

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Penelitian pirolisis komponen kimia asap cair terhadap limbah padat kelapa sawit hasil pirolisis dilakukan oleh Haji (2013). Bahan yang digunakan terdiri dari cangkang, janjang serta tandan kosong, reaktor yang digunakan merk *Tube Furnace Type 21100* dilengkapi pengatur suhu *thermolyne* dan kondensor. Bahan baku yang digunakan 150 g untuk setiap sampel biomassa dengan suhu mencapai 500°C selama 5 jam. Rata-rata rendemen terhadap asap cair hasil pirolisis cangkang 52,02%, janjang 34,88% serta tandan kosong 29,59%. Hasil identifikasi senyawa menggunakan teknik KGSM terhadap asap cair pirolisis cangkang kelapa sawit terdiri dari 27 senyawa, janjang 11 senyawa serta tandan kosong 13 senyawa dengan kesimpulan dari ketiga biomassa tersebut memiliki konsentrasi lebih tinggi terletak pada senyawa asam asetat dan fenol.

Juliansyah (2017) melakukan penelitian terhadap pengaruh persentase campuran cangkang sawit dan plastik. Bahan baku yang dipakai persentase plastik 100 % sawit 0 %, plastik 75 % sawit 25 %, plastik 50 % sawit 50 %, plastik 25 % sawit 75 %, dan plastik 0 % sawit 100 % dengan penambahan katalis CaO sebanyak 200 g pada setiap persentasenya. Reaktor yang digunakan berjenis *fixedbed* dengan dikelilingi *heater* sebagai pemanas. Hasil penelitian menunjukkan *bio-oil* terbesar ada pada campuran plastik 100%, sawit 0% yaitu sebesar 54,1%. Campuran plastik 0%, sawit 100% memiliki densitas tinggi sebesar 1000 kg/m³ dan nilai keasaman sebesar 3,5 pH dalam hasil uji GCMS mengandung banyak senyawa oksigenat. Campuran plastik 100%, sawit 0% memiliki nilai kalor tinggi sebesar 45,89 MJ/kg dalam hasil uji GCMS mengandung banyak senyawa hidrokarbon.

Penelitian pirolisis terhadap sampah plastik PP dan LDPE menjadi bahan bakar minyak dilakukan oleh Endang (2016). Reaktor yang digunakan tipe *semi batch* dengan biomassa 500 g, variasi suhu yang dipakai 250°C, 300°C, 350°C, 400°C dengan

durasi 60 menit. Katalis menggunakan zeolit serta pasir silika sebagai penahan panas. Hasil pirolisis menunjukkan untuk plastik PP pada variasi 400°C merupakan variasi suhu yang paling banyak menghasilkan minyak sedangkan plastik LDPE pada variasi suhu 300°C, nilai densitas mendekati densitas solar dan minyak, nilai viskositas mendekati viskositas bensin berada pada variasi suhu 350°C untuk plastik PP sebesar 0,6 cP serta variasi 300°C plastik LDPE sebesar 0,62 cP, nilai kalor plastik PP yang hanya mendekati nilai kalor bensin pada variasi suhu 400°C sebesar 10570,1 kkal/kg.

Wardana (2016) melakukan penelitian pirolisis lambat terhadap campuran katalis zeolit alam dengan biomassa cangkang sawit dan kantong plastik yang dicacah berukuran 3 cm hingga 7 cm dengan persentase 0%, 10%, 20% dan 30% pada massa 400 g. Reaktor pirolisis tipe *fixed bed* berdiameter 17 cm serta tinggi 27,5 cm dengan dikelilingi *heater* sebagai pemanas yang memiliki daya 5000 watt, serta dilengkapi dengan gas nitrogen yang dimasukkan kedalam reaktor bertujuan untuk mengusir oksigen. Pengujian bahan baku cangkang sawit 100% suhu 450°C mengalami penurunan *bio oil* pada penggunaan katalis zeolit, hasil yang didapat dengan tanpa katalis sebesar 40% *bio oil* sedangkan memakai katalis 17% *bio oil*. Sementara itu pengujian bahan baku cangkang sawit 70% dicampur plastik 30% suhu 450°C mengalami kenaikan *bio oil* yaitu pada pemakaian katalis zeolit dengan hasil yang didapat sebesar 25% *bio oil* sedangkan tanpa katalis sebesar 20% *bio oil*. Hal ini mendeskripsikan bahwa pirolisis dengan katalis zeolit alam pada bahan baku cangkang yang dicampur plastik akan meningkatkan jumlah *bio oil* yang dihasilkan.

Penelitian terhadap pengaruh persentase katalis CaO dengan pirolisis pada sifat fisik dan kimia *pyrolitic oil*. Biomassa yang digunakan cangkang kelapa sawit dan kantong plastik dengan campuran 50:50 terhadap massa 1 Kg serta ditambahkan katalis CaO dengan persentase 0% wt, 5 % wt, 10 % wt, 20 % wt dan 30 % wt. Reaktor yang digunakan berjenis *fixedbed* dengan dikelilingi heater pada bagian samping dan bawah sebagai pemanas. Parameter fisik yang diuji meliputi densitas, keasaman, kuantitas *pyrolitic oil* serta parameter kimia di uji nilai kalor dan GCMS. Hasil GCMS campuran CaO 0% menghasilkan senyawa hidrokarbon 78,09% serta

