

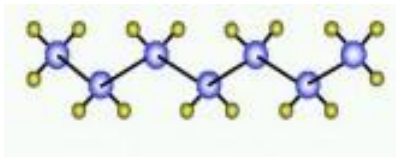
BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Plastik

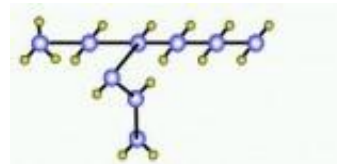
Plastik diperoleh melalui proses sintesis dari berbagai bahan mentah berupa minyak bumi, gas bumi, dan batu bara dengan penyusun utama adalah karbon dan hidrogen (Pani S., dkk. 2017). Dimana plastik merupakan salah satu jenis makromolekul yang dibentuk dengan proses polimerisasi. Polimerisasi adalah proses penggabungan beberapa molekul sederhana (monomer) melalui proses kimia menjadi molekul besar (makromolekul atau polimer). Untuk membuat plastik, salah satu bahan 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 (Kumar *et al.* 2011). Plastik dapat dikelompokkan menjadi dua macam yaitu *thermoplastic* dan *thermosetting*.

2.1.1 Polimer Termoplastik

Polimer termoplastik adalah polimer yang mempunyai sifat tidak tahan terhadap panas. Jika polimer jenis ini dipanaskan, maka akan menjadi lunak dan didinginkan akan mengeras. Proses tersebut dapat terjadi berulang kali, sehingga dapat dibentuk ulang dalam berbagai bentuk melalui cetakan yang berbeda untuk mendapatkan produk polimer yang baru (UNEP, 2009). Jenis plastik ini tidak memiliki ikatan silang antar rantai polimernya, melainkan dengan struktur molekul linear atau bercabang. Bentuk struktur termoplastik sebagai berikut. (Sari, N. H., dan Suteja, S. T. 2021)



Gambar 2.1 Struktur Termoplastik-1



Gambar 2. 2 Struktur Termoplastik-2

Menurut Zulnazri (2012) Polimer termoplastik memiliki sifat – sifat khusus sebagai berikut :

- a. Berat molekul kecil
- b. Tidak tahan terhadap panas.
- c. Jika dipanaskan akan melunak
- d. Jika didinginkan akan mengeras.
- e. Mudah untuk diregangkan
- f. Fleksibel.
- g. Titik leleh rendah.
- h. Dapat dibentuk ulang (daur ulang).
- i. Mudah larut dalam pelarut yang sesuai.
- j. Memiliki struktur molekul linear/bercabang

Contoh termoplastik sebagai berikut :

- a. Polietilena (PE) = Botol plastik, mainan, bahan cetakan, ember, drum, pipa saluran, isolasi kawat dan kabel, kantong plastik dan jas hujan.
- b. Polivinilklorida (PVC) = Pipa air, pipa plastik, pipa kabel listrik, kulit sintetis, ubin plastik, piringan hitam, bungkus makanan, sol sepatu, sarung tangan dan botol detergen.
- c. Polipropena (PP) = Karung, tali, botol minuman, serat, bak air, insulator, kursi plastik, alat-alat rumah sakit, komponen mesin cuci, pembungkus tekstil, dan permadani.
- d. Polistirena (PS) = Insulator, sol sepatu, gantungan baju.

