

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu

No	Nama	Tahun	Asal	Rendemen	Temperatur	Waktu
1.	Tia Novia	2021	Universitas Samudra	90 ml	270 °C-300 °C	6 jam
2.	Mahendra Aji Wicakson, Arijanto	2017	Universitas Diponegoro	240 ml (parallel flow) 180 (counter flow)	398°C	45 menit
3.	Sumartono, 2019	2019	Politeknik Negeri Medan	200 ml	228°C	3 jam

Dari penelitian terdahulu yang telah dilakukan rendemen yang dihasilkan masih sedikit, waktu penelitian yang cukup lama, dan temperatur yang relatif tinggi. Penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan rendemen yang lebih banyak, waktu yang optimal dan temperatur yang rendah.

2.2 Plastik

Plastik adalah polimer rantai panjang atom mengikat satu sama lain. Rantai ini membentuk banyak unit molekul berulang, atau "monomer". Plastik yang umum terdiri dari polimer karbon saja atau dengan oksigen, nitrogen, chlorine atau belerang (beberapa jenis komersial juga berdasar silikon). Seluruh plastik terbuat dari karbon. Plastik buatan menggunakan karbon dari turunan minyak bumi, namun biopolimer atau bioplastik menggunakan karbon sebagai hasil turunan dari material alami. Karbon sangat penting karena memiliki keunikan yaitu dapat bergabung antar sesamanya dengan berbagai cara. Karbon dapat

membentuk ikatan tunggal, ikatan rangkap dan ikatan triple dengan dirinya sendiri (sharing elektron antara dua atom). Plastik merupakan material baru secara luas dikembangkan dan digunakan sejak abad ke-20 yang berkembang secara luar biasa penggunaannya dari Jumlah besar pameran plastik yang tersedia memiliki berbagai macam karakteristik, membuatnya cocok untuk berbagai aplikasi di industri dan perumahan yang sangat luas (Muhamad Rijani, 2015).

Berdasarkan sifatnya terhadap panas, polimer dibedakan menjadi dua yaitu polimer termoplastik (tidak tahan panas) dan polimer termosetting (tahan panas).

a. Polimer Termoplastik

Polimer termoplastik adalah polimer yang mempunyai sifat tidak tahan terhadap panas. Bahan-bahan yang bersifat termoplastik mudah untuk diolah kembali. Jika polimer jenis ini dipanaskan, maka akan menjadi lunak dan didinginkan akan mengeras. Jenis plastik ini tidak memiliki ikatan silang antar rantai polimernya, melainkan dengan struktur molekul linear atau bercabang. Polimer yang termasuk polimer termoplastik adalah polimer plastik.

b. Polimer Termosetting

Polimer termosetting merupakan jenis plastik yang tidak dapat didaur ulang karena plastik jenis ini akan langsung mengeras dan menjadi arang jika dipanaskan sehingga tidak dapat dibentuk kembali. Susunan polimer ini bersifat permanen pada bentuk cetak pertama kali (pada saat pembuatan). Jika polimer ini pecah, polimer ini tidak dapat disambung atau diperbaiki lagi. Polimer termosetting memiliki ikatan-ikatan silang yang tidak mudah dibentuk pada waktu dipanaskan. Hal ini membuat polimer menjadi kaku dan keras. Semakin banyak ikatan silang pada polimer ini, maka semakin kaku dan mudah patah. Bila polimer ini dipanaskan untuk kedua kalinya, maka akan menyebabkan rusak atau lepasnya ikatan silang antar rantai polimer. Contoh polimer termosetting adalah bakelit dan melamin.

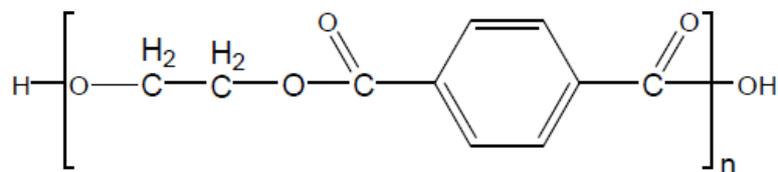
2.3 Jenis Plastik dan Karakteristiknya

Plastik digolongkan menjadi beberapa jenis yaitu, *Polyethylene terephalate* (PET), *High Density Polyethylene* (HDPE), *Polyvinylchloride* (PVC), *Low Density Polyethylene* (LDPE), *Polypropylene* (PP), *Polystyrene* (PS), dan *Others* (lainnya) (Untoro, 2013),

1. *Polyethylene terephalate* (PET)

Polyethyleneterephalate (disingkat PET, PETE atau dulu PETP, PET-P)

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*. Rumus kimia PET adalah $(C_{10}H_8O_4)_n$ dan rumus bangun untuk PET. Polimer PET dihasilkan melalui reaksi polimerisasi kondensasi dari monomernya. Reaksi ini terjadi sesaat setelah esterifikasi/transesterifikasi dengan etilen glikol sebagai produk samping (dan etilen glikol ini biasanya didaur ulang). PET memiliki densitas sekitar 1,38. Ada 3 (tiga) jenis plastik PET, yaitu : PET biasa tanpa laminasi, PET yang mengkerut jika kena panas, PET yang dilaminasi untuk kemasan vakum.

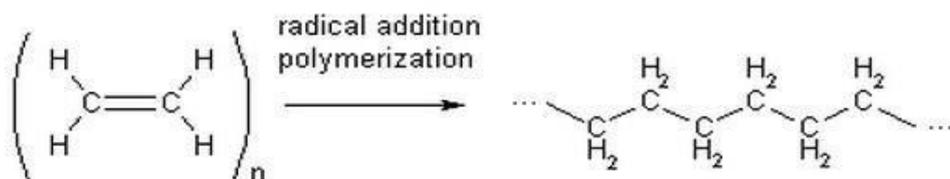


Gambar 2.1 Rantai *Polyethylene Terephthalate* (PET)

(Sumber : Kirk-Othmer, 2010)

2. *High Density Polyethylene* (HDPE)

HDPE adalah termoplastik polietilena terbuat dari minyak bumi, dikenal karena kekuatan yang besar untuk rasio kepadatan, HDPE umumnya digunakan dalam produksi botol plastik, pipa tahan korosi, geomembranes, dan kayu plastik.



