

# **BAB I**

## **PEMBAHASAN UMUM**

### **1.1 Pendahuluan**

Perkembangan dan pertumbuhan industri merupakan salah satu upaya pembangunan jangka panjang untuk menciptakan tata kelola ekonomi yang kuat dan seimbang. Indonesia, sebagai salah satu negara berkembang, masih mengalami ketergantungan yang tinggi pada negara lain untuk memenuhi kebutuhan hidupnya terutama pada kategori impor. Hal ini menunjukkan bahwa potensi sumber daya alam di Indonesia masih kurang dimanfaatkan secara optimal untuk meningkatkan perekonomian negara. Oleh karena itu, memanfaatkan sumber daya alam yang ada di Indonesia menjadi sangat penting guna meningkatkan pendapatan negara dan mengurangi angka pengangguran.

Salah satu contoh pemanfaatan sumber daya alam yang dapat dilakukan adalah dengan memanfaatkan tandan kosong kelapa sawit yang ketersediannya cukup melimpah dan kurang dimanfaatkan dengan baik. Luas perkebunan kelapa sawit di Indonesia pada tahun 2021 mencapai 15,08 juta hektar dengan 2,1 juta hektar terletak di Provinsi Jambi. Limbah tandan kosong kelapa sawit yang dihasilkan mencapai 23% atau sekitar 625 ton/tahun di Provinsi Jambi (Badan Pusat Statistik, 2021). Tandan kosong kelapa sawit dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan Polietilen.

Polietilen adalah jenis polimer dengan struktur berantai lurus dan memiliki rumus kimia  $(C_2H_4)_n$ . Polimer ini dapat dibuat dalam berbagai bentuk dan ukuran, mulai dari plastik hingga pipa. Polietilen memiliki banyak kegunaan dalam berbagai industri, seperti industri kemasan, konstruksi, otomotif, dan masih banyak lagi. Polietilen dapat digunakan dalam industri kemasan untuk membuat berbagai produk kemasan, seperti kantong plastik, botol, dan bungkus makanan. Polimer ini juga digunakan dalam industri konstruksi untuk membuat pipa air, pipa gas, dan bahan isolasi. Selain itu, polietilen juga digunakan dalam pembuatan bagian-bagian kendaraan di industri otomotif.

Dengan memanfaatkan tandan kosong kelapa sawit untuk pembuatan polietilen, diharapkan dapat meningkatkan nilai tambah dari limbah tersebut dan memberikan kontribusi pada perekonomian negara. Selain itu, upaya ini juga dapat membantu mengurangi limbah dan meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya alam yang ada di Indonesia.

## **1.2 Sejarah dan Perkembangannya Polietilen**

Polietilen adalah polimer plastik yang paling banyak digunakan di dunia, terutama dalam pembuatan kantong plastik, botol, dan wadah plastik lainnya. Polietilen pertama kali ditemukan pada tahun 1933 oleh dua ilmuwan Inggris, Reginald Gibson dan Eric Fawcett, yang melakukan percobaan untuk mensintesis etilen menjadi senyawa lain yang berguna. Namun, mereka secara tidak sengaja menemukan Polietilen sebagai produk sampingan.

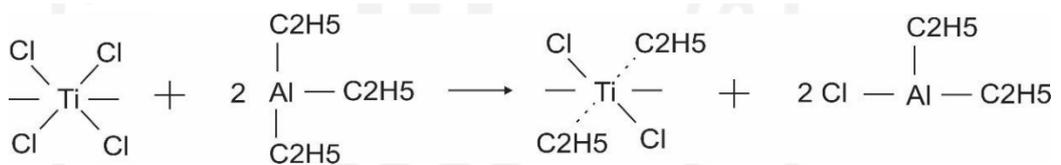
Pada tahun 1935, ilmuwan Jerman bernama Hans Von Pechmann dan kolaboratornya, Rudolf Schenck, mengisolasi dan menjelaskan struktur kimia dari polietilen. Namun, pada saat itu, polietilen hanya dianggap sebagai senyawa yang

kurang berguna dan tidak menarik minat industri. Pada akhir 1930-an, ilmuwan Inggris bernama Michael Perrin dan Paul Hogan melakukan penelitian tentang polimerisasi etilen menggunakan radikal bebas, yang menghasilkan polietilen dengan berat molekul yang lebih tinggi. Teknik ini memungkinkan produksi polietilena yang lebih kuat dan lebih tahan terhadap panas dan tekanan, membuatnya lebih bermanfaat untuk aplikasi industri.

