

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

www.itk.ac.id

Sampah adalah barang bekas tak terpakai yang dibuang dan dapat merugikan karena mengotori dan dapat menyebabkan banjir. Sampah plastik merupakan sampah yang sulit untuk diatasi, oleh karena itu perlu dikembangkan sebuah metode yang dapat mengolah sampah plastik seperti menggunakan metode pirolisis. Pirolisis adalah salah satu cara mengkonversi sampah plastik menjadi energi sekunder dengan cara perlakuan panas. Sampah plastik memiliki jenis yang berbeda, dalam penelitian ini menggunakan sampah plastik LDPE dan PET, dimana kedua sampah ini memiliki karakter yang berbeda. Proses pirolisis menggunakan alat sederhana antara lain tabung reaktori dan kondensor.

2.1 Sampah

Sampah adalah benda atau barang yang dibuang karena tidak terpakai lagi atau tidak dapat digunakan lagi. Sampah yang paling banyak dihasilkan oleh manusia adalah sampah plastik. Plastik adalah salah satu jenis makromolekul yang dibentuk dengan proses polimerisasi. Penggunaan plastik sendiri karena memiliki keunggulan-keunggulan dibanding material yang lain diantaranya kuat, ringan, fleksibel, tahan karat, tidak mudah pecah, mudah diberi warna, mudah dibentuk, dan isolator panas yang baik (Wajdi dkk, 2020).

Sampah plastik dapat didaur ulang dengan berbagai cara mulai dari mengubah sampah plastik menjadi berbagai macam aksesoris hingga kerajinan tangan yang menarik. Bahkan dengan kemajuan ilmu pengetahuan, sampah plastik dapat diubah menjadi bahan bakar minyak (BBM). Mengingat bahwa bahan bakar minyak saat ini telah menjadi bahan energi langka untuk ditemui dan memiliki harga yang mahal. Sehingga daur ulang yang dilakukan dengan mengkonversi limbah plastik menjadi bahan bakar mengingat bahwa bahan baku plastik berasal dari turunan minyak bumi, maka plastik dapat dikembalikan menjadi hidrokarbon sebagai bahan dasar energi (Wajdi dkk, 2020).

www.itk.ac.id

2.2 Plastik

Plastik sering digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Plastik biasanya digunakan oleh manusia sebagai media untuk menyimpan atau membungkus benda lain nya. Bila dilihat dari struktur nya, plastik adalah makromolekul yang terbentuk dari proses polimerisasi. Polimerisasi merupakan penggabungan dari beberapa molekul sederhana atau monomer melalui proses kimia menjadi molekul besar makromolekul atau polimer. Salah satunya mengkonversi sampah plastik menjadi minyak. Hal ini bisa dilakukan karena pada dasarnya plastik berasal dari minyak bumi, sehingga tinggal dikembalikan ke bentuk semula. Selain itu plastik juga mempunyai nilai kalor cukup tinggi, setara dengan bahan bakar fosil seperti bensin dan solar. Teknologi untuk mengkonversi sampah plastik menjadi bahan bakar minyak yaitu dengan proses cracking (perekahan) (Iswadi dkk, 2017).

Plastik adalah salah satu jenis makromolekul yang dibentuk dengan proses polimerisasi. Polimerisasi adalah proses penggabungan beberapa molekul sederhana (monomer) melalui proses kimia menjadi molekul besar (makromolekul atau polimer). Plastik merupakan senyawa polimer yang unsur penyusun utamanya adalah Karbon dan Hidrogen. Untuk membuat plastik, salah satu bahan baku yang sering digunakan adalah Naphta, yaitu bahan yang dihasilkan dari penyulingan minyak bumi atau gas alam. Sebagai gambaran, untuk membuat 1 kg plastik memerlukan 1,75 kg minyak bumi, untuk memenuhi kebutuhan bahan bakunya maupun kebutuhan energi prosesnya. Plastik dapat dikelompokkan menjadi dua macam yaitu *thermoplastic* dan *termosetting*. *Thermoplastic* adalah bahan plastik yang jika dipanaskan sampai temperatur tertentu, akan mencair dan dapat dibentuk kembali menjadi bentuk yang diinginkan. Sedangkan *thermosetting* adalah plastik yang jika telah dibuat dalam bentuk padat, tidak dapat dicairkan kembali dengan cara dipanaskan (Surono, 2013).