Gambar 2.2 Rantai *High Density Polyethylene* (HDPE)

(Sumber : Kirk-Othmer, 2010)

3. *Polyvinylchloride* (PVC)

Polyvinylchloride (IUPAC: Poli (kloroetanadiol)), biasa disingkat PVC, adalah polimer termoplastik urutan ketiga dalam hal jumlah pemakaian di dunia, setelah polietilena dan polipropilena. PVC diproduksi dengan cara polimerisasi monomer vinil klorida ($CH_2=CHCl$). Karena 57% massanya adalah klor, PVC adalah polimer yang menggunakan bahan baku minyak bumi terendah di antara polimer lainnya.

Rumus kimia PVC adalah $(C_2H_3Cl)_n$ dan rumus bangun untuk polimer ini. Nama-nama dagang PVC adalah *Elvax*, *Geon*, *Postalit*, *Irvinil*, *Kenron*, *Marvinol*, *Opalon*, *Rucoblend*, *Vinoflex*. Kemasan PVC dapat berupa kemasan kaku atau kemasan bentuk.

Beberapa jenis PVC adalah *Plasticized Vinyl Chlorida*, *Vinyl Copolymer*, *Oriented Film*.

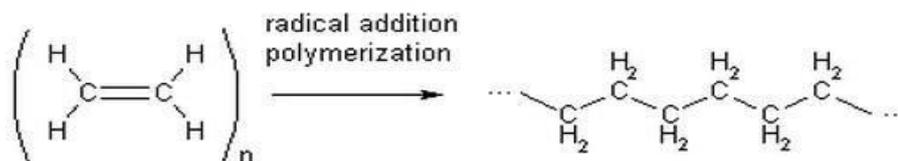


Gambar 2.3 Rantai *Polyvinyl Chlorida* (PVC)

(Sumber : Kirk-Othmer, 2010)

4. *Low Density Polyethylene* (LDPE)

ini dihasilkan dengan cara polimerisasi pada tekanan tinggi, mudah dikelim dan harganya murah. Dalam perdagangan dikenal dengan nama *alathon*, *dylan* dan *fortiflex*.

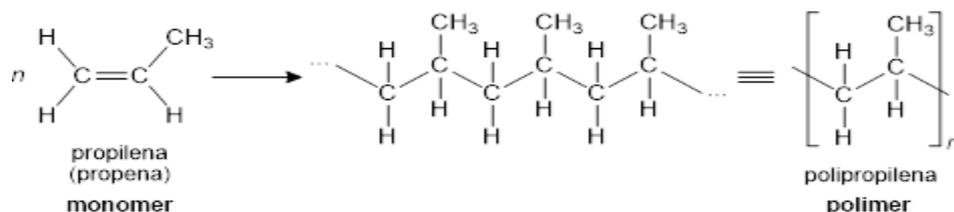


Gambar 2.4 *Low Density Polyethylene* (LDPE)

(Sumber : Kirk-Othmer, 2010)

5. *Polypropylene* (PP)

Polypropylene adalah polimer dari propilen dan termasuk jenis plastik olefin, Polipropilen mempunyai nama dagang *Bexophane*, *Dynafilm*, *Luparen*, *Escon*, *Olefane* dan *Profax*. Ada tiga tipe umumnya polipropilen yaitu: homopolimer, random copolymer dan impact copolymer atau kopolimer blok.

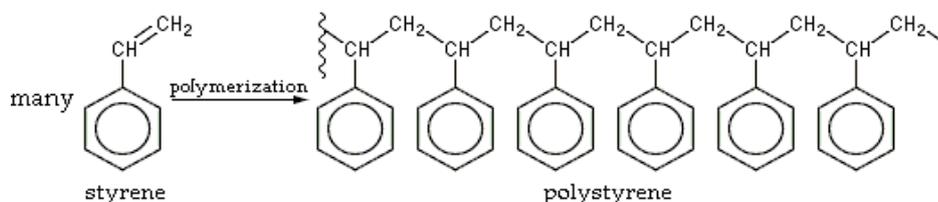


Gambar 2.5 Rantai *Polypropylene* (PP)

(Sumber : Kirk-Othmer, 2010)

6. *Polystyrene* (PS)

Polystyrene merupakan salah satu polimer yang ditemukan pada sekitar tahun 1930, dibuat melalui proses polimerisasi adisi dengan cara suspensi. Stirena dapat diperoleh dari sumber alam yaitu petroleum. Stirena merupakan cairan yang tidak berwarna menyerupai minyak dengan bau seperti benzena dan memiliki rumus kimia $C_6H_5CH=CH_2$ atau ditulis sebagai C_2H_8



Gambar 2.6 Rantai *Polystyrene* (PS)

(Sumber : Kirk-Othmer, 2010)

7. *Other*

Paling sering, produk dengan label 7 terbuat dari campuran dua atau lebih jenis plastik (1 s.d. 6). Kadang kala label 7 mengindikasikan bahwa bahan baku resinnya tidak diketahui. Bisa jadi untuk segala macam benda, namun paling sering akan dijumpai plastik 7 digunakan dalam industri minuman ataupun makanan.

