

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Plastik

Plastik merupakan jenis polimer yang berdampingan dengan kehidupan manusia. Plastik terbuat dari *crude oil* yang kemudian diolah melalui serangkaian tahapan. Produk dari plastik sering ditemui hampir di setiap barang, seperti peralatan rumah tangga, peralatan elektronik, pakaian, transportasi, dan masih banyak lagi. Selain itu, plastik juga dapat ditemukan dalam bidang medis. Plastik banyak digunakan karena harganya yang relatif murah, mudah untuk didapatkan, penggunaannya yang fleksibel. Akan tetapi, karena harganya yang murah, penggunaan plastik tidak sesuai dengan persyaratan. Plastik dapat menyebabkan gangguan kesehatan, karena dapat memicu kanker dan bersifat karsinogenik. Selain itu, plastik sulit untuk diuraikan oleh mikroorganisme (Karuniastuti, 2013).

Plastik terdiri dari berbagai macam dan jenis. Plastik yang sering kita jumpai dalam kehidupan sehari-hari memiliki semacam kode untuk kita dapat mengetahui jenis plastik apa yang sedang digunakan. Berikut adalah kode yang biasa ditemui.



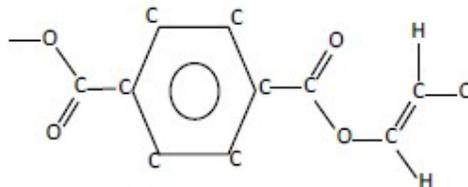
**Gambar 2.1** Kode-Kode Dalam Bahan Plastik

(Sumber: <https://dlh.slemankab.go.id>)

##### 2.1.1 PETE (*Polyethylene Terephthalate*)

*Polyethylene terephthalate* (disingkat PET, PETE atau dulu PETP, PET-P) adalah suatu resin polimer plastik termoplast dari kelompok poliester. PETE banyak diproduksi dalam industri kimia dan digunakan dalam serat sintetis, botol minuman, wadah makanan, aplikasi *thermoforming*, dan dikombinasikan dengan serat kaca dalam resin teknik. PETE dapat berwujud padatan amorf (transparan) atau sebagai bahan semi-kristal yang putih dan tidak transparan, tergantung kepada proses dan riwayat termalnya. Monomernya dapat diproduksi melalui esterifikasi asam

tereftalat dengan etilen glikol, dengan air sebagai produk sampingnya. Monomer PETE juga dapat dihasilkan melalui reaksi transesterifikasi etilen glikol dengan dimetil tereftalat dengan metanol sebagai hasil samping. Polimer PETE dihasilkan melalui reaksi polimerisasi kondensasi dari monomernya. Reaksi ini terjadi sesaat setelah esterifikasi/transesterifikasinya dengan etilen glikol sebagai produk samping (dan etilen glikol ini biasanya didaur ulang). Kebanyakan (sekitar 60%) dari produksi PETE dunia digunakan dalam serat sintetis, dan produksi botol mencapai 30% dari permintaan dunia. PETE banyak digunakan pada botol kemasan air mineral, botol minyak goreng, jus, botol sambal, botol obat, dan botol kosmetik (Wang, dkk, 2020).



**Gambar 2.2** Struktur Molekul PETE  
(Sumber: <https://roboguru.ruangguru.com>)

### 2.1.2 HDPE (*High Density Polyethylene*)

*High density polyethylene* (HDPE) merupakan jenis termoplastik murah dan menyumbang sekitar 15% dari konsumsi plastik global setelah polipropilen (PP), LDPE, dan PVC. HDPE memiliki kepadatan atau densitas tinggi karena percabangannya yang rendah, sehingga memberikan kekuatan tarikan yang lebih kuat daripada LDPE (Wang, dkk, 2020). HDPE dapat di daur ulang dan dapat ditemukan pada botol plastik, kotak penyimpanan, pipa insulasi kabel, serta banyak kegunaan lainnya (Kunwar, dkk, 2016).