Dilihat dari asal usulnya, plastik merupakan salah satu produk turunan dari minyak bumi dan mempunyai kandungan energi yang cukup tinggi seperti bahan bakar pada umumnya seperti bensin, solar dan minyak tanah. Oleh karena itu, mengkonversi sampah plastik menjadi bahan bakar akan sangat berpotensi untuk berhasil dan menambah nilai daripada sampah plastik yang sudah tidak terpakai dan dibuang sembarangan di lingkungan. Penanganan sampah plastik dengan

sistem landfill maupun open dumping bukan merupakan pilihan yang tepat karena plastik mempunyai laju degradasi yang sangat lambat sehingga sangat sulit terurai di dalam tanah. Penggunaan teknologi insinerasi dengan cara dibakar juga tidak tepat karena akan menghasilkan polutan ke udara sehingga menyebabkan persoalan lingkungan. Pengolahan sampah plastik dengan cara dilelehkan dan dijadikan sebagai bahan baku pembentuk produk lain juga sudah banyak dilakukan oleh produsen skala besar. Tetapi cara pengolahan dengan dilelehkan dan dibentuk kembali atau *Mechanical recycling* memiliki kualitas yang kurang baik. Metode ini hanya dapat digunakan untuk jenis plastik tunggal, sehingga perlu adanya perlakuan lain seperti memisahkan plastik berdasarkan jenisnya sebelum dilelehkan. Sampah plastik yang terlalu banyak kontaminasi juga sulit didaur-ulang dengan metode ini karena proses pengolahannya dilakukan dengan cara-cara mekanis (Syamsiro, 2015).

2.3 Jenis dan Karakteristik Bahan Plastik

Plastik dengan jenis termoplastik atau plastik yang dapat didaur ulang terbagi menjadi beberapa bentuk, masing-masingnya memiliki sifat, karakter, dan kegunaan yang berbeda-beda. Adapun macam-macam dari plastik itu sendiri adalah sebagai berikut:

1. PET (polyethylene terephthalate), biasanya digunakan sebagai botol kemasan air mineral, botol minyak goreng, jus, botol sambal, botol obat, dan botol kosmetik.
2. HDPE (High-density Polyethylene), biasanya digunakan sebagai botol obat, botol susu cair, jerigen pelumas, dan botol kosmetik.
3. PVC (Polyvinyl Chloride), biasanya digunakan sebagai pipa selang air, pipa bangunan, mainan, taplak meja dari plastik, botol shampo, dan botol sambal.
4. LDPE (Low-density Polyethylene), biasanya digunakan sebagai kantong kresek, tutup plastik, plastik pembungkus daging beku, dan berbagai macam plastik tipis lainnya.
5. PP (Polypropylene atau Polypropene), biasanya digunakan sebagai cup plastik, tutup botol dari plastik, mainan anak, dan margarine.

6. PS (Polystyrene), biasanya digunakan sebagai kotak CD, sendok dan garpu plastik, gelas plastik, atau tempat makanan dari styrofoam, dan tempat makan plastik transparan.
7. Other (O), jenis plastik lainnya selain dari no.1 hingga 6, biasanya digunakan sebagai botol susu bayi, plastik kemasan, gallon air minum, suku cadang mobil, alat-alat rumah tangga, komputer, alat-alat elektronik, sikat gigi, dan mainan lego (Surono, 2013).

