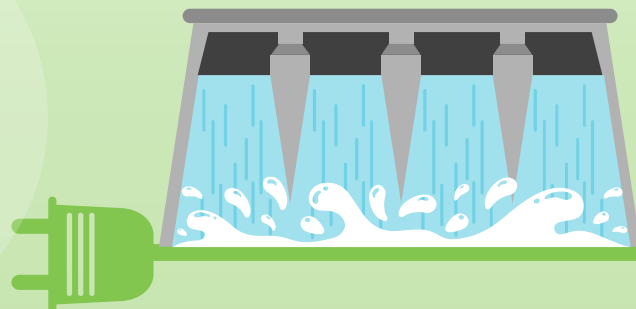


An illustration showing various energy sources: wind turbines, a factory with smokestacks, solar panels, and power lines, all set against a sun and a globe. The globe is partially obscured by the title text.

# MESIN KONVERSI ENERGI

**Prawoto dan Reza Abdu Rahman**

Jurusan Teknik Mesin  
**UNIVERSITAS PANCASILA  
JAKARTA**



# BAHAN BAKAR DAN PEMBAKARAN



# BAHAN BAKAR





**TABLE 1—Crude section cuts.**

Name/Other Names	Carbon Number	Approximate Boiling Range, °C
Gases	C1–C4	–160–0
Light straight run gasoline light naphtha LSR gas condensate	C5–C6	25–90
Heavy straight run naphtha Heavy naphtha Naphtha Reformer feed	C6–C10	85–190
Kerosine or kerosine jet	C9–C15	160–275
Light atmospheric gas oil furnace oil diesel	C13–C18	250–340
Heavy atmospheric gas oil AGO gas oil	C16–C25	315–410
Light and heavy vacuum gas oils LVGO and HVGO	C22–C45	370–575
Vacuum resid <sup>a</sup> vacuum bottoms short resid vacuum reduced crude asphalt	C40+	500+–565+

<sup>a</sup>The corresponding bottoms from the Atmospheric Crude Tower is called:  
Atmospheric Resid                      Reduced Crude  
Atmospheric Bottoms                  Topped Crude  
Long Resid

Ref. (1)

## Terminologi Hidrokarbon

Name	Chain/Ring	Saturated/Unsaturated	Example
Paraffin	Chain	Saturated	Hexane
Olefin	Chain	Unsaturated	Hexene
Naphthene	Ring	Saturated	Cyclohexane
Aromatic	Ring	Unsaturated	Benzene



**TABLE 3—Disposition of refinery C1–C4 gases.**

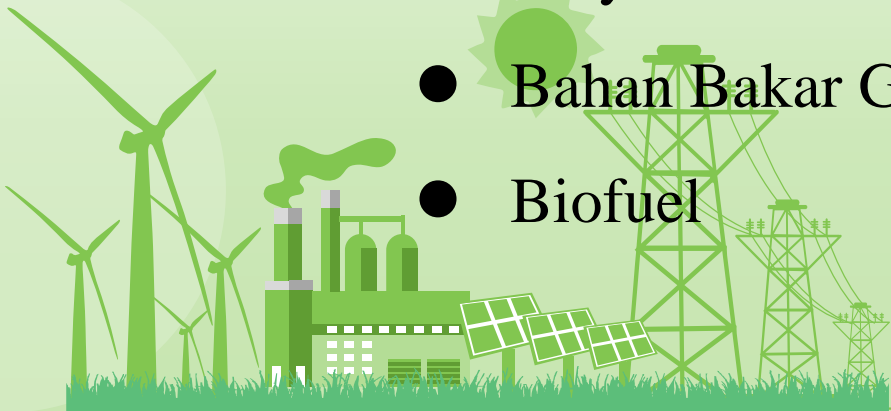
Carbon Number	Chemical Name	End Uses
C1	Methane	Refinery Fuel Gas (RFG)
C2	Ethane	RFG
	Ethylene	RFG, Petrochemicals
C3	Propane	Liquefied Petroleum Gas (LPG)
	Propylene	Petrochemicals, Alkylation Unit, Polygas or Dimerization Unit
C4	n-Butane	LPG, Isomerization Unit, Gasoline Blending
	i-Butane	Alkylation Unit
	Butylenes	Alkylation Unit, MTBE, Polygas or Dimerization Unit, Petrochemicals, Isooctane Unit

Ref. (1)



## A. Kelompok Hidrokarbon Cair dan Gas

- Alkanes (*paraffins*)
- Alkenes (*olefins*)
- Alkadienes (*diolefins*)
- Alkines (*acetylenes*)
- Cyclanes (*naphthenes* atau *cycloparaffins*)
- Aromatics (*benzene*)
- Bicyclic dan Polycyclic Aromatics
- Bahan Bakar Gas
- Biofuel



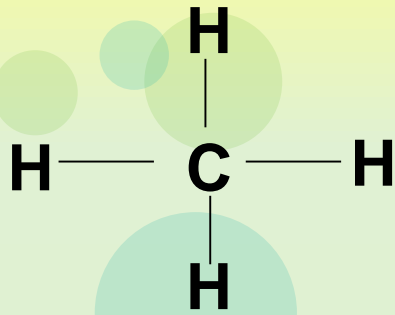


# 1. Alkanes/ Alkana (*Paraffins*)

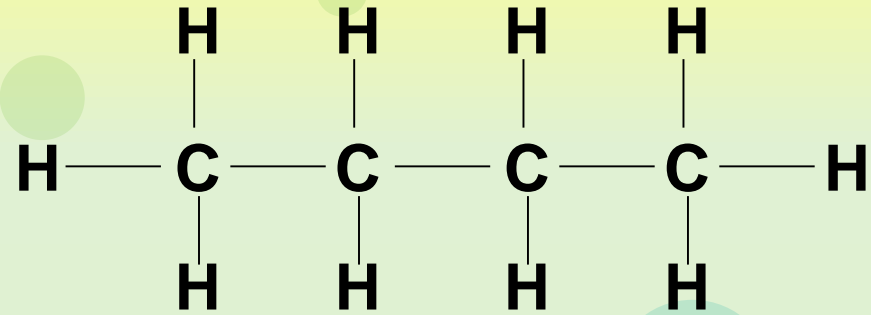
- Struktur rantai terbuka – dengan rumus umum  $C_n H_{2n+2}$
- Merupakan senyawa jenuh (tidak ada rantai karbon double atau tripple).
- 10 anggota pertama dari famili ini:

- |            |            |
|------------|------------|
| 1. Methane | 2. ethane  |
| 3. propane | 4. butane  |
| 5. pentane | 6. hexane  |
| 7. heptane | 8. octane  |
| 9. nonane  | 10. decane |





Methane  $\text{CH}_4$



Butane  $\text{C}_4\text{H}_{10}$

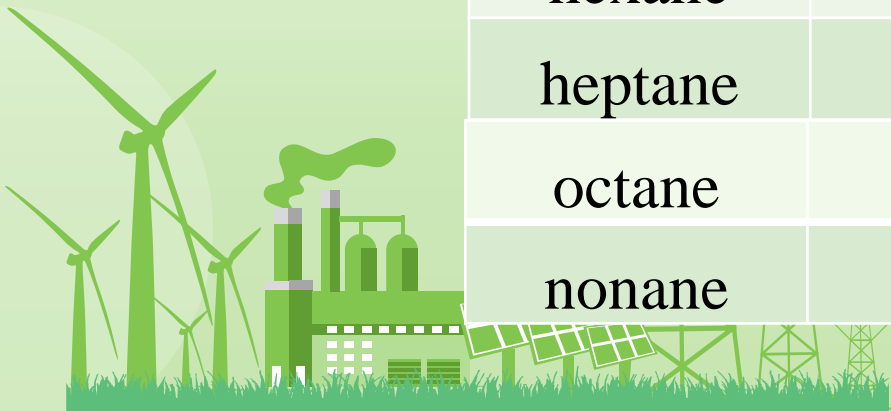
- Rantai atom karbon tidak harus selalu sebaris.

Jika rantainya membentuk cabang, maka sebuah isomer akan terbentuk. Dan dengan berat molekul yang sama akan mempunyai sifat-sifat fisika dan kimia yang berbeda.



## Sifat-sifat Alkanes (*Paraffins*)

Nama	Formula	SG	HV/LCV [kJ/kg]	RON
methane	CH <sub>4</sub>	0,3	49600	120
ethane	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0,37	47200	115
propane	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0,5	46000	112
butane	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,579	45400	94
penthane	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,626	45100	62
hexane	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	0,659	44800	25
heptane	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	0,689	44600	0
octane	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	0,703	44500	-20
nonane	C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>	0,7	44400	-50

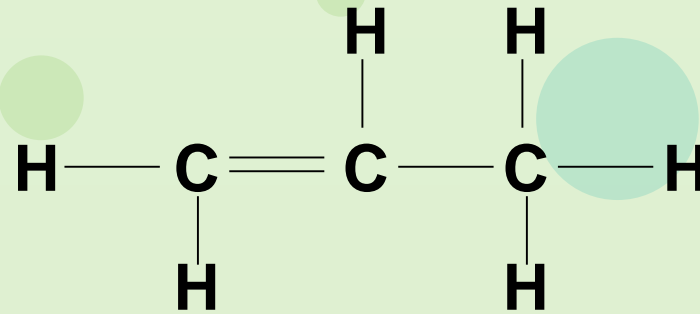


## 2. Alkenes (*olefins*)

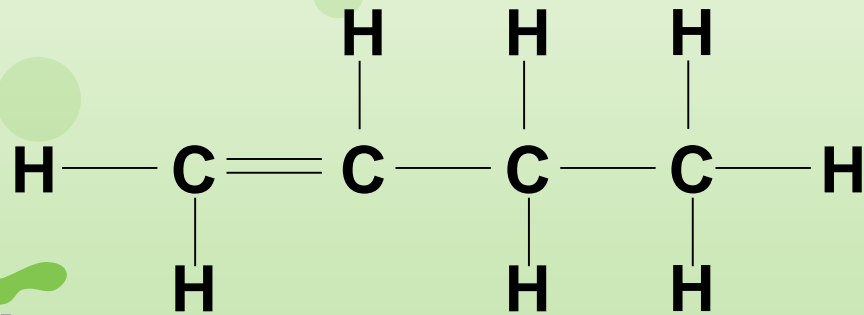
- merupakan senyawa tak jenuh, mempunyai sebuah ikatan double (ganda).