### 2.1.3 PVC (*Polyvinyl Chloride*)

Polivinil klorida (IUPAC: Poly(*chloroethanediol*), biasa disingkat PVC, adalah polimer termoplastik ketiga yang paling banyak digunakan di dunia setelah polietilen dan polipropilena. PVC dibuat dengan mempolimerisasi monomer vinil klorida (CH<sub>2</sub>=CHCl). PVC adalah polimer yang paling sedikit mengonsumsi

minyak bumi di antara polimer lainnya, karena 57% massanya adalah klorin. Rumus kimia untuk PVC adalah  $(C_2H_3Cl)_n$ , yang merupakan rumus struktur polimer ini. Kemasan PVC dapat berupa kemasan kaku atau kemasan cetakan (Renilaili, 2019).

#### **2.1.4 LDPE (*Low Density Polyethylene*)**

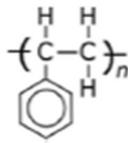
LDPE (*Low Density Polyethylene*) adalah polimer jenis polietilen (PE) yang memiliki densitas rendah. Massa jenis LDPE berkisar 0,91-0,94 g/mL. Plastik LDPE memiliki ciri kekuatan daya tarik rendah, tahan air yang baik, lebih sedikit kekerasan, serta merupakan jenis plastik yang biasa dipakai. Aplikasi LDPE menurut *American Chemistry Council* (ACC) digunakan pada film karena kekuatannya, fleksibilitas, relative transparan, serta ketahanannya yang baik terhadap asam, basa, dan minyak nabati. LDPE dihasilkan dari gas etilen pada tekanan dan temperatur tinggi dalam reaktor yang mengandung pelarut hidrokarbon dan katalis logam yaitu katalis Ziegler. Polimer yang dihasilkan berupa bubur yang kemudian disaring dari pelarutnya.

#### **2.1.5 PP (*Polypropylene*)**

Polipropilena merupakan polimer kristalin yang dihasilkan dari proses polimerisasi gas. Pirolisis Sampah Plastik PP (*Polypropylene*) yang memiliki rumus molekul  $(C_3H_6)_n$  ini menjadi Minyak Pirolisis sebagai Bahan Bakar Primer 19 propilena. Polipropilena mempunyai ketahanan terhadap bahan kimia (*chemical resistance*) yang tinggi, tetapi ketahanan pukulnya rendah. Konduktivitas terhadap panas rendah (0,12 w/m), tegangan permukaan yang rendah, kekuatan benturan yang tinggi, tahan terhadap pelarut organik, bahan kimia anorganik, uap air, minyak, asam dan basa, isolator yang baik tetapi dapat dirusak oleh asam nitrat pekat, dan mudah terbakar oleh nyala yang lambat merupakan sifat yang dimiliki oleh plastik. Sifat kimia dari polipropilena mempunyai ketahanan yang sangat baik terhadap bahan kimia anorganik non pengoksidasi, deterjen, alkohol dan sebagainya. Tetapi polipropilena dapat terdegradasi oleh zat pengoksidasi seperti asam nitrat dan hidrogen peroksida. Sifat kristalinitasnya yang tinggi menyebabkan daya regangannya tinggi, kaku dan keras (Adoe, dkk, 2016).

### 2.1.6 PS (*Polystyrene*)

Polistirena adalah polimer yang mengandung monomer stirena, serta hidrokarbon cair yang diproduksi secara komersial dari minyak bumi. Polimer ini adalah plastik yang kuat dan murah yang termasuk dalam kelompok polimer vinil. *Polystyrene* biasanya termoplastik padat pada temperatur kamar dan meleleh pada temperatur tinggi. Secara struktural, polistirena adalah rantai panjang hidrokarbon dengan gugus fenil yang berdekatan dengan setiap atom karbon. Karakteristik polistirena adalah tahan panas, ringan, kekuatan tinggi, dan daya tahan sedang. Aplikasi untuk polimer ini ditemukan pada mainan, peralatan medis, elektronik, kemasan makanan, dan produk bangunan. *Polystyrene* yang merupakan bahan baku pirolisis perlu diproses pada temperatur yang lebih rendah dibandingkan dengan polimer jenis PP dan PE, serta minyak yang dihasilkan lebih kental dibandingkan dengan plastik jenis PE dan PP.