Pada tahun 1950-an, penelitian lebih lanjut dilakukan oleh Karl Ziegler dari Jerman dan Giulio Natta dari Italia, yang mengembangkan teknik katalisis Ziegler-Natta untuk mensintesis polietilen dengan berat molekul yang lebih tinggi dan sifat yang lebih konsisten. Teknik ini menjadi dasar produksi polietilen modern dan telah diadopsi secara luas di seluruh dunia.

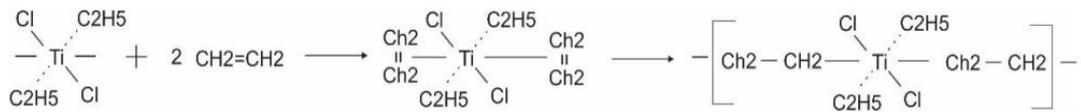
### 1.3 Mekanisme Reaksi Polimerisasi Etilen

Reaksi polimerisasi etilen adalah reaksi penggabungan molekul etilen yang dikatalisis oleh logam transisi, yaitu  $\text{TiCl}_4$  dan  $\text{Al}(\text{C}_2\text{H}_5)_3$ . Reaksi ini akan terus berlangsung hingga semua gugus fungsi etilen habis bereaksi. Reaksi dapat dihentikan dengan menambahkan hidrogen sebagai agen terminasi. Mekanisme reaksi polimerisasi terjadi di dalam reaktor. Sebelum berlangsungnya proses polimerisasi, katalis  $\text{TiCl}_4$  akan diaktifkan dengan menggunakan kokatalis  $\text{Al}(\text{C}_2\text{H}_5)_3$  sehingga akan terbentuk pusat aktif pada katalis. Reaksi pembentukan pusat aktif dapat dilihat pada gambar di bawah.

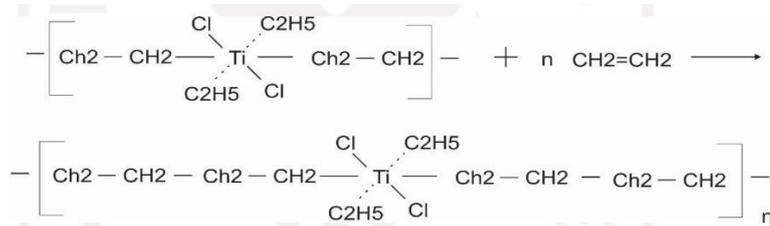


**Gambar 1.1** Reaksi pembentukan pusat aktif katalis**1. Reaksi Inisiasi**

Tahap inisiasi adalah tahap pembentukan pusat aktif. Pusat aktif terbentuk ketika molekul etilen terkoordinasi pada sisi aktif katalis dan membentuk kompleks dengan gugus alkil. Gugus alkil kemudian terurai menjadi gugus etil, dan ikatan Ti-C pada kompleks aktif terputus. Molekul etilen yang baru terbentuk kemudian terikat pada kompleks aktif, dan proses ini berulang hingga terbentuk *Polietilen*