Jenis-jenis plastik tersebut memiliki karakteristik masing-masing yaitu :

a. PET atau PETE (*Polyethylene Terephthalate*)

- Biasa ditemukan pada air dalam kemasan komersil; berwujud transparan dan cenderung tipis
- Ditujukan untuk pemakaian tunggal, botol bekas minuman ini tidak dianjurkan untuk dipakai ulang. Walaupun terdesak untuk dipakai ulang: jangan terlalu sering, dan hindari menyimpan air hangat atau panas di dalamnya
- Pada suhu tinggi, lapisan polimer plastik berkode PETE/ PET akan meleleh dan mengeluarkan zat karsinogenik yang dapat menyebabkan kanker pada jangka panjang. □
- Melunak pada suhu 180°C

b. HDPE (*High-density polyethylene*)

- Berwujud kaku, kuat, keras, buram, lebih tahan terhadap suhu tinggi, dan mudah didaur ulang. Tahan terhadap bahan kimia dan kelembaban.
 - Biasa ditemukan pada wadah minuman komersil (susu, jus, soda), detergen, sampo, cairan pembersih berbahan kimia, serta beberapa kantong plastik.
 - Walau HDPE adalah jenis plastik yang paling aman untuk mengemas makanan dan minuman, tapi tetap dianjurkan untuk dipakai sekali saja.
- c. V atau PVC (*Polyvinyl Chloride*)
- Adalah jenis plastik yang paling sulit didaur ulang.
 - Ditemukan pada botol-botol cairan pembersih komersil, sabun, sampo, pembungkus kabel, dan pipa plastik.
 - Walau PVC relatif tahan terhadap sinar matahari dan beragam cuaca, namun jenis plastik ini tidak disarankan untuk dipakai mengemas makanan atau minuman
 - Kandungan DEHA (Diethylhydroxylamine) yang ada di dalamnya akan bereaksi saat bersentuhan langsung dengan makanan; berbahaya bagi kesehatan ginjal dan hati.
 - Melunak pada suhu 80°C
- d. LDPE (*Low Density Polyethylene*)
- Plastik ini dibuat menggunakan minyak bumi (thermoplastic)
 - Karena memiliki resistensi yang cukup baik terhadap reaksi kimia, maka LDPE tergolong cukup aman untuk membungkus makanan atau minuman.
 - Kuat, tembus cahaya, fleksibel, dan memiliki daya proteksi terhadap uap air.
 - Biasa ditemukan pada kantong plastik tipis transparan, kantong belanja (kresek), plastik pembungkus (cling wrap), atau botol minuman yang dapat diperas.
 - Melunak pada suhu 70°C.
- e. PP (*Polypropylene*)
- Adalah pilihan jenis plastik terbaik; kuat, tahan panas, cukup resisten terhadap kelembapan, minyak, dan bahan kimia, serta berdaya tembus uap yang rendah. □
 - Biasa ditemukan pada botol minuman, botol bayi, kotak makanan, sedotan, kantong belanja (kresek), gelas, serta wadah margarin dan yoghurt.

- Melunak pada suhu 140°C.

f. PS (*Polystyrene*)

- Berciri khas kaku, getas, buram, dan sulit didaur ulang.
- Biasa ditemukan pada styrofoam. □
- Polystyrene sangat tidak disarankan untuk digunakan sebagai pembungkus makanan atau minuman. Bahan styrene yang terkandung di dalamnya dapat dengan mudah menyebar pada makanan; berbahaya untuk kesehatan otak, hormon estrogen, reproduksi, pertumbuhan, serta sistem syaraf.

g. O (*Other*)

Plastik Jenis *Other* (O) terdiri dari :

Styrene Acrylonitrile (SAN)

- Kuat, resisten terhadap reaksi kimia dan suhu.
- Sangat aman untuk mengemas makanan atau minuman.
- Biasa ditemukan pada mangkuk *mixer*, pembungkus termos, piring makan, alat makan, penyaring kopi, dan sikat gigi.

Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS)

- Kuat, serta resisten terhadap reaksi kimia dan suhu.
- Ditemukan pada wadah makanan atau minuman, mainan anak, serta pipa.

Polycarbonate (PC)

- Tidak mudah pecah, ringan, dan transparan.
- Walau biasa ditemukan pada galon air, gelas balita, botol minuman, serta beberapa botol bayi, PC tidak disarankan penggunaannya untuk mengemas makanan atau minuman tertentu, karena jenis plastik ini dapat melepas kandungan *Bisphenol-A* yang berbahaya bagi sistem hormon, imunitas, dan reproduksi.

Jenis plastik yang dapat didaur ulang diberi kode berupa nomor untuk mempermudah mengidentifikasi, nomor kode dari masing-masing jenis plastik tersebut memiliki fungsi sebagai berikut:

Jenis dan kegunaan dari plastik dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut:

Tabel 2.2 Jenis Plastik dan Kegunaannya

No Kode	Jenis Plastik	Titik Leleh (°C)	Beberapa Penggunaan plastik
	PET (polyethylene terephthalate)	250	Botol kemasan air mineral, botol minyak goreng, jus, botol sambal, botol obat, dan botol kosmetik
	HDPE (High-density Polyethylene)	200-250	Botol obat, botol susu cair, jerigen pelumas, dan botol kosmetik
	PVC (Polyvinyl Chloride)	160-180	Pipa selang air, pipa bangunan, mainan, taplak meja dari plastik, botol shampo, dan botol sambal.
	LDPE (Low-density Polyethylene)	160-240	kantong kresek, tutup plastik, plastik pembungkus daging beku, gelas minuman air mineral
	PP (Polypropylene atau Polypropene)	200-300	Cup plastik, tutup botol dari plastik, mainan anak



PS
(Polystyrene)

180-260

Kotak yoghurt, plastik meja, cangkir minuman panas, wadah makanan siap saji, baki kemasan



Other (O)

180-310

Botol susu bayi, plastik kemasan, gallon air minum, alat-alat rumah tangga, komputer.