Adapun sifat termal bahan plastik yang perlu diketahui dalam proses pembuatan dan daur ulang plastik adalah titik lebur (T_m), temperatur transisi (T_g) dan temperatur dekomposisi. Temperatur transisi adalah temperatur di mana plastik mengalami perengganan struktur sehingga terjadi perubahan dari kondisi kaku menjadi lebih fleksibel. Di atas titik lebur, plastik mengalami pembesaran volume sehingga molekul bergerak lebih bebas yang ditandai dengan peningkatan kelenturannya. Temperatur lebur adalah temperatur di mana plastik mulai melunak dan berubah menjadi cair. Temperatur dekomposisi merupakan batasan dari proses pencairan. Jika suhu dinaikkan di atas temperatur lebur, plastik akan mudah mengalir dan struktur akan mengalami dekomposisi. Dekomposisi terjadi karena energi termal melampaui energi yang mengikat rantai molekul. Secara umum polimer akan mengalami dekomposisi pada suhu di atas 1,5 kali dari temperatur transisinya (Surono, 2013).

2.3.1 LDPE (Low-density Polyethylene)

salah satu jenis plastik adalah Polyethylene (PE), dengan rumus kimia $(C_2H_4)_n$. Polietilen dapat dibagi menurut massa jenisnya menjadi dua jenis, yaitu Low Density Polyethylene (LDPE) dan High Density Polyethylene (HDPE). LDPE mempunyai massa jenis antara 0,91-0,94 g/mL^{-1} dan memiliki titik leleh $115^\circ C$. Sedangkan HDPE bermassa jenis lebih besar yaitu 0,95-0,97 g/mL^{-1} serta memiliki titik leleh di atas $127^\circ C$ (beberapa macam sekitar $135^\circ C$) (Kadir, 2012).

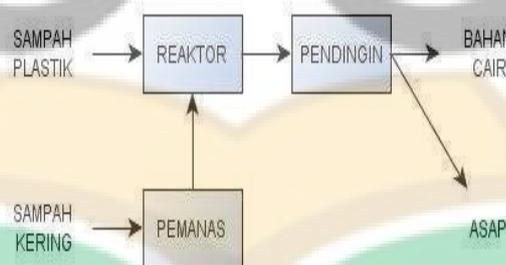
2.3.2 PET (polyethylene terephthalate)

Polietilena tereftalat adalah suatu resin polimer plastik termoplast dari kelompok poliester yang merupakan hasil kondensasi polimer etilen glikol dan

asam treptalat dan dikenal dengan nama dagang *mylar*, Adapun umus kimia dari PET adalah $(C_{10}H_8O_4)_n$ dan memiliki titik leleh sebesar $250^{\circ}C$ (Surono, 2013).

2.4 Konversi Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar Minyak

Pentingnya pengolahan kembali barang-barang yang dianggap sudah tidak mempunyai nilai ekonomis lagi melalui proses fisik maupun kimiawi atau keduanya sehingga diperoleh produk yang dapat dimanfaatkan atau diperjualbelikan lagi. Daur ulang (*recycle*) sampah plastik dapat dibedakan menjadi empat cara yaitu daur ulang primer, daur ulang sekunder, daur ulang tersier dan daur ulang quarter. Daur ulang primer adalah daur ulang limbah plastik menjadi produk yang memiliki kualitas yang hampir setara dengan produk aslinya. Daur ulang cara ini dapat dilakukan pada sampah plastik yang bersih, tidak terkontaminasi dengan material lain dan terdiri dari satu jenis plastik saja. Daur ulang sekunder adalah daur ulang yang menghasilkan produk yang sejenis dengan produk aslinya tetapi dengan kualitas di bawahnya. Daur ulang tersier adalah daur ulang sampah plastik menjadi bahan kimia atau menjadi bahan bakar. Daur ulang quarter adalah proses untuk mendapatkan energi yang terkandung di dalam sampah plastik. Mengkonversi sampah plastik menjadi bahan bakar minyak termasuk daur ulang tersier. Merubah sampah plastik menjadi bahan bakar minyak dapat dilakukan dengan proses *cracking* (perekahan). (Kumar dkk, 2011).



Gambar 2.1 Konversi Sampah Plastik Menjadi BBM.

Cracking adalah proses memecah rantai polimer menjadi senyawa dengan berat molekul yang lebih rendah. Hasil dari proses cracking plastik ini dapat diguna sebagai bahan kimia atau bahan bakar. Ada tiga macam proses *cracking* yaitu *hidro cracking*, *termal cracking* dan *catalytic cracking* (Kumar dkk, 2011).