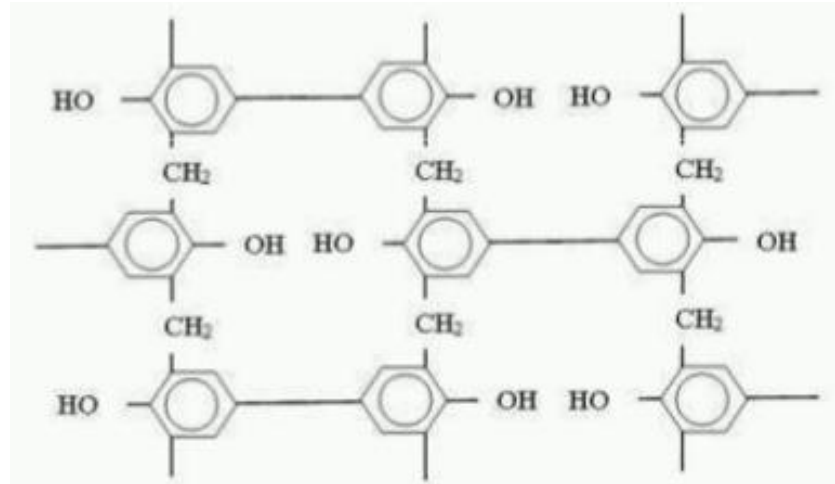
2.1.2 Polimer *Termosetting*

Polimer termosetting adalah polimer yang mempunyai sifat tahan terhadap panas. Jika telah dibuat dalam bentuk padat, tidak dapat dicairkan kembali dengan cara dipanaskan (UNEP, 2009). Susunan polimer ini bersifat permanen pada bentuk cetak pertama kali (pada saat pembuatan). Bila polimer ini rusak/pecah, maka tidak dapat disambung atau diperbaiki lagi.

Polimer termoseting memiliki ikatan – ikatan silang yang 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.

Bentuk struktur ikatan silang sebagai berikut.



Gambar 2.3. Struktur *Thermo Setting*

(Sumber: Sari, N. H., dan Suteja, S. T. 2021)

Menurut Sari dan Suteja (2021) sifat polimer termoseting sebagai berikut :

- Keras dan kaku (tidak fleksibel)
- Jika dipanaskan akan mengeras
- Tidak dapat dibentuk ulang (sukar didaur ulang).
- Tidak dapat larut dalam pelarut apapun
- Jika dipanaskan akan meleleh.
- Tahan terhadap asam basa
- Mempunyai ikatan silang antarrantai molekul.

Dari klasifikasi polimer yang telah dijabarkan sebelumnya, dapat dilihat beberapa perbedaan dari polimer termoplastik dan polimer termoseting pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Perbedaan Termoplastik dan *Termosetting*

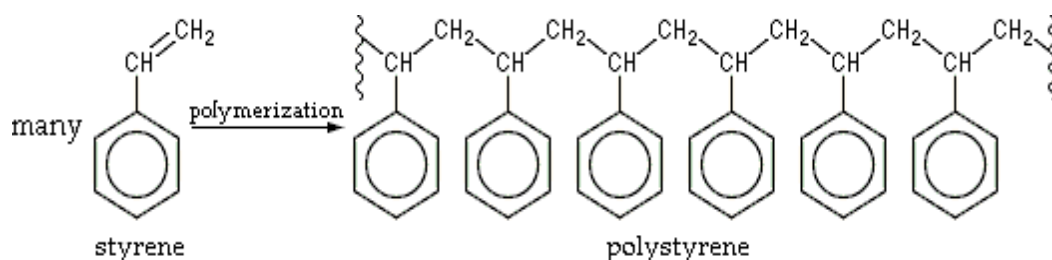
Polimer Termoplastik	Polimer <i>Termosetting</i>
Mudah diregangkan	Keras dan Rigid
Fleksibel	Tidak fleksibel
Titik leleh rendah	Tidak meleleh jika dipanaskan
Dapat dibentuk ulang	Tidak dapat dibentuk ulang

(Sumber: Kumar et al, 2011).

2.2 Polystyrene

Polystyrene atau *Styrofoam* merupakan suatu jenis plastik yang dibuat dari monomer *styrene* melalui proses polimerisasi. Rumus molekulnya adalah $(-\text{CHC}_6\text{H}_5-\text{CH}_2-)_n$. *Polystyrene* dapat larut dalam alkohol rantai panjang, katin, ester hidrokarbon yang mengikat klorin. *Polystyrene* yang dicampur dengan seng dan senyawa butadiena menyebabkan *polystyrene* kehilangan sifat jernihnya dan berubah warna menjadi putih susu (Hariady. dkk. 2014). *Polystyrene* memiliki nilai konduktivitas termal dan daya penyerapan air yang rendah yaitu 0,035-0,037 W/(m·K) pada 10 °C (Omnexus. 2020). Gambar 2.1 menunjukkan karakteristik dari *polystyrene*. *Styrofoam* memiliki karakteristik-karakteristik umum sebagai berikut:

1. Sifat mekanis *styrofoam* kaku, keras, mempunyai bunyi seperti metalik bila dijatuhkan
2. Ketahanan terhadap bahan kimia tidak sebaik *polypropylene*. *Polystyrene* mempunyai daya serap air yang rendah dibawah 0,25%.
3. Mempunyai daya kekuatan permukaan relatif lebih keras dari jenis termoplastik yang lain namun mudah tergores.
4. Mempunyai derajat transparansi yang tinggi dan dapat memberikan kilauan yang baik dan tidak dimiliki oleh jenis plastik lain.
5. Mempunyai *softening point* yang rendah (90°C), sehingga tidak digunakan untuk pemakaian pada suhu tinggi.