(Sumber : Sari, 2017)

2.4 Sifat Thermal Plastik

Plastik memiliki sifat termal yang penting adalah, titik lebur (T_m), temperatur transisi (T_g) dan temperatur dekomposisi. Temperatur transisi adalah temperatur di mana plastik mengalami perenggangan struktur sehingga terjadi perubahan dari kondisi kaku menjadi lebih fleksibel. Pada 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 thermal melampaui energi yang mengikat rantai molekul. Secara umum polimer akan mengalami dekomposisi pada suhu di atas 1,5 kali dari temperatur transisinya (Singh et al. 2017). Data sifat termal yang penting pada proses daur ulang plastik bisa dilihat pada tabel 2.1

Tabel 2.3 Temperatur Transisi dan Temperatur Lebur Plastik

Jenis Bahan	T_m (°C)	T_g (°C)	Temp. Kerja Maks (°C)
PP	168	5	80
HDPE	134	-110	82
LDPE	330	-115	260
PA	260	50	100
PET	250	70	100
ABS		110	85
PS		90	70
PMMA		100	85
PC		150	246
PVC		90	71

(Sumber: Singh et al., 2017)

2.5 Bahan Baku

2.5.1 *Polyethylene terephthalate* (PET)

Polyethyleneterephthalate (disingkat PET, PETE atau dulu PETP, PET-P) 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*. Rumus kimia PET adalah $(C_{10}H_8O_4)_n$ dan titik leburbya $260^{\circ}C$. Polimer PET dihasilkan melalui reaksi polimerisasi kondensasi dari monomernya. Reaksi ini terjadi sesaat setelah esterifikasi/transesterifikasi dengan etilen glikol sebagai produk samping (dan etilen glikol ini biasanya didaur ulang). PET biasanya digunakan pada botol kemasan air mineral, botol minyak goreng, jus, botol sambal, botol obat, dan botol kosmetik.

2.5.2 Tempurung Kelapa

Tempurung kelapa digunakan sebagai bahan bakar untuk pembakaran pada ruang bakar. Tempurung kelapa adalah bagian dari buah kelapa yang berupa endokrap, bersifat keras, dan di selimuti oleh sabut kelapa biasanya tempurung kelapa digunakan sebagai bahan kerajinan, bahan bakar, dan briket. Pada bagian pangkal tempurung kelapa terdapat 3 titik lubang tumbuh (ovule) yang menunjukkan bahwa bakal buah asalnya berlubang 3 dan yang tumbuh biasanya 1 buah saja. Tempurung kelapa memiliki komposisi kimia mirip dengan kayu, mengandung lignin, pentosa, dan selulosa. Tempurung kelapa dalam penggunaan biasanya digunakan sebagai bahan pokok pembuatan arang dan arang aktif. Hal tersebut dikarenakan tempurung kelapa merupakan bahan yang dapat menghasilkan nilai kalor sekitar $6.500 - 7.600$ Kkal/g.

Tempurung kelapa termasuk golongan kayu keras dengan kadar air sekitar 6-9 % (dihitung berdasar berat kering) yang tersusun dari lignin, selulosa dan hemiselulosa. Data komposisi kimia tempurung kelapa dapat kita lihat pada Tabel 2.4

Tabel 2.4 Komposisi Tempurung Kelapa

Komponen	Persentase %
Lignin	29,4
Air	8,0
Abu	0,6
Komponen Ekstraktif	4,2

Selulosa	26,6
Uronat anhidrat	3,5
Nitrogen	0,1
Hemiselulosa	27,7

Sumber : Suhardiyono,1998 dalam Anonim

2.6 Pirolisis

Pirolisis adalah proses degradasi termal bahan - bahan polimer seperti plastik maupun material organik seperti biomassa dengan pemanasan tanpa melibatkan oksigen di dalamnya.

Proses konversi sampah plastik dimulai dari proses *drying* sehingga didapatkan plastik yang bersih dan kering. Kondisi plastik tersebut akan mempengaruhi kualitas produk yang dihasilkan. Kemudian proses dilanjutkan dengan pemanasan reaktor. Panas yang terbentuk dari suhu tersebut menyebabkan polimer-polimer plastik di dalam reaktor melunak. Bersamaan dengan itu, polimer yang merupakan molekul besar, strukturnya terdekomposisi menjadi senyawa dengan berat molekul yang lebih rendah dan stabil (Harshal dan Syailendra, 2013; Syamsiro dkk., 2014). Gas yang terbentuk mengandung berbagai unsur dan senyawa yang kemudian dipisahkan melalui proses kondensasi sehingga dihasilkan minyak dan gas. Proses pirolisis disebut juga dengan proses perengkahan atau cracking.

2.6.1 Cracking

Cracking adalah proses penguraian atau pemecahan molekul senyawa hidrokarbon berukuran besar menjadi molekul senyawa hidrokarbon berukuran kecil. Tujuan cracking adalah meningkatkan kualitas fraksi. Ada tiga macam cracking yaitu hidro cracking, thermal cracking dan catalytic cracking.

1. Hidro Cracking

Hydrocracking adalah proses perengkahan dengan mereaksikan plastik dengan hidrogen di dalam wadah tertutup yang dilengkapi dengan pengaduk pada temperatur antara 423-673°K dan tekanan hidrogen 3-10 MPa. Dalam proses hydrocracking ini dibantu dengan katalis. Untuk membantu pencampuran dan reaksi biasanya digunakan bahan pelarut 1-methyl naphtalene, tetralin dan decalin.

2. Thermal Cracking

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.

3. Catalytic Cracking

Cracking cara ini menggunakan katalis untuk melakukan reaksi peretakan. Dengan adanya katalis, dapat mengurangi temperatur dan waktu reaksi. Proses katalitik dapat mempercepat reaksi, proses penguraian molekul besar menjadi molekul kecil dilakukan dengan suhu tinggi. Jenis katalis yang sering digunakan adalah silica, alumunia, dan zeolite (Sumber : Trisunaryanti, 2018).