**Gambar 2.3** Struktur molekul polistirena  
(Sumber: <https://roboguru.ruangguru.com>)

### 2.1.7 Other (Jenis Plastik Lainnya)

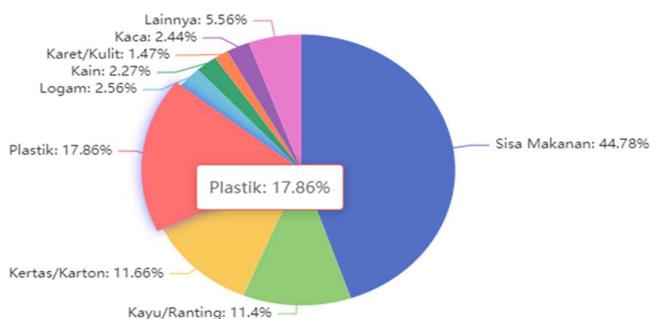
Plastik dengan lambang 7 ini terdiri dari polikarbonat (PC), poliuretan (PU), dan akrilonitril butadiena stirena (ABS). Aplikasi plastik jenis polikarbonat memiliki volume penjualan di bidang teknik untuk aplikasi termoplastik. Untuk aplikasi plastik jenis polikarbonat sering dijumpai pada komponen elektronik, bahan konstruksi seperti jendela dan lampu lalu lintas, serta terdapat pada penyimpanan data seperti DVD.

Kemudian untuk plastik poliuretan memiliki sifat yang dapat disesuaikan, seperti termoplastik, kaku atau fleksibel, dan lunak. Aplikasi poliuretan yang dapat ditemui pada berbagai busa, dinding/lembaran plastik dari sebagian besar lemari es

dan *freezer*, sepatum panel bangunan dan lain-lain. ABS (*Acrylonitile-butadiene-styrene*) adalah salah satu jenis plastik industri yang digunakan untuk memproduksi struktur rangka, pipa, dan bagian bodi otomotif. ABS merupakan jenis plastik ini terbuat dari tiga monomer berbeda dan menyediakan fitur berbeda, seperti bahan akronitril yang toleransi terhadap panas, bahan butadiena yang memiliki kekuatan impact yang kuat, serta bahan stirena yang memiliki kekakuan (Masgood, dkk, 2021)

## 2.2. Isu Lingkungan Akibat Plastik

Fraksi sampah plastik merupakan bagian besar dari fraksi sampah kota anorganik (MSW/*municipal solid state*), terlebih lagi, sampah plastik menyumbang sekitar 10% ~ 13% dari seluruh sampah kota anorganik di seluruh dunia. *Polypropylene* (PP) adalah polimer yang paling umum digunakan dalam aplikasi yang berbeda di antara semua jenis plastik lainnya. Penggunaan plastik secara ekstrim, pengelolaan dan pembuangan yang tidak tepat telah mengakibatkan pengaruh negatif terhadap lingkungan dan ekosistem global (Masgood, dkk, 2021). Pertumbuhan sampah plastik yang signifikan meningkatkan produksi sampah setiap hari dan untuk meminimalkan dampak lingkungan oleh sampah tersebut dilakukan daur ulang. Karena plastik berasal dari *crude oil* dan memiliki nilai kalor yang tinggi, maka plastik bisa dipulihkan kembali menggunakan pirolisis untuk memproduksi bahan bakar, seperti solar, minyak tanah, dan bensin (Syamsiro, 2015). Pada tahun 2022, jumlah sampah plastik dapat dilihat dari gambar di bawah ini.



**Gambar 2.4** Sampah Plastik di Provinsi Banten Tahun 2022  
(Sumber: sipsn.menlhk.go.id)

Pengelolaan sampah plastik dan peningkatan permintaan energi secara bersamaan menjadi tantangan baru yang dapat diatasi dengan produksi bahan bakar dari plastik. Beberapa peneliti juga sedang mengembangkan produksi bahan bakar dari sampah plastik tersebut. Bahan bakar yang dihasilkan dari sampah plastik diyakini mirip dengan bahan bakar dari fosil (Sharma, dkk, 2014). Bahan bakar fosil merupakan jenis bahan bakar yang tidak terbarukan dan menjadi sumber utama pencemaran lingkungan, gas rumah kaca, dan pengasaman laut (Kunwar, dkk, 2016).