- rumus umumnya:  $C_n H_{2n}$

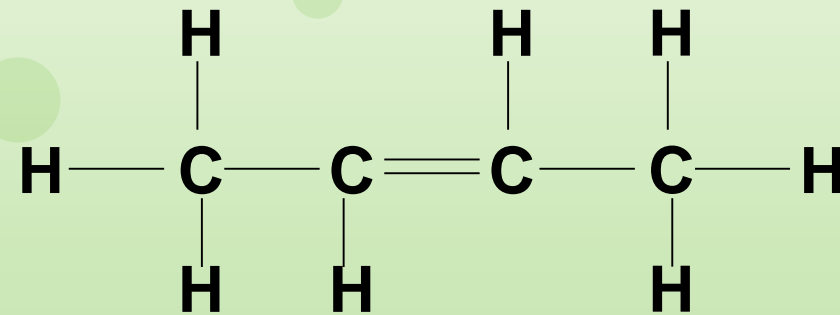
contoh: propene,  $C_3H_6$



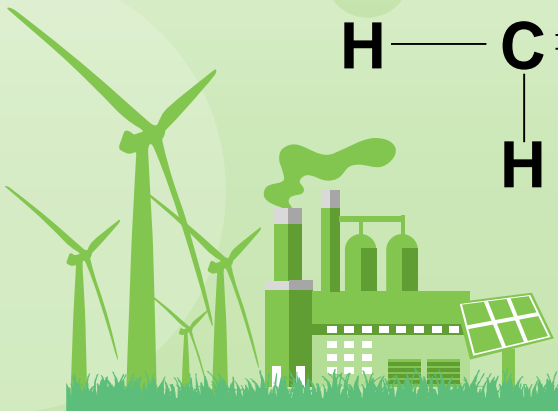
- ikatan ganda dapat terjadi pada posisi yang berbeda-beda.



$C_4 H_8$  butene 1

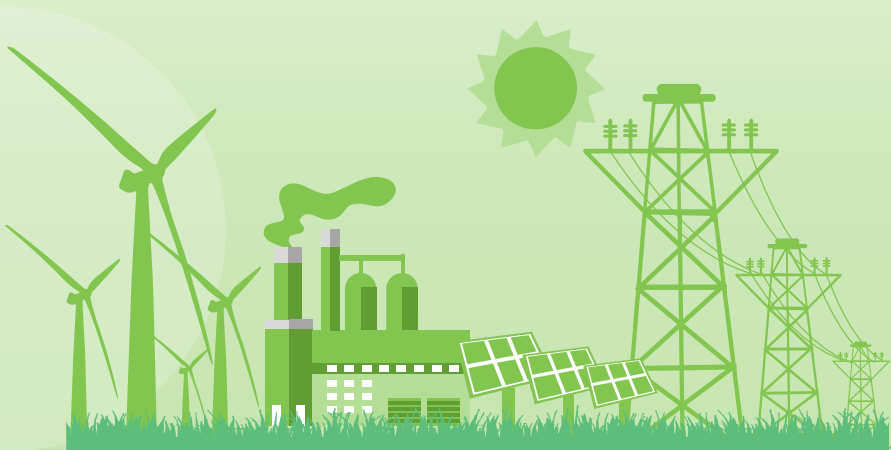
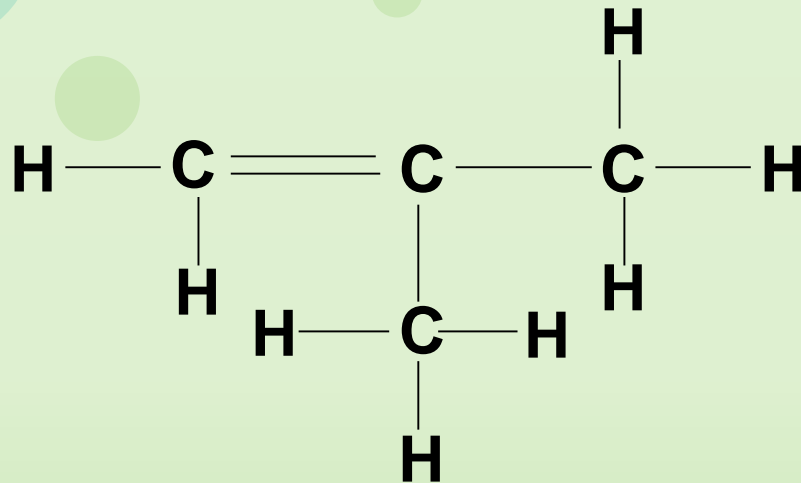


$C_4 H_8$  butene 2



- Isomer dapat terjadi pada alkene yang lebih tinggi  
contoh:

$C_4H_8$  iso-betene (2 methyl propene)

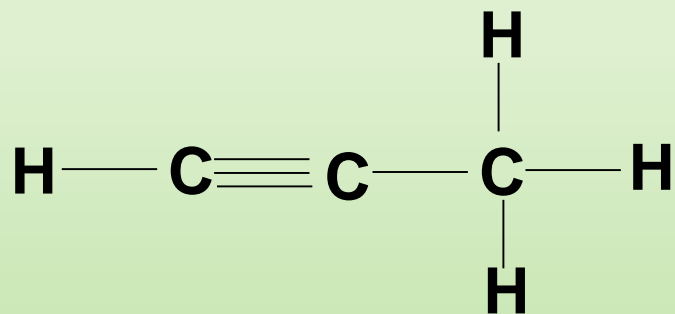




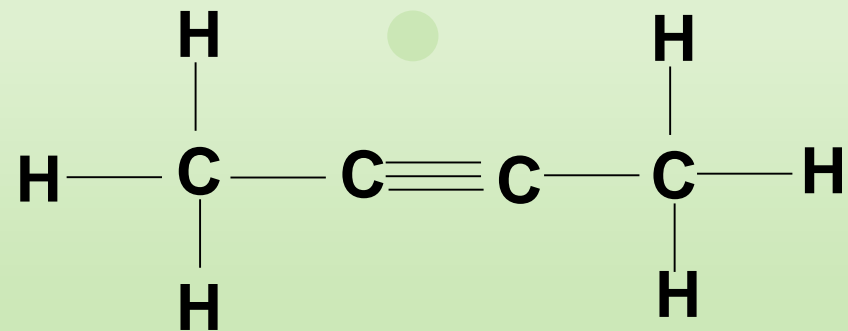
## 4. Alkynes (*acetylenes*)

- Senyawa tak jenuh dengan sebuah ikatan rangkap tiga
- Sangat reaktif (tidak stabil), membentuk getah, sangat berasap dalam pembakaran.
- rumus umum  $C_nH_{2n-2}$

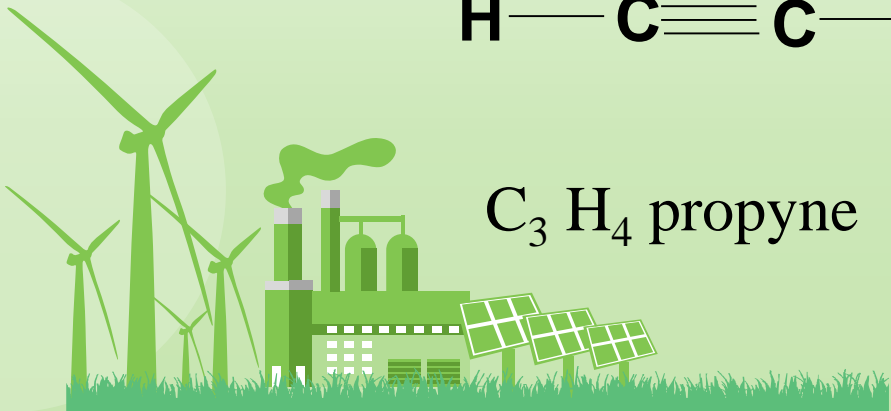
contoh:  $C_2H_2$  ethine (acetylene)     $H - C \equiv C - H$



$C_3H_4$  propyne



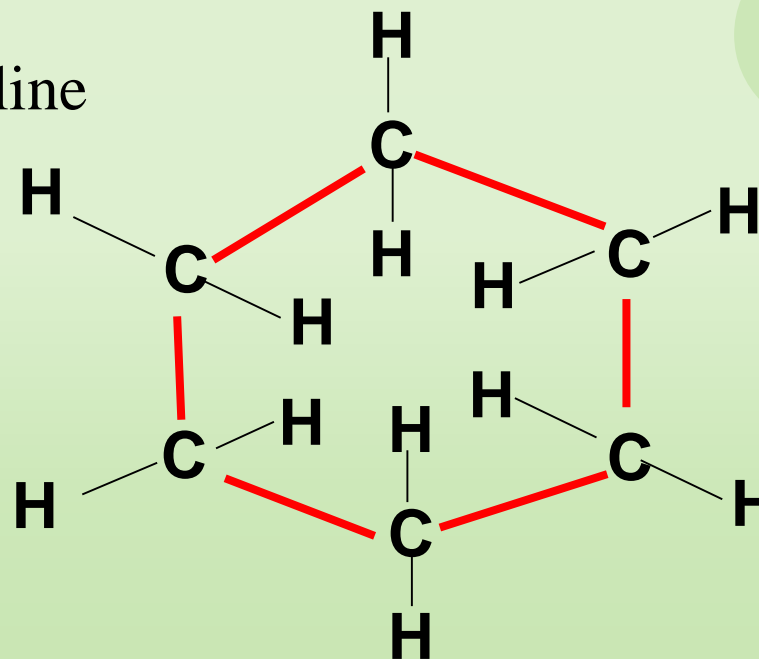
$C_4H_6$  butyne 2



## 5. Cyclanes (*naphenes* atau *Cycloparaffins*)

- Senyawa dengan rantai tertutup atau berbentuk cincin.
- Lebih  $\frac{1}{4}$  dari minyak mentah dibuat dari cyclanes, terutama isomer dari cyclohexane atau cyclopentane.
- rumus umum  $C_nH_{2n}$
- Sangat diinginkan dalam komponen gasoline

contoh:



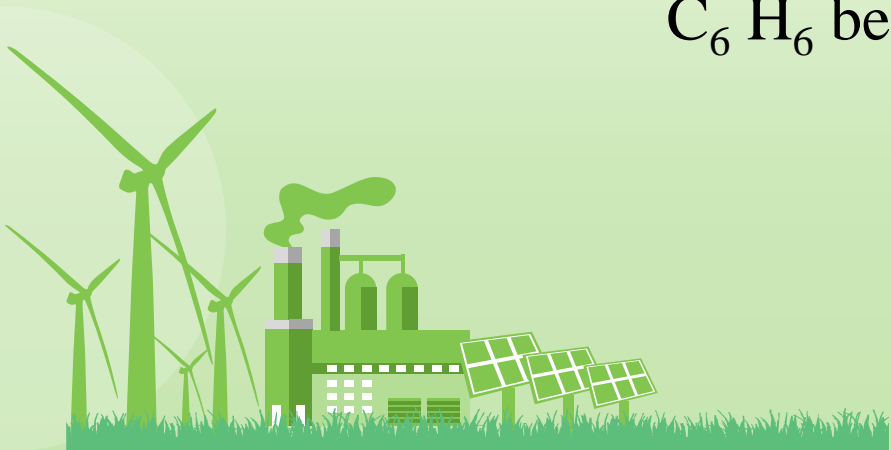
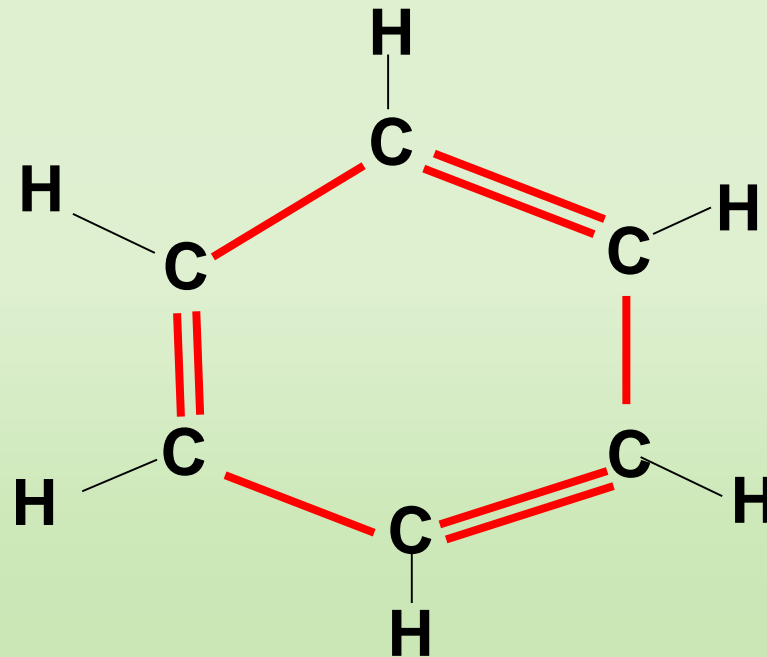


## 6. Aromatics (*benzene*)

- Senyawa cincin tak jenuh dengan rumus  $C_n H_{2n-6}$
- 3 ikatan ganda dalam posisi yang berselang seling
- Sangat stabil dalam penyimpanan, berasap dalam pembakaran, daya tinggi, temperatur penyalaan tinggi.

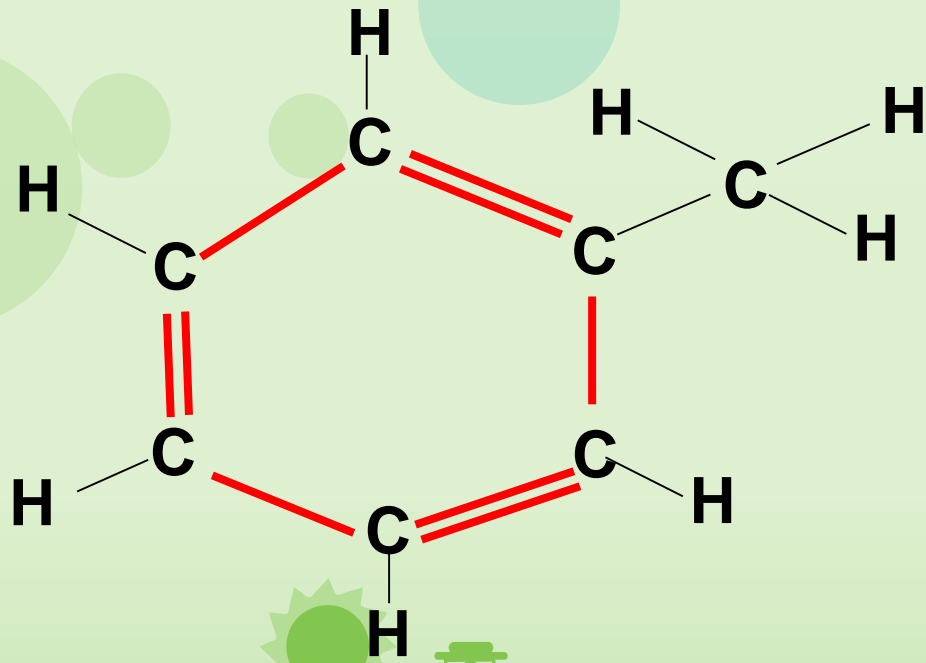
contoh:

$C_6 H_6$  benzene

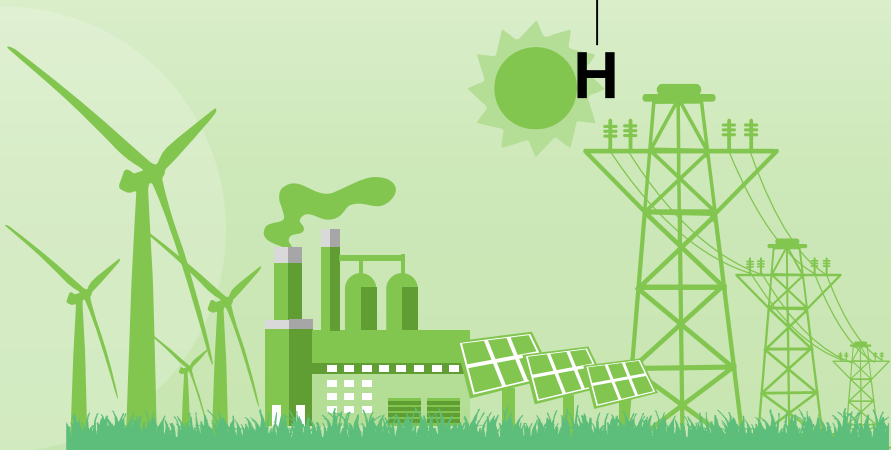
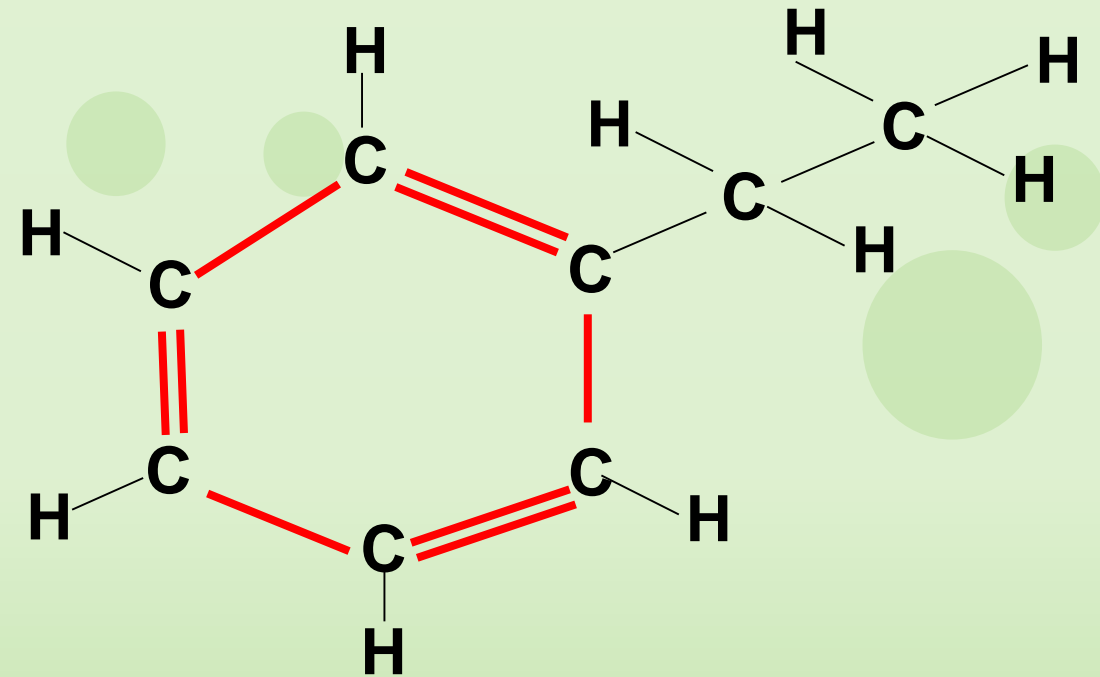