2.6.2 Faktor yang Mempengaruhi Pirolisis

Pada proses pirolisis terdapat faktor-faktor atau kondisi yang mempengaruhi proses pirolisis menurut Udayani, 2018 adalah sebagai berikut :

Faktor yang mempengaruhi pirolisis, parameter utama yang mempengaruhi pirolisis adalah sebagai berikut :

a . Temperatur

Sesuai dengan persamaan Arrhenius yaitu $k = A \exp (-R/T)$, temperatur sangat mempengaruhi produk yang dihasilkan, semakin tinggi temperatur maka nilai konstanta dekomposisi termal makin besar akibatnya laju pirolisis bertambah dan konversi naik.

Temperature merupakan salah satu yang mempengaruhi faktor tumbukan suatu reaksi. Faktor tumbukan merupakan pertemuan partikel-partikel reaktan sebelum membentuk suatu reaksi . Pada proses ini ada yang menghasilkan reaksi dan ada juga yang tidak menghasilkan reaksi . Tumbukan yang terjadi dan bisa menghasilkan partikel-partikel hasil reaksi disebut sebagai tumbukan efektif. Efektifnya tumbukan ditentukan oleh faktor energi kinetik partikel (molekul) dan arah partikel.

$$k = Ae \left(- \frac{E}{RT} \right)$$

Tumbukan dengan reaksi molekul yang memiliki energi sama atau melebihi energi aktivasi menentukan laju reaksi kimia. Fraksi molekul yang teraktifkan biasanya sangat kecil, dan hal ini menyebabkan laju reaksi jauh lebih kecil daripada frekuensi tumbukannya itu sendiri.

Dalam hal ini pada temperatur yang tinggi lebih banyak jumlah partikel yang bertumbukan dibandingkan pada temperature rendah.. Penyebab dari hal ini karena pada temperatur tinggi energi kinetik partikel akan lebih besar dan sebagai akibatnya jumlah tumbukan semakin banyak sehingga laju reaksi akan meningkat.

Dalam teori tumbukan dan energi aktivasi , suatu reaksi kimia dapat berlangsung apabila terjadi interaksi atau tumbukan antara molekul-molekul reaktan, tetapi hanya tumbukan efektif yang akan menghasilkan zat hasil reaksi. Efektivitas suatu tumbukan ditentukan oleh posisi / arah tumbukan dari molekul dan energi kinetik yang dimilikinya. Teori tumbukan dan energi aktivasi sangat bermanfaat untuk menghasilkan faktor-faktor yang mempengaruhi laju reaksi. Dengan menaikkan harga energi kinetik molekul atau menurunkan harga energi aktivasinya, laju reaksi kimia dapat dipercepat.

Adanya variasi temperatur akan mempengaruhi nilai tetapan laju reaksi, karena nilai temperatur akan berbanding lurus dengan laju reaksi kimia. Dimana semakin tinggi nilai tetapan laju konstanta maka laju reaksi kimia akan semakin besar. Energi aktivasi akan berbanding terbalik dengan taju reaksi dan temperatur, karena energi aktivasi yang tinggi akan menyebabkan laju reaksi melambat, hal ini disebabkan oleh energi aktivasi dimana merupakan energi minimum yang diperlukan untuk bereaksi, sehingga membuat reaksi melambat. Berdasarkan inilah temperatur yang tinggi akan meningkatkan energi aktivasi menurun.

b . Waktu

Laju reaksi adalah laju berkurangnya konsentrasi pereaksi atau laju bertambahnya konsentrasi hasil reaksi tiap satuan waktu. Secara sederhana , laju reaksi diartikan sebagai perubahan konsentrasi pereaksi (reaktan) atau reaksi (produk) persatuan waktu. Laju sendiri memiliki kaitan dengan waktu. Apabila waktu yang dibutuhkan itu singkat , maka lajunya besar. Sebaliknya kalau waktu yang dibutuhkan itu lama, maka laju tersebut kecil. Artinya, laju berbanding terbalik dengan waktu. Oleh karena itu, tingkat atau order suatu reaksi kimia ditentukan dengan mengukur durasi waktu reaksinya dari beberapa sifat yang dapat dikaitkan dengan jumlah reaktan atau produk.

$$r = - \frac{dca}{dt}$$

Laju reaksi dihitung untuk setiap satuan interval waktu, laju reaksi menjadi bervariasi seiring dengan berjalannya waktu, dimana menurun dikarenakan

menurunnya konsentrasi ketika waktu reaksi berlangsung karena menunjukkan proses reaksi sudah selesai.

Sehingga waktu juga mempengaruhi produk yang dihasilkan, karena semakin lama waktu proses pirolisis yang berlangsung maka semakin banyak produk yang dihasilkan.

c. Tekanan

Tekanan operasi di dalam Reaktor pirolisis mempunyai peran yang sangat penting untuk mengontrol suhu yang akan dicapai atau dioperasikan di dalam reaktor, sehingga tekanan akan sangat mempengaruhi aju pemanasan di dalam reaktor (Mulyadi , 2018). Tekanan reaktor dapat meningkatkan proses pemecahan struktur kimia dan pengurangan kadar pengotor. Kenaikan tekanan reaktor akan meningkatkan proses pemecahan struktur kimia pada umpan dan meningkatkan konversi umpan sehingga membantu untuk menghasilkan produk dengan struktur yang lebih ringan (Garv.2019). Semakin tinggi tekanan udara burner akan menyebabkan terjadinya pencampuran udara yang cukup baik , sehingga pembakaran akan sempurna dan menghasilkan panas yang besar (Prabawa , 2019). Adanya panas yang besar ini kemudian ditransfer ke dalam reaktor pirolisis dengan cukup bagus sehingga bisa meningkatkan rendemen minyak hasil pirolisis

d . Ukuran partikel

Ukuran partikel akan mempengaruhi produk yang dihasilkan, dimana semakin besar ukuran partikel, luas permukaan per satuan berat semakin kecil, sehingga proses menjadi lambat. Semakin kecil ukuran partikel maka semakin besar produk yang akan dihasilkan hal ini dikarenakan ukuran partikel pada bahan yang lebih besar mengakibatkan resistensi perpindahan panas yang lebih besar, sehingga mempengaruhi laju reaksi dan mengakibatkan peningkatan suhu lalu mengakibatkan hasil cairan yang diperoleh semakin meningkat .