Thermal cracking adalah termasuk proses pirolisis, yaitu dengan cara memanaskan bahan polimer tanpa oksigen. Proses ini biasanya dilakukan pada temperatur antara 350 °C sampai 900 °C. Dari proses ini akan dihasilkan arang, minyak dari kondensasi gas seperti parafin, isoparafin, olefin, naphthene dan aromatik, serta gas yang memang tidak bisa terkondensasi (Surono, 2013).

2.5 Pirolisis

Pirolisis plastik adalah proses pemanasan plastik tanpa oksigen, hingga plastik mencapai suhu tertentu dan berubah menjadi gas. Gas yang dihasilkan ini kemudian dikondensasi hingga berubah fasa menjadi bahan bakar cair (*liquid fuel*). Teknik ini mampu menghasilkan gas pembakaran yang berguna dan aman bagi lingkungan. Teknologi pirolisis ini dapat dikatakan sebagai metode yang ramah lingkungan sebab produk sampingnya berupa CO₂ dan H₂O yang merupakan gas non toksik. Proses pirolisis menghasilkan senyawa senyawa hidrokarbon cair mulai dari C1 hingga C4. Pirolisis sampah plastik menjadi bahan bakar minyak juga dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu waktu, suhu, ukuran bahan plastik, dan berat bahan plastik (Rafi dkk, 2019).

1. Waktu sangat berpengaruh dalam proses pirolisis, karena semakin lama proses pirolisis berjalan maka proses pemanasan akan semakin maksimal dan produk yang dihasilkan seperti minyak dan gas akan semakin tinggi.
2. Suhu adalah faktor yang penting karena proses pirolisis adalah proses pengolahan plastik yang memanfaatkan energi panas untuk mengubah bahan sampah plastik menjadi produk bahan bakar minyak.
3. Ukuran partikel dapat mempengaruhi efektivitas dari proses pemanasan yang terjadi didalam reaktor. Semakin kecil ukuran partikel yang diolah didalam reaktor maka akan semakin cepat partikel tersebut bereaksi terhadap panas dan bertransformasi.
4. Berat partikel dapat mempengaruhi hasil akhir dari sebuah proses pirolisis, karena semakin banyak bahan yang diolah didalam reaktor maka akan semakin banyak produk yang dihasilkan seperti minyak dan gas (Rafi dkk, 2019).

Plastik yang dipanasi diatas titik leleh lama kelamaan akan melebur dan mencair. Komposisi pembentuk plastik atau monomernya akan mengalami

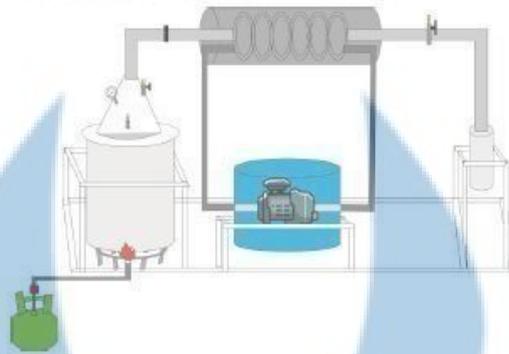
dekomposisi. Proses dekomposisi dipengaruhi oleh kecepatan panas mengalir dan ikatan rantai molekul menjadi pecah (Nugroho, 2020). Pirolisis plastik melibatkan tiga mekanisme dekomposisi yaitu, pemotongan secara random rantai polimer yang menyebabkan terbentuknya rantai polimer yang lebih pendek, pemotongan pada ujung rantai dimana molekul kecil dan rantai panjang polimer akan terbentuk, pemisahan rantai polimer membentuk molekul-molekul kecil. Mekanisme tersebut akan sangat berhubungan dengan energi disosiasi ikatannya, derajat aromatisasi maupun keberadaan halogen dan heteroatom lainnya di dalam rantai polimer (Syamsiro, 2015).