Beberapa polymer yang mungkin

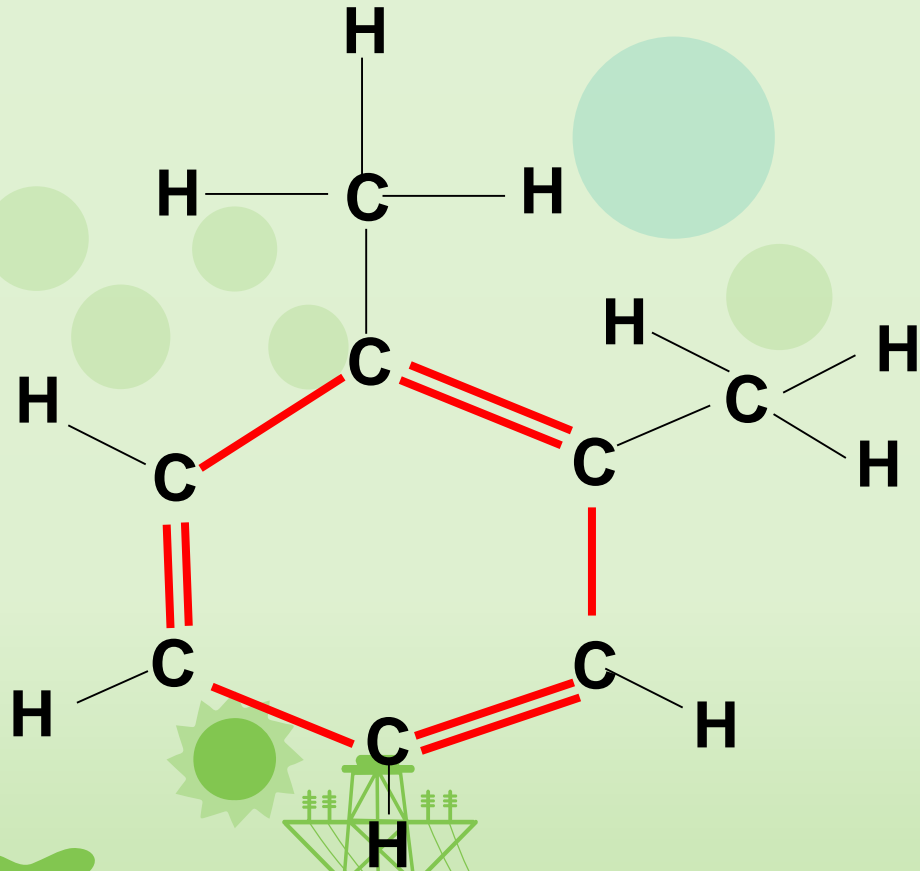
$C_7 H_8$  toluene (methyl benzene)



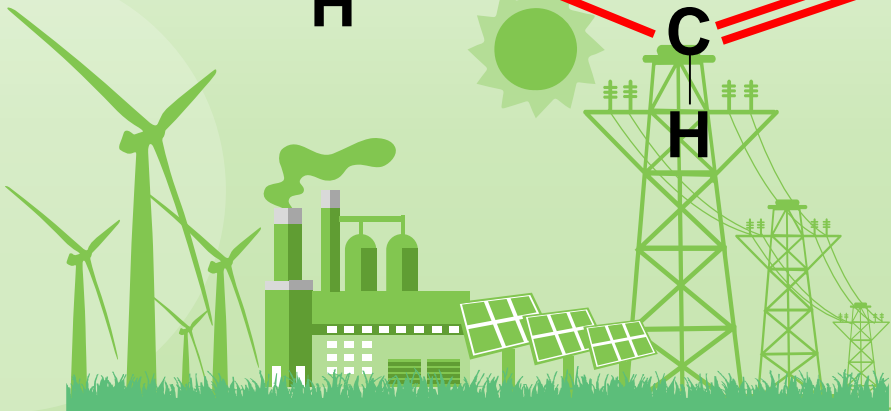
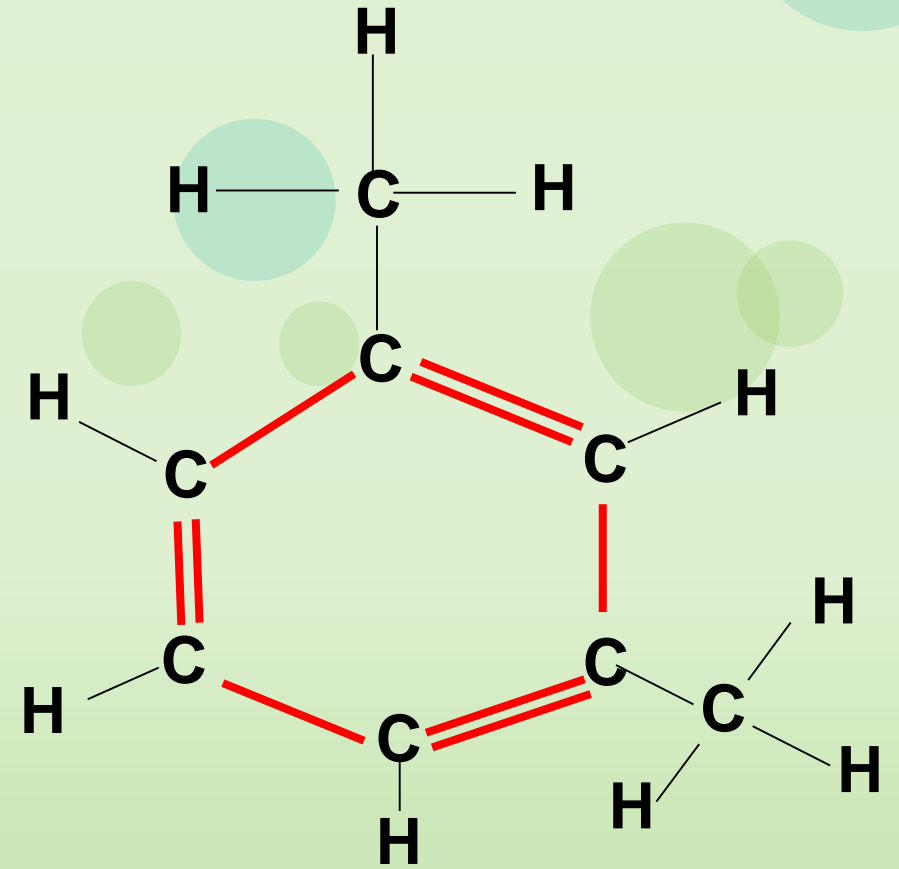
$C_8 H_{10}$  octene (ethyl benzene)



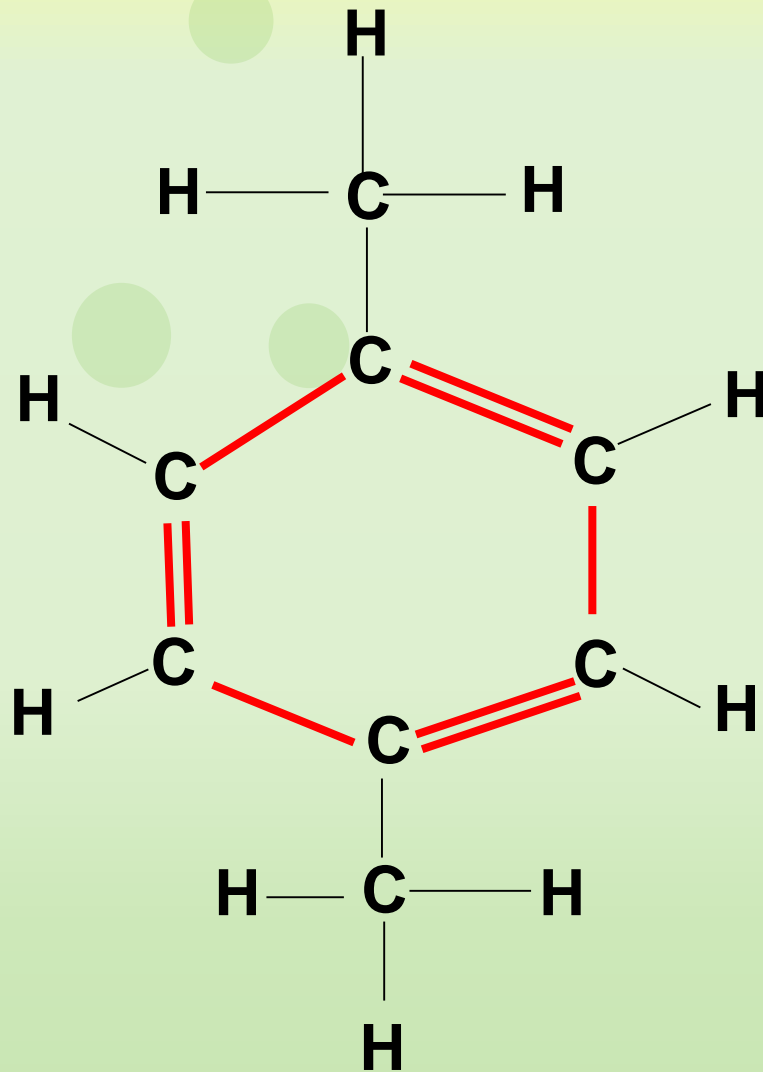
$C_8H_{10}$  1,2 dimethyl benzene (orthoxylylene)



$C_8H_{10}$  1,3 dimethyl benzene (metaxylylene)

