

## BAB 2

### Tinjauan Pustaka

#### 2.1 Peneliti Terdahulu

Arwizet (2017) dalam penelitian yang dilakukan dengan judul “Mesin Destilasi Pengolahan Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar Minyak Menggunakan Kondensor Bertingkat Dan Pendingin Kompresi Uap”.

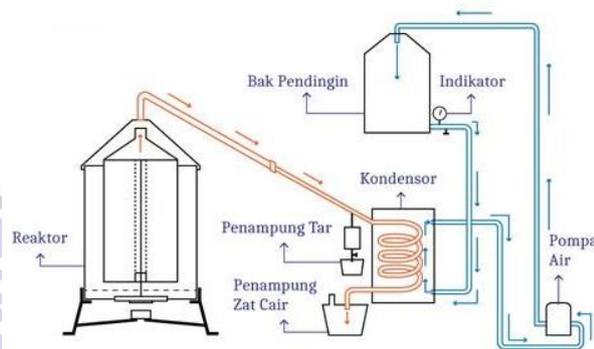
Mengembangkan dan mengimplementasikan serta menghasilkan mesin destilasi pengolah sampah plastik menjadi bahan bakar minyak menggunakan kondensor ( condenser ) bertingkat dan pendingin kompresi uap. Objek penelitian adalah sampah plastik dan mesin destilasi fraksinasi.

Sampah plastic yang dijadikan sampel pengujian adalah sampah plastic jenis Polytehylene (PE) yang berbahan dasar polimer PET (Polyethylene Terephtalate). Plastik jenis ini umunya dihasilkan oleh produk buangan (komoditi) rumah tangga yang berwarna bening. Salah satu contohnya adalah plastik botol air mineral ukuran gelas dan ukuran botol serta botol minuman lainnya yang berwarna bening. Plastik jenis ini terasa lebih lunak dan lembut dibanding dengan plastik jenis lainnya.

Mesin destilasi yang dirancang bangun memang tidak dibatasi pada satu jenis plastik saja, bisa juga digunakan untuk berbagai jenis plastik, akan tetapi pada penelitian ini fokus pada plastik jenis plastik PET (Polyethylene Terephtalate). Setiap kali pengujian digunakan plastik jenis Polyethylene Terephtalate sebanyak 2,5 kg. Plastik dimasukan ke dalam ruang pembakaran, lalu kompor dihidupkan sedemikian rupa hingga temperatur dalam ruangan berkisar antara 300-400 °c. Uap hasil pembakaran ditampung pada kolom uap untuk selanjutnya dikondensasikan di dalam kondensor. Setiap pengujian dilakukan sekitar 150 menit[4].

Ramadhan, dkk ( 2012 ) telah melakukan penelitian dengan judul “ Pengolahan Sampah Plastik Menjadi Minyak Plastik Menggunakan Proses Pirolisis “ dalam penelitian ini menggunakan sampah plastik yang berasal dari TPA Benowo Surabaya. Sebelum dipergunakan, sampah plastik dikumpulkan kemudian dijemur

dahulu dengan menggunakan panas matahari sebagai sumber panasnya. Selanjutnya sampah plastik dipilah agar tidak ada kotoran yang masih menempel pada sisi permukaan plastik lalu sampah plastik dipotong-potong sesuai ukuran yang telah ditentukan kemudian sampah plastik tadi ditimbang. Susunan alat yang digunakan seperti pada gambar 2.1 yang terdiri : Heater dan Reaktor pirolisis, tempat cuplikan, penampung tar, pendingin tar, timbangan digital dengan kapasitas 2000 g.



Gambar 2.1 Alat Percobaan

Sampah plastik yang sudah melalui proses pengeringan dan pemilahan dari zat pengotor, kemudian dipotong - potong dengan ukuran rata - rata 1-2cm . Sampah plastic kemudian ditimbang dengan berat (mo) 500 gram. Selanjutnya masukkan sampah plastik tadi seberat 500 gram ke dalam tabung umpan reactor. Kemudian pemanas reaktor dijalankan serta ditunggu sesuai suhu telah di tentukan. Setelah mencapai suhu yang telah ditentukan, maka waktu sudah bias mulai dihitung sebagai waktu awal ( $t_0$ ) dan dilakukan timbangan untuk mengukur dan mengetahui massa residu padat ( $m_{t0}$ ). Tahap berikutnya pada setiap selang waktu 10 menit kompor dimatikan dan tabung tempat sampah plastik di ambil kemudian ditimbang untuk mengetahui massa residu padat ( $m_t$ ). Gas dengan berat molekul besar akan terkondensasi dan gas yang ringan akan terkondensasi dalam pendingin. Setelah massa residu padat mencapai titik konstan ( $m_{\infty}$ ) proses tadi dihentikan kemudian waktu dihitung sebagai waktu maximum ( $\tau$ ). Selanjutnya hasil tar diambil dan diukur. percobaan dilakukan dengan menggunakan berat sampah plastik 500 gram dengan ukuran rata-rata 1-2 cm. Dalam pengujian ini variable yang di telitiyaitu : ukuran panas dari suhu dan waktu. Perhitungan konversi