2.7 Bahan Bakar Cair

Bahan bakar cair adalah bahan yang tersusun dari bahan hidrokarbon yang berasal dari alam maupun secara buatan, pada umumnya berasal dari minyak bumi. Minyak bumi menghasilkan produk berwarna hitam sampai coklat, berbentuk cair dan mengandung gas yang larut di dalam minyak bumi (Anggoro, 2020). Bahan bakar strukturnya tidak rapat, jika dibandingkan dengan bahan bakar padat molekulnya dapat bergerak bebas. Gasoline, solar, kerosen adalah contoh bahan bakar cair. Bahan

bakar cair yang biasa dipakai pada industri, transportasi maupun rumah tangga adalah fraksi minyak bumi. Minyak bumi adalah campuran berbagai hidrokarbon yang termasuk dalam kelompok senyawa : parafin, naphtena, olefin, dan aromatik. Dengan kemudahan penggunaan, penanganan serta pengangkutan yang lebih mudah, menyebabkan penggunaan minyak bumi sebagai sumber utama penyedia energi semakin meningkat. Menurut Kementrian ESDM Nomor 028.Pers/04/SJI/2021 cadangan minyak Indonesia hanya tersisa untuk 9,5 tahun dan cadangan gas 19,9 tahun. Apabila terus dikonsumsi tanpa ditemukannya cadangan minyak baru, diperkirakan cadangan minyak ini akan habis dalam dua dekade mendatang.

Beberapa kelebihan bahan bakar cair dibandingkan dengan bahan bakar padat antara lain :

- Kebersihan dari hasil pembakaran
- Menggunakan alat bakar yang lebih kompak
- Penanganan lebih mudah

Adapun kekurangan bahan bakar cair adalah harus menggunakan proses pemurnian yang komplek.

2.7.1 Jenis-Jenis Bahan Bakar Cair

1. Bensin

Bensin adalah fraksi minyak bumi yang digunakan sebagai bahan bakar pada mesin dan kendaraan bermotor. Berbentuk cairan bening, agak kekuning-kuningan. Bensin juga dapat digunakan sebagai pelarut, terutama karena kemampuannya yang dapat melarutkan cat. Sebagian besar bensin tersusun dari hidrokarbon alifatik dan iso-oktana atau benzene untuk menaikkan nilai oktan. Bensin terdiri dari hidrokarbon rantai pendek antara C_4 sampai C_{10} .

Bahan bakar bensin memiliki jenis yang berbeda dan tentunya memiliki mutu atau perilaku (performance) yang berbeda. Mutu bensin dipergunakan dengan istilah bilangan oktan (Octane Number). Nama oktan berasal dari oktana (C_8), karena dari seluruh molekul penyusun bensin, oktana yang memiliki sifat kompresi paling bagus. Bilangan Oktan adalah angka yang menunjukkan seberapa besar tekanan yang bisa diberikan sebelum bensin terbakar secara spontan. Di dalam mesin, campuran udara dan bensin (dalam bentuk gas) ditekan oleh piston sampai dengan volume yang sangat kecil dan kemudian dibakar oleh percikan api yang dihasilkan busi. Karena besarnya tekanan ini, campuran udara dan bensin juga bisa terbakar secara spontan sebelum percikan api dari busi keluar. Jika campuran gas ini terbakar karena tekanan yang tinggi

(dan bukan karena percikan api dari busi), maka akan terjadi knocking atau ketukan di dalam mesin. Knocking ini akan menyebabkan mesin cepat rusak, sehingga sebisa mungkin harus dihindari.

2. Kerosin (Minyak Tanah)

Minyak tanah atau disebut juga dengan kerosin merupakan bahan bakar yang diperoleh dengan cara distilasi bertingkat pada suhu 150°C - 275°C. Minyak ini tidak berwarna (jernih). Memiliki rantai karbon dari C₁ sampai C₁₅. Selain digunakan sebagai bahan bakar lampu minyak dan kompor, namun sekarang penggunaan kerosin lebih diprioritaskan sebagai bahan bakar kendaraan bermesin jet atau roket.

3. Solar

Solar adalah bahan bakar jenis destilat berwarna kuning kecoklatan jernih. Solar diperoleh dalam kolom destilat pada temperatur 250-340°C. Didalam solar terkandung 75% hidrokarbon jenuh (terutama parafin termasuk n-parafin, isoparafin dan sikloparafin) dan 25% hidrokarbon aromatik (naftalenadan alkilbenzena). Solar memiliki rantai hidrokarbon antara C₁₆ sampai C₂₀. Solar banyak digunakan sebagai bahan bakar kendaraan yang menggunakan mesin diesel.

2.7.2 Karakteristik Bahan Bakar Cair

Karakteristik bahan bakar cair perlu diketahui untuk tujuan penggunaan bahan bakar sehingga proses pembakaran dapat optimal.

a. Densitas

Densitas adalah ukuran kerapatan suatu zat yang dinyatakan dengan banyaknya zat (massa) per satuan volume. Densitas suatu bahan tidak sama pada setiap bagiannya tergantung pada faktor lingkungan seperti suhu dan tekanan. Satuan densitas adalah kg/m³. Pengukuran densitas minyak dapat dilakukan dengan menggunakan piknometer ukuran 25 ml dan timbangan digital.

