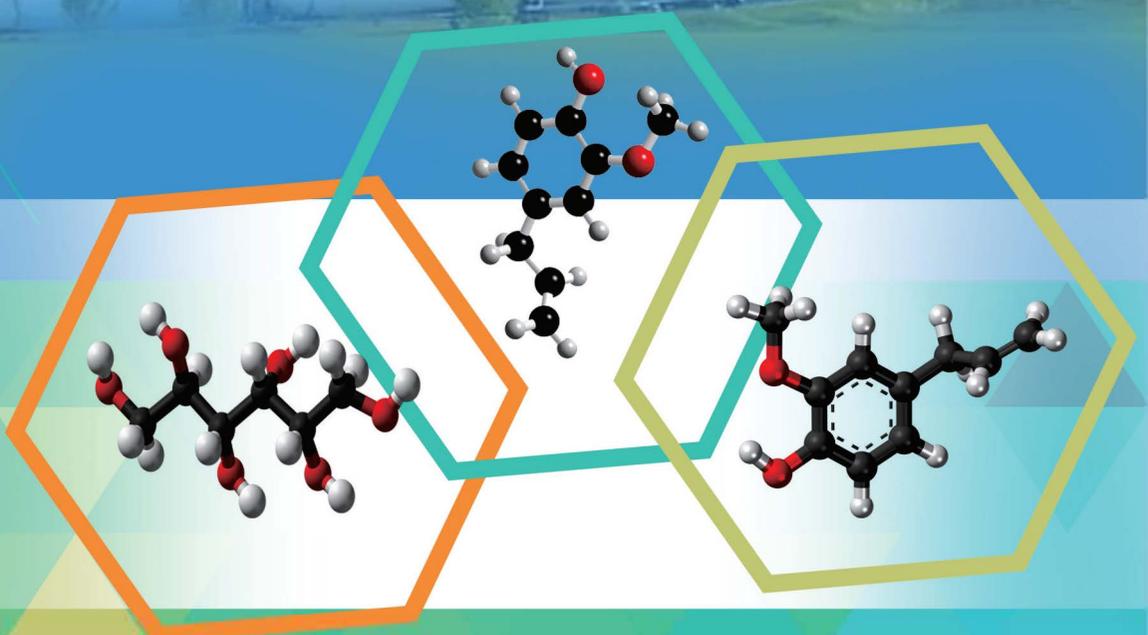


Sulhatun Mahmud Rusydi

**PYROTECHNOLOGY 4 IN 1:  
PRINSIP DASAR TEKNOLOGI  
PIROLISA BIOMASSA**



Editor :  
Prof. DR. IR. Rosdanelli Hasibuan, MT

**UNIMAL PRESS**

*PYROTECHNOLOGY 4 IN 1:*  
**PRINSIP DASAR TEKNOLOGI  
PIROLISA BIOMASSA**



universitas  
MALIKUSSALEH

Dedikasi untuk:

Kedua Orang Tuaku Tercinta  
(Alm) H. Tgk. Mahmud Rusydi dan Hj. Siti Hafsah  
Anak-anakku Tersayang  
Rania Bilqis Hufaida dan Sofia Bilqis Ufaira

**SULHATUN MAHMUD RUSYDI**

*PYROTECHNOLOGY 4 IN 1:*  
**PRINSIP DASAR TEKNOLOGI  
PIROLISA BIOMASSA**

Editor:  
**Prof. DR. IR. Rosdanelli Hasibuan, MT**

**UNIMAL PRESS**

Judul: **PYROTECHNOLOGY 4 IN 1: PRINSIP DASAR TEKNOLOGI PIROLISA  
BIOMASSA**

xii + 100 hal., 15 cm x 23 cm

Cetakan Pertama: April, 2019

Hak Cipta © dilindungi Undang-undang. *All Rights Reserved*

Penulis:

**Sulhatun, ST, MT**

Editor:

**Prof. DR. IR. Rosdanelli Hasibuan, MT**

Penata Letak: **Eriyanto**

Pracetak dan Produksi: **Unimal Press**

Penerbit:

**UNIMAL PRESS**

Unimal Press

Jl. Sulawesi No.1-2

Kampus Bukit Indah Lhokseumawe 24351

PO.Box. 141. Telp. 0645-41373. Fax. 0645-44450

Laman: [www.unimal.ac.id/unimalpress](http://www.unimal.ac.id/unimalpress).