*volatile matter* (xs) atau *devolatilization degree* berdasarkan persamaan. Analisa hasil penelitian yang dilakukan meliputi penentuan nilai kalor, berat tar (minyak pyrolytic) berat arang yang tertinggal dalam reaktor, dan larutan hasil dari kondensor juga ditentukan nilai kalornya.

Dari hasil penelitian yang dilakukan oleh Ramadhan, dkk ( 2012 ) bahwa dekomposisi yang terbaik dalam menguraikan sampah jenis plastik terjadi pada suhu 400°c dengan waktu 60 menit. Serta produk minyak yang dihasilkan plastik HDPE dan LDPE terjadi pada suhu 400°c dengan waktu 60 menit.

## **2.2 Sampah**

*American Public Health Association* menyatakan bahwa sampah merupakan sesuatu yang tidak digunakan, tidak terpakai, tidak disenangi atau sesuatu yang dibuang, yang berasal dari kegiatan manusia dan tidak terjadi dengan sendirinya. Sampah diartikan sebagai material – material yang bukan cairan ataupun gas yang keberadaannya tidak diinginkan dan dibuang oleh manusia [5].

Menurut Kristanto (2004), limbah adalah buangan dari suatu proses yang kehadirannya pada suatu tempat tidak dikehendaki lingkungan karena tidak memiliki nilai ekonomi dan digolongkan menjadi limbah organik dan anorganik.

Dari beberapa pengertian diatas, maka sampah dan limbah dapat didefinisikan secara berbeda yaitu sampah merupakan segala sesuatu yang dibuang dari sumbernya karena dianggap tidak berguna lagi seperti fungsi awalnya yang berasal dari kegiatan manusia, dan untuk limbah didefinisikan sebagai sisa hasil dari suatu proses [6].

## **2.3 Sampah Padat**

Sampah padat berasal dari aktivitas manusia yang memiliki bentuk padat dan tidak berguna. Sampah padat umumnya dapat berupa debu, pecahan kaca, sampah plastik, sampah kertas, sampah tekstil, sampah dapur, sampah kebun dan sebagainya. Sampah padat dibagi menjadi sampah organik dan sampah anorganik yang berasal dari rumah tangga, komersial dan industri yang tidak memiliki nilai

ekonomi untuk pemiliknya [7].

Menurut Basriyanta (2007), jenis sampah dibagi menjadi sampah anorganik dan sampah organik, yaitu sebagai berikut :

a. Sampah yang bersifat anorganik

Sampah anorganik merupakan sampah yang berasal dari bahan-bahan non organik. Sebagian besar sampah anorganik tidak dapat terurai oleh mikroorganisme secara keseluruhan (*unbiodegradable*). Sebagian lainnya hanya dapat diuraikan namun dalam waktu yang lama. Sampah anorganik dibedakan menjadi sampah logam, sampah plastik, sampah kertas, sampah keramik dan sebagainya [8].

b. Sampah yang bersifat organik

Sampah organik merupakan sampah yang berasal dari bahan-bahan organik yang dapat dengan mudah terurai melalui proses alami oleh mikroorganisme (*biodegradable*). Sebagian besar sampah organik berasal dari sampah rumah tangga, seperti sampah dari dapur dan sisa-sisa makanan.