Gambar 2.4 Rantai *Polystyrene*

(Kirk – Othmer. 2010)

2.3 Pirolisis

Proses pirolisis dapat disebut dengan proses perengkahan atau *cracking* tanpa atau sedikit oksigen. *Cracking* adalah proses pemecahan rantai polimer menjadi senyawa dengan berat molekul yang lebih rendah. Hasil dari proses *cracking plastic* ini dapat digunakan sebagai bahan kimia atau bahan bakar. Temperatur pirolisis berlangsung pada suhu 200-500°C. Pirolisis tidak bisa lepas dari alat separator yang digunakan sebagai media pemisah fluida produksi kedalam fasa cairan dan fasa gas, dimana fluida berat akan berada dibagian bawah dan fluida lebih ringan akan berada pada bagian atas. Berbeda halnya dengan destilasi yaitu metode pemisahan bahan kimia yang berdasarkan perbedaan kecepatan atau titik didihnya.

Faktor yang mempengaruhi pirolisis :

1. Kadar Air

Kadar air yang terkandung dalam bahan baku pirolisis akan mempengaruhi jalannya proses, karena kadar air ini akan menggunakan energi untuk menghilangkan kandungannya. Energi dari luar yang seharusnya digunakan untuk proses pirolisis digunakan sebagian untuk proses pengeringan kadar air bahan. Akibatnya bahan dengan kandungan air yang tinggi membutuhkan energi yang tinggi untuk proses pirolisis dan begitu pula sebaliknya (Chaurisia & Babu, 2005).

2. Ukuran Partikel

Apabila ukuran partikel meningkat maka hasil dari padatan akan meningkat pula sedangkan hasil dari *volatile* dan gas akan menurun. Konsentrasi dari *volatile* dan gas meningkat sampai dengan nilai tertentu dan kemudian menurun sesuai dengan kenaikan ukuran partikel. Hal ini akan menyebabkan proses penguapan bahan baku menjadi lebih lama (Putra, 2017).

3. Laju Pemanasan

Menurut Besler & William (1996), ketika laju pemanasan dinaikkan maka padatan pada proses pirolisis akan menurun. Produk gas yang dihasilkan pada temperatur antara 200°C dan 400°C adalah CO dan CO₂. Ketika laju pemanasan meningkat maka gas CO, CO₂, CH₄, CH₃ akan meningkat. Hal tersebut menunjukkan bahwa laju pemanasan yang tinggi akan melepaskan gas

hidrokarbon, begitupula dengan minyak akan meningkat seiring dengan kenaikan laju pemanasan.

4. Temperatur

Temperature merupakan faktor yang penting dalam menghasilkan produk pada proses pirolisis, karena menentukan kecepatan dekomposisi termal dan stabilitas raw material dan produk reaks. Hasil minyak akan meningkat sampai batas tertentu kemudian menurun, sedangkan padatan cenderung rendah. Semakin tinggi temperatur nilai kalor untuk hasil gas akan meningkat, namun untuk hasil padatan cenderung konstan (Encinar, J. M.. et al, 2009). Berdasarkan penelitian Maryudi, dkk (2018), temperatur yang digunakan untuk proses pirolisis polistiren yaitu 360-460°C dengan hasil %yield cairan tertinggi pada temperatur 460°C

5. Bahan

Aydinli & Cagyar (2010), telah meneliti tentang kulit kemiri dengan plastik, hasil yang diperoleh yaitu dengan peningkatan jumlah plastik didapatkan hasil minyak yang lebih banyak, padatan lebih sedikit, dan hasil gas yang cenderung sama.

6. Komposisi Bahan Uji

Pada setiap penambahan material plastik didalam proses pirolisis menghasilkan suatu peningkatan kandungan hydrogen didalam minyak dibandingkan pada proses pirolisis tanpa bahan plastic. Hal ini menunjukkan bahwa komposisi yang berbeda dari bahan yang diperlukan untuk proses pirolisis menghasilkan kandungan minyak yang berbeda

7. Waktu Tinggal Padatan

Waktu tinggal padatan mempengaruhi jumlah hasil dari pirolisis karena semakin lama bahan didalam reaktor maka padatan akan semakin terkomposisi menjadi minyak dan gas (Encinar, J. M.. et al, 2009).