2.6 Reaktor

Ada beberapa tipe reaktor yang telah dikembangkan dan digunakan untuk pirolisis seperti *batch/semi batch*, reaktor unggun tetap (*fixed bed*), reaktor unggun terfluidisasi (*fluidized bed*), *spouted bed* dan *screw kiln*. Reaktor tipe *batch/semi batch* telah digunakan oleh banyak peneliti karena desainnya yang lebih sederhana dan kemudahan dalam operasionalnya. Namun demikian, tipe *batch* mempunyai kekurangan didalam stabilitas proses khususnya untuk aplikasi skala besar (Syamsiro, 2015).

Reaktor merupakan media atau tempat dimana terjadinya suatu reaksi dalam sebuah proses atau percobaan, baik itu reaksi kimia atau fisis. Dengan terjadinya reaksi inilah suatu bahan diubah ke bentuk bahan lainnya dengan perlakuan yang sesuai seperti perlakuan panas. Reaktor pirolisis adalah tempat terjadinya proses perubahan atau pemisahan secara kimia-panas (*thermochemical*) tanpa keterlibatan udara atau disebut vakum. Proses pirolisis pasti menggunakan sumber panas dan bahan bakar sebagai proses utamanya. Reaktor pada proses pirolisis sangat berperan penting, dimana bahan baku yang akan di proses atau diubah akan di tempatkan didalam reaktor dengan perlakuan panas atau dapat disesuaikan dengan kebutuhan percobaan. Rancangan reaktor wajib diperhatikan dalam desain keseluruhan sistem percobaan yang akan dilakukan, agar tujuan dari percobaan tersebut dapat tercapai. Jenis reaktor yang digunakan dalam penelitian pirolisis sampah plastik LDPE dan PET dengan variasi waktu adalah tipe *batch*. Reaktor yang menggunakan mode operasi *batch* pada umumnya memasukkan atau

menambahkan semua bahan percobaan yang akan diproses ke dalam reaktor dalam satu waktu yang bersamaan pada saat diawal proses.

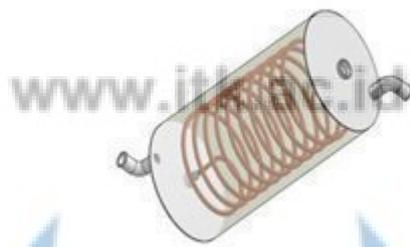


Gambar 2.2 Reaktor Tiper *Batch* (Ardianti dkk, 2019).

Reaktor tipe *batch* cocok digunakan untuk produksi dalam skala yang kecil karena terbatas oleh ukuran dan kapasitas yang dapat ditampung. Tipe reaktor *batch* mempunyai kekurangan di dalam stabilitas proses khususnya untuk aplikasi skala besar. Reaktor yang menggunakan mode operasi *continue* pada proses nya bahan baku akan diumpungkan ke dalam reaktor terus menerus dan produk yang dihasilkan juga akan lebih banyak mengikuti jumlah bahan yang terus menerus diproses didalam reaktor. Biaya produksi yang dikeluarkan dari proses pengolahan menggunakan reaktor *continue* akan lebih kecil dibandingkan reaktor *batch*, tetapi tingkat fleksibilitas dari reaktor *continue* akan berkurang karena reaktor ini hanya dapat digunakan pada proses pengolahan skala besar atau industri (Syamsiro, 2015).

2.7 Kondensor

Sistem pirolisis plastik, selain sangat bergantung pada proses pemanasan dalam reaktor, juga harus memiliki sistem kondensasi yang baik. Proses kondensasi terjadi setelah uap gas dari reaktor keluar dan dialirkan melalui pipa menuju tabung kondensor. Bagian dalam kondensor berbentuk Lilitan yang posisinya terendam oleh air yang mengalir untuk mendinginkan uap gas yang mengalir keluar dari reaktor.



Gambar 2.3 Kondensor (Firman dkk, 2019).