### 2.3. Pirolisis

Pirolisis dari sampah kota adalah cara untuk pengelolaan sampah plastik berkelanjutan dengan produksi minyak sebagai sumber energi. Prosesnya melibatkan perengkahan termal molekul organik kompleks atau hidrokarbon rantai panjang menjadi molekul yang lebih kecil atau hidrokarbon rantai pendek. Pirolisis umumnya berlangsung pada temperatur pada temperatur 300-500°C. Plastik akan meleleh dan berubah fasa menjadi cair yang kemudian dipanaskan hingga membentuk gas, selanjutnya mengalami pendinginan dan terkondensasi sehingga membentuk cairan pirolisis (Anggono, dkk, 2020).

Pirolisis merupakan proses dekomposisi suatu bahan pada temperatur tinggi yang berlangsung tanpa adanya udara atau dengan udara terbatas. Produk cair yang menguap mengandung tar serta *polymathic hydrocarbon*. Produk dari pirolisis terdiri dari 3 jenis yaitu gas ( $H_2$ , CO,  $CO_2$ , serta  $CH_4$ ), tar (*pyrolytic oil*), dan padatan sisa (*char*). Gas, cairan, dan padatan hasil pirolisis dapat digunakan sebagai bahan bakar, dengan atau tanpa pengolahan lebih lanjut dan sebagai bahan baku dari industri kimia dan material. Umpan untuk proses pirolisis ini berupa biomassa, plastik, karet, dan kandungan selulosa dari sampah perkotaan (Serio, dkk, 2004). Proses pirolisis bergantung pada beberapa faktor seperti waktu, temperatur, ukuran partikel, berat partikel, laju pemanasan dan penggunaan katalis. Hasil dari minyak pirolisis dapat diketahui kualitasnya ditinjau dari sifat-sifat seperti densitas, viskositas, nilai kalor, dan titik nyala (Miandad, dkk, 2016).

Proses pirolisis dapat dibedakan menjadi tiga tipe berdasarkan temperatur, laju pemanasan, dan waktu tinggal diantaranya *slow pyrolysis*, *fast pyrolysis*, dan *flash pyrolysis*. Pirolisis lambat (*slow pyrolysis*) merupakan jenis pirolisis konvensional dengan kondisi temperatur 300 - 500°C, waktu tinggal 5-30 menit, dan laju pemanasan 0,1 - 1°C/detik. Pirolisis lambat menyebabkan produksi padatan arang karbon (*char*) meningkat sehingga banyak diaplikasikan untuk membuat biofuel padat dengan bahan baku biomassa, kayu, dan selulosa. Pada pirolisis biomassa akan dihasilkan *biochar* sebesar 60%, *bio-oil* 25-30%, dan sisanya sebagai gas.

Pirolisis cepat (*fast pyrolysis*) merupakan pirolisis yang menghasilkan lebih banyak cairan dengan pemanasan secara bertahap pada temperatur 500-900°C. Laju pemanasan berkisar antara 10-200°C/detik dengan waktu tinggal 1-10 detik. Rentang distribusi produk yang dihasilkan adalah 60-75% *bio-oil*, 15-20% *biochar*, dan 10-20% gas yang tidak terkondensasi. Pirolisis cepat digunakan untuk pirolisis dengan bahan baku biomassa, kayu, lignin, dan limbah plastik. Adapun *flash pyrolysis* merupakan pirolisis yang sangat cepat dengan temperatur di atas 900°C dengan laju pemanasan lebih dari 1000°C/detik. *Flash pyrolysis* membentuk 60% *biochar*, 40% *bio-oil*, dan *syngas* (Gao, 2010).