2.3.1 *Thermal Catalytic Cracking*

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

bisa terkondensasi. Sedangkan, *catalytic cracking* atau perengkahan katalitik adalah reaksi perengkahan menggunakan katalis (katalis heterogen) sebagai material yang mampu mempercepat laju reaksi untuk mencapai kesetimbangan dan menghasilkan produk akhir reaksi melalui mekanisme pembentukan ion karbonium (Sihombing, J.L., dkk. 2017). Menurut Corma dan Orchilles (2000) *catalytic cracking* memiliki tiga tahap mekanisme pemutusan rantai, yakni inisiasi, propagasi dan terminasi. Inisiasi merupakan tahap awal reaksi, dimana langkah pertama terciptanya radikal bebas melalui serangan situs aktif pada molekul reaktan. Tahap propagasi diwakili oleh transfer ion hidrida dari molekul reaktan ke ion karbonium yang teradsorpsi. Kemudian, tahap terminasi terjadinya proses desorpsi ion karbonium yang teradsorpsi untuk memulihkan situs aktif awal atau non-radikal.

Dikutip dari Yolanda (2018) terdapat beberapa tahapan yang terjadi pada proses mekanisme reaksi katalitik:

1. Difusi eksternal, yaitu reaktan berdifusi ke permukaan katalis.
2. Difusi internal, yaitu reaktan berdifusi ke dalam rongga-rongga katalis menuju permukaan aktif katalis.
3. Adsorpsi, yaitu proses dimana reaktan terserap secara kimia ke permukaan aktif katalis.
4. Terjadinya reaksi pada sisi katalis sehingga reaktan terkonversi menjadi produk.
5. Desorpsi, yaitu proses dimana produk terlepas dari permukaan katalis.

Produk dari hasil pirolisis ini dapat diklasifikasikan menjadi produk gas dan produk cair. Produk cair berdasarkan fraksinya dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Produk Cair Berdasarkan Fraksi Refineri

<i>Product</i>	<i>Lower Carbon Number</i>	<i>Upper Carbon Number</i>
<i>Liquefied Petroleum Gas</i>	C3	C4
<i>Gasoline</i>	C4	C12
<i>Naphtha</i>	C5	C17
<i>Kerosene</i>	C8	C18
<i>Low-boiling gas oil</i>	C12	>C20
<i>High-boiling gas oil</i>	>C20	
<i>Residuum</i>	>C20	

(Sumber : Speight J.G, 2020)

2.4 Bahan Bakar Bensin

Bensin adalah cairan mudah terbakar yang berasal dari minyak bumi yang digunakan terutama sebagai bahan bakar mesin kendaraan bermotor. Menurut Speight, J.G (2011) *gasoline* atau bensin merupakan campuran hidrokarbon yang mendidih dibawah 180°C yang memiliki struktur molekul C₄-C₁₂ meliputi parafin, olefin, dan aromatik. Distribusi penyusun hidrokarbon C₄-C₁₂ meliputi 4–8% (v/v) alkana, 2–5% (v/v) alkena, 25–40% (v/v) iso-alkana, 3–7% (v/v) sikloalkana, 1–4% (v/v) sikloalkena, dan 20–50% (v/v) aromatik. Karakter utama dari gasoline meliputi:

1. Bebas dari air, gum, dan sulfur korosif
2. *Vapor lock*
3. Kecepatan dan percepatan pemanasan
4. Kualitas anti ketuk
5. Kemudahan melarut
6. Warna
7. *Specific gravity*
8. IBP
9. EP
10. Sulfur non korosif

Gasoline merupakan campuran hidrokarbon yang biasanya mendidih dengan suhu dibawah 180°C (355°F) atau paling banyak biasanya mencapai suhu 200°C (390°F). Hidrokarbon penyusun *gasoline* dalam rentang titik didih ini dimana memiliki jumlah atom karbon empat hingga 12 distruktur molekularnya terdiri dari tiga jenis umum, yakni paraffin (termasuk sikloparafin), olefin dan aromatik.