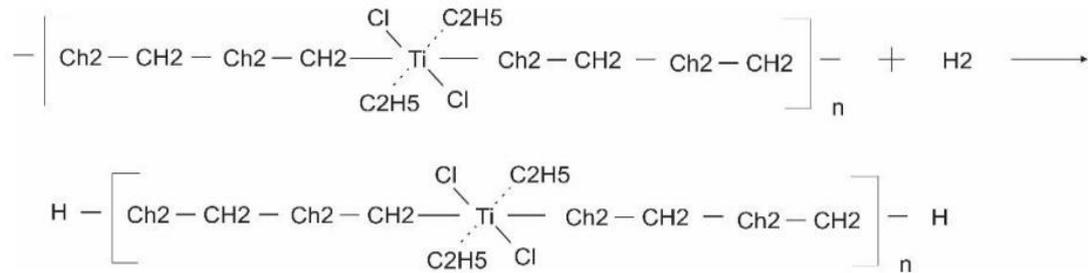
**Gambar 1.2** Tahap Inisiasi**2. Reaksi Propagasi**

Tahap propagasi adalah tahap pertumbuhan rantai polimer. Pada tahap ini, molekul etilen yang telah terikat pada katalis akan terus berikatan dengan molekul etilen lainnya secara terus menerus hingga terbentuk rantai polimer yang panjang. Tahap propagasi akan berlangsung hingga terbentuk polimer dengan densitas yang diinginkan.

**Gambar 1.3** Tahap propagasi**3. Reaksi Terminasi**

Tahap terminasi adalah tahap penghentian pertumbuhan rantai polimer. Pada tahap ini, hidrogen ditambahkan ke dalam reaktor untuk memutus ikatan Ti-

C pada rantai polimer. Hal ini menyebabkan rantai polimer terputus dan proses polimerisasi berhenti. Reaksi pada tahap terminasi ditunjukkan pada gambar.

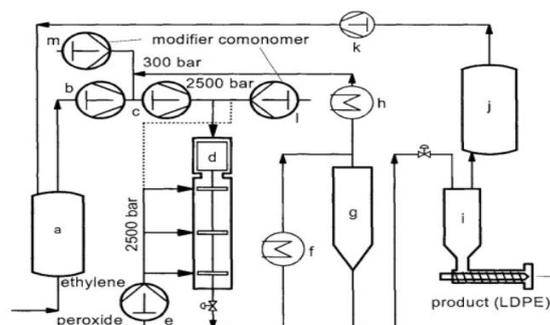


Gambar 1.4 Tahap Terminasi

## 1.4 Macam – macam proses pembuatan *Polyethylene*

### 1.4.1 *High pressure process*

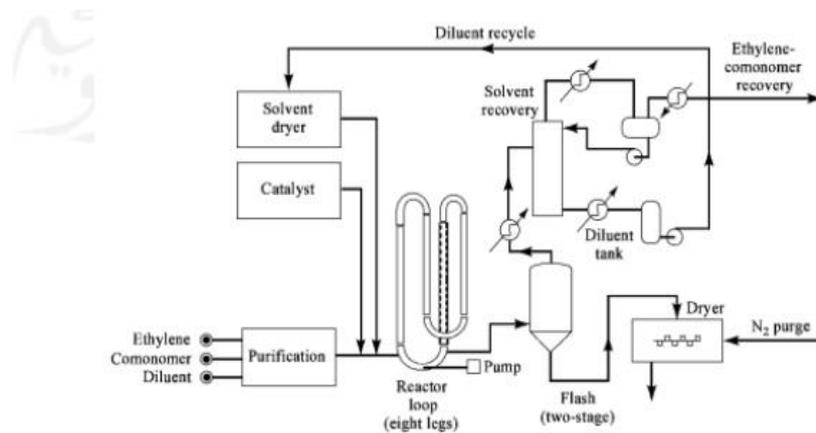
*Polyethylene* diproduksi dengan menggunakan tekanan operasi yang tinggi. Ada dua jenis reaktor yang dapat digunakan dalam proses ini, yaitu *autoclave reactor* dan *tubular reactor (jacketed tube)*. *Autoclave reactor* adalah reaktor tangki berpengaduk kontinu yang beroperasi secara adiabatik. Reaksi polimerisasi menghasilkan panas, yang kemudian dibuang oleh etilen segar yang masuk ke reaktor. Waktu tinggal reaktan sekitar 30-60 detik, dan tekanan operasi yang digunakan adalah 150-200 MPa. Tubular reactor beroperasi pada tekanan operasi 200-350 MPa. Tubular reactor terdiri dari beberapa ratus meter pipa berlapis tekanan tinggi yang disusun seri.