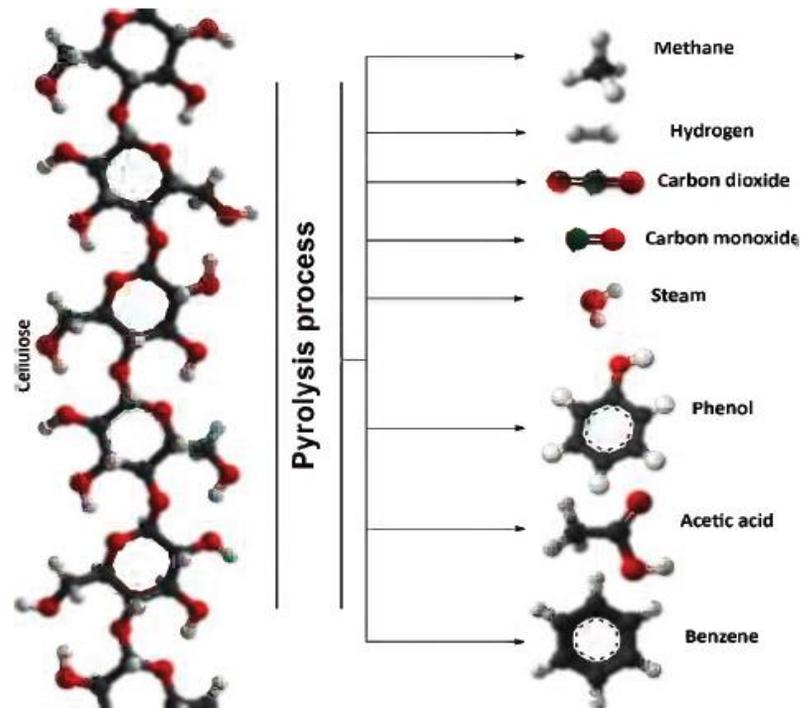
senyawa oksigenat 21,91% sedangkan campuran CaO 30% menghasilkan senyawa hidrokarbon 76,49% serta senyawa oksigenat 23,51%. Penelitian pirolisis cangkang sawit dan plastik variasi katalis CaO 0% memiliki keasaman yang tinggi yaitu 3,6 namun, ketika ditambahkan katalis CaO tingkat keasaman berangsur turun, pada variasi 5% CaO sebesar 3,9 kemudian 10% CaO sebesar 4,1 hingga pada campuran terakhir 30% CaO sebesar 4,7. Hal Ini membuktikan bahwa katalis CaO dapat mengurangi tingkat keasamaan *pyrolytic oil* (Sihabudin, 2018).

Hasil dari penelitian Wardana (2016) pada pirolisis lambat, proses pirolisis dengan menggunakan katalis zeolit alam pada bahan baku campuran cangkang kelapa sawit dan plastik akan meningkatkan jumlah *pyrolytic oil*. Sementara itu pada penelitian Sihabudin (2018) dengan penelitiannya pada pirolisis menggunakan bahan baku cangkang sawit dan plastik terhadap pengaruh penggunaan katalis CaO, dari hasil yang didapat bahwa katalis CaO dapat mengurangi derajat keasaman pada *pyrolytic oil*. Keunikan penelitian ini adalah menggabungkan dua katalis (CaO dan zeolit alam) dalam melakukan proses pirolisis cangkang sawit dan plastik untuk meningkatkan kualitas *pyrolytic oil* yang dihasilkan.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Pirolisis

Pirolisis merupakan dekomposisi kimia biomassa (bahan organik maupun anorganik) melalui pemanasan dalam ketiadaan total oksidator atau sedikit oksigen. Selama proses pirolisis, molekul hidrokarbon kompleks yang besar pada biomassa (bahan organik) terurai menjadi molekul gas, cairan, dan arang yang relatif lebih kecil dan lebih sederhana. Proses pirolisis ini biasanya dilakukan dalam rentang temperatur 300-650 °C sedangkan untuk gasifikasi 800-1000 °C dan untuk *torrefaction* 200-300 °C (Basu, 2013). Terlihat pada Gambar 2.1 merupakan dekomposisi kimia molekul Hidrokarbon yang besar menjadi lebih kecil pada proses pirolisis.



Gambar 2.1 Dekomposisi Kimia Pirolisis (Basu, 2013)

1. Hal-hal yang berpengaruh terhadap pirolisis

A. Temperatur

Proses pirolisis pada umumnya memiliki temperatur antara suhu 300-650°C. Temperatur berpengaruh pada hasil produk pirolisis, tingkat dekomposisi material dan waktu tinggal. Seiring dengan meningkatnya suhu pada reaksi pirolisis maka kerusakan struktur penyusun material dan laju dekomposisi meningkat. Sehingga, terjadi proses karbonisasi material serta meningkatnya kehilangan massa. Namun, pada proses pirolisis temperatur yang digunakan cukup tinggi melebihi temperatur pada umumnya, maka akan meningkatkan reaksi dekomposisi yang dapat menyebabkan komponen penyusun material banyak dirubah menjadi bentuk *liquid* dan gas, sehingga pada akhirnya hasil pirolisis berupa padatan menjadi berkurang dengan waktu tinggal pada reaktor lebih singkat (Mustofa, 2016).

B. *Resident Time*

Waktu reaksi dapat mempengaruhi karbonisasi, dekomposisi dan depolimerisasi saat proses pirolisis serta memiliki kaitannya terhadap durasi ketahanan material dalam reaktor. Namun, ketika waktu tinggal berlangsung lama maka proses pirolisis dapat sempurna untuk merubah bahan baku menjadi *liquid* dan gas. Indikator penentuan lamanya waktu tinggal ini disesuaikan terhadap material bahan baku yang akan dipakai dalam proses pirolisis, serta setiap material bahan baku memiliki waktu tinggal proporsional (Mustofa, 2016).

C. *Heating Rate*

Besarnya energi termal yang dikenakan bahan baku persatuan waktu disebut sebagai laju pemanasan pirolisis. Laju pemanasan ini berperan penting terhadap komposisi produk hasil pirolisis, jika laju pemanasan cukup tinggi maka produk hasil pirolisis akan berwujud gas dan *liquid* (Mustofa, 2016).

2. Jenis-jenis Pirolisis

Proses pirolisis terbagi menjadi 2 jenis kondisi berdasarkan hasil produk (Basu, 2013) yaitu :

1. Pirolisis lambat (*Slow Pyrolysis*)

Pada pirolisis lambat, memiliki temperatur sedang berkisar dibawah 400°C dengan waktu reaksi yang panjang. Produk utama yang dihasilkan berupa uap yang dapat terkondensasi menjadi *pyrolytic oil* dalam waktu yang cukup dan juga menghasilkan gas yang tidak bisa terkondensasi.