Spesifikasi bahan bakar bensin 88 dan 92 yang dipasarkan di dalam negeri berdasarkan surat keputusan Direktur Jendral Minyak dan Gas Bumi Nomor 933.K/10/DJM.S/2013 dan Nomor 3674.K/10/DJM.S/2006 dapat dilihat pada Tabel 2.4 dan 2.4

Tabel 2.3 Spesifikasi Bensin 88

No	Karakteristik	Satuan	Batasan		Metode	
			Min.	Maks.	ASTM	Lain
1.	Bilangan Oktana Angka Oktana Riset (RON)	RON	88,0	-	D 2699	
2.	Stabilitas Oksidasi	menit	360	-	D 525	
3.	Kandungan Sulfur	% m/m	-	0,05	D 2622 atau D 4294 atau D 7039	
4.	Kandungan Timbal (Pb)	g/l		0,013	D 3237	
			Injeksi timbal tidak diizinkan			
5.	Kandungan Logam (Mangan, Besi)	Mg/l	Tidak terlacak		D 3831 atau D 5185	UOP 391
6.	Kandungan Oksigen	% m/m	-	2,7	D 4815 atau D 6839 atau D 6730	
7.	Kandungan Olefin	% v/v	Dilaporkan		D 1319 atau D 6839 atau D 6730	
8.	Kandungan Aromatik	% v/v			D 1319 atau D 6839 atau D 6730	
9.	Kandungan Benzena	% v/v			D 1319 atau D 6839 atau D 6730 atau D 3606	
10.	Distilasi :	°C	-	74	D 86	
	10% vol. penguapan		75	125		
	50% vol. penguapan		-	180		
	90% vol. penguapan		-	215		
	Titik didih akhir Residu	% vol	-	2,0		
11.	Sendimen	Mg/l	-	1	D 5452	
12.	<i>Unwashed gum</i>	Mg/100 ml	-	70	D 381	
13.	<i>Washed gum</i>	Mg/100 ml	-	5	D 381	
14.	Tekanan Uap	kPa	45	69	D 5191 atau D 1298	
15.	Berat jenis <i>at</i> 15°C	Kg/m ³	715	770	D 130	
16.	Korosi bilah tembaga	Merit	Kelas 1		D 3227	
17.	Sulfur Mercaptan	% massa	-	0,002		
18.	Penampilan visual		Jernih dan Terang			
19.	Bau		Dapat dipasarkan			
20.	Warna		Kuning			
21.	Kandungan Pewarna	g/100 l	-	0,13		

Tabel 2.4 Spesifikasi Bensin 92

No	Karakteristik	Satuan	Batasan		Metode
			Min.	Maks.	ASTM
1.	Bilangan Oktana Angka Oktana Riset (RON)	RON	92,0	-	D 2699
2.	Stabilitas Oksidasi	menit	480	-	D 525
3.	Kandungan Sulfur	% m/m	-	0,05	D 2622 atau D 4294 atau D 7039
4.	Kandungan Timbal (Pb)	g/l		0,013	D 3237
			Injeksi timbal tidak diizinkan		
5.	Kandungan Fosfor	Mg/l	-	-	D 3231
6.	Kandungan Logam (Mangan, Besi)	Mg/l	-	-	D 3831
7.	Kandungan Silikon	Mg/l	-	-	ICP-AES
8.	Kandungan Oksigen	% m/m	-	2,7	D 4815 atau D 6839 atau D 6730
9.	Kandungan Olefin	% v/v	-	*	D 1319
10.	Kandungan Aromatik	% v/v	-	50,0	D 1319
11.	Kandungan Benzena	% v/v	-	5,0	D 4420
12.	Distilasi :	°C	-	70	D 86
	10% vol. penguapan		77	110	
	50% vol. penguapan		130	180	
	90% vol. penguapan		-	215	
	Titik didih akhir	-	2,0		
Residu	% vol	-	2,0		
13.	Sendimen	Mg/l	-	1	D 5452
14.	<i>Unwashed gum</i>	Mg/100ml	-	70	D 381
15.	<i>Washed gum</i>	Mg/100ml	-	5	D 381
16.	Tekanan Uap	kPa	45	60	D 5191 atau D 323
17.	Berat jenis at 15°C	Kg/m ³	715	770	D 5191 atau D1298
18.	Korosi bilah tembaga	Merit	Kelas 1		D 130
19.	Uji Doctor		Negatif		IP 30
20.	Sulfur Mercaptan	% massa	-	0,002	D 3227
21.	Penampilan visual		Jernih dan Terang		
22.	Warna		Biru		
23.	Kandungan Pewarna	g/100 l	-	0,13	