Menurut Sirait (2009), sampah organik dan anorganik memiliki jangka waktu tertentu untuk dapat terurai ataupun terhancurkan, namun ada beberapa sampah yang tidak dapat teruraikan, berikut ini merupakan penggolongan sampah berdasarkan waktu hancurnya :

a. Sampah organik :

- 1) Kulit pisang : 3-5 minggu
- 2) Kertas : 2-5 bulan
- 3) Kulit Jeruk : 6 bulan
- 4) Kayu balok : 10-20 tahun

b. Sampah anorganik :

- 1) Kaus kaki katun : 5-6 bulan
- 2) Kaus kaki wol : 1-5 tahun

- |                     |                      |
|---------------------|----------------------|
| 3) Puntung rokok    | : 1-12 tahun         |
| 4) Kotak minuman    | : 5 tahun            |
| 5) Kain nilon       | : 30-40 tahun        |
| 6) Permen karet     | : 50 tahun           |
| 7) Kaleng aluminium | : 200-500 tahun      |
| 8) Botol plastik    | : tidak dapat hancur |
| 9) Botol kaca       | : tidak dapat hancur |

#### 2.4 Karakteristik Sampah

Berdasarkan dari karakteristik sampah yang dihasilkan, sampah dibagi menjadi dua yaitu sebagai berikut :

a. Sampah Basah (*Garbage*)

Menurut Soemirat (2000), sampah basah (*garbage*) adalah sampah yang mudah membusuk, yaitu yang mudah mengalami proses pembusukan karena aktivitas organisme. Sampah basah merupakan sampah padat semi basah yang berupa bahan-bahan organik yang umumnya berasal dari makanan dan pertanian, misalnya sisa-sisa dari makanan, sayuran, buah-buahan dan dapur. Sampah jenis ini mempunyai ciri mudah terurai oleh mikroorganisme dan mudah mengalami pembusukan, karena mempunyai rantai kimia yang relatif pendek [8].

Jenis sampah ini terdiri dari sisa-sisa potongan hewan atau sayur-sayuran hasil dari pengolahan, persiapan, pembuatan, dan penyediaan makanan yang sebagian besar terdiri dari zat-zat yang mudah untuk mengalami proses pembusukan, bersifat lembab dan mengandung sejumlah air bebas (Kusnoputranto, 2000).

b. Sampah Kering (*Rubbish*)

Sampah kering (*rubbish*) merupakan sampah padat organik yang cukup kering dan sulit terurai oleh mikroorganisme sehingga sulit mengalami pembusukan dan hal ini disebabkan karena memiliki rantai kimia yang panjang dan

kompleks. Sampah kering termasuk sampah yang dapat terbakar dan tidak dapat terbakar yang berasal dari kegiatan masyarakat. Sampah yang mudah terbakar yaitu berasal dari kertas, kardus, kain, kayu, plastik dan lainnya. Sedangkan yang tidak mudah terbakar yaitu berupa logam, mineral, kaleng dan sebagainya.

## 2.5 Plastik

Plastik merupakan salah satu jenis makromolekul yang terbentuk melalui proses polimerisasi. Polimerisasi adalah proses penggabungan beberapa molekul sederhana (monomer) melalui proses kimia menjadi molekul besar (makromolekul atau polimer). Plastik umumnya terbuat dari polimer sintetis yang mengandung hidrogen, karbon dan oksigen yang berasal dari hasil pengolahan minyak bumi. Tipe plastik masa kini cenderung sulit untuk diuraikan dan bahkan tidak mudah menyatu dengan alam. Salah satu bahan untuk membuat plastik yang sering digunakan adalah *naphtha*, yaitu bahan yang dihasilkan dari penyulingan minyak bumi atau gas alam. Sebagai gambaran, pembuatan 1 kg plastik memerlukan 1,75 kg minyak bumi, untuk pemenuhan kebutuhan bahan baku maupun kebutuhan energi prosesnya [9].

Menurut Mujiarto (2005), plastik dapat dikelompokkan menjadi dua macam yaitu *thermoplastic* dan *thermosetting*. *Thermoplastic* merupakan bahan plastik yang jika dipanaskan sampai temperatur tertentu akan mencair dan dapat dibentuk kembali menjadi bentuk yang diinginkan dan dapat terjadi berulang-ulang tanpa terjadi perubahan khusus. *Thermoplastic* termasuk turunan *ethylene* dan dinamakan plastik *vinyl* karena mengandung gugus *vinyl* atau *polyolefin*. Bahan ini sebagian besar polimer dipakai untuk mengemas atau kontak dengan bahan makanan [10].

*Thermosetting* merupakan jenis plastik yang melunak jika dilakukan proses pemanasan dan pembentukan, serta mengeras secara permanen dan dapat hangus atau hancur apabila dilakukan pemanasan. Jenis plastik ini berubah menjadi arang pada suhu tinggi, karena struktur kimianya bersifat 3 dimensi dan cukup kompleks. Pemakaian jenis plastik ini dalam industri pangan terutama untuk membuat tutup botol. Produk didalam botol tidak akan kontak langsung dengan tutup botol karena

selalu diberi lapisan perapat yang juga berfungsi sebagai pelindung. Kebanyakan material komposit modern menggunakan plastik *thermosetting*, yang biasanya disebut resin. Kelebihan dari plastik jenis ini adalah pada ketahanannya yang kuat.