Nilai densitas dapat dihitung menggunakan rumus :

$$\rho = \frac{m}{v}$$

Dimana :

p = massa jenis cairan (gr/cm³)

m = massa cairan (gr)

v = volume cairan (cm³)

b. Viskositas (*Viscosity*)

Viskositas adalah angka yang menyatakan besarnya hambatan dari suatu bahan bakar cair untuk mengalir atau ukuran dari besarnya tahanan geser dari cairan. Semakin tinggi viskositasnya maka minyak semakin kental dan sulit mengalir. Nilai viskositas dapat dihitung dengan rumus :

$$\text{Viskositas Kinematik (v)} = \frac{\mu}{\rho_f}$$

$$\mu = K (\rho_b - \rho_f)$$

Dimana :

μ = viskositas dinamik (gr/cm.s)

k = konstanta bola (Mpa.s cm³/gr.s)

ρ_b = Densitas bola (gr/cm³)

ρ_f = Densitas fluida (gr/cm³)

t = waktu tempuh bola untuk mengalir (s)

Untuk mengukur viskositas digunakan alat viscometer. Terdapat beberapa macam viscometer yang biasa digunakan antara lain :

- Viscometer kapiler/ostwald
- Viscometer Hoppler
- Viscometer Cup and Bob
- Viscometer Cone and Plate

c. Nilai Kalori (*Calorific Value*)

Nilai kalori adalah angka yang menyatakan jumlah panas/kalori yang dihasilkan dari proses pembakaran sejumlah bahan bakar dengan udara/oksigen. Nilai kalor bahan bakar minyak berkisar antara 10.160 - 11.000 Kcal/Kg. Nilai kalori berbanding terbalik dengan berat jenis artinya semakin besar berat jenisnya semakin rendah nilai kalorinya. Nilai kalori dibutuhkan untuk perhitungan jumlah konsumsi bahan bakar minyak yang dibutuhkan mesin dalam suatu periode tertentu. Nilai kalori dinyatakan dalam satuan Kcal/Kg atau BTU/lb. Nilai kalor merupakan salah satu parameter utama dalam menentukan kualitas bahan bakar. Semakin tinggi nilai kalor, maka

panas yang dihasilkan oleh bahan bakar semakin tinggi pula, yang artinya semakin baik bahan bakar tersebut. Nilai kalor yang tinggi juga menyebabkan kecepatan pembakaran semakin lambat. Nilai kalor berbagai jenis bahan bakar dapat dilihat pada Tabel

Nilai kalor bahan bakar dapat dianalisa dengan menggunakan kalorimeter. Bahan bakar yang akan diuji nilai kalornya dibakar menggunakan kumparan kawat yang dialiri arus listrik dalam bilik yang disebut bom dan dibenamkan di dalam air. Bahan bakar yang bereaksi dengan oksigen akan menghasilkan kalor, hal ini menyebabkan suhu kalorimeter naik.

d. Titik Nyala (*Flash Point*)

Titik nyala adalah angka yang menyatakan suhu terendah dari bahan bakar minyak saat minyak terbakar bila permukaan minyak didekatkan dengan nyala api. Titik nyala dibutuhkan untuk keperluan keamanan dalam penanganan minyak terhadap bahaya kebakaran. Titik nyala dapat dianalisa menggunakan flash point tester.

Tabel 2.5 Titik Nyala Bahan Bakar

Bahan Bakar	Titik Nyala	Suhu Swasulut
Etanol (70%)	166°C (331°F)	363°C (685°F)
Bensin	-43°C (-45°F)	280°C (536°F)
Diesel (2-D)	>52°C (126°F)	256°C (493°F)
Bahan bakar jet (A/A-1)	>38°C (100°F)	210°C (410°F)
Kerosin	>38-72°C (100-162°F)	220°C (428°F)
Minyak sayur (canola)	327°C (621°F)	424°C (795°F)
Biodiesel	>130°C (266°F)	

(Sumber : Wikipedia, diakses pada 15 Juli 2022)

e. % Yield

% yield adalah perbandingan antara massa produk yang dihasilkan dengan massa awal bahan baku. Yield dapat dihitung dengan menggunakan rumus : Wahyudi, dkk (2016)

$$\% \text{ Yield} = \frac{M_p}{M_b} \times 100\%$$

Keterangan :

Mp = massa produk (gr)

Mb = massa bahan baku (gr)

f. *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GCMS)

GCMS merupakan metode yang mengkombinasikan kromatografi gas dan spektrometri massa untuk mengidentifikasi senyawa yang berbeda dalam analisis sampel. Dengan menggabungkan teknik tersebut diharapkan dapat meningkatkan kemampuan dalam menganalisis sampel dengan mengambil kelebihan masing-masing teknik dan meminimalisir kekurangannya. GCMS terdiri dari dua blok bangunan utama : kromatografi gas dan spektrometer massa. Kromatografi gas menggunakan kolom kapiler yang tergantung pada dimensi kolom itu (panjang, diameter, ketebalan film) serta sifat fase. Perbedaan sifat kimia antara molekul-molekul yang berbeda dalam suatu campuran dipisahkan dari molekul dengan melewati sampel sepanjang kolom. Molekul-molekul memerlukan jumlah waktu yang berbeda (disebut waktu retensi) untuk keluar dari kromatografi gas, dan ini memungkinkan spektrometer massa untuk menangkap, ionisasi, mempercepat, membelokkan, dan mendeteksi molekul terionisasi secara terpisah. Spektrometer massa melakukan hal ini dengan memecah masing-masing molekul menjadi terionisasi mendeteksi fragmen menggunakan massa untuk mengisi rasio.