Email: [unimalpress@gmail.com](mailto:unimalpress@gmail.com)

ISBN:

**978 – 602 –464- 073-6**

ISBN 978-602-464-073-6



*Dilarang keras memfotocopy atau memperbanyak sebahagian atau seluruh buku ini tanpa seizin tertulis dari Penerbit*

## **Kata Pengantar**

Limbah biomassa menjadi sumber energi yang sangat penting dimasa akan datang sebagai sumber pengganti bahan bakar fosil. Pirolisis limbah biomassa telah menarik perhatian masyarakat dunia untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif . Salah satu teknologi termokimia untuk mengkonversi bahan biomassa menjadi produk bioenergi dan berbagai produk kimia lainnya adalah metode pirolisis biomassa dihasilkan oleh adanya degradasi termal atas bahan baku biomassa pada suhu tinggi tanpa oksigen, menghasilkan produk cair, gas dan padatan. Asap cair yang dihasilkan dari proses pirolisis aplikasinya telah merambah disegala sektor kehidupan manusia seperti di industri farmasi, pangan, peternakan, industri perikanan, industri pertanian dan lain sebagainya. Hal ini merupakan salah satu alasan penulis melakukan penulisan buku ini sehingga diharapkan bermanfaat bagi siapa saja yang ingin mengetahui tentang teknologi pirolisa berbasis Biomassa ini.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Prof. Dr. Ir. Rosdanelli Hasibuan, MT, Prof. Dr. Ir. Hamidah Harahap , MT, DR. Iriani , MSi dan DR, Herman Fithra, ST, MT Selaku Rektor Universitas Malikussaleh yang telah membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan buku ini. Terima kasih juga penulis ucapkan kepada Prof. DR. IR. Rosdanelli Hasibuan, MT, editor yang senantiasa memberi arahan dan pengeditan tentang teknis penulisan sehingga buku ini layak diterbitkan. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Penerbit Unimal Pres Lhokseumawe yang bersedia menerbitkan buku ini.

Penulis sangat mengharapkan masukan dan saran bagi para pembaca untuk perbaikan buku ini dimasa akan datang, dan semoga buku ini dapat bermanfaat bagi siapa saja yang membacanya.

Lhokseumawe, April 2019  
Penulis

Sulhatun, ST, M.T.



## Daftar Isi

Kata Pengantar .....	v
Daftar Isi.....	vii
Daftar Gambar.....	x
Daftar Table .....	xii
<b>BAB 1 PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Apa itu Asap Cair .....	1
1.2 Bagaimana Asap Cair Dihasilkan .....	1
1.3 Sumber Bahan Baku Penghasil Asap Cair .....	2
1.4 Sumber Biomassa yang Prospektif di Indonesia .....	3
1.4.1 Asap Cair dari Limbah Pertanian dan Perkebunan .....	3
1. Tempurung Kemiri .....	3
2. Sifat Fisika dan Kimia Tempurung Kemiri .....	5
3. Tempurung Kelapa .....	6
4. Sekam Padi.....	9
5. Bongkol Jagung .....	10
1.4.2 Asap Cair dari Limbah Industri.....	12
1. Ampas Tebu.....	13
2. Serbuk Gergaji .....	15
3. Tandan Kosong Kelapa Sawit.....	16
4. Cangkang Sawit.....	17
1.4.3 Asap Cair dari Limbah Sampah Organik .....	18
1.5 Jenis Asap Cair.....	19
1.5.1 Asap Cair <i>Grade 3</i> .....	19
1.5.2 Asap Cair <i>Grade 2</i> .....	20
1.5.3 Asap Cair <i>Grade 1</i> .....	20
<b>BAB 2 PROSES PIROLISIS.....</b>	<b>21</b>
2.1 Prinsip Proses Pirolisis .....	21
2.2 Reaksi Dekomposisi pada Proses Pirolisis .....	21
2.2.1 Dekomposisi Lignin .....	22
2.2.2 Dekomposisi Selulosa .....	26
2.2.3 Dekomposisi Hemiselulosa .....	29
2.3. Parameter yang mempengaruhi proses pirolisis.....	33
2.3.1 Jenis Bahan Baku.....	34
2.3.2 Pretreatment .....	35
2.3.3 Kondisi Reaksi.....	35
2.3.3.1 Suhu .....	35