## **2.4. Produk Hasil Pirolisis Sampah Plastik**

Proses pirolisis mengubah sampah plastik menjadi uap organik, gas, arang, lilin, dan HCl melalui dekomposisi termal tanpa adanya oksigen. Produk utama yang dihasilkan dari proses pirolisis sampah plastik adalah minyak cair, sedangkan gas, lilin, arang, dan HCl merupakan produk sampingan (Masqood, dkk, 2021). Presentase produk hasil pirolisis bergantung pada laju pemanasan, temperatur, tekanan, jenis reaktor, katalis dan waktu tinggal (Sharuddin, dkk, 2016)

### **2.4.1 Produk Cair**

Cairan atau *fuel-oil* ialah produk utama pada proses pirolisis. *Fuel-oil* terdiri dari campuran uap organik seperti asam alkohol, aldehid, eter, keton, furan, fenol, asetaldehid, butanedione, methanol, dan hidrokarbon. Bahan bakar minyak adalah suatu senyawa organik yang termasuk golongan hidrokarbon. Salah satu produk

hasil pirolisis yaitu bahan bakar cair yang terdiri dari produk *gasoline*, *kerosene*, dan *diesel oil*.

#### **2.4.2 Produk Gas**

Produk gas pirolisis biasanya merupakan campuran hidrokarbon  $C_xH_y$  (C maksimum 6) dan hydrogen ( $H_2$ ) (Masqood, 2021). Proses pirolisis akan menghasilkan gas yang kemudian akan dikondensasikan menjadi menjadi minyak cair (*liquid*). Karena plastik berasal dari *crude oil*, sehingga proses pirolisis dapat menghasilkan gas dengan fraksi ringan berupa metana dan etana.

#### **2.4.3 Produk Padat**

Proses pirolisis menghasilkan padatan berupa arang dan lilin. Pembentukan arang dalam proses pirolisis dimaksimalkan dengan laju pemanasan yang lambat dan waktu tinggal yang lama dan pembentukannya rendah pada pirolisis dengan menggunakan temperatur tinggi. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Miandad, dkk (2016), pembentukan arang pada plastik PE menghasilkan 13,0% berat pada temperatur optimum  $450^{\circ}C$ , sedangkan pada plastik PP sebanyak 3,5% berat. Sedangkan pada campuran PE dan PP dengan perbandingan 50:50 menghasilkan arang sebanyak 24% berat.

### **2.5. Faktor yang Mempengaruhi Proses Pirolisis**

Perengkahan sampah plastik dalam reaktor pirolisis dipengaruhi beberapa faktor, antara lain :

#### **2.5.1 Waktu**

Faktor waktu mempengaruhi hasil pirolisis yang akan diperoleh. Hasil pirolisis dapat berupa residu padat, tar, dan gas yang terbentuk sesuai dengan durasi waktu pirolisis berlangsung. Hal ini disebabkan karena semakin lama waktu proses pirolisis maka ikatan rantai karbon pada plastik terputus sehingga minyak yang dihasilkan semakin banyak (Houshmand, dkk, 2013). Arini (2022) melakukan penelitian mengenai pirolisis sampah plastik polipropilen (PP) dengan variasi waktu proses 1 jam, 2 jam, dan 3 jam pada temperatur operasi  $400^{\circ}C$ . Hasil terbaik untuk perolehan volume minyak pirolisis terbanyak terdapat pada proses dengan waktu 3 jam. Hal tersebut dikarenakan semakin lama waktu proses maka semakin

banyak gas yang mengalami perubahan fase menjadi cairan melalui proses kondensasi pada proses pirolisis sehingga meningkatkan volume minyak pirolisis yang dihasilkan.

### **2.5.2 Temperatur**

Berdasarkan persamaan Arrhenius, semakin tinggi temperatur operasi pirolisis maka akan semakin besar nilai konstanta dekomposisi termal. Hal tersebut mengakibatkan kenaikan laju pirolisis dan konversi yang dihasilkan. Untuk menentukan temperatur yang tepat untuk proses pirolisis dapat dilihat berdasarkan titik leleh/titik didih dari bahan partikel sampah plastik. Nugroho (2020) melakukan penelitian pirolisis sampah plastik jenis LDPE dan PP dengan variasi temperatur 300°C, 350°C, 400°C. Hasil yang diperoleh pada temperatur 400°C memiliki jumlah minyak lebih banyak dengan warna minyak keruh. Hal tersebut disebabkan semakin tinggi temperatur maka plastik yang terurai akan semakin banyak dan menjadi gas yang tidak terkondensasi sehingga cairan minyak yang diperoleh juga lebih banyak (Udyani, 2018).