Tabel 2.6. Standar dan Mutu (Spesifikasi) Bensin (Gasoline) RON 98

No	Parameter	Satuan	Batasan		Metode Uji	
			Min.	Maks.	ASTM	Lain
1.	Bilangan Oktana Angka Oktana Riset (RON)	RON	98,0	-	D 2699	
2.	Stabilitas Oksidasi	menit	480	-	D 525	
3.	Kandungan Sulfur	% m/m	-	0,005 1)	D 2622 Atau D 4294 Atau D5453	
4.	Sulfur Merkaptan	% m/m		0,002 2)	D 3237	
5.	Kandungan	g/l	- Injeksi timbal		D 3237 atau	

	Timbal (Pb)		tidakdijinkan - Dilaporkan		D 5059	
6.	Kandungan Posfor	mg/l	Tidak Terdeteksi		D 3231	
7.	Kandungan Logam - Mangan - Besi	mg/l	Tidak Terdeteksi ³⁾		D 3831 atau D 5185	UOP 391
8.	Kandungan Silikon	mg/l	Tidak Terdeteksi			ICP-AES (merujuk pada in-house dengan Batasan deteksi 1 mg/kg)
9.	Kandungan Oksigen	% m/m	-	2,7 ⁴⁾	D 4815 atau D 683 atau D 5599 atau D6730	
10.	Kandungan Olefin	% v/v	-	⁵⁾	D 1319 atau D 6839 atau D 6730	
11.	Kandungan Aromatik	% v/v	-	40,0 ⁶⁾	D 1319 atau D 6839 atau D 6730 atau D 5580	
12.	Kandungan Benzena	% v/v	-	5,0	D 1319 atau D 6839 atau D 6730 atau D 5580	
13.	Distilasi :					
	- 10% vol, penguapan	°C	-	70		
	- 50% vol, penguapan	°C	75	125		
	- 90% vol, penguapan	°C	130	180	D86	
	- Titik didih akhir - Residu	°C	-	215		
		% vol	-	2,0		
14.	Sedimen	mg/l	-	1	D 5452	
15.	<i>Unwashed gum</i>	mg/100 ml	-	70	D 381	
16.	<i>Washed gum</i>	mg/100 ml	-	5	D 381	
17.	Tekanan Uap	kPa	45	69	D 5191 atau D 323	
18.	Berat Jenis (pada suhu 15°C)	kg/m ³	715	770	D 4052 atau 1298	
19.	Korosi bilah tembaga	merit	Kelas I		D 130	
20.	Penampilan visual		Jernih dan terang			Visual

(Sumber : Keputusan Direktur Jendral Minyak dan Gas Bumi, 2018)

Tabel 2.7 Standar dan Mutu (Spesifikasi) Minyak Tanah

No	Karakteristik	Satuan	Batasan		Metode Uji	
			Min.	Maks.	ASTM	lainnya
1.	Berat Jenis (pada suhu 15°C)	kg/m ³	-	835	D 1298/ D 4052	-
2.	Titik Asap	mm	15	-	D 1322	-
3.	Nilai Jelaga (Char Value)	% m/m	-	0,004 ¹⁾	-	IP 10
4.	Distilasi :				D 86	
4.1	Perolehan Volume pada 200°C	% vol	18	-	-	-
4.2	Titik Akhir	°C	-	310	-	-

5.	Titik Nyala Abel	°C	38,0	-	-	IP 170
6.	Kandungan Sulfur	% m/m	-	0,20 ²⁾	D 1266/ D 2622/ D 4294/ D 5453	-
7.	Korosi Tembaga	Bilah merit	Kelas 1		D 130	-
8.	Bau dan Warna	-	Dapat dipasarkan	-	-	-

(Sumber : Keputusan Direktur Jendral Minyak dan Gas Bumi, 2020)

Tabel 2.8 Standar dan Mutu (Spesifikasi) Solar

No	Karakteristik	Satuan	Batasan		Metode Uji	
			Min.	Maks.	ASTM	lainnya
1.	Bilangan Setana					
	Angka Setana, atau		48	-	D613	-
	Indeks Setana		45	-	D4737	
2.	Berat Jenis (pada suhu 15°C)	kg/m ³	815	870	D4052/ D1298	-
3.	Viskositas (pada suhu 40°C)	mm ² /s	2,0	4,5	D445	-
4.	Kandungan Sulfur	% m/m	-	0,25 0,05 ¹⁾ 0,005 ²⁾	D4294/ D5453/ D2622	-
5.	Distilasi : 90% vol. Penguapan	°C	-	370	D86	-
6.	Titik Nyala	°C	52	-	D93	-
7.	Titik Kabut, atau	°C	-	18	D2500/ D5773	-
	Titik Tuang	°C	-	18	D97/ D5949	-
8.	Residu Karbon	% m/m	-	0,1	D189/	-

					D4530	
9.	Kandungan Air	mg/kg	-	400	D6304/ D1744	-
10.	Korosi Bilah Tembaga	Kelas	-	Kelas I	D130	-
11.	Kandungan Abu	% m/m	-	0,01	D482	ISO 6245
12.	Kandungan Sedimen	% m/m	-	0,01	D473	-
13.	Bilangan Asam Kuat	mg KOH / g		0	D664	-
14.	Bilangan Asam Total	mg KOH / g	-	0,6	D664	-
15.	Penampilan Visual	-	Jernih dan Terang			Visual
16.	Warna	No. ASTM	-	3	D1500	-
17.	Lubrisitas (HFRR wear scardia. @60°C)	micron	-	460 ³⁾	D6079	-

(Keputusan Direktora Jendral Minyak dan Gas Bumi No: 28.K/10/DJM.T/2016)