2.3.3.2 Laju Pemanasan Partikel.....	36
2.3.4 Lamanya Uap Tertinggal.....	36
2.3.5 Reaktor Pirolisis.....	37
2.3.6 Mekanisme Pendinginan Uap .....	37
<b>BAB 3 JENIS DAN PRODUK PIROLISIS.....</b>	<b>39</b>
3.1 Jenis Pirolisis.....	39
3.1.1 Pirolisis Cepat.....	39
3.1.2 Pirolisis Vakum.....	39
3.1.3 Pirolisis Lambat.....	40
3.2 Produk Pirolisis .....	40
3.2.1 Asap cair .....	42
3.2.2 Arang.....	43
3.2.3 Gas.....	44
3.2.4 Tar .....	45
<b>BAB 4 MANFAAT DAN KARAKTERISTIK PRODUK ASAP CAIR .....</b>	<b>47</b>
4.1 Manfaat Asap Cair .....	47
a. Manfaat Asap Cair Pada Industri Pangan.....	47
b. Industri Pertanian .....	48
c. Industri Perkebunan.....	49
d. Industri Kayu .....	49
4.2 Karakteristik Asap cair .....	49
a. Fenol.....	50
b. Karbonil .....	50
c. Senyawa Asam .....	51
d. Senyawa Hidrokarbon Poliaromatik .....	51
<b>BAB 5 IDENTIFIKASI DAN KOMPOSISI PRODUK ASAP CAIR .....</b>	<b>53</b>
5.1 Identifikasi Produk Asap Cair .....	53
5.2 Analisis Gas <i>Chromatography Mass Spectroscopy</i> (GCMS) .....	53
5.2.1 Instrumentasi <i>Chromatography Mass Spectroscopy</i> (GCMS) .....	54
1. Instrumentasi Gas Kromatografi .....	54
2. Instrumentasi Spektroskopi massa.....	54
5.2.2 Prinsip Kerja <i>Chromatography Mass Spectroscopy</i> (GCMS) .....	55
1. Kromatografi Gas ( <i>Gas Chromatography</i> ) .....	55
2. Spektroskopi Massa ( <i>Mass Spectroscopy</i> ) .....	56
3. Kombinasi GCMS .....	56
4. Metode Analisis <i>Chromatography Mass Spectroscopy</i> (GCMS) .....	56

5.2.3 Analisa FTIR.....	58
<b>BAB 6 MEMBANGUN INSTALASI ASAP CAIR.....</b>	<b>61</b>
6.1 Instalasi Alat Pirolisa Biomassa Sistem <i>Single Unit</i> <i>Condensor</i> (SUC).....	61
6.2 Instalasi Alat Pirolisa Biomassa <i>Double Unit</i> <i>Condensor</i> (DUC).....	70
<b>BAB 7 PIROLISIS TEMPURUNG KEMIRI UNTUK</b> <b>PEMBUATAN ASAP CAIR.....</b>	<b>79</b>
7.1 Kemiri ( <i>Aleurites moluccana</i> ).....	79
7.2 Tempurung Kemiri.....	80
7.3 Sifat Fisika dan Kimia Tempurung Kemiri.....	81
7.4 Proses Pirolisa Tempurung Kemiri.....	83
7.5 Alat dan Bahan yang digunakan.....	83
7.6 Tahapan Proses Pelaksanaan.....	84
7.6.1 Tahap Pretreatment.....	84
7.6.2 Tahap Pirolisis.....	84
7.6.3 Tahap Kondensasi.....	84
7.6.4 Sedimentasi.....	85
7.6.5 Tahap Filtrasi.....	85
7.6.6 Tahap Analisa Produk.....	85
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>93</b>
<b>RIWAYAT PENULIS.....</b>	<b>99</b>