### **2.5.3 Ukuran Partikel**

Faktor ukuran partikel umpan reaktor mempengaruhi hasil pirolisis. Hasil penelitian Rosyadi, dkk (2018) menyatakan semakin besar ukuran partikel biomass maka semakin banyak *biochar* yang terbentuk. Hal tersebut dikarenakan pada ukuran biomassa yang lebih besar proses dekomposisi pada seluruh bagian biomassa lebih lambat dibandingkan biomassa yang berukuran lebih kecil.

### **2.5.4 Berat Partikel**

Berat partikel atau sampah plastik umpan pirolisis mempengaruhi kuantitas dan kualitas hasil pirolisis. Semakin banyak jumlah umpan yang dimasukkan dalam reaktor pirolisis akan meningkatkan jumlah bahan bakar cair dan arang hasil pirolisis (Wahyudi, 2001).

### **2.5.5 Laju pemanasan**

Laju pemanasan mempengaruhi sifat dan komposisi dari produk pirolisis. Menurut Williams dan Besler (1996), ketika laju pemanasan dinaikkan maka padatan pada proses pirolisis akan menurun. Produk gas yang dihasilkan pada temperatur antara 200°C-400°C adalah CO, CO<sub>2</sub>, serta CH<sub>4</sub>. Hal tersebut menunjukkan bahwa laju

pemanasan yang lebih tinggi akan melepaskan gas hidrokarbon, begitu pula dengan minyak akan meningkat seiring dengan kenaikan laju pemanasan. Sebaliknya laju pemanasan yang rendah akan mengurangi reaksi pirolisis dan menghasilkan lebih banyak arang.

#### **2.5.6 Katalis**

Katalis adalah suatu zat yang mampu mempercepat suatu laju reaksi dan menurunkan energi aktivasi. Namun katalis tidak ikut habis bereaksi, baik dari massanya akan sama seperti pada waktu awal penambahan. Ada pula zat yang dapat menghambat laju reaksi yaitu disebut inhibitor. Dalam suatu reaksi kimia, katalis tidak ikut bereaksi secara tetap sehingga dianggap tidak ikut bereaksi (Martina, 2017). Keberadaan katalis memiliki peranan penting di dalam proses pirolisis karena dapat menghasilkan formasi cabang hidrokarbon yang lebih banyak. Katalis juga dapat menurunkan waktu reaksi inisiasi dan memperbaiki kuantitas dan kualitas produk hasil pirolisis. Katalis dapat mendorong selektivitas produk akhir sesuai dengan yang diinginkan (Syamsiro, 2015).

Mekanisme dekomposisi yang terjadi pada pirolisis plastik diantaranya pemotongan secara acak rantai polimer yang menyebabkan terbentuknya rantai polimer yang lebih pendek, pemotongan pada ujung rantai dimana molekul kecil dan rantai panjang akan terbentuk, dan pemisahan rantai polimer membentuk molekul-molekul kecil. Dekomposisi termal dari bahan plastik merupakan proses endotermik sehingga dibutuhkan energi minimal sebesar energi disosiasi ikatan rantai karbon dalam rantai polimer. Hal tersebut membutuhkan kondisi operasi dengan temperatur yang tinggi. Penggunaan katalis diharapkan dapat menurunkan temperatur reaksi, mempercepat reaksi dekomposisi dan memperbaiki kualitas produk (Pratiwi, dkk, 2015).

Hasil perolehan minyak pirolisis menggunakan katalis lebih banyak dibandingkan dengan pirolisis tanpa katalis. Pada proses pirolisis dengan menggunakan katalis dapat mempengaruhi hasil minyak yang diperoleh dikarenakan katalis bersifat mudah menyerap dan melepas cairan, sifat dari katalis tersebut dikarenakan katalis memiliki permukaan yang berpori-pori sehingga katalis memiliki sifat mudah menyerap. Hasil perolehan minyak pirolisis

menggunakan katalis lebih banyak dibandingkan dengan pirolisis tanpa katalis. (Anggono, dkk, 2020). Adapun macam-macam katalis yang dapat digunakan pada proses pirolisis diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Oksida logam

Oksida logam seperti oksida besi ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), oksida nikel ( $\text{NiO}$ ), oksida aluminium ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), dan oksida seng ( $\text{ZnO}$ ) telah digunakan sebagai katalis dalam pirolisis untuk meningkatkan rendemen produk tertentu atau mempercepat reaksi pirolisis.