**Gambar 1.5** High pressure process

### 1.4.2 *Suspension (slurry) process*

Polietylen diproduksi dengan cara disuspensikan dalam pelarut hidrokarbon. Ada dua jenis proses suspensi, yaitu proses *autoklaf* dan proses *reaktor loop*. Pada proses *autoklaf*, reaksi pembentukan polietilen terjadi pada tekanan antara 0,5 dan 1 MPa dengan suhu 80-90 °C. Pelarut yang digunakan adalah hidrokarbon dengan titik didih rendah seperti heksana. Katalis, alkil aluminium, dan pelarut dicampur dalam wadah pencampuran untuk membentuk suspensi sebelum dipompakan ke dalam reaktor. Konsentrasi suspensi bervariasi dari 15% hingga 45%. Proses selanjutnya adalah proses *reaktor loop*, yang dijalankan pada suhu 100 °C dan tekanan 3-4 MPa, sesuai dengan kebutuhan katalis berbasis kromium dan produktivitas yang diinginkan. Pelarut yang digunakan dalam proses ini adalah isobutena.

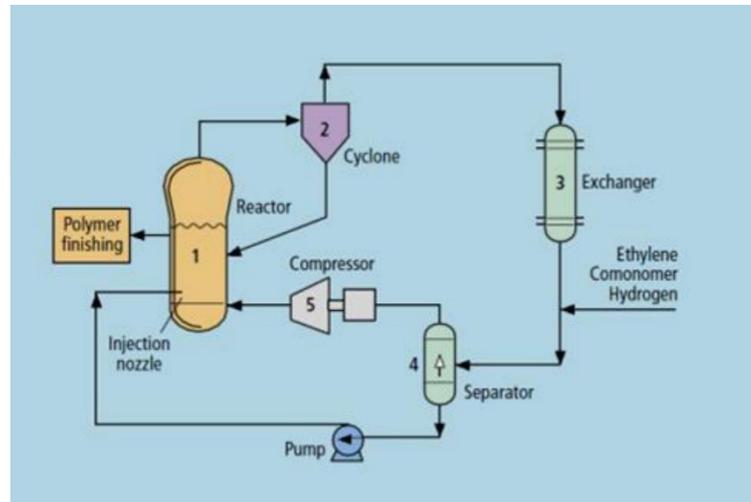


**Gambar 1.6** *Suspension (slurry) process*

### 1.4.3 *Gas phase*

Proses pembuatan polietilen menggunakan fase gas biasa dikenal sebagai proses *Unipol*, yang dikembangkan oleh *Union Carbide Corporation*. Pada proses

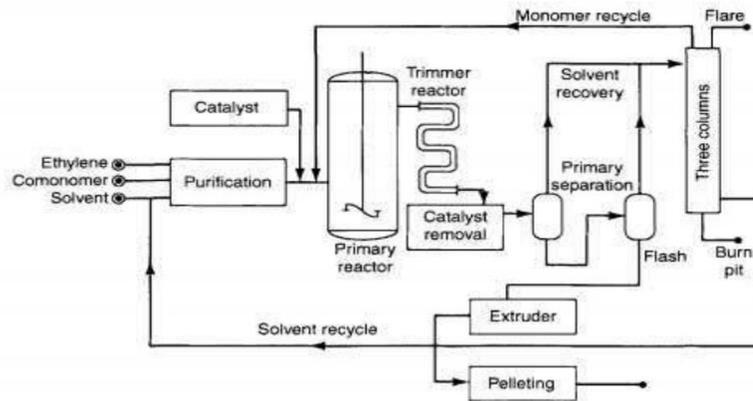
ini, reaktor yang digunakan adalah reaktor *fluidized bed*. Kondisi reaksi dalam reaktor *fluidized bed* diatur pada suhu 80-100 °C, tergantung pada densitas produk yang diinginkan. Tekanan proses berkisar antara 0,7 sampai 2 MPa.