## Daftar Gambar

Gambar 1.1	Struktur Biji Kemiri.....	4
Gambar 1.2.	Tempurung Kemiri.....	4
Gambar 1.3	Tempurung Kemiri.....	6
Gambar 1.4	Tempurung Kelapa.....	9
Gambar 1.5	Bonggol Jagung .....	10
Gambar 1.6	Serbuk gergaji pada industri kayu.....	15
Gambar 1.7	Tandan kosong sawit.....	17
Gambar 2.1	Struktur senyawa Lignin yang terdiri atas 3 (tiga).....	22
Gambar 2.2	Substruktur Lignin dan metode analisa .....	24
Gambar 2.3	Substruktur utama (fruits, the milled wood lignin).....	25
Gambar 2.4	Struktur kimia dari jenis senyawa dalam asap cair dari dekomposisi selulosa: LG: levoglucosan, HAA: hydroxyacetaldehyde, HA: Hydroxyactone, PA: pyruvic aldehyde, GA: glyceraldehyde, 5-HMF: 5-hydroxymethyl-furfural and FF: furfural.....	27
Gambar 2.5	Jalur Dekomposisi Primer Monomer Selulosa.....	28
Gambar 2.6.	Struktur monomer gula dalam Hemiselulosa.....	30
Gambar 2.7	Skema Proses Reaksi dari Pirolisa Hemiselulosa .....	31
Gambar 2.8	Skema Pirolisis Hemiselulosa.....	32
Gambar 2.9	Rute Dekomposisi Xilan Pada Proses Pirolisis Biomassa.....	33
Gambar 3.1	Variasi produk dari Aspen Polar Dengan Suhu .....	41
Gambar 3.2	Yield Organik dari Bahan Baku yang berbeda .....	41
Gambar 3.2	Asap Cair Hasil Pirolisa .....	43
Gambar 3.3	Arang Hasil Pirolisa.....	44
Gambar 3.4	Tar Hasil Pirolisa.....	45
Gambar 5.1	Alat GCMS.....	58
Gambar 5.2	Alat FTIR.....	60
Gambar 6.1	adalah tampak samping dari alat pirolisis dengan sistem single unit kondensor .....	66
Gambar 6.2	adalah tampak atas dari alat pirolisis dengan sistem single unit kondensor .....	66
Gambar 6.3	adalah tampak samping atas dari alat pirolisis dengan sistem single unit kondensor.....	67
Gambar 6.4	adalah tampak samping dari alat pyrolysis .....	75

Gambar 6.5	adalah tampak atas dari alat pyrolysis Sistem Double Unit Kondensor .....	75
Gambar 7.1.	Pohon Kemiri.....	79
Gambar 7.3	Tempurung Kemiri.....	81
Gambar 7.4	Kerangka percobaan terhadap Pirolisis .....	82
Gambar 7.5	Proses Proses Produksi Asap Cair dari Pirolisa Tempurung Kemiri.....	86
Gambar 7.6	Bahan Baku Biomassa Tempurung Kemiri .....	87
Gambar 7.7	Pengeringan Bahan Baku.....	87
Gambar 7.8	Bahan Baku siap di Bakar .....	88
Gambar 7.9	Bahan Baku dalam Reaktor Pyrolisa.....	88
Gambar 7.9	Persiapan Pembakaran Bahan Baku .....	89
Gambar 7.10	Penampungan Produk Asap Hasil proses pyrolisa .....	90
Gambar 7.11	Produk Asap Cair Grade 3 Hasil proses pyrolisa yang perlu pemurnian lebih lanjut .....	90
Gambar 7.12	Dari Proses Pyrolisa.....	91
Gambar 7.13	Asap Cair Grade 3 Yang telah dikemas.....	91
Gambar 7.14	Proses pengemasan Produk .....	92

## Daftar Table

Tabel 1.1 Kandungan Kimia Tempurung Kemiri.....	5
Tabel 1.2 Komposisi kimia tempurung kelapa.....	7
Tabel 1.3 Kandungan Tandan Kosong Kelapa Sawit.....	16
Tabel 1.4 Komposisi Kimia cangkang Sawit.....	18
Tabel 3.1 Karakteristik Produk Asap Cair.....	42
Tabel 7.1 Kandungan Kimia Cangkang Kemiri.....	81

