piston berada pada titik mati atas. Siklusnya sendiri seperti terlihat pada diagram P - v dan T - s di atas. Siklus tersebut terdiri dari empat buah proses berantai yang reversibel secara internal. Proses 1-2 kompresi isentropik, proses 2-3 penambahan kalor, pada siklus Otto kalor dipindahkan ke fluida kerja pada volume konstan, sedangkan pada siklus diesel, kalor dipindahkan ke fluida kerja pada tekanan konstan. proses 3-4 ekspansi isentropik, dan proses 4-1 pelepasan kalor pada volume konstan, di mana kalor keluar dari udara ketika piston berada pada titik mati bawah.

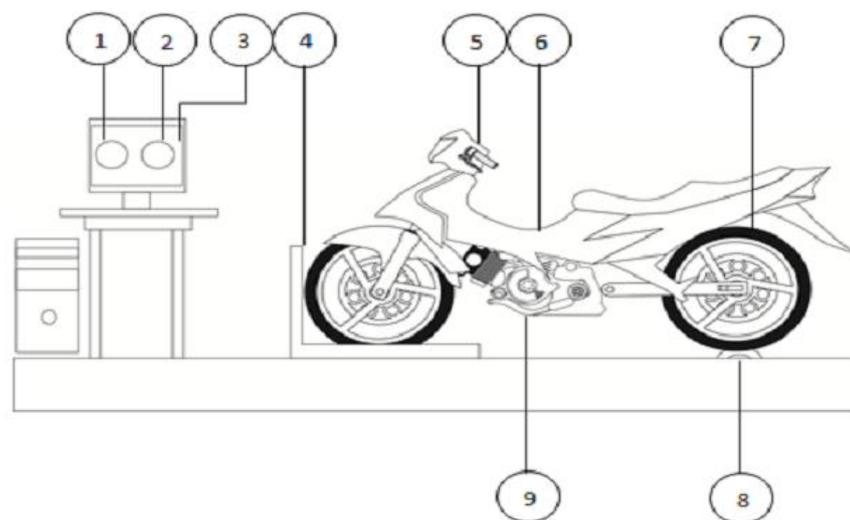
2.2.5 Uji Dynamometer

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 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.



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

Gambar 2.11 merupakan pengujian kinerja mesin menggunakan dynamometer untuk mengetahui torsi dan daya pada sepeda motor.

Keterangan pada Gambar 2.11 yakni :

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