2. Zeolit

Zeolit adalah jenis katalis yang memiliki struktur pori-pori yang teratur dan dapat digunakan dalam pirolisis untuk meningkatkan selektivitas produk atau mengubah distribusi produk pirolisis.

3. Katalis berbasis logam

Logam seperti nikel ( $\text{Ni}$ ), kobalt ( $\text{Co}$ ), atau paladium ( $\text{Pd}$ ) sering digunakan sebagai katalis dalam pirolisis untuk meningkatkan aktivitas katalitik dan mengarahkan reaksi pirolisis ke produk yang diinginkan.

4. Bentonit

Bentonit memiliki kemampuan adsorpsi yang tinggi karena struktur mineral montmorillonit yang memiliki permukaan yang luas. Kemampuan ini memungkinkan bentonit untuk menahan bahan-bahan reaktan di permukaannya, meningkatkan kontak antara bahan reaktan dan memfasilitasi reaksi pirolisis. Beberapa jenis bentonit dapat menghasilkan asam lemah ketika dipanaskan. Asam ini dapat berperan dalam mempercepat reaksi pirolisis dengan meningkatkan aktivitas katalitik.

## 2.6. Bentonit

Bentonit merupakan tanah liat yang sebagian besar terdiri dari montmorillonit yang pembentukannya berasal dari abu vulkanik. Silikon oksida tetrahedral dan satu aluminium oksida oktahedral merupakan struktur penyusun montmorillonit. Penggunaan bentonit sebagai katalis pada proses pirolisis menghasilkan produk samping arang dan lilin dalam jumlah yang rendah. Hal itu disebabkan oleh sifat

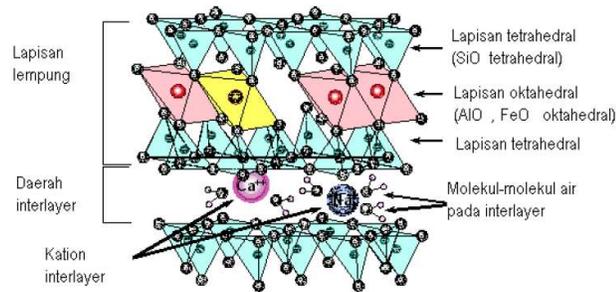
bentonit yang asam, sehingga membuatnya terdekomposisi menjadi produk yang lebih ringan. Bentonit juga mudah didapatkan di alam. Di Indonesia endapan dari batuan bentonit memiliki jumlah cukup besar, yakni tersebar pada beberapa wilayah seperti pulau Jawa dan pulau Sumatra. Di pulau Jawa sendiri banyak ditemukan di Banten dan Jawa barat, seperti di wilayah Bogor, Sukabumi, dan Tasikmalaya (Ruskandi, dkk, 2020).



**Gambar 2.5** Bentonit

Bentonit alami terbagi menjadi 2 jenis bentonit yang dapat dimanfaatkan, yaitu Na-Bentonit dan Ca-Bentonit. Kedua jenis bentonit ini mempunyai fungsi yang berbeda pula. *Sodium Bentonite* atau Na-Bentonit merupakan bentonite yang kation utamanya diisi oleh natrium. Kation berupa natrium ini bersifat *exchangeable* atau kation yang dapat ditukar. Selain itu, bentonit ini juga memiliki sifat *swelling*, yang berarti volume dari bentonit tersebut dapat berkembang apabila mengalami sentuhan langsung dengan fluida air (Mukkarom, 2017).