2. Pirolisis cepat (*Fast Pyrolysis*)

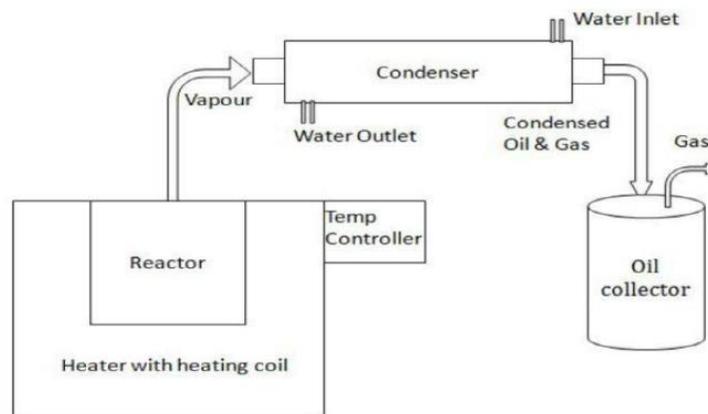
Pada pirolisis cepat, temperatur yang digunakan berada pada 1000-10.000°C dengan *heating rate* yang cepat. Produk utama yang dihasilkan berupa *liquid* dan gas. Untuk menghasilkan produk *liquid* dibatasi harus di bawah 650°C sedangkan jika memiliki tujuan menghasilkan gas maka temperatur yang digunakan melebihi 650°C bahkan hingga 1000°C.

3. Jenis-jenis Reaktor Pirolisis

Dari berbagai macam reaktor pirolisis berdasarkan bentuk dan fungsinya, berikut merupakan salah satu dari jenis reaktor :

1) Fluidized Bed Reactor

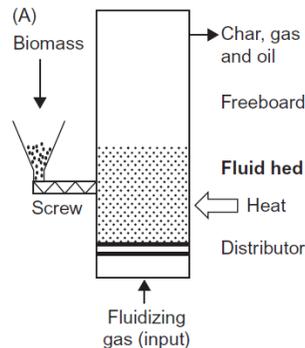
Fixed bed reactor pada Gambar 2.2 merupakan reaktor dimana dalam prosesnya mempunyai prinsip kerja kontak langsung antara bahan baku dengan partikel katalis didalam reaktor. Keuntungan penggunaan reaktor tipe ini adalah sederhana, lebih murah serta dapat mengatasi biomassa yang memiliki *moisture* dan mineral anorganik tinggi. Sedangkan kelemahannya adalah kandungan tar dapat mencapai 10-20 % berat dari massa uji, sehingga perlu dilakukan pembersihan di dalam *shell tube* (Basu, 2013).



Gambar 2.2 Reaktor *Fixed Bed* (Sentilkumar, 2015)

2) Bubbling Fluidized Bed Reactor

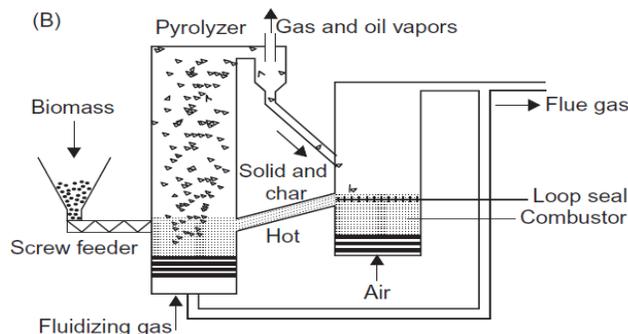
Reaktor *bubbling fluidized bed* merupakan salah satu reaktor yang memiliki performa baik dibanding tipe reaktor pirolisis lain. Reaktor dapat digunakan pada tekanan udara normal 1 atm dengan temperatur sedang 450 °C, serta dapat menghasilkan *bio oil* hingga 75 % dari massa awal, namun tergantung dari biomassa yang digunakan sebagai bahan. Reaktor *bubbling fluidized bed* terlihat pada Gambar 2.3 (Basu, 2013).



Gambar 2.3 Reaktor *Bubbling Fluidized Bed* (Basu, 2013)

3) Circulating Fluidized Bed

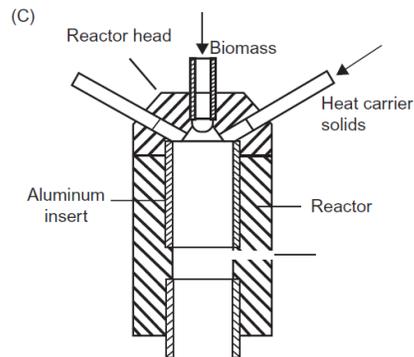
Reaktor *circulating fluidized bed* merupakan jenis reaktor dengan cara kerja pada seluruh padatan material yang terbawa oleh aliran, kemudian *dusting equipment* berfungsi untuk memisahkan material gas. Keuntungan penggunaan jenis reaktor ini antara lain reaksi dapat berjalan dengan cepat, memperoleh konversi yang lebih tinggi, dan produksi tar yang rendah. Disisi lain reaktor ini memiliki kelemahan yaitu perpindahan panas yang tidak efisien. Reaktor *circulating fluidized bed* dapat dilihat pada Gambar 2.4 (Basu, 2013).



Gambar 2.4 Reaktor *Circulating Fluidized Bed* (Basu, 2013)

4) Ultra-Rapid Reactor

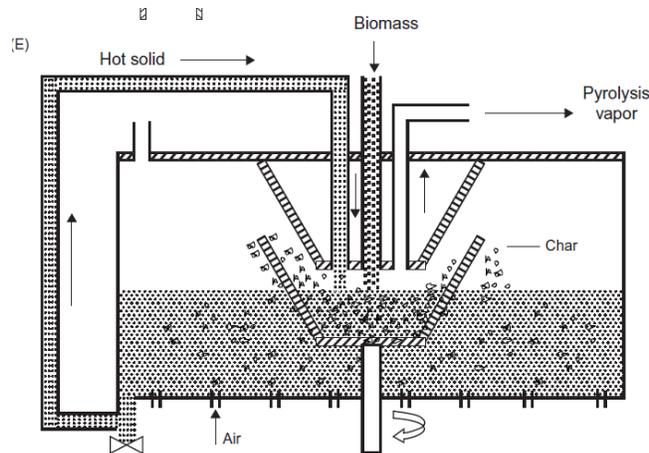
Ultra – rapid merupakan jenis reaktor dengan temperatur yang digunakan hingga mencapai 650 °C. Minyak pirolisis yang dihasilkan mampu mencapai 90%, reaktor ini menggunakan gas nitrogen untuk disuntikan dengan kecepatan tinggi kedalam reaktor guna memaksimalkan aliran biomassa. Reaktor *Ultra – rapid* terlihat pada Gambar 2.5 (Basu, 2013).