Berdasarkan sifat yang dimiliki kedua kelompok plastik di atas, *thermoplastic* merupakan jenis plastik yang memungkinkan untuk didaur ulang. Jenis plastik yang dapat didaur ulang diberi kode berupa nomor untuk memudahkan dalam mengidentifikasi dan penggunaannya. Pengelompokan jenis plastik ini dapat dilihat pada gambar 2.2 berikut ini.

KODE	1 PETE	2 HDPE	3 V	4 LDPE	5 PP	6 PS
JENIS POLIMER	PETE atau PET (Polyethylene Terephthalate)	HDPE (High Density Polyethylene)	V atau PVC (Polyvinyl Chloride)	LDPE (Low Density Polyethylene)	PP (Polypropylene)	PS (Polystyrene)
PENGGUNAAN	Botol plastik, botol minyak sayur, tempat makan ovenproof	Botol susu / jus yang berwarna putih, kemasan mentega	Botol deterjen / shampoo, pipa saluran	Kantong belanja (kresek), pembungkus makanan segar, botol yang dapat ditekan	Pembungkus biskuit, botol minuman / obat, sedotan	Styrofoam, CD, wadah makanan beku / siap saji
REKOMENDASI	<b>Sekali pakai</b>	<b>Sekali pakai</b>	Sulit didaur ulang, berbahaya	Sulit dihancurkan tetapi tetap baik untuk tempat makanan	Pilihan terbaik untuk bahan plastik penyimpanan makanan dan minuman	<b>Hindari</b>

Gambar 2.2 jenis plastic dan penggunaannya (alatpresplastik.com)

Plastik memiliki banyak kelebihan dibandingkan bahan lainnya, yaitu mempunyai densitas yang lebih rendah daripada bahan lain, bersifat isolator terhadap listrik, memiliki kekuatan mekanik yang bervariasi, ketahanan suhu yang terbatas, dan ketahanan terhadap bahan kimia yang bervariasi. Plastik yang banyak digunakan oleh masyarakat yaitu jenis plastik *polyethylene*, yang mana terdiri dari *high density polyethylene* (HDPE) dan *low density polyethylene* (LDPE). Penggunaan plastik jenis lainnya yaitu *polystyrene*, *polypropylene*, dan *polyethylene terephthalate*.

Sifat termal dari berbagai jenis plastik sangat berguna untuk proses pembuatan dan daur ulang plastik. Sifat-sifat termal yang penting adalah titik lebur ( $T_m$ ), temperatur transisi ( $T_g$ ) dan temperatur dekomposisi. Titik lebur merupakan titik dimana plastik mulai melunak dan berubah wujud menjadi cair. Temperatur transisi merupakan temperatur ketika plastik mengalami proses perenggangan struktur sehingga terjadi perubahan dari kondisi kaku menjadi lebih lunak atau fleksibel. Di atas titik lebur, plastik mengalami pembesaran volume sehingga molekul bergerak lebih bebas yang ditandai dengan peningkatan kelenturannya. Temperatur dekomposisi adalah batasan dari proses pencairan dari plastik. Plastik akan mudah mengalir dan struktur akan mengalami dekomposisi jika suhu dinaikkan di atas titik lebur. Proses ini terjadi karena energi termal melebihi energi yang mengikat rantai molekul dan polimer akan mengalami dekomposisi pada saat suhu di atas 1,5 kali dari temperatur transisinya.

Penggunaan plastik yang berlebihan dan pembuangan sampah plastik yang tidak dapat terkontrol akan menimbulkan masalah bagi lingkungan, karena sifat plastik yang tidak dapat teruraikan di dalam tanah. Berbagai metode sudah dilakukan oleh pakar lingkungan dan ilmuwan dari berbagai disiplin ilmu, salah satu metode yang digunakan yaitu dengan mendaur ulang sampah plastik tersebut menjadi barang yang memiliki fungsi lainnya, namun dengan cara tersebut hasilnya tidak terlalu efektif. Dan metode yang dapat mengurangi jumlah sampah plastik yaitu pirolisis.