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Apa itu Asap Cair

Asap cair (bahasa Inggris: *wood vinegar, liquid smoke*) merupakan suatu hasil kondensasi atau pengembunan dari uap hasil pembakaran secara langsung maupun tidak langsung dari bahan-bahan yang banyak mengandung lignin, selulosa, hemiselulosa serta senyawa karbon lainnya menghasilkan berbagai macam senyawa antara lain fenol, karbonil, asam, furan, alkohol, lakton, hidrokarbon, polisiklik aromatik dan lain sebagainya. Produk asap cair hasil pirolisis yang juga sering disebutkan sebagai *biooil, pyroligneous acid* atau *wood vinegar* memiliki potensi untuk digunakan pada proses pengasapan sebagai *smoke flavour* dalam industri makanan. (Ricke & Grandal. 2014) dan (Soazo.*et.al* 2016) karena asap cair memiliki manfaat sebagai antioksidan, anti mikroba, (Saloko.S.*et.al.*2014) dan (Hwang.*et.al.*2005). Pada pengasapan telah menggunakan teknik pengawetan dimana hasil *redestilasi* asap cair dari tempurung kelapa sawit digunakan sebagai bahan pengawet pada ikan segar yang dapat menghambat aktivitas perkembangan mikroba (Achmadi.*et.al.* 2013). Sebagai bahan koagulasi, asap cair salah satu koagulan penting dalam industri karet yang alami dan menghasilkan karet dengan kualitas yang baik (Fahlepi & Suwardin. 2015).

### 1.2 Bagaimana Asap Cair Dihasilkan

Asap Cair dihasilkan dari proses pirolisis biomassa dengan adanya degradasi termal atas bahan baku pada suhu tinggi tanpa oksigen sekitar sekitar 30% sampai 70% berat (Chen ,*et.al.*2015). Produk dihasilkan dari proses konversi bahan biomassa.

Biomassa merupakan produk padat organik atau non organik yang kompleks yang berasal dari organisme hidup dan tersedia secara alami. Berbagai jenis limbah seperti kotoran hewan, limbah kertas, lumpur dan limbah industri dapat digunakan sebagai salah satu sumber asap cair (Manoj. 2014).

Biomassa mengalami 3 (tiga) tahap utama yaitu tahap penguraian awal (hidrolisis), tahap dekomposisi primer dan tahap *repolimerisasi* yang terjadi secara seri dan paralel dipengaruhi oleh beberapa parameter. Proses degradasi material pada pirolisis biomassa terjadi karena kenaikan temperatur sehingga

menghasilkan senyawa-senyawa dengan karakteristik yang sesuai dengan komposisi kimia yang terkandung dalam material biomassa tersebut. Untuk menghasilkan produk asap cair sesuai dengan tujuan aplikasi produk apakah sebagai *biofuel* atau produk lainnya sehingga sangat dibutuhkan kajian lebih dalam terhadap efek parameter penting dalam proses pirolisis yang dilakukan melalui metode optimasi pirolisis, karena hal ini akan berpengaruh pada komponen senyawa produk pirolisis yang terbentuk serta terhadap reaksi yang akan terlibat dalam proses pirolisis.

Terdapat beberapa produk yang dihasilkan dari proses pirolisis yaitu produk cair yang terdiri dari asap cair dan *tar*, padatan dan gas yang tidak terkondensasi. Adapun komposisi asap cair yang diperoleh dari proses pirolisis biomassa dikelompokkan berdasarkan tipe kimianya yaitu senyawa fenol, karbonil, keton, asam aldehyd dan senyawa polisiklik hidrokarbon aromatik (Bertero, M. et al. 2014.)

### **1.3 Sumber Bahan Baku Penghasil Asap Cair**

Limbah biomassa dapat dikonversi menjadi produk bioenergi melalui sejumlah proses termasuk proses termal, biologi, mekanik atau fisik ( Bridgwater. 2014). Penggunaan limbah biomassa untuk dimanfaatkan sebagai produk asap cair dengan metode pirolisis sudah banyak dilakukan seperti menggunakan bahan baku limbah buah biji chanar dan buah biji palm (Bertero. et al. 2014), serat kelapa sawit (Chen & Lin 2015), limbah kelapa sawit (Mabrouki. et, al. 2015), serbuk gergaji, jerami, gandum, rumput (Bordoloi. et al. 2015), *pine nut shell* (Chen. et al 2016) biji karanja nigger ( Shadangi et al. 2015), kayu pinus, bongkol jagung (Shen, et al 2015), *sun flower* (Zabaneotou et al. 2009), *olive stone* (Sanchez. F. & Miguel 2016), *laban wood* (Oramahi et al. 2014). Jenis limbah seperti kotoran hewan, limbah kertas, lumpur dan limbah industri dapat digunakan sebagai salah satu sumber asap cair (Manoj, 2014).

Umumnya, aplikasi produk hasil pirolisis tersebut untuk dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternatif. Penggunaan bahan baku biomassa untuk menghasilkan asap cair yang diaplikasikan pada industri pangan dilakukan oleh beberapa peneliti seperti pemanfaatan asap cair dalam industri pangan dari serbuk gergaji dan serpihan kayu (Lingbeck. M. J. et al. 2014), tempurung kelapa (Darmadji. 2012) dan (Zuraida. et al. 2011), sekam padi (Kim. et al. 2012), sebagai antimikroba alami dalam presevatif makanan.

## 1.4 Sumber Biomassa yang Prospektif di Indonesia

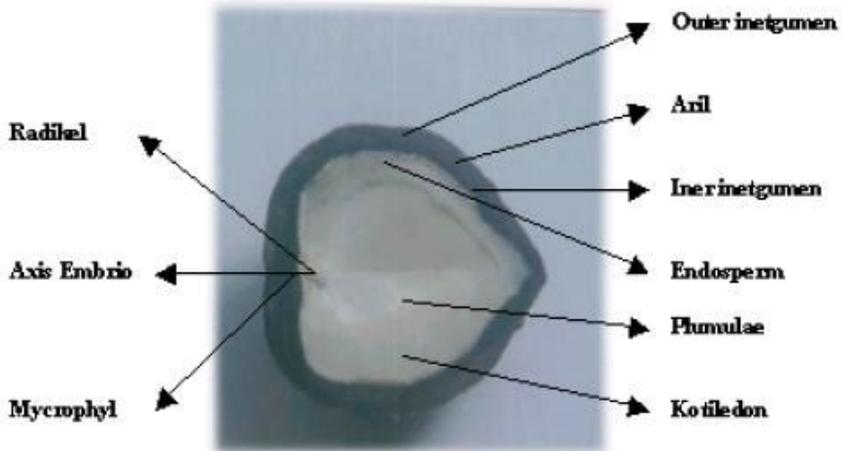
Saat ini perlu adanya pemanfaatan limbah pertanian tempurung kelapa sawit(tempurung kelapa dan tongkol jagung dan lain lain) bagi kebutuhan masyarakat secara umum akan dengan memberikan solusi dari permasalahan masyarakat tentang pemanfaatan biomassa sebagai bahan baku pembuatan asap cair.

### 1.4.1 Asap Cair dari Limbah Pertanian dan Perkebunan

#### 1. Tempurung Kemiri

Tempurung kemiri diperoleh dari hasil samping dari biji kemiri yang dipisah dari isi dan bijinya. Pemanfaatan tempurung kemiri masih sangat terbatas. Kemiri biasanya digunakan sebagai rempah pangan adalah bagian bijinya saja sedangkan kulitnya dibuang begitu saja sehingga pemanfaatan limbah kulit kemiri sangat diperlukan baik sebagai solusi untuk rehabilitasi lahan kritis dan juga digunakan sebagai bahan bakar alternatif. Potensi terbesar dari kemiri terdapat pada buah yang terdiri dari biji dantempurung, pada biji terdapat inti dan kulit. Inti itulah yang dapat diproses menjadi minyak untuk sumber energi alternatif pengganti solar atau biodiesel. Akan tetapi, ada akibat yang ditanggung oleh pengerjaan ini yaitu adanya limbah berupa tempurung kemiri yang tidak termanfaatkan. Limbah inilah yang potensi digunakan sebagai bahan baku pembuatan *bio oil*.

Diameter biji kemiri mencapai 1,5-2 cm yang di dalamnya terdapat daging biji berwarna putih yang kaku (merupakan bagian *endosperm* yang digunakan sebagai bumbu masak). Biji kemiri mempunyai kulit