Gambar 2.5 Reaktor *Ultra – Rapid* (Basu, 2013)

5) Rotating Cone Reactor

Reaktor *Rotating cone* menggunakan pasir silika sebagai pemanas, sehingga bercampur langsung dengan biomassa di dalam wadah seperti yang terlihat pada gambar 2.6. Oleh karena itu biomassa akan mengalami pemanasan yang cepat, sehingga abu yang dihasilkan dari biomassa akan jatuh karena diakibatkan oleh putaran dari wadah (Basu, 2013).



Gambar 2.6 Reaktor *Rotating Cone* (Basu, 2013)

2.2.2 Cangkang Sawit

Kelapa sawit terdapat beberapa bagian, diantara bagian tersebut yang merupakan limbah padat kelapa sawit adalah janjang, tandan kosong serta cangkang. Tandan kosong ialah rangka antar buah sedangkan cangkang kelapa sawit adalah kulit buah serta kemudian diantara cangkang terdapat serabut yang disebut *fiber*.

Umumnya limbah padat kelapa sawit ini mengandung banyak bahan organik yang mampu merusak lingkungan, limbah padat ini terdiri dari unsur lignin 21%, selulosa (heksosan) 40%, hemiselulosa (pentosan) 24%, abu serta unsur lainnya sebesar 15% (Haji, 2013).

Pada analisis menggunakan metode *proximate*, biomassa mengandung abu dan air. Kandungan abu pada biomassa lebih aman dan ramah dibandingkan dengan abu pada batubara karena terdapat mineral seperti potassium dan fosfat didalam biomassa, dengan temperatur operasi dibawah 950°C atau 1000°C abu tersebut tidak menimbulkan terak (Diputra, 2010). Berikut merupakan hasil analisis *proximate* dan *ultimate* dari bioamassa dapat dilihat pada tabel 2.1 dan 2.2

Tabel 2.1 *Proximate Analysis, Ultimate Analysis* Cangkang Sawit (Juliansyah, 2017)

Jenis Analisis	Biomassa	Parameter	Satuan (w/w)	Nilai
<i>Proximate Analysis</i>	Cangkang Kelapa Sawit	Karbon	%	50,73
		Hidrogen	%	5,97
		Oksigen	%	40,83
		Nitrogen	%	0,36
		Sulfur	%	0,06
<i>Ultimate Analysis</i>	Cangkang Kelapa Sawit	Abu	%	2,05
		<i>Volatile</i>	%	75,21
		<i>Fixed Carbon</i>	%	22,74

2.2.3 Plastik

Plastik merupakan jenis makromolekul yang terbentuk oleh proses polimerisasi dimana polimerisasi ialah suatu proses menggabungkan molekul sederhana (monomer) terhadap proses kimia menjadi molekul besar (polimer atau makromolekul). Plastik termasuk senyawa kimia dimana Hidrogen dan Karbon sebagai unsur penyusun pokok. Bahan baku yang digunakan dalam pembuatan plastik adalah *naphtha*, bahan tersebut didapat dari penyulingan gas alam atau minyak bumi.

Dalam pembuatan 1 kg plastik dari awal hingga finishing, minyak bumi yang dibutuhkan sebesar 1,75 kg (Surono, 2013).

Dalam menentukan karakteristik sampah plastik dengan cara analisis *proximate*, analisis ini dilakukan dengan cara menghitung abu, kadar air dan *volatile solid* dengan metode gravimetri (Surono, 2013).

Tabel 2.2 *Proximate Analisis* Berbagai Sampah Plastik (Rachmawati dkk, 2015).

Jenis Plastik	Parameter	Satuan (W/W)	Nilai
HDPE	Kadar Air	%	0,52
	<i>Volatile Solid</i>	%	82,22
	Kadar Abu	%	17,78
	Nilai Kalor	kal/g	9.192
PET	Kadar Air	%	0,35
	<i>Volatile Solid</i>	%	99,93
	Kadar Abu	%	0,07
	Nilai Kalor	kal/g	5.399
PS	Kadar Air	%	0,47
	<i>Volatile Solid</i>	%	96,99
	Kadar Abu	%	3,01
	Nilai Kalor	kal/g	10.847
LDPE	Kadar Air	%	0,02
	<i>Volatile Solid</i>	%	99,83
	Kadar Abu	%	0,15
	Nilai Kalor	kal/g	4,5

1. Jenis-jenis Plastik

Plastik bisa diklasifikasikan menjadi 2 jenis berdasarkan sifatnya yaitu *thermosetting* dan *thermoplastic*. Berdasarkan perlakuan yang diberikan setelah menerima panas, *thermosetting* ketika diproduksi dalam bentuk solid tidak dapat mencair kembali dengan cara dipanaskan. Sementara itu *thermoplastic* merupakan

bahan plastik yang mampu mencair serta dapat kembali menjadi bentuk yang diinginkan (Surono, 2013).

Berdasarkan klasifikasi plastik tersebut dilihat dari sifatnya maka memungkinkan jenis *thermoplastic* untuk didaur ulang. Dalam memudahkan penggunaan serta mengidentifikasi plastik jenis ini, *thermoplastic* diberi simbol dimana setiap simbol tersebut terdapat nomer yang mengindikasikan jangka pemakaian, terlihat pada Gambar 2.1 dan penjelasan dapat dilihat pada Tabel 2.3 (Surono, 2013).



Gambar 2.7 Nomor Kode Plastik (Surono, 2013)

Tabel 2.3 Nomor Kode dan Jenis Plastik serta Penggunaanya

Nomer Kode	Jenis Plastik	Penggunaan
1	PET (<i>Polyethylene terephthalate</i>)	Botol pada minyak goreng, jus, sambal, obat, kosmetik dan kemasan air mineral.
2	HDPE (<i>High Density Polyethylene</i>)	Botol pada obat, susu cair, pelumas, kosmetik dan jerigen.
3	PVC (<i>Polyvinyl Chloride</i>)	Pipa bangunan, pipa selang air, mainan anak, botol <i>shampo</i> dan sambal, taplak meja dari plastik.
4	LDPE (<i>Low Density Polyethylene</i>)	Kantong kresek, plastik <i>wrapping</i> , serta berbagai plastik tipis lainnya.
5	PP (<i>Polypropylene</i>)	Tutup botol berbahan plastik, botol <i>cup</i> , mainan anak serta kemasan margarin.
6	PS (<i>Polystyrene</i>)	Kotak CD, garpu dan sendok plastik, tempat makanan atau minuman dari <i>styrofoam</i> , serta tempat makan plastik transparan.
7	Other, Jenis plastik selain dari nomor 1 sampai 6	Plastik kemasan, botol susu bayi, galon air minum, alat-alat rumah tangga, komputer, alat-alat elektronik, sikat gigi dan mainan lego.