Sifat-sifat penting dari motor *gasoline* antara lain:

1. Sifat Pembakaran

Sifat pembakaran ini diukur menggunakan parameter angka oktan. Angka oktan merupakan ukuran kecenderungan *gasoline* untuk melakukan pembakaran tidak normal yang timbul sebagai ketukan mesin. Semakin tinggi angka oktan suatu bahan bakar, maka semakin berkurang kecenderungannya untuk mengalami ketukan dan semakin tinggi

kemampuannya untuk digunakan pada rasio kompresi tinggi tanpa mengalami ketukan.

2. Sifat Penguapan

Sifat volatilitas yang biasa digunakan dalam spesifikasi motor *gasoline* yaitu kurva distilasi, tekanan uap, dan perbandingan vapor/liquid.

3. Sifat Pengkaratan

Senyawa belerang dalam minyak bumi ada yang bersifat korosif dan semuanya dapat terbakar di dalam mesin dan menghasilkan belerang oksida yang korosif dan dapat merusak bagian-bagian mesin. Belerang bersifat racun dan dapat menimbulkan kerusakan pada lingkungan, karena itu kandungan belerang dalam mogas dibatasi dalam suatu spesifikasi.

4. Sifat Stabilitas dan Kebersihan

Parameter spesifikasi yang berkaitan dengan sifat *gasoline* yang bersih, aman, dan tidak merusak dalam penyimpanan dan pemakaian adalah zat gum, korosi, dan berbagai uji tentang kandungan senyawa belerang yang bersifat korosif.

2.5 Katalis *Fluid Catalytic Cracking* (FCC)

Katalis *Fluid Catalytic Cracking* (FCC) merupakan katalis yang terbentuk dari kristal zeolit dan *non-zeolite acid matrix* yang dikenal sebagai silica alumina dengan pengikat, memiliki keunggulan aktivitas dan selektivitas yang tinggi terhadap pemecahan rantai hidrokarbon, serta dapat menghemat biaya (Vogt & Weckhuysen, 2015). Katalis FCC biasa digunakan dalam salah satu unit proses perengkahan yang digunakan dalam pengolahan minyak bumi modern, karena kemampuannya untuk mengkonversi minyak mentah menjadi fraksi-fraksi hidrokarbon ringan berkualitas baik (Sarosa A.J., dkk, 2015).

Zeolit, yang memiliki distribusi ukuran pori yang terekayasa dengan teliti, berfungsi sebagai fasa aktif yang melaksanakan perengkahan molekul-molekul hidrokarbon dalam alur umpan. Matriks dalam katalis FCC didefinisikan sebagai komponen-komponen non-zeolit, yang dapat berperan aktif dalam perengkahan maupun tidak. Bahan pengisi umumnya berupa kaolin, dan berfungsi membatasi aktivitas serta memberikan integritas fisik katalis. Bahan pengikat berfungsi

merekatkan semua komponen katalis tersebut menjadi agregat yang memiliki kekuatan mekanik memadai (Samadhi & Nugraha, 2012). Katalis ini bersifat asam, sehingga menimbulkan situs asam Lewis atau *Lewis Acid Sites* (LAS) selain BAS, dengan demikian aktif untuk aromatisasi (Vollmer, dkk. 2021)

Katalis FCC yang telah digunakan kemudian diregenerasi kembali disebut dengan *spent* FCC, biasanya diperoleh dari proses FCC komersial di kilang minyak bumi. *Spent* FCC ini dapat digunakan dengan baik pada proses pirolisis. Dimana, kinerja katalitik yang tinggi dapat memperoleh nilai yield yang baik dari pirolisis plastik.

Katalis FCC modern berbentuk serbuk halus dengan kerapatan curah 0,80 hingga 0,96 g/cm³ dan memiliki distribusi ukuran partikel mulai dari 10 hingga 150 µm dan ukuran partikel rata-rata 60 hingga 100 µm. Menurut Kogel J.E (2006), sifat dari katalis FCC adalah sebagai berikut :

- a. Stabilitas yang baik terhadap suhu tinggi dan uap
- b. Aktivitas tinggi
- c. Ukuran pori besar
- d. Ketahanan yang baik terhadap gesekan
- e. Produksi kokas rendah