**Gambar 1.7** Gas Phase

#### 1.4.4 Solution process

Proses *solution* telah dikembangkan oleh beberapa perusahaan seperti Du Pont, Dow, DSM, dan Mitsui untuk memproduksi HDPE dan LLDPE. Salah satu proses yang terkenal adalah proses *Sclairtech*, yang dikembangkan oleh Du Pont Kanada pada tahun 1960. Reaksi berlangsung pada suhu 200-300 °C dan tekanan 10 MPa. Etilen dilarutkan dalam pelarut seperti siklohexana sebelum dipompakan ke dalam reaktor dengan komposisi 25% etilen. Konversi reaksi adalah 95% dengan waktu tinggal reaktan sekitar 2 menit. Katalis yang digunakan adalah campuran  $\text{VOCl}_3$  dan  $\text{TiCl}_4$  yang diaktifkan dengan alkil aluminium.



Gambar 1.8 Solution process

Tabel 1.1 Analisis Pada Berbagai Proses Pembuatan *PolyEtylene*

Keterangan	<i>Solution</i>	<i>High Pressure</i>	<i>Gas Phase</i>	<i>Slurry</i>
Temperatur (°C)	200-300 °C	140-300 °C	80-100 °C	80-90 °C.
Tekanan (MPa)	10	150 - 350	0,7 – 2	10
Residence Time	2-6 Menit.	2-6 Jam	30-60 Menit	1 Jam
Jenis Reactor	CSTR	Tubular, autoclave	<i>Fluidized bed</i>	CSTR
Konversi Reaksi	95%	97%	99%	-

Tabel 1.2 Perbedaan Keuntungan dan Kekurangan Pada Berbagai Proses Pembuatan *PolyEtylene*

Metode	Keuntungan	Kekurangan
<i>Solution process</i> (US patent 20230002525)	Residence time singkat hanya dalam hitungan menit	Penambahan pelarut dalam proses, dan apabila pelarutnya memiliki titik didih yang lebih rendah maka akan meningkatkan tekanan operasi pada reactor sehingga dibutuhkan lebih banyak energi
<i>Gas phase</i> (US patent 20180044445)	Proses yang sederhana dan mudah dengan memanfaatkan prinsip <i>fluidisasi</i> . Memiliki nilai konversi yang tinggi	Dapat menimbulkan erosi dan abrasi pada reactor karena gerakan partikel di dalamnya. Membutuhkan lebih

		banyak daya untuk menghasilkan <i>fluidisasi</i>
<b>Slurry Process</b> (US patent 20090163679)	Transfer panas sangat efisien sehingga reaksinya lebih mudah dikontrol.	Pemisahan solven dari polimer sulit dilakukan Sistem kondensasi
<b>High Pressure Process</b> (US patent 9920190)	Proses yang berjalan secara kontinyu	Beroperasi dalam kondisi operasi yang sangat tinggi

## 1.5 Karakteristik polimer terhadap panas

Berdasarkan sifatnya terhadap panas, polimer dapat dibedakan atas polimer termoplastik (tidak tahan panas, seperti plastik) dan polimer termosting (tahan panas, seperti melamin). Klasifikasi polimer ini dibedakan menjadi dua, yaitu polimer termoplastik dan polimer termoseting.

### 1.5.1 Termoplastik

Termoplastik adalah material yang terbentuk dari polimer (Polimer disebut juga dengan makromolekul merupakan molekul besar yang dibangun dengan pengulangan oleh molekul sederhana yang disebut monomer.) Polimer (*polymer*) berasal dari dua kata, yaitu *poly* (banyak) dan *meros* (bagian-bagian) yang mempunyai sifat tidak tahan terhadap panas. Jika material ini dipanaskan, maka akan menjadi lunak dan jika didinginkan akan mengeras. Proses tersebut dapat terjadi berulang kali, sehingga dapat dibentuk ulang dalam berbagai bentuk melalui cetakan yang berbeda untuk mendapatkan produk yang baru (Qonita,2018).

### 1.5.2 Termoset

Polimer termoset adalah polimer yang tidak mengalami pelelehan ketika dipanaskan. Polimer termoset tidak dapat didaur ulang sedangkan polimer termoplastik dapat didaur ulang. Plastik-plastik termosetting biasanya bersifat keras karena mereka mempunyai ikatan-ikatan silang. Plastik termoset menjadi lebih keras ketika dipanaskan karena panas itu menyebabkan ikatan-ikatan silang lebih

mudah terbentuk. Bakelit, poli (Melanin formaldehida) dan poli (Urea formaldehida) adalah contoh polimer ini. Sekalipun polimer-polimer termoseting lebih sulit untuk dipakai ulang daripada termoplastik, namun polimer tersebut lebih tahan lama. Polimer ini banyak digunakan untuk membuat alat-alat rumah tangga yang tahan panas seperti cangkir.

## 1.6 Sifat Fisika dan Kimia Bahan Baku, Produk dan Limbah

### 1.6.1 Bahan Baku

- Tandan Kosong Kelapa Sawit

Komposisi Tandan kosong kelapa sawit :

Selulosa : 34,50 %

Hemiselulosa : 31,80 %

Lignin : 25,70 %

(Prasetiyadi,2020)

**Tabel 1.3.** Sifat Kimia Tandan Kosong Kelapa Sawit

<b>Analisa proksimat</b>	
Kadar Air (BB)	55,6 %
Kadar Air (BK)	5,18 %
Kadar Abu	3,45 %
<i>Volatile Matter</i>	82,58 %
<i>Fixed Carbon</i>	8,97 %
<b>Analisa Ultimat</b>	
Unsur C	46,62 %
Unsur H	6,45 %
Unsur N	1,21 %
Unsur O	45,66 %
Unsur S	0,035 %

Sumber, Prayogi, 2019

- Etana
 

Rumus Molekul	: $C_2H_6$
Berat Molekul	: 30,07 g/mol
Wujud	: Gas
Warna	: Tidak berwarna
Titik Didih (1 atm)	: $-88,6^{\circ}C$
Densitas (1 atm)	: $1.212 \text{ kg/m}^3$

*(Pubchem, 2023)*

- Etilen
 

Rumus Molekul	: $C_2H_4$
Berat Molekul	: 28,05 g/mol
Wujud	: Gas
Warna	: Tidak berwarna
Titik Didih (1 atm)	: $-102,4^{\circ}C$
Densitas (1 atm)	: $1,18 \text{ kg/m}^3$

*(Pubchem, 2023)*

- Air
 

Rumus Molekul	: $H_2O$
Berat Molekul	: 18,02 Kg/Kmol
Wujud	: Liquid
Warna	: Tidak berwarna
Titik Didih (1 atm)	: $100^{\circ}C$
Densitas (1 atm)	: $1 \text{ gr/cm}^3$

*(Perry, 2008)*

- Benfield

Rumus Molekul	: $K_2CO_3$
Berat Molekul	: 138,205 Kg/Kmol
Wujud	: Solid
Warna	: Tidak berwarna
Titik Didih (1 atm)	: Terdekomposisi
Titik Leleh (1 atm)	: 891 °C
Densitas (1 atm)	: 2,13 gr/cm <sup>3</sup>

(Merck, 2014)

- Natrium Hidroksida

Rumus Molekul	: NaOH
Berat Molekul	: 39,997 kg/kmol
Wujud	: Solid
Warna	: Putih
Titik Didih (1 atm)	: 1.388°C
Densitas (1 atm)	: 2,13 g/cm <sup>3</sup>

(Perry, 2008)

## 1.5.2 Katalis

- **Katalis Titanium Tetraklorida**

Rumus Molekul	: $TiCl_4$
Berat Molekul	: 189.679 Kg/Kmol
Wujud	: Liquid
Massa Jenis (suhu Kamar)	: 1.73 g/cm <sup>3</sup>
Titik lebur	: -25 °C
Titik didih	: 136,4 °C

(Sumber : [uii.ac.id/2023](http://uii.ac.id/))

- Katalis Triethylaluminium (TEAL)

Rumus Molekul	: $C_6H_{15}Al$
Berat Molekul	: 114.17 Kg/Kmol
Wujud	: Liquid
Massa Jenis (suhu Kamar)	: 0.8324 gr/ml
Titik lebur	: -46 °C
Titik didih	: 185 °C

(Sumber : [uii.ac.id/2023](http://uii.ac.id/))

### 1.5.3 Produk Utama

- Polietilen

Rumus kimia	: $-(CH_2-CH_2)_n-$
Wujud	: Padat
Warna	: Putih
Bau	: Tidak berbau
Titik leleh	: 122-130°C
Densitas	: 0.920 gr/cm <sup>3</sup>

(Sumber : [uii.ac.id/2023](http://uii.ac.id/))

### 1.5.4 Produk Samping

- Hidrogen

Rumus Molekul	: $H_2$
Berat Molekul	: 2,016 Kg/Kmol
Wujud	: Gas
Warna	: Tidak bewarna
Titik Didih (1 atm)	: - 259,1 °C

Densitas (1 atm) : - 252,7 °C

(Perry, 2008)

- Kalium Bikarbonat

Rumus Molekul :  $\text{KHCO}_3$

Berat Molekul : 100,12 kg/kmol

Wujud : Liquid

Warna : Putih

Titik Leleh : 100-200 °C

(Perry, 2008)

- Kalium Bikarbonat

Rumus molekul :  $\text{CO}_2$

Berat molekul : 44,01 gr/mol

Fasa : Gas

Warna : Tidak berwarna

Titik leleh : -55,6 °C (pada tekanan 5,2 atm)

Titik didih : -78,5 °C

(Perry, 2008)

- *Tar*

Wujud

Gas : (Suhu > 100 °C)

Aerosol : (Suhu < 100 °C)

Padat : (Suhu < 30 °C)

Komponen : Naphthalene, Acenaphthylene,  
Phenanthrene, Fluoranthene, Pyrene,

Acephenanthrylene, Benzanthracene,  
Benzopyrenes

Titik Didih (1 atm) : 80-200 °C

Dew Point (1 atm) : < 100 °C

(Milne, 1998)

- Metana

Rumus Molekul : CH<sub>4</sub>

Berat Molekul : 16,04 Kg/Kmol

Wujud : Gas

Warna : Tidak bewarna

Titik Leleh : -182,5 °C

Titik Didih : -161,4 °C

(Perry, 2008)

- Etana

Rumus Molekul : C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>

Berat Molekul : 30 Kg/Kmol

Wujud : Gas

Warna : Tidak bewarna

Titik Leleh : -182,7 °C

Titik Didih : -88,55 °C

(Perry, 2008)

- Propana

Rumus Molekul : C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>

Berat Molekul : 44,097 Kg/Kmol

Wujud : Gas

Warna	: Tidak bewarna
Titik Leleh	: -188 °C
Titik Didih	: -42 °C

(Perry, 2008)

- Butana

Rumus Molekul	: C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>
Berat Molekul	: 58,12 Kg/Kmol
Wujud	: Gas
Warna	: Tidak bewarna
Titik Leleh	: -138 °C
Titik Didih	: -1 °C

(Perry, 2008)

- Pentana

Rumus Molekul	: C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>
Berat Molekul	: 58,12 Kg/Kmol
Wujud	: Gas
Warna	: Tidak bewarna
Titik Leleh	: -129,8 °C
Titik Didih	: 36,1 °C

(Perry, 2008)

- Natrium Karbonat

Rumus Molekul	: Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>
Berat Molekul	: 105,81 kg/kmol
Wujud	: Liquid
Warna	: Tidak berwarna

Titik Didih : 1600 °C  
Titik Leleh : 856 °C

*(Perry, 2008)*