2.2.4 Katalis

1. Pengertian

Katalis merupakan suatu zat yang mampu meningkatkan laju reaksi. Adapun setelah terjadinya proses reaksi bentuk katalis biasanya cenderung dalam kondisi tetap (Nindita, 2015). Penggunaan katalis, kebutuhan aktivasi energi dapat berkurang sehingga reaksi dapat terjadi pada temperatur rendah. Pada reaksi homogen umumnya dapat bereaksi terdiri dari satu atau lebih pereaksi dalam membentuk perantara kimia yang selanjutnya bereaksi membentuk produk akhir reaksi, terhadap suatu proses yang memulihkan katalisnya. Dalam suatu reaksi heterogen, fasa katalis berbeda dengan reaktan (bahan yang bereaksi). pada reaksi ini diawali oleh reaktan yang terjebak pada permukaan aktif katalis, kemudian interaksi terjadi baik berupa reaksi sebenarnya pada permukaan katalis, atau terjadi pelemahan ikatan dari molekul yang terperangkap. Setelah terjadi reaksi, molekul hasil reaksi dilepas dari permukaan katalis sehingga dapat disimpulkan bahwa katalis yang baik merupakan katalis yang mampu melepaskan molekul secara maksimal (Adi, 2011).

2. Penggunaan di Pirolisis

Pada proses konversi limbah plastik dan cangkang kelapa sawit menjadi sumber energi, katalis memegang peranan penting dalam kualitas Hidrokarbon dan Oksigenat yang dihasilkan. Katalis digunakan untuk menurunkan energi yang terjadi pada proses pembakaran serta berperan juga untuk menurunkan konsentrasi klorida(Cl) yang ada pada cairan, yang terbentuk sebagai hasil produk pembakaran.

Dalam perkembangannya katalis memiliki banyak variasi, salah satu katalis tersebut yaitu :

a) Katalis Zeolit Alam

Zeolit merupakan produk hasil dari pegunungan berapi dimana pembentukannya meliputi proses pembekuan menjadi batuan vulkanik, batuan metamorfosa serta batuan sedimen yang kemudian mengalami proses pelapukan akibat pengaruh dingin dan panas sehingga akhirnya terbentuk mineral-mineral zeolit. Unsur zeolit tersusun atas tiga komponen yaitu kation yang dapat dipertukarkan atau

logam Alkali [Be, Mg, Ca, Sr, Ba, Ra], kerangka Aluminasilikat [(AlO₂)(SiO₂)] dan air [H₂O]. Ukuran pori-pori zeolit alam berukuran volume mikropori yaitu sebesar 0,0003 cm³/g. Kandungan air [H₂O] yang terdapat dalam pori zeolit dapat dilepaskan dengan pemanasan pada temperatur 300 C sampai 400 C, sehingga saat kandungan air menghilang zeolit dapat berfungsi sebagai penyerap gas atau cairan. Zeolit bentuk batuan memiliki banyak variasi diantaranya analsim, laumontit, mordenit, filipsit, erionit, kabsit, heulandit dan klinoptilolit (Lestari, 2010).

Zeolit alam memiliki beberapa kekurangan diantaranya mengandung banyak unsur pengotor seperti Ca, K, Na, Mg dan Fe serta kristalinitasnya kurang baik. Memperbaiki kekurangan zeolit dapat dilakukan aktivasi katalis atau modifikasi terlebih dahulu. Aktivasi zeolit dapat dilakukan dengan cara kimia yaitu dilakukan melalui pengasaman agar dapat menghilangkan pengotor organik, namun pengasaman ini akan menyebabkan terjadinya proses pertukaran kation dengan Hidrogen [H⁺]. Aktivasi secara fisika dapat melalui proses pengecilan ukuran butir, pengayakan serta pemanasan pada suhu tinggi dengan tujuan memperbesar pori, memperluas permukaan dan menghilangkan pengotor organik (Lestari, 2010). Zeolit bekerja dengan cara mereduksi unsur oksigen terhadap minyak pirolisis yang menghasilkan gas-gas CO dan CO₂ selain itu dapat menurunkan senyawa *acid*/asam serta meningkatkan golongan *phenol*, *alkane* dan *alkene* (Wardana, 2016). Berikut merupakan mekanisme reaksi kimia zeolit alam (Dickerson, 2013) :

a) Reaksi Dehidrasi



b) Reaksi Dekarbonilasi



c) Reaksi Dekarboksilasi



d) Reaksi Aromatisasi (Pembentukan senyawa aromatik)

e) Katalis CaO

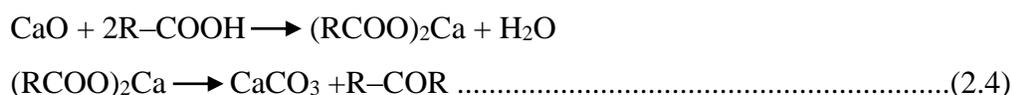
Katalis CaO dapat diperoleh dengan proses kalsinasi CaCO_3 dimana senyawa tersebut banyak terkandung pada kulit telur. Kandungan pada kulit telur terdiri atas senyawa CaCO_3 sebesar 94%, MgCO_3 sebesar 1%, $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ sebesar 1% dan bahan-bahan organik sebesar 4%. Pembuatan katalis CaO berbahan dasar kulit telur melalui proses kalsinasi bertujuan untuk menghilangkan senyawa H_2O , senyawa organik dan karbon dioksida yang melekat dalam kulit telur. Senyawa organik dan kandungan air umumnya dapat dihilangkan dari kulit telur pada suhu 600°C kemudian untuk karbon dioksida dapat lepas dari kulit telur pada suhu antara $700 - 800^\circ\text{C}$. Oleh karena itu, proses kalsinasi kulit telur guna menghasilkan katalis CaO yang memiliki kualitas baik dilakukan pada temperatur di atas 800°C (Santoso, 2013).