Pada daur ulang plastik dengan metode pirolisis, bahan *polyolefin* (PE, PP, PS) memberikan hasil distilat terbaik karena memiliki rantai lurus dari struktur hidrokarbon. *Polyethylene* (PE) dan *polypropylene* (PP) merupakan bahan yang paling bahu untuk dijadikan bahan bakar, sedangkan *polyethylene terephthalate* (PET) merupakan bahan yang paling tidak cocok untuk dijadikan bahan bakar (P.V. Thorat dkk, 2013). Beberapa literatur tentang penelitian pirolisis menggunakan berbagai macam jenis plastik, menunjukkan sifat hasil perolehan minyak yang mendekati sifat bahan bakar dari minyak bumi yaitu bensin dan solar dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut ini.

Table 2.1 Sifat-Sifat Minyak dari Pirolisis Bahan Plastik

	PET	HDPE	PVC	LDP E	PP	PS	Bensi n	Solar
Nilai Kalor	28,2	40,5	21,1	39,5	40,8	43,0	42,5	43,0
API gravity	n.a	27,48	38,9 8	47,75	33,0 3	n.a	55	38
Viskositas	n.a	5,08 <sup>a</sup>	6,36 <sup>b</sup>	5,56 <sup>c</sup>	4,09 <sup>a</sup>	1,4 <sup>d</sup>	1,17	1,9- 4,1
Jumlah MON	n.a	85,3	n.a	n.a	87,6	n.a	81-85	-
Jumlah RON	n.a	95,3	n.a	n.a	97,8	90- 98	91-95	-
Massa Jenis	0,90	0,89	0,84	0,78	0,86	0,85	0,780	0,807
Ar.ang (wt%)	n.a	0,00	n.a	0,02	0,00	0,006	-	0,01
Titik Nyala (°C)	n.a	48	40	41	30	26,1	42	52

Nilai kalor yang dimiliki oleh minyak pirolisis HDPE, PP, dan PS semua diatas 40 MJ/kg yang mana dianggap tinggi untuk penggunaan energi. Jenis plastik PET dan PVC memiliki nilai kalor dibawah 30 MJ/kg dengan adanya asam benzoate pada PET dan senyawa klorin pada PVC yang mana akan memperburuk kualitas bahan bakar.

*API gravity* merupakan metode yang digunakan untuk mengukur densitas dari minyak terhadap air yang mana ditetapkan oleh *American Petroleum Institute* (API) dan juga dapat disebut *specific gravity*. Semua jenis plastik memiliki *API gravity* mendekati solar kecuali LDPE yang mendekati hasil dari bensin.

Hasil viskositas semua jenis plastik mendekati viskositas solar kecuali jenis plastik PS yang mana mendekati viskositas bensin. Arang yang dihasilkan oleh PS

juga lebih rendah dari standar yang dimiliki oleh solar yang mana kurang dari 0,01% dan LDPE menghasilkan arang terbanyak sebesar 0,02% namun masih dapat ditoleransi dikarenakan perbedaan yang sangat kecil.

*Research Octane Number* (RON) dan *Motor Octane Number* (MON) sangat penting untuk menggolongkan kualitas *anti-knock* untuk bensin yang berkisar antara C6 – C10. Jumlah oktan tinggi yang dimiliki oleh bahan bakar akan menghasilkan kualitas *anti-knock* yang baik. *Knock* biasanya disebabkan oleh laju pembakaran dari bensin pada mesin yang menghasilkan suara ledakan dan lama-lama akan mengurangi prestasi mesin (Kalghargi, 2001). Jumlah RON dan MON jenis plastik HDPE yaitu 95,3 dan 85,3. Jenis plastik PP memiliki jumlah RON dan MON tertinggi yaitu 97,8 dan 87,6. Jenis plastik PS juga memiliki hasil yang sama dengan standar yang dimiliki oleh bensin yaitu dengan jumlah RON 90 – 98.

Titik nyala (*flash point*) yang dimiliki oleh minyak pirolisis jenis plastik HDPE, PVC, dan LDPE mendekati dengan standar bensin yang mengindikasikan bahwa titik nyala dari tiga plastik tersebut dapat dibandingkan dengan hasil penyulingan bahan bakar minyak ringan. Jenis plastik PP dan PS menghasilkan titik nyala lebih rendah dari standar bensin maupun solar, yang mana menunjukkan bahwa minyak pirolisis jenis plastik PP dan PS mudah menguap dan membutuhkan perhatian yang lebih saat menggunakannya.

Dari beberapa hasil yang menunjukkan kecocokan minyak hasil pirolisis bahan plastik terhadap standar yang dimiliki oleh minyak bahan bakar bensin dan solar maka dapat disimpulkan untuk pemilihan bahan plastik yang cocok digunakan untuk sistem bahan bakar.

## **2.6 Metode Penguraian Rantai Karbon**

### **2.6.1 Gasifikasi**

Gasifikasi dapat diartikan sebagai proses pembuatan gas. Definisi sebenarnya yaitu proses konversi energi dari bahan bakar yang mengandung karbon dalam bentuk padat maupun cair menjadi gas yang disebut *producer gas*, dimana gas tersebut memiliki nilai bakar dengan cara oksidasi parsial pada temperatur

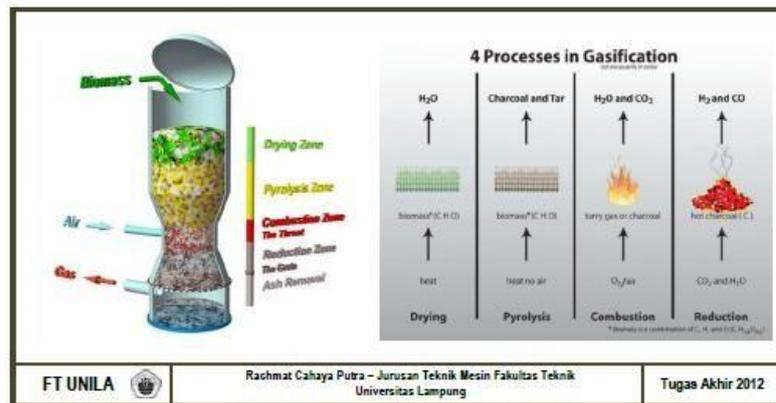
tinggi. Produk hasil dari gasifikasi yang telah dimurnikan adalah komponen yang mudah terbakar yang terdiri dari campuran karbon monoksida (CO), hidrogen (H<sub>2</sub>), dan metana (CH<sub>4</sub>) yang disebut *syngas* dan pengotor inorganik seperti NH<sub>3</sub>, HCN, H<sub>2</sub>S, debu halus, serta pengotor organik yaitu tar (Milne dkk, 1998). Komposisi gas ini sangat tergantung pada komposisi unsur pada biomassa, bentuk dan partikel biomassa serta kondisi pada proses gasifikasi.

Proses gasifikasi biomassa dilakukan dengan cara melakukan pembakaran secara tidak sempurna di dalam sebuah ruangan yang mampu menahan suhu tinggi yang disebut reaktor gasifikasi. Penggunaan udara dengan jumlah lebih sedikit dari jumlah kebutuhan stokiometrik pembakaran dilakukan agar terjadi proses pembakaran tidak sempurna. Udara tersebut dialirkan ke dalam reaktor untuk menyuplai kebutuhan oksigen menggunakan kipas atau *blower*.

Proses gasifikasi biomassa terdiri dari beberapa tahapan. Pirolisis merupakan tahap pertama yang terjadi ketika biomassa mulai mengalami kenaikan suhu. Pada tahap ini unsur kimia yang terkandung pada biomassa terlepas dan menghasilkan arang. Tahap kedua yaitu proses pembakaran (*combustion*). Pada tahap ini unsur kimia dan sebagian arang yang masih memiliki kandungan karbon (C) bereaksi dengan oksigen membentuk CO<sub>2</sub> dan CO serta menghasilkan panas yang digunakan pada tahap selanjutnya, yaitu tahap gasifikasi.

Tahap gasifikasi terjadi ketika arang bereaksi dengan CO<sub>2</sub> dan uap air yang menghasilkan gas CO dan H<sub>2</sub> yang merupakan produk yang diinginkan dari keseluruhan proses gasifikasi.

Tahap tambahan dalam proses ini adalah tahap *water shift reaction*. Pada tahapan ini, reaksi termo-kimia yang terjadi di dalam reaktor gasifikasi mencapai keseimbangan. Sebagian CO yang terbentuk dalam reaktor bereaksi dengan uap air dan membentuk CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>.



Gambar 2.3 Empat zona proses gasifikasi

(Sumber: Rahmat, 2012)

### 2.6.2 Degradasi Termal (*Thermal Cracking*)

Degradasi termal atau biasa disebut *thermal cracking* adalah suatu proses sederhana dimana pada saat temperatur tinggi, polimer mencair dan pecah menjadi molekul yang lebih kecil, namun kualitas produk yang dihasilkannya rendah (John, 2006). *Thermal cracking* pada hal ini tidak menggunakan katalis. Proses *cracking* pada suhu rendah menghasilkan produk yang agak keras (*waxy*) didalam reaktor, yang mana terdiri dari paraffin dan arang karbon.

### 2.7 Perpindahan Kalor

Perpindahan panas merupakan ilmu untuk meramalkan perpindahan energi dalam bentuk panas yang terjadi karena adanya perbedaan suhu di antara benda atau material. Dalam proses perpindahan energi tersebut tentu ada kecepatan perpindahan panas yang terjadi, atau yang lebih dikenal dengan laju perpindahan panas. Maka ilmu perpindahan panas juga merupakan ilmu untuk meramalkan laju perpindahan panas yang terjadi pada kondisi-kondisi tertentu. Perpindahan kalor dapat didefinisikan sebagai suatu proses berpindahnya suatu energi (kalor) dari satu daerah ke daerah lain akibat adanya perbedaan temperatur pada daerah tersebut.

Ada tiga bentuk mekanisme perpindahan panas yang diketahui, yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi. Laju aliran perpindahan kalor maka digunakan persamaan sebagai berikut.

$$q = m \cdot c_p \cdot \Delta T \dots \dots \dots 2.1$$

Keterangan :

$q$  = laju aliran perpindahan kalor (W)

$m$  = massa (kg)

$c_p$  = koefisien perpindahan kalor ( $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ )

$\Delta T$  = temperatur fluida awal ( $T_1 - T_0$ ) $^\circ C$

a. Perpindahan Kalor Secara Konveksi

Perpindahan panas karena adanya gerakan/aliran/ pencampuran dari bagian panas ke bagian yang dingin. Contohnya adalah kehilangan panas dari radiator mobil, pendinginan dari secangkir kopi dll. Menurut cara menggerakkan alirannya, perpindahan panas konveksi diklasifikasikan menjadi dua, yakni konveksi bebas (free convection) dan konveksi paksa (forced convection). Bila gerakan fluida disebabkan karena adanya perbedaan kerapatan karena perbedaan suhu, maka perpindahan panasnya disebut sebagai konveksi bebas (free / natural convection). “Bila gerakan fluida disebabkan oleh gaya pemaksa / eksitasi dari luar, misalkan dengan pompa atau kipas yang menggerakkan fluida sehingga fluida mengalir di atas permukaan, maka perpindahan panasnya disebut sebagai konveksi paksa (forced convection)”(J.P.Holman,1973:252).

b. Perpindahan Kalor Secara Konduksi

Jika pada suatu benda terdapat gradien suhu(temperatur gradient), maka huruf pengalaman akan terjadi perpindahan energi dari bagian bersuhu tinggi ke bagian bersuhu rendah.

c. Perpindahan Kalor Secara Radiasi

Merupakan perpindahan kalor dalam bentuk gelombang elektromagnetik. Contoh perpindahan kalor secara radiasi adalah hangatnya tubuh anda ketika berada di dekat tungku api dan perpindahan kalor dari matahari menuju bumi.

**Table 2.2 konduktivitas panas**

Sumber : JP Holman Perpindahan Kalor. Jakarta. Erlangga.1994

Daftar A-5 Sifat-sifat Udara pada Tekanan Atmosfer†  
 Nilai  $\mu$ ,  $k$ ,  $c_p$ , dan Pr tidak terlalu bergantung pada tekanan dan dapat digunakan untuk rentang tekanan yang cukup luas.

T, K	$\rho$ , kg/m <sup>3</sup>	$c_p$ , kJ/kg · °C	$\mu$ , kg/m · s × 10 <sup>6</sup>	$\nu$ , m <sup>2</sup> /s × 10 <sup>6</sup>	$k$ , W/m · °C	$\alpha$ , m <sup>2</sup> /s × 10 <sup>6</sup>	Pr
100	3.6010	1.0266	0.6924	1.923	0.009246	0.02501	0.770
150	2.3675	1.0099	1.0283	4.343	0.013735	0.05745	0.753
200	1.7684	1.0061	1.3289	7.490	0.01809	0.10165	0.739
250	1.4128	1.0053	1.5990	11.31	0.02227	0.15675	0.722
300	1.1774	1.0057	1.8462	15.69	0.02624	0.22160	0.708
350	0.9980	1.0090	2.075	20.76	0.03003	0.2983	0.697
400	0.8826	1.0140	2.286	25.90	0.03365	0.3760	0.689
450	0.7833	1.0207	2.484	31.71	0.03707	0.4272	0.683
500	0.7048	1.0295	2.671	37.90	0.04038	0.5564	0.680
550	0.6423	1.0392	2.848	44.34	0.04360	0.6532	0.680
600	0.5879	1.0551	3.018	51.34	0.04659	0.7512	0.680
650	0.5430	1.0635	3.177	58.51	0.04953	0.8578	0.682
700	0.5030	1.0752	3.332	66.25	0.05230	0.9672	0.684
750	0.4709	1.0856	3.481	73.91	0.05509	1.0774	0.686
800	0.4405	1.0978	3.625	82.29	0.05779	1.1951	0.689
850	0.4149	1.1095	3.765	90.75	0.06028	1.3097	0.692
900	0.3925	1.1212	3.899	99.3	0.06279	1.4271	0.696
950	0.3716	1.1321	4.023	108.2	0.06525	1.5510	0.699
1000	0.3524	1.1417	4.152	117.8	0.06752	1.6779	0.702
1100	0.3204	1.160	4.44	138.6	0.0732	1.969	0.704
1200	0.2947	1.179	4.69	159.1	0.0782	2.251	0.707
1300	0.2707	1.197	4.93	182.1	0.0837	2.583	0.705
1400	0.2515	1.214	5.17	205.5	0.0891	2.920	0.705
1500	0.2355	1.230	5.40	229.1	0.0946	3.262	0.705
1600	0.2211	1.248	5.63	254.5	0.100	3.609	0.705
1700	0.2082	1.267	5.85	280.5	0.105	3.977	0.705
1800	0.1970	1.287	6.07	308.1	0.111	4.379	0.704
1900	0.1858	1.309	6.29	338.5	0.117	4.811	0.704
2000	0.1762	1.338	6.50	369.0	0.124	5.260	0.702
2100	0.1682	1.372	6.72	399.6	0.131	5.715	0.700
2200	0.1602	1.419	6.93	432.6	0.139	6.120	0.707
2300	0.1538	1.482	7.14	464.0	0.149	6.540	0.710
2400	0.1458	1.574	7.35	504.0	0.161	7.020	0.718
2500	0.1394	1.688	7.57	543.5	0.175	7.441	0.730

† Dari Natl. Bur. Stand. (U. S.) Circ. 564, 1965  
 Daftar ini menggunakan satuan SI.

## 2.8 Pirolisis

Pirolisis adalah reaksi depolimerisasi dan pada suhu tinggi mengikuti mekanisme radikal bebas dan sangat cocok untuk senyawa yang memiliki derajat polimerisasi yang tinggi. Reaksi tersebut melalui tiga tahap yaitu tahapan memulai, perambatan, dan penghentian. *Thermal Cracking* merupakan proses pirolisis dengan cara memanaskan polimer plastik tanpa oksigen. Hasil dari proses ini yaitu arang dari hasil pemanasan, lalu minyak sebagai hasil dari proses kondensasi gas, serta gas yang tidak bisa terkondensasi. Suhu yang digunakan pada proses ini pada 350 – 900 °C.

## 2.9 Radiator

Radiator merupakan system pendingin dengan menggunakan cairan fluida sebagai alat penukar panas. Cara kerja radiator dengan menyalurkan panas yang dikeluarkan oleh mesin motor kemudian diserap oleh bahan pendingin. Dengan demikian maka suhu bahan pendingin di radiator akan menurun sedangkan udara disekitarnya akan meningkat suhunya (Asep, 2008). Konsep utama radiator adalah menjaga suhu mesin agar tidak terlalu panas dan stabil sehingga kerja mesin menjadi maksimal. Kerja mesin pada motor dipengaruhi oleh kekuatan radiator dalam mengalirkan suhu mesin. Semakin rendah suhu pada mesin maka kerja mesin semakin optimal. Apabila mesin motor mengalami over heating akan merusak komponen mesin itu sendiri atau mesin cepat aus. Sehingga radiator memiliki peranan vital pada sebuah mesin motor (Ade, 2007). Efektivitas radiator diartikan seberapa cepat radiator menurunkan suhu mesin. Dilihat dari suhu udara disekitar radiator, suhu cairan yang masuk ke radiator, dan suhu cairan saat keluar dari radiator (Holman dalam Nazaruddin, 1999). Semakin cepat radiator mendinginkan suhu pada mesin maka semakin efektif kerja radiator. Kestabilan nilai efektifitas radiator tersebut merupakan suatu hal yang wajar karena bila diamati kenaikan suhu ukur terjadi merata pada parameter suhu air yang keluar dari mesin, suhu air yang keluar radiator masuk ke mesin dan suhu udara di belakang radiator, sehingga akan menyebabkan besaran nilai efektifitas radiator akan cenderung stabil.