Selain Na-Bentonit jenis kedua dari batuan bentonit yakni Ca-Bentonit atau kalsium bentonit seringkali digunakan dalam kehidupan sehari. Bentonit jenis kalsium bentonit ini digunakan sebagai salah satu bahan yang dapat mendukung proses pemurnian minyak. Hal tersebut dikarenakan kalsium bentonit memiliki sifat penyerapan yang baik. Bentonit memiliki kemampuan terbesar dalam proses pemurnian minyak pelumas bekas dibandingkan dengan arang aktif dan zeolit (Kusuma, dkk, 2013). Selain itu, kalsium bentonit dapat diaplikasikan sebagai bahan baku pengecoran logam, pembuatan *pellet*, bahan baku pembuatan keramik, dan pengganti *silica gel*. Sebelum digunakan sebagai adsorben, bentonit diaktivasi terlebih dulu untuk meningkatkan daya jerapnya.



**Gambar 2.3** Struktur Bentonit

(Sumber: Erawati, E., (2023))

Bentonit diaktivasi menggunakan senyawa asam anorganik seperti HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, dan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>. Pada aktivasi tersebut terjadi pertukaran kation dari garam mineral (Ca<sup>+</sup> dan Na<sup>+</sup>) pada lapisan *interlayer* bentonit dengan ion H<sup>+</sup> dari asam, kemudian diikuti dengan pelarutan ion Al<sup>3+</sup> dan ion logam lainnya seperti Fe<sup>3+</sup> dari lapisan *lattice* bentonit. Akibat pelarutan ion Al<sup>3+</sup>, maka bentonit menjadi bermuatan negatif sehingga kemampuan penyerapannya akan meningkat (Hymore, 1996). Penelitian yang dilakukan oleh Elfadly, dkk, (2017) mengenai pengaruh senyawa asam anorganik pada aktivasi bentonit menunjukkan bahwa senyawa HCl merupakan senyawa asam terbaik untuk aktivasi bentonit karena menghasilkan persentase senyawa yang diinginkan lebih tinggi pada proses pirolisis lignin. Penggunaan bentonit sebagai katalis pada proses pirolisis khususnya pirolisis sampah plastik memiliki potensi untuk meningkatkan produk cair (*pyrolytic oil*) yang tinggi.

Analisis penelitian sebelumnya dengan penggunaan katalis bentonit untuk mendapatkan bahan perbandingan dan acuan. Penelitian yang dilakukan menghasilkan berbagai hasil yang berbeda. Penelitian terdahulu dengan penggunaan katalis bentonit yang menjadi acuan peneliti yang sesuai dengan penelitian saat ini.

**Tabel 2.1** *State of The Art*

Peneliti	Jenis Plastik/Katalis	Variabel	Hasil
Kamal, Dianta M. 2022	PETE/Bentonit-Karbon Aktif	Tanpa katalis, Katalis karbon	Pirolisis dengan katalis bentonit menghasilkan

		aktif, Katalis bentonit	yield dan nilai kalor tertinggi bernilai 21,74% dan 10860 cal/g.
Dewangga, dkk. 2019	PS/Bentonit	Berat katalis: 5, 10, 15, 20, dan 25%. Temperatur pirolisis: 300°, 350°, 400°, 450°, 500°, dan 550°.	Katalis 25% memiliki yield produk cair tertinggi bernilai 74,74%. Temperatur optimal pirolisis yaitu 400° dengan persentase yield produk cair 35,43%.
Erawati, E. & Huda, F. N. 2023	PP-HDPE/Bentonit	Jumlah katalis: 0, 5, 10, 15, dan 20 %b/b, Berat campuran bahan: 50, 60, 70, 80, dan 90 %b/b	Katalis 5% menghasilkan yield cair, padat, dan gas sebesar 73,26; 26,4; dan 0,34%. Berat campuran bahan 70% menghasilkan yield cair, padat, dan gas sebesar 75,42; 23; dan 2.98%.
Rahman, M. M. dkk, 2022	PE-Bentonit	Konsentrasi H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> : 1, 3, 5, dan 7 M Impregnasi mono-(Ru,Co, Ni, Fe, Cu) dan bimetal (Ni/Co, Ni/Fe, Ni/Cu).	Konsentrasi H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 1 dan 3 M menghasilkan persentase yield produk cair tertinggi bernilai 87,10 dan 87,48%. Karakteristik katalis menunjukkan bahwa persen yield meningkat karena perluasan permukaan katalis.