Penelitian Santoso (2013) dalam membuat katalis CaO dilakukan dengan cara kalsinasi kulit telur yang telah dikeringkan dan dicuci. Kalsinasi kulit telur bertujuan menghilangkan senyawa karbon dioksida (CO_2) melalui reaksi dekomposisi kalsium karbonat (CaCO_3) yang terkandung pada kulit telur hingga pada akhirnya diperoleh senyawa kalsium oksida (CaO). Percobaan kalsinasi kulit telur ini dilakukan selama 2 jam dengan suhu 1000°C . Katalis CaO hasil kalsinasi harus disimpan pada tempat kedap udara atau didalam eksikator. Jika tidak memungkinkan dalam menyimpan katalis di tempat kedap udara, sebaiknya sebelum digunakan harus dilakukan aktivasi kembali dengan cara pemanasan pada suhu 500°C . Katalis CaO hasil kalsinasi dilakukan uji BET dengan diperoleh total volume pori sebesar $0,1596 \text{ cc/g}$ serta radius pori rata-rata sebesar $51,44 \text{ \AA}$.

Katalis CaO merupakan jenis katalis heterogen berwujud serbuk sehingga sangat padat serta pori-pori yang dimiliki berukuran kecil dapat dilihat pada Gambar 3.3. Manfaat katalis CaO pada proses pirolisis berguna dalam mengurangi kadar Anhidromat dan Fenol serta menghilangkan senyawa asam sehingga dapat mengurangi tingkat korosi yang ada pada minyak hasil pirolisis. Disisi lain dapat meningkatkan pembentukan Hidrokarbon, Siklopentanon serta beberapa senyawa

ringan (Lu dkk, 2010). Sementara itu menurut Zhang dkk (2017) CaO dapat memisahkan senyawa molekul besar oksigenat menjadi senyawa yang lebih kecil, hal ini dipengaruhi oleh CaO yang memiliki fungsi pecah yang kuat. Penggunaan CaO dapat memaksimalkan senyawa aromatik dan olefin (Zhang dkk, 2013). Berikut merupakan reaksi kimia katalis CaO (Wang dkk, 2010) :

a) Reaksi netralisasi



b) Reaksi *thermal cracking*



c) Reaksi *catalytic cracking*



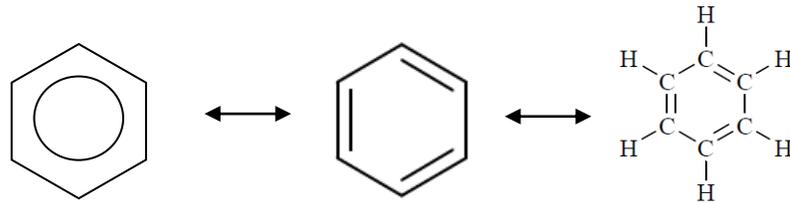
2.2.5 Golongan Senyawa

1. Golongan Hidrokarbon

Senyawa Hidrokarbon merupakan senyawa organik yang terdiri dari atom Karbon (C) serta atom Hidrogen(H). Berdasarkan susunan dalam struktur kimia, Hidrokarbon dibedakan menjadi Hidrokarbon aromatik, alifatik serta alisiklik (Wardiyah, 2016).

a. Aromatik

Nama senyawa aromatik awalnya digunakan untuk mendeskripsikan beberapa senyawa benzena beserta turunannya yang mempunyai aroma khas seperti contoh memiliki aroma yang manis. Benzena merupakan senyawa siklik dengan rumus molekul C_6H_6 dimana memiliki 6 atom karbon dengan setiap atom karbonnya mempunyai 1 Hidrogen yang terikat (Wardiyah, 2016). Bentuk struktur benzena dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Benzena (Wardiyah, 2016)

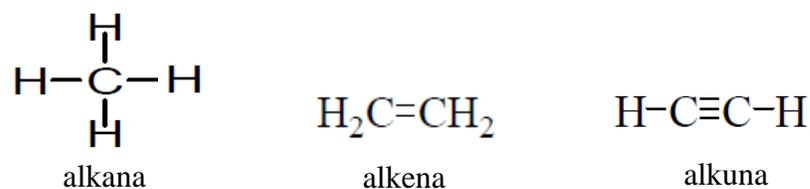
b. *Polycyclic Aromatic Hydrocarbon* (PAH)

Senyawa ini dikenal sebagai poliaromatik hidrokarbon yaitu polutan atmosfer kuat yang terdiri dari cincin aromatik menyatu dan tidak terkandung heteroatom. *Polycyclic Aromatic Hydrocarbon* termasuk kelompok senyawa yang memiliki struktur dengan banyak cincin aromatik, berbentuk datar serta molekulnya besar. Senyawa ini banyak terdapat di alam sebagai polutan hasil pembakaran bahan-bahan organik dalam bentuk gas maupun padat (Juliansyah, 2017). Bentuk struktur dari PAH dapat dilihat pada Gambar 2.9.

Gambar 2.9 *Polycyclic Aromatic Hydrocarbon* (Juliansyah, 2017)

c. Alifatik

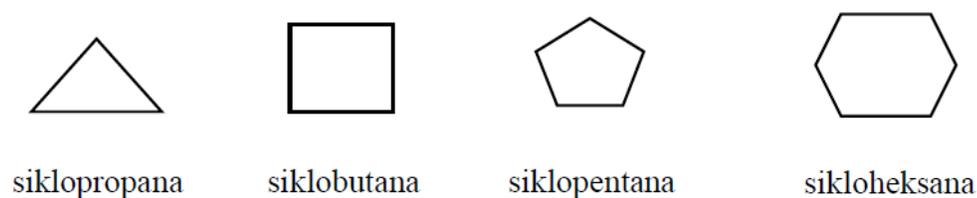
Alifatik berasal dari bahasa Yunani yaitu *aleiphatos* berarti lemak, sejak dahulu lemak sudah sangat lama dikenal sebagai contoh senyawa organik yang mempunyai gugus ester dan hidrokarbon (Wardiyah, 2016). Etana, etena serta etuna termasuk ke dalam senyawa alifatik. Terlihat pada Gambar 2.10 menunjukkan senyawa yang tergolong dalam alifatik (Juliansyah, 2017).



Gambar 2.10 Contoh Senyawa Alifatik (Wardiyah, 2016).

d. *Cyclic*

Jika alkana adalah senyawa Hidrokarbon jenuh dengan rantai lurus, maka sikloalkana ialah senyawa Hidrokarbon berbentuk cincin(siklik). rumus umum sikloalkana $(CH_2)_n$, siklopropana merupakan unsur kimia sikloalkana paling sederhana yang terdapat cincin tiga anggota. senyawa siklik terlihat pada Gambar 2.11 (Wardiyah, 2016).



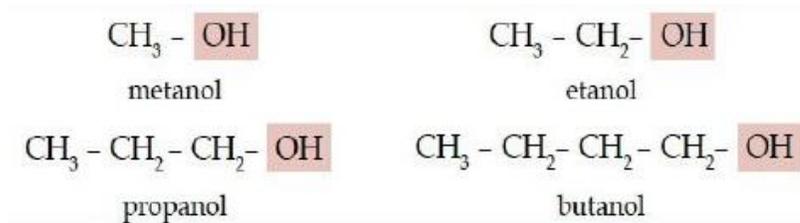
Gambar 2.11 Senyawa siklik (Wardiyah, 2016).

2. Golongan Oksigenat

Golongan oksigenat merupakan golongan yang mengandung oksigen di dalam struktur kimianya, senyawa yang terdapat pada golongan ini terbentuk atas unsur karbon (C), hidrogen (H) serta oksigen (O) (Juliansyah, 2017).

a. Alkohol

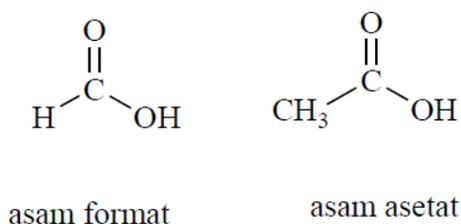
Alkohol adalah senyawa organik dengan gugus fungsi $-OH$ (hidroksil) yang terikat pada atom karbonnya, dengan rumus umum senyawa ini ialah $C_nH_{2n+1}OH$ atau $R-OH$. Penamaan untuk alkohol ($R-OH$) menggunakan nama Hidrokarbon induk dari deret alkana dengan huruf akhir (ana) diubah menjadi (anol atau diol) terlihat pada Gambar 2.12 (Wardiyah, 2016).



Gambar 2.12 Contoh Senyawa Alkohol (Sihabudin, 2017)

b. Asam Karboksilat

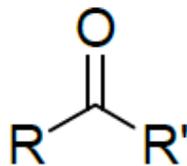
Asam karboksilat merupakan senyawa organik dengan gugus karboksil (gugus karbonil serta hidroksil), senyawa ini memiliki rumus kimia RCO_2H . Contoh senyawa asam ini adalah asam asetat atau cuka yang banyak ditemukan pada komposisi makanan serta asam semut atau asam format yang secara alami terdapat pada sengat lebah dan semut merupakan asam karboksilat paling sederhana terlihat pada Gambar 2.13 (Wardiyah, 2016).



Gambar 2.13 Contoh Senyawa Asam Karboksilat (Wardiyah, 2016).

c. Keton

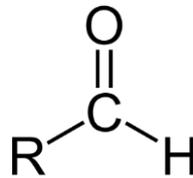
Prinsip penamaan senyawa Keton pada alkana akhiran (a) dirubah menjadi (on) seperti contoh propanon, butanon serta pentanon, Keton memiliki rumus kimia R_2CO terlihat pada Gambar 2.14 gugus keton (Wardiyah, 2016).



Gambar 2.14 Struktur Kimia Keton (Wardiyah, 2016).

d. Aldehid

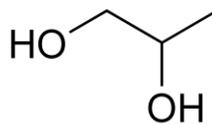
Prinsip penamaan senyawa Aldehid pada alkana akhiran (a) dirubah menjadi (al), senyawa ini yang paling sederhana ialah formaldehida ($\text{H}_2\text{C}=\text{O}$) atau metanal yang sering disebut sebagai formalin. Senyawa ini memiliki sekurangnya satu atom Hidrogen yang terikat terhadap karbon karbonilnya. Berdasarkan struktur kimianya terdapat gugus (R) kemungkinan berupa alkil, aril atau H terlihat pada Gambar 2.15 (Wardiyah, 2016).



Gambar 2.15 Struktur Kimia Aldehid (Juliansyah, 2017)

e. Glycol

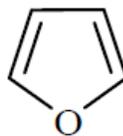
Dalam proses pirolisis senyawa *Glycol* sering muncul karena bahan baku yang digunakan terdiri dari campuran cangkang dan plastik. Senyawa Glikol (diol) ialah senyawa kimia, terlihat pada Gambar 2.10 dimana senyawa ini memiliki dua gugus hidroksil (-OH) yang menempel pada atom karbon berbeda.



Gambar 2.16 Struktur Kimia *Glycol* (Rachman, 2018).

f. Furan

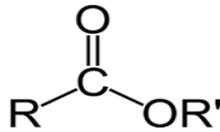
Furan termasuk kedalam senyawa heterosiklik aromatik yang paling sederhana. Senyawa heterosiklik aromatik adalah senyawa yang mempunyai lebih dari satu jenis atom dalam sistem cincinnya. Struktur kimia furan dapat dilihat pada Gambar 2.17 (Wardiyah, 2016).



Gambar 2.17 Struktur Kimia Furan (Wardiyah, 2016).

g. Ester

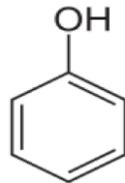
Senyawa ester merupakan senyawa turunan dari asam karboksilat sehingga bisa dikatakan sama tetapi ada perbedaan yaitu pada unsur Hidrogen asam digantikan oleh gugus alkil. Dalam pemberian nama senyawa ester pertama disebutkan terlebih dahulu gugus alkil esternya kemudian diikuti nama asam karboksilatnya dengan menghilangkan nama asam (Wardiyah, 2016), struktur kimia ester dapat dilihat pada Gambar 2.18.



Gambar 2.18 Struktur Kimia Ester (Sihabudin, 2017)

h. Phenol

Senyawa phenol merupakan suatu zat kristal tak berwarna dengan bau yang khas serta strukturnya terdapat gugus hidroksil (-OH) yang berikat terhadap cincin fenil. struktur senyawa phenol dapat dilihat pada Gambar 2.19 (Juliyansyah, 2017).



Gambar 2.19 Struktur Kimia Phenol (Juliyansyah, 2017)

2.2.6 Karakteristik Bahan Bakar

Sifat atau karakteristik dari suatu bahan bakar cair dapat diketahui dengan cara dilakukan pengujian. Hal ini perlu dilakukan sebagai pertimbangan kelayakan bahan bakar cair untuk digunakan pada mesin atau alat tertentu. Secara garis besar parameter yang perlu diketahui dalam melihat karakteristik bahan bakar cair terdapat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4. Karakteristik Bahan Bakar (Andryanto, 2017)

No	Parameter	Minyak Tanah	Solar	Premium
1	Viskositas (cSt)	1,4	2 – 4,5	0,7
2	Nilai Kalor (MJ/kg)	45,799	38,686	47,080
3	Densitas (g/ml)	0,9	0,8	0,77

1. Viskositas

Viskositas merupakan ukuran ketahanan fluida terhadap deformasi (perubahan bentuk) akibat tegangan geser atau deformasi sudut (*angular deformation*) (Sudarja,

2016). Viskositas bahan bakar berpengaruh pada aliran pipa saluran bahan bakar pada mesin, jika semakin tinggi viskositas maka bahan bakar tersebut semakin kental sehingga dapat menyulitkan distribusi penyaluran bahan bakar.

Viskositas dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu viskositas dinamis serta kinematis (Sudarja, 2016).

a. Viskositas dinamis atau viskositas absolut dapat dinyatakan centipoise (cP) dalam satuan metrik. Berikut merupakan rumus viskositas dinamik (Askaditya, 2010) :

$$\eta = \nu \times \rho \times 10^{-3} \dots\dots\dots (2.7)$$

Keterangan :

η : viskositas dinamik (Mpa.s)

ρ : densitas diatas pada temperatur yang sama pada saat pengukuran viskositas kinematik (kg/m³)

ν : viskositas kinematik (mm²/s)

b. Viskositas kinematik merupakan perbandingan (*ratio*) antara viskositas dinamis dengan massa jenisnya. Viskositas kinematik centistokes (cSt) dalam satuan metrik. Berikut merupakan rumus viskositas kinematik (Askaditya, 2010) :

$$\nu = (10^6 p g D^2 H t / 128 V L) - E / t^2 \dots\dots\dots (2.8)$$

Keterangan :

ν : viskositas kinematik (mm²/s) (mm²/s)

g : percepatan gravitasi (m/s²)

D : diameter pipa kapiler (m)

L : panjang pipa kapiler (m)

H : Jarak rata-rata antara meniskus atas dan bawah (m)

V : volume *timing bulb* (m³)

E : energi kinetik (m².s)

t : waktu alir (s)

2. Nilai Kalor

Nilai kalor ialah banyaknya energi panas yang dapat dilepaskan dalam tiap satuan massa, untuk mengetahui nilai kalor suatu bahan bakar dapat dilakukan pengujian dengan menggunakan alat *Bomb Calorimeter*. Panas yang diserap air dalam *bomb calorimeter* dapat dihitung dengan rumus (Elviano, 2014):

$$Q = m.C_p.\Delta T \dots\dots\dots (2.9)$$

Keterangan :

Q : Panas yang diserap (kJ)

m : Massa air di dalam *bomb calorimeter* (gram)

C_p : Specific heat 4,186 kJ/kg°C

ΔT : Perbedaan temperatur (°C)

Berdasarkan suhu pengujiannya, nilai kalor dapat dibedakan menjadi dua jenis. LHV (*Lower Heating Value*) atau nilai kalor rendah adalah jumlah energi yang dilepaskan dalam proses pembakaran terhadap suatu bahan bakar dimana kalor laten dari uap air tidak diperhitungkan atau setelah terbakar suhu pada gas pembakaran disetting 150°C. LHV dapat dihitung menggunakan rumus (Elfiano, 2014) :

$$LHV = \frac{m \times C_p \times \Delta T}{m} \dots\dots\dots (2.10)$$

Sementara itu sebaliknya jika kalor laten dari uap air diperhitungkan atau setelah terbakar temperatur gas hasil pembakaran disetting 25°C maka disebut sebagai HHV (*High Heating Value*) atau nilai kalor atas (Andriyanto, 2017). HHV dapat dihitung menggunakan rumus (Elviano, 2014) :

$$HHV = (T_2 - T_1 - T_{kp}) \times C_v \dots\dots\dots (2.11)$$

Keterangan :

T₁ : Temperatur air pendingin *bomb calorimeter* sebelum pembakaran (°C)

T₂ : Temperatur air pendingin *bomb calorimeter* sesudah pembakaran (°C)

T_{kp} : Kenaikan temperatur air disebabkan kawat pembakaran (0.05°C)

HHV = Highest Heating Value (kJ/kg)

LHV = Lowest Heating Value (kJ/kg)

3. Densitas

Massa jenis atau biasa disebut densitas ialah besarnya massa per satuan volume (g/ml). Sebuah benda dengan massa/berat yang sama, jika benda tersebut memiliki massa jenis tinggi pasti lebih kecil volumenya dibandingkan dengan benda bermassa jenis rendah. Berikut merupakan rumus densitas (Askaditya, 2010) :

$$\rho = \frac{m}{v} \dots\dots\dots (2.12)$$

Keterangan :

ρ : massa jenis (kg/m³)

m : massa (kg)

v : volume (m³)

4. Keasaman

Derajat keasaman atau disebut juga pH diperuntukan dalam menyatakan tingkat keasaman atau tingkat basa yang dimiliki oleh suatu larutan. Maksud dari keasaman disini adalah kosentrasi ion hidrogen(H⁺) dalam pelarut air. Tingkatan derajat pH berada pada Nilai 0 sampai 14, larutan netral berada pada nilai pH=7 sedangkan untuk sifat basa berkisar pada nilai pH>7 dan sifat keasaman ada pada nilai pH<7. Pengaruh keasaman pada bahan bakar berimbas pada kemungkinan terjadinya korosi pada mesin atau alat yang memiliki kontak langsung bahan bakar jika tingkat keasamannya tinggi (Rizqi, 2015).

5. Neraca Energi (*Energy Balance*)

Neraca energi (*Energy Balance*) merupakan kesetimbangan energi dalam sebuah sistem. Neraca energi mengacu pada hukum pertama termodinamika yang menyatakan kekekalan energi yaitu energi tidak dapat dimusnahkan atau dibuat hanya dapat diubah bentuknya. Neraca energi tidak memiliki variabel produksi hal ini disebabkan oleh hukum kekekalan energi.