Bagian atas wadah penampungan air kondensasi dibiarkan terbuka untuk lebih memudahkan air melakukan proses pendinginan. Saat proses kondensasi terjadi, air akan menguap dan melepas panas sehingga suhunya turun dan uap gas mulai dikonversi menjadi cairan minyak. Wadah air kondensasi dirancang terbuka agar memudahkan untuk memasukan es batu dalam upaya menurunkan suhu air pendingin. Jika suhu air pendingin yang masuk kondensor bisa diturunkan maka produksi minyak akan lebih banyak karena proses konversi uap menjadi cair melalui proses kondensasi berhasil. Setelah hasil pemanasan berupa uap hasil pirolisis bereaksi plastik akan meleleh dan kemudian berubah menjadi gas, pada saat proses tersebut, rantai panjang hidrokarbon akan terpotong menjadi rantai pendek. Selanjutnya proses pendinginan dilakukan pada gas tersebut sehingga akan mengalami kondensasi dan membentuk cairan. Cairan inilah yang nantinya menjadi bahan bakar, baik berupa bensin maupun bahan bakar diesel, Media air sebagai pendingin paling banyak digunakan dalam proses pertukaran panas dalam kondensor. Air yang mengalir keluar dan masuk kedalam tabung kondensor memiliki waktu untuk bertukar panas dengan lingkungan sebelum masuk kembali ke kondensor. Pada wadah penampung air kondensor diberikan pompa yang berguna untuk memberikan tenaga untuk mengalirkan air keluar dan masuk dari kondensor. Pompa dan air akan terus dijalankan secara konstan dengan kecepatan debit air disesuaikan dari suhu didalam tabung kondensor. Bila suhu didalam tabung kondensor cukup tinggi maka air sebagai media pendinginan perlu diatur untuk menurunkan suhu kondensasi, yaitu dengan nambah kecepatan aliran air dan menambahkan es batu. Setelah uap panas hasil pirolisis yang keluar dari reaktor dialirkan melewati kondensor untuk didinginkan dan konversi dari uap menjadi cairan minyak (Syamsiro, 2015).

2.8 Penelitian Terdahulu

Penelitian ini mengacu pada penelitian yang sudah pernah dilakukan terdahulu. Seperti pada tabel 2.2 yang berisi tentang penelitian terdahulu yang membahas pirolisis sampah plastik.



www.itk.ac.id

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu

No	Nama dan Tahun Publikasi	Hasil
1	Syamsiro, 2015	Metode: Studi literatur pirolisis sampah plastik dengan metode katalis Hasil: Penggunaan katalis untuk proses perengkahan sampah plastik berfungsi cukup efektif untuk memperbaiki karakteristik minyak plastik. Tiap-tiap katalis mempunyai struktur rangka, luas permukaan dan tingkat keasaman yang berbeda sehingga akan memberikan hasil distribusi atom karbon yang berbeda.
2	Wicaksono dan Arijanto, 2017	Metode: Desain reaktor, pengaruh suhu, dan waktu tinggal pirolisis sampah plastik PET Hasil: Reaktor menggunakan plat besi dengan ketebalan sisi 3 mm dan ketebalan dasar 6 mm, kondensor yang digunakan berbentuk silinder dengan ketebalan 1 mm pada bagian luar dan 2 mm pada bagian dalam, Pirolisis dilangsungkan pada temperatur 200-400°C selama 2700 detik.
3	Arif Setyo Nugroho, 2020	Metode: Pirolisis limbah plastik LDPE dan PP pada suhu 300°C , 350°C , 400°C Hasil: Pada temperatur reaktor 400°C minyak yang dihasilkan semakin banyak dibandingkan dengan pirolisis pada temperatur 300°C , Kualitas minyak secara visual, pada temperatur 300°C lebih bening dibandingkan pada temperatur 400°C , Kekentalan minyak antara PP dan LDPE dipengaruhi oleh temperatur
4	Wajdi dkk, 2020	Metode: Pirolisis sampah plastik PP dan HDPE dengan variabel suhu reaktor, waktu, dan densitas minyak plastik. Hasil: Minyak hasil pirolisis terbanyak dari sampah plastik Polypropylene dan High Density PolyEthylene diperoleh pada suhu operasi 300°C sebanyak 110 ml dan 145 ml, waktu pirolisis Polypropylene adalah 60 menit dan High Density PolyEthylene adalah 30 menit. Densitas minyak Polypropylene adalah 777,777 kg/m ³ dan High Density PolyEthylene adalah 714,285 kg/m ³ .