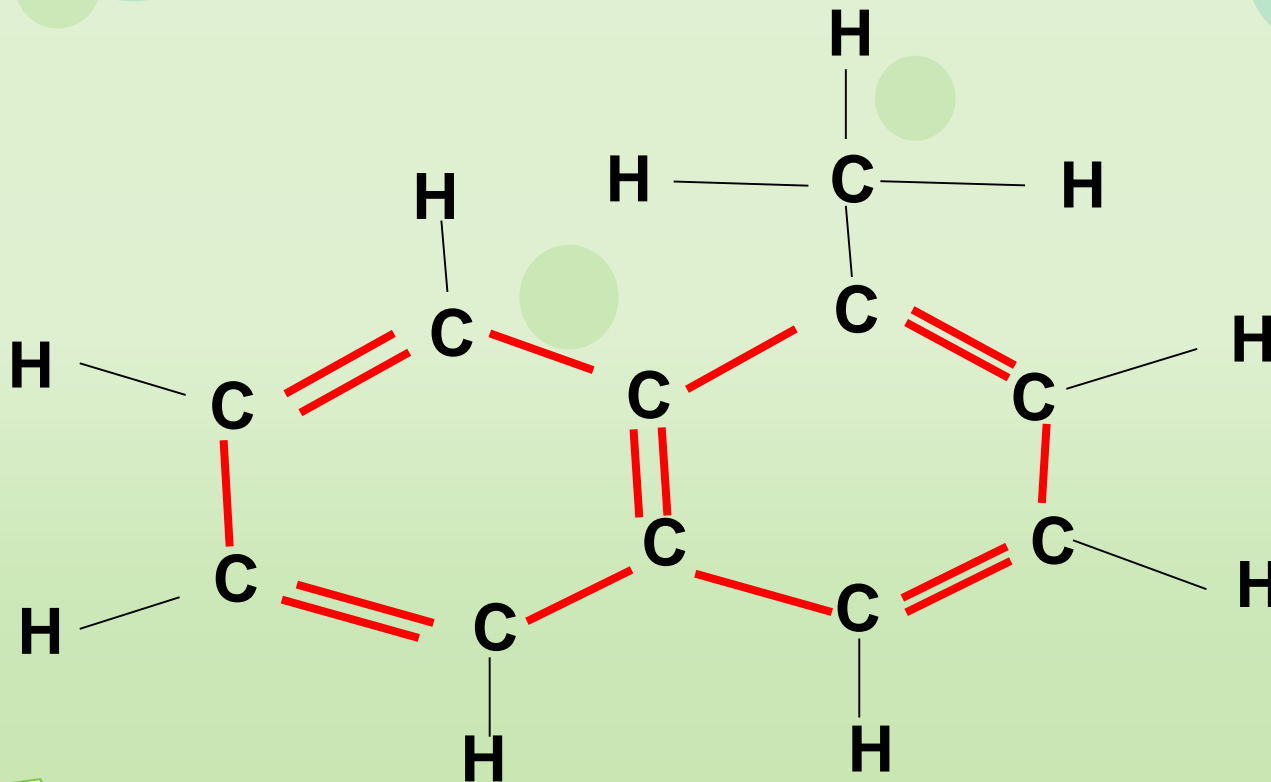


$C_8H_{10}$  1,4 dimethyl benzene (paraxylene)



## 7. Bicyclic dan Polycyclic Aromatics

- ✓ Banyak bicyclic dan polycyclic aromatic dengan dua atau lebih cincin aromatic naphthene.
- ✓  $C_{11}H_{10}$  alpha methyl naphthalene merupakan satu dari nilai bahan bakar yang digunakan untuk menentukan nilai bilangan cetane pada bahan baku diesel.



➤ Gasoline, kerosene, minyak diesel dan minyak oli didapat dari minyak mentah dengan cara:

- Pemisahan (*separation*)
- Pengubahan (*conversion*)
- Proses treatment (*treatment processes*)

❖ Pemisahan (*separation*)

- Umumnya merupakan proses-proses fisika, bukan proses kimia.
- Pertamakali (terutama) proses pemisahan ukuran molekul dengan cara:
  - distilasi (*fractional distillation*) atau
  - ekstraksi (*solvent extraction*).

❖ Pengubahan (*conversion*)

- Merupakan proses-proses kimia:

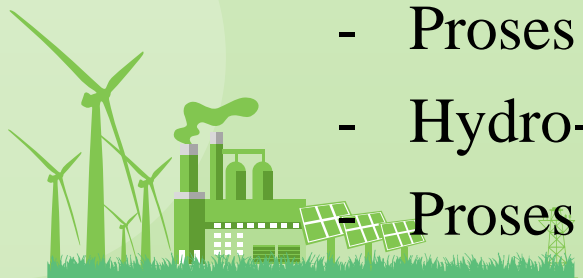


- **Cracking:** merupakan fraksi yang berat menjadi fraksi yang lebih ringan dengan cara termal atau yang lebih ringan dengan cara termal atau dengan katalisator. [*catalytic*].
- **Catalytic reforming** atau **platforming** merubah napthenes atau paraffins menjadi aromatics untuk menaikkan tingkat (nilai) anti knock nya.
- **Alkylation** : merubah senyawa olefins menjadi senyawa paraffins, khususnya menjadi iso-octane.
- **Isomerisasi:** merubah paraffins dengan rangkaian memanjang menjadi senyawa olefins (iso-butene, dan iso-batylene) yang siap untuk proses Alkylation.

❖ Proses treatment (*treatment processes*)

- memperbaiki warna, bau dan stabilitas
- Proses Girbotol untuk menghilangkan hidrogen sulfida ( $H_2S$ )
- Hydro-disulphurizing untuk menghilangkan kandungan sulfur.

Proses penghilangan air.



## 8. Bahan Bakar Gas

Bahan bakar gas dibagi i menjadi 3 kelompok

- Gas Alam (CNG, LNG)
- Gas LPG (*Liquefied Petroleum Gas*)
- Gas Sintetis (*Syngas*)

### ❖ Gas Alam (*Natural Gas*)

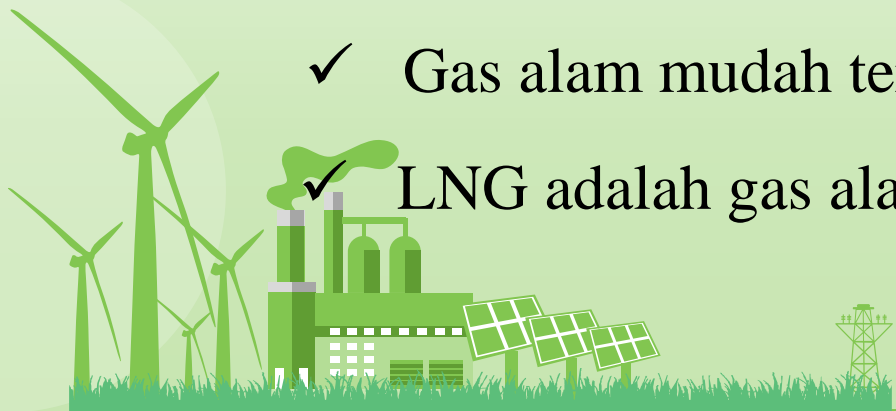
- ✓ Gas alam merupakan bahan bakar hidrokarbon yang sangat ringan kandungan utamanya:  $\text{CH}_4$  dan sedikit unsur-unsur  $\text{C}_2\text{H}_6$ ,  $\text{C}_3\text{H}_8$  dan  $\text{N}_2$ .
- ✓ Titik didihnya - 162  $^{\circ}\text{C}$  pada tekanan admosfer





## ❖ Gas Alam (*Natural Gas*)

- ✓ mempunyai nilai kalor yang tinggi (97,7 MJ/kg)
  - gasoline 43,5 MJ/kg
  - diesel 42,5 MJ/kg.
- ✓ Mempunyai nilai oktan yang sangat tinggi (= 120 RON) dan angka cetan yang sangat rendah.
  - ⇒ baik untuk motor dengan sistem penyala (*gasoline engines*)
  - ⇒ Jelek untuk motor diesel.
- ✓ Gas alam mudah terbakar dan bercampur dengan udara secara baik.
- ✓ LNG adalah gas alam yang disimpan dalam bentuk cair.



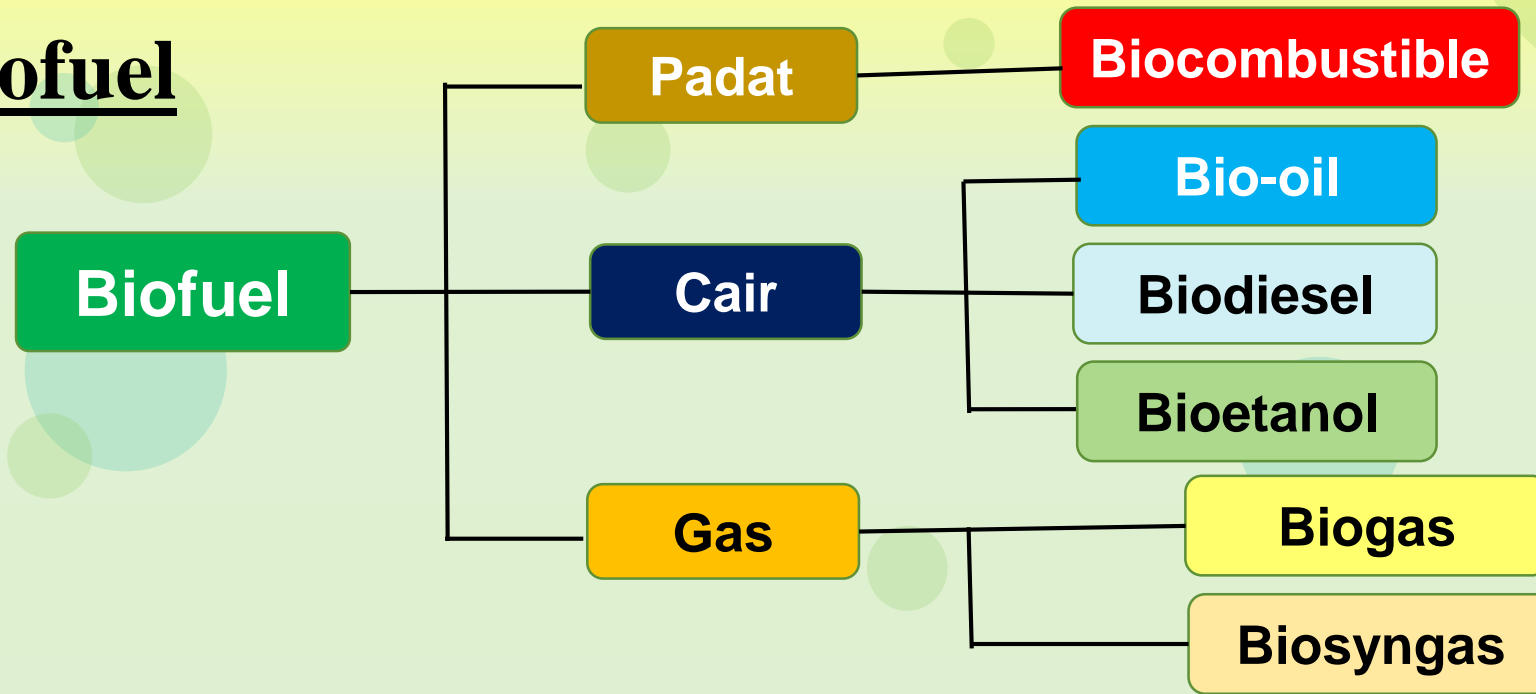
## ❖ Gas LPG (*Liquefied Petroleum Gas*)

- ✓ Unsur utamanya adalah propane,  $C_3H_8$  dan butane,  $C_4H_{10}$
- ✓ Mempunyai massa jenis lebih besar dibandingkan LNG.
- ✓ Berbentuk cair pada suhu dan tekanan normal
- ✓ Mempunyai nilai kalor yang tinggi 47,12 MJ/kg

## ❖ Gas Sintetis (*Syngas*)

- ✓ Unsur utamanya  $H_2$ , CO dan kadang-kadang  $CO_2$
- ✓ Komposisi unsurnya sangat dipengaruhi oleh bahan dasarnya.
- ✓ Natural syngas digunakan untuk produksi ammonia dan ethanol, biasanya dihasilkan dari gasifikasi batu bara.
- ✓ Syngas dapat dihasilkan dari banyak sumber energi termasuk natural gas, batu bara, biomassa atau sumber-sumber hidrokarbon yg lain.

## 9. Biofuel



- Setiap bahan bakar baik padat, cair maupun gas yang dihasilkan dari bahan-bahan organik.
- Biofuel dapat dihasilkan secara langsung dari tanaman atau secara tidak langsung dari limbah industri, komersial, domestik atau pertanian.
- Biofuel padat : kayu bakar, pellet, arang, serbuk kayu, dll.
- Biofuel gas : biogas/biomethane dan biosyngas.
- Biofuel cair : yang utama bio-oil, bioethanol dan biodiesel

## ➤ Biofuel padat

- Biofuel padat digunakan untuk pembakaran langsung setelah diperlakukan terlebih dahulu (pemisahan, pengeringan, pencacahan, pengurangan, peletisasi, dll) hingga layak untuk dibakar.
- Biofuel padat berupa biomassa yang dapat dibakar (biocombustible) adalah salah satu bentuk biofuel yang paling tua, seperti memasak dengan kayu bakar atau untuk memanaskan ruangan di daerah bermusim dingin.
- Sistem pembakaran yang lebih maju dapat memaksimalkan produksi panas, uap/steam, dan listrik.
- Proses pelletisasi atau pengurangan pada biofuel padat umumnya bertujuan untuk menaikkan nilai kalor dan memudahkan penanganan (pengangkutan dan penyimpanan).
- Contoh pemanfaatan biofuel padat adalah penggunaan limbah industri kayu, sawit, sampah dll. untuk bahan bakar boiler menghasilkan uap/listrik.





**Biofuel padat**



## ➤ Biofuel-gas

Paling tidak ada dua macam biofuel berbentuk gas, yaitu biogas dan biosyngas. Keduanya sangat berbeda dan dibuat melalui proses yang berbeda.

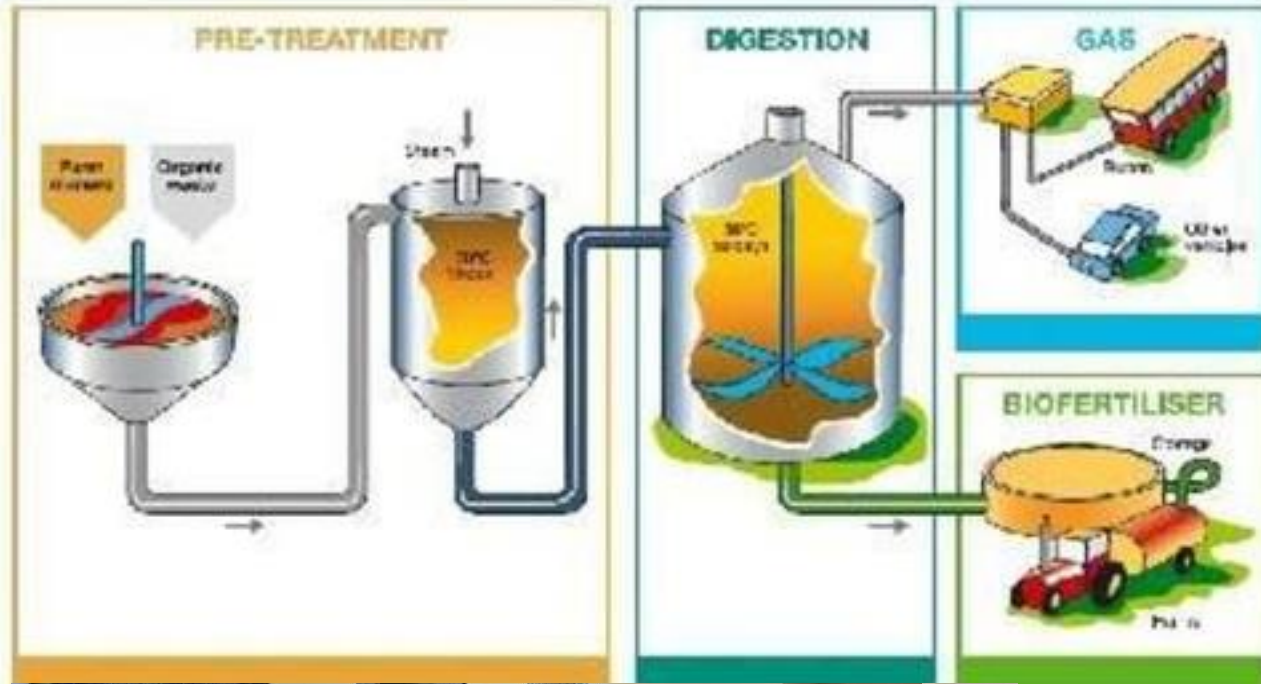
### ❖ Biogas

- ✓ merupakan gas yang dihasilkan melalui proses digesti anaerob atau fermentasi bahan organik dalam kondisi rendah oksigen.
- ✓ kandungan utama dalam biogas adalah metana,  $\text{CH}_4$  dan karbon dioksida,  $\text{CO}_2$

Komponen	%
Metana ( $\text{CH}_4$ )	55-75
Karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ )	25-45
Nitrogen ( $\text{N}_2$ )	0-0.3
Hidrogen ( $\text{H}_2$ )	1-5
Hidrogen sulfida ( $\text{H}_2\text{S}$ )	0-3
Oksigen ( $\text{O}_2$ )	0.1-0.5

### **Komposisi biogas**





## Penguraian anaerob

Merupakan proses penguraian biomassa dengan bantuan mikrobakteria tanpa melibatkan oksigen. Proses penguraian oleh bakteri di dalam digester menghasilkan gas metana dan pupuk organik.



## ❖ Biosyngas

- ✓ synthetic gas atau lebih sering disingkat dengan Syngas atau producer gas, adalah *intermediate* gas yang dibuat melalui proses gasifikasi thermo-kimia dimana suhu tinggi merubah material kaya karbon menjadi karbon monoksida (CO) dan hidrogen (H<sub>2</sub>).
- ✓ biosyngas adalah gas hasil proses gasifikasi dengan bahan baku utamanya biomassa.
- ✓ biosyngas dapat langsung digunakan sebagai bahan bakar atau sebagai bahan baku untuk reaksi kimia lainnya.
- ✓ kandungan energi biosyngas kurang lebih 3 – 8 MJ/Nm<sup>3</sup>, tetapi dapat mencapai 10 – 20 MJ/Nm<sup>3</sup> jika menggunakan oksigen murni dalam proses gasifikasi.
- ✓ apabila dalam proses gasifikasi ditambahkan uap/steam, yang disebut '*reforming*', gas yang dihasilkan akan mengandung hydrogen dalam konsentrasi tinggi.



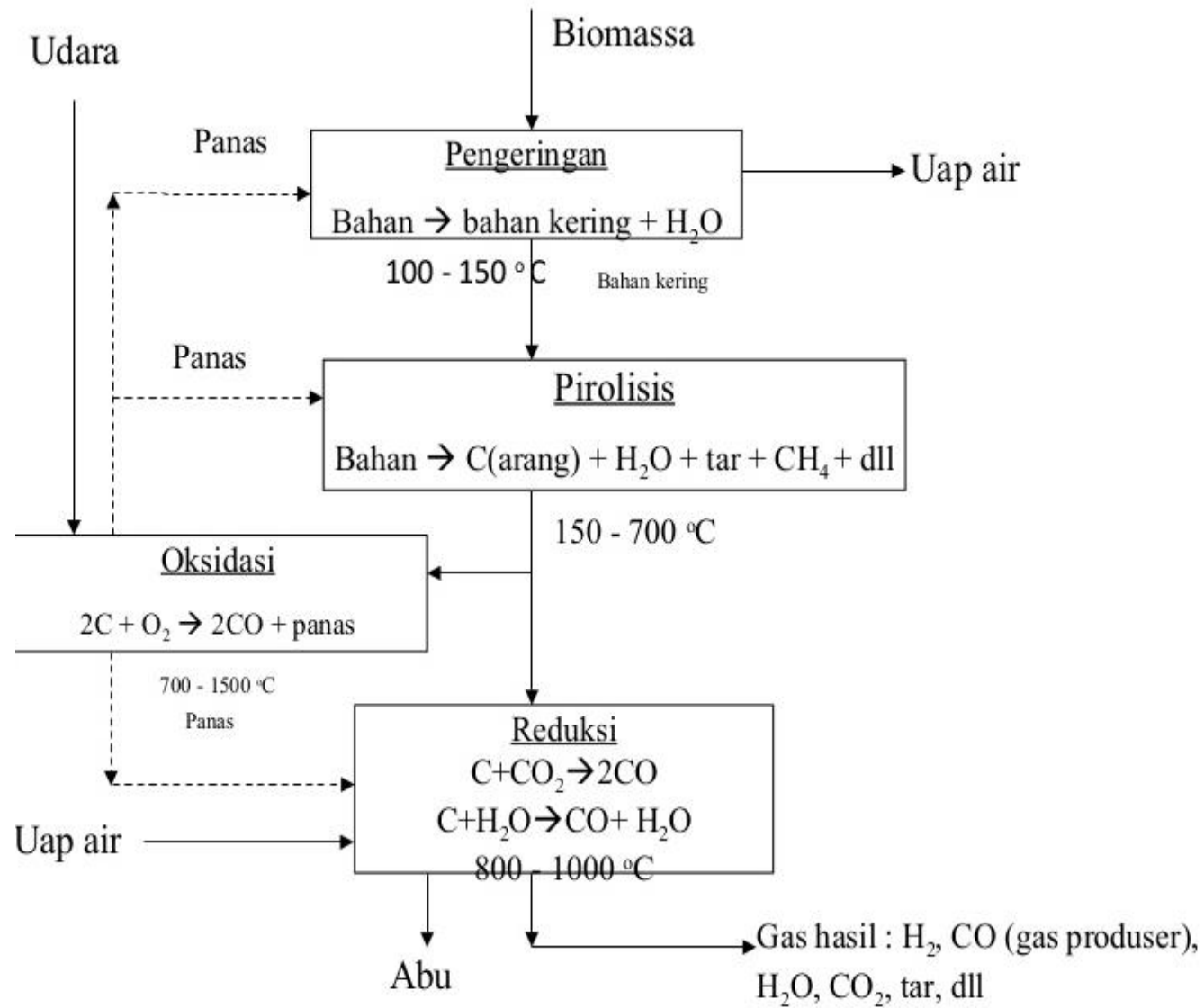
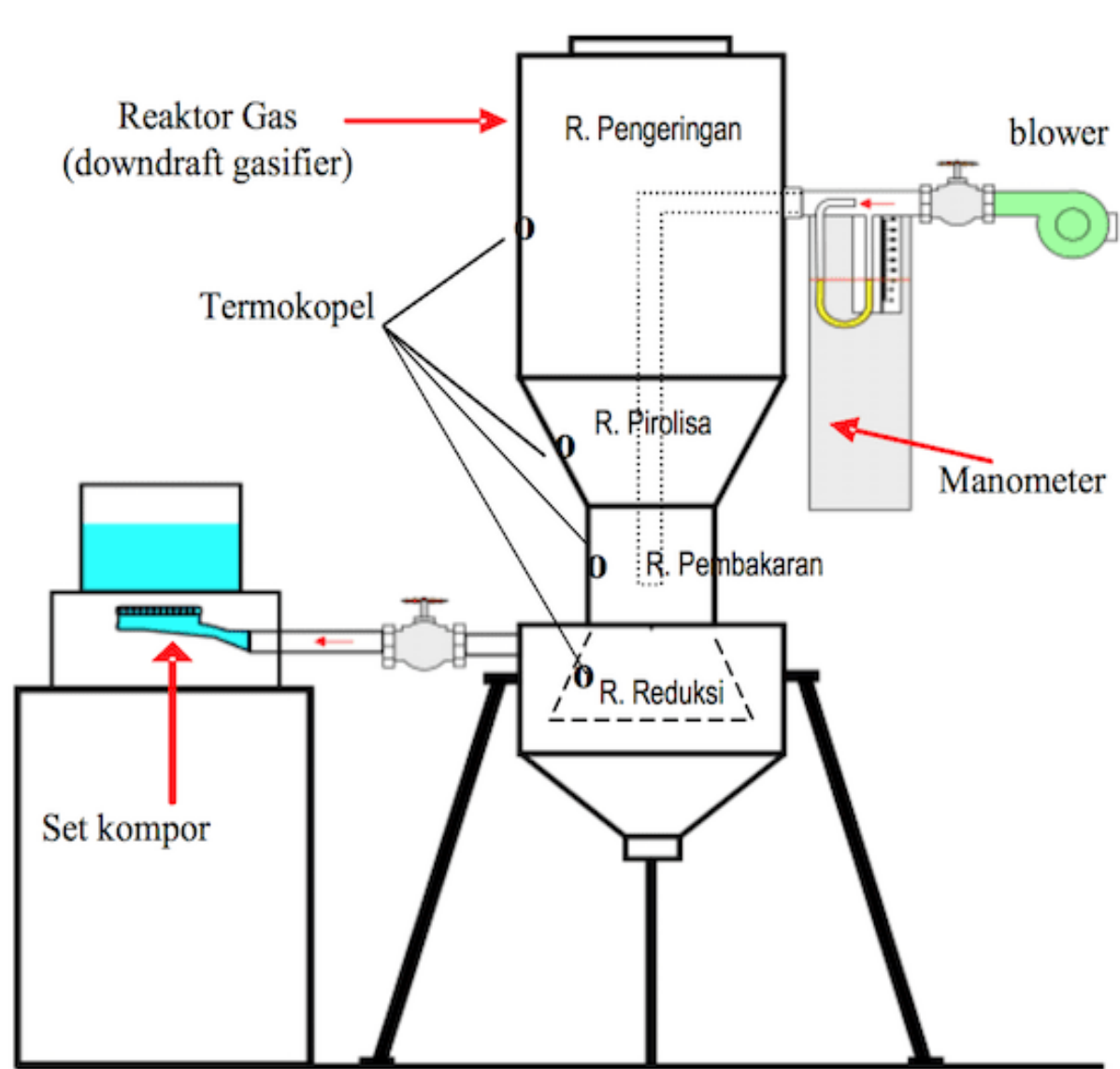
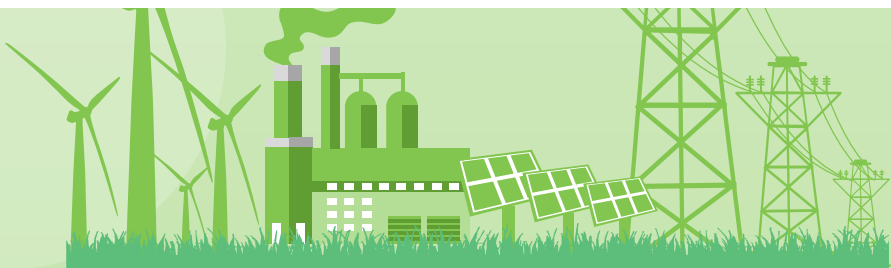
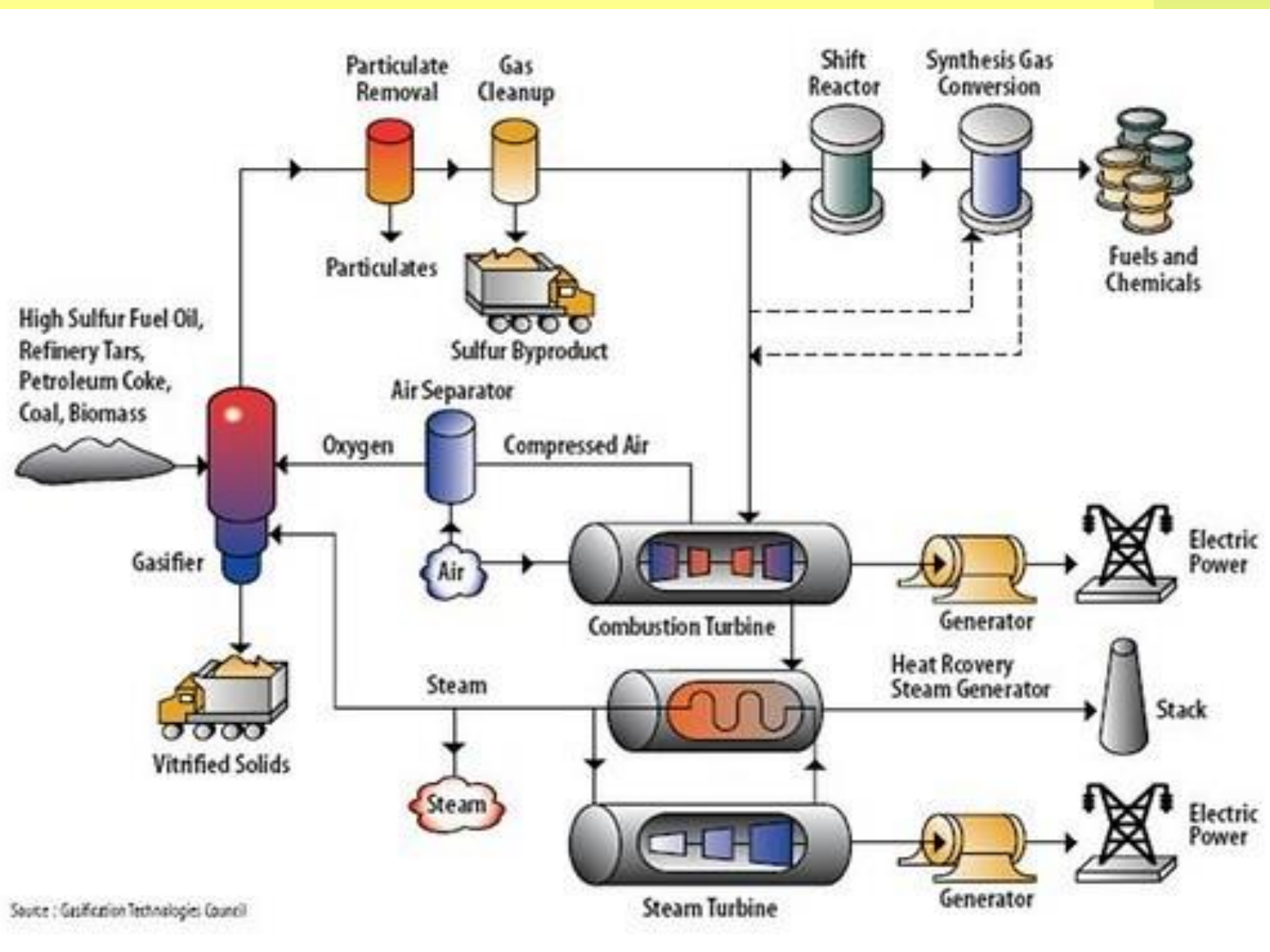


Diagram alir proses gasifikasi





**Proses gasifikasi untuk memproduksi biosyngas.**

## ➤ Biofuel cair

- ✓ merupakan bahan bakar yang berasal dari minyak nabati
- ✓ Dapat berupa:
  - ✓ *Bio-oil*
  - ✓ *Biodiesel*, atau
  - ✓ *Bioethanol*

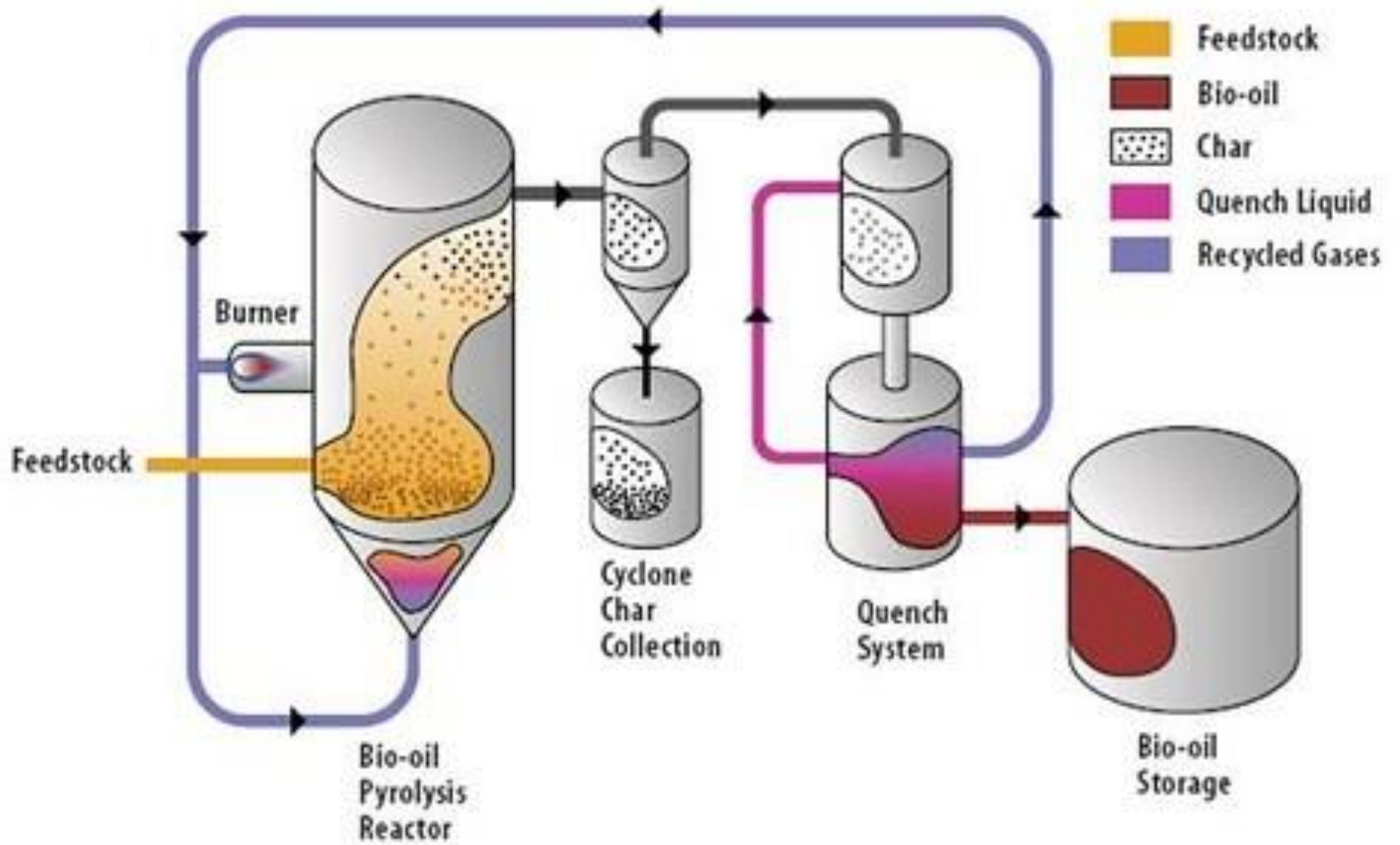
### □ Bio-oil

- *bio-oil* adalah kondensat cair yang berasal dari minyak nabati (*straight vegetable oil*) dan biomass yang diproses secara termokimia melalui pencairan langsung atau pirolisis cepat
- *bio-oil* memiliki kandungan anergi kurang lebih 17 MJ/kg atau setengah dari kandungan energi minyak bumi (39 MJ/kg), tetapi empat kali lebih besar dari kayu, dan 15 kali lebih tinggi dari jerami.

## □ Bio-oil

- *bio-oil* bebas sulfur dan sangat rendah kandungan mineral dan nitrogen, sehingga memungkinkan sebagai substitusi untuk bahan bakar fosil, atau (dengan penambahan surfaktan) dapat dicampur dengan minyak bumi untuk bahan bakar mesin..
- bahan dasar utamanya adalah biomassa dari sisa metabolisme makhluk hidup, limbah industri atau limbah rumah tangga yang dapat di daur ulang, misalnya kayu, sekam, jerami, kotoran hewan atau sisa-sisa makanan.
- *bio-oil* dapat juga digunakan sebagai pengganti minyak tanah atau minyak bakar.





Source: DynaMotive Energy Systems Corporation

Proses pirolisis untuk menghasilkan *bio-oil*

## □ Biodiesel

- unsur kimianya merupakan alkil ester (metil, etil, *isopropyl* dan sejenisnya) berasal dari asam-asam lemak dengan rumus bangun 
$$\begin{array}{c} \text{H-C-O-H} \\ || \\ \text{O} \end{array}$$
- umumnya dibuat melalui reaksi metabolisme atau etanolisis minyak lemak nabati atau hewani dengan alkohol (metanol/etanol)
- memiliki sifat fisika dan kimia yang mirip dengan BBM diesel
- alternatif yang memiliki potensi besar untuk memenuhi sebagian kebutuhan BBM Diesel.
- di Indonesia biodiesel dihasilkan dari minyak kelapa sawit, minyak biji jarak, dan sebagainya.
- ❖ Sebagai bahan bakar cair, biodiesel sangat mudah digunakan dan dapat langsung dimasukkan ke dalam mesin diesel tanpa perlu memodifikasi mesin, atau dapat dicampur dengan minyak solar/diesel untuk menghasilkan campuran biosolar yang ber-*cetane* tinggi.

## Karakteristik biodiesel

1. Memiliki bilangan cetana yang tinggi.
2. Mirip dengan BBM diesel, sehingga penggunaannya tidak memerlukan modifikasi mesin.
3. Tidak mengandung senyawa aromatik atau nitrogen
4. Memiliki sifat pelumas yang lebih baik dari BBM fosil
5. Apabila dicampurkan dengan BBM diesel dapat meningkatkan bilangan cetana dan *biodegradability*.
6. Kandungan sulfur sangat rendah, kurang dari 15 ppm, sehingga akan menurunkan tingkat opasitas asap
7. Lebih efisien dalam pembakaran, karena mengandung oksigen, maka akan menurunkan emisi gas buang



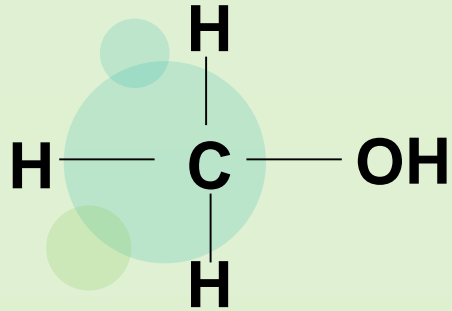
## □ Bioethanol

- Alkohol adalah bagian paraffins dengan sebuah hidroksyl radikal OH menempati salah satu dari tempat atom H.
- memiliki nilai oktan/knok tinggi, panas latent tinggi tetapi nilai kolorifik rendah.
- dihasilkan dari sumber nabati dari tumbuhan bergula, berselusa, atau berpati seperti tetes tebu, nira, sorgum, nira nipah, singkong, ubi jalar dll.
- umumnya dibuat dengan menggunakan mikroba (*ragi/yeast*) yang mampu memfermentasikan gula yang terkandung didalamnya, setelah proses fermentasi terjadi, gula kemudian mengalami proses distilasi, dehidrasi dan denaturisasi sebagai tahap akhir.
- beberapa jenis tanaman memerlukan proses tambahan pd saat fermentasi, yaitu proses hidrolisasi agar gula dapat berubah menjadi karbohidrat.
- memiliki sifat fisika dan kimia yang mirip engan BBM gasoline/bensin dengan bilangan oktan yang tinggi dan rumus bangun

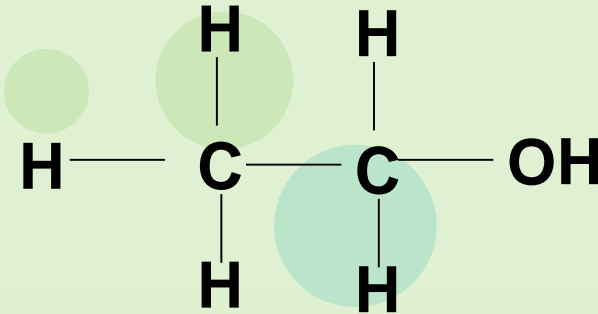


Contoh:

CH<sub>3</sub>OH methyl alcohol (methanol)

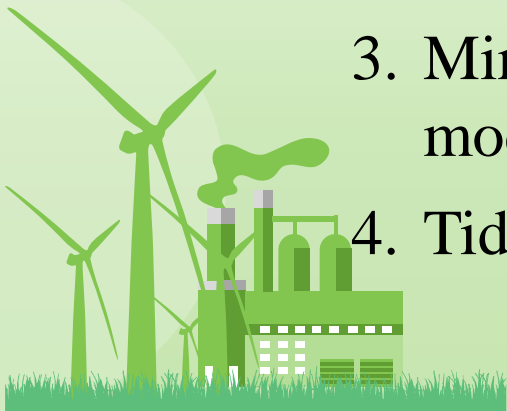


C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH ethyl alcohol (ethanol)



### Karakteristik bioethanol

1. Memiliki angka oktan yang tinggi.
2. Mampu menurunkan tingkat opasiti asap, emisi partikulat yang membahayakan kesehatan, serta emisi CO dan CO<sub>2</sub>
3. Mirip dengan bensin, sehingga penggunaanya tidak memerlukan modifikasi mesin.
4. Tidak mengandung senyawa timbal (Pb)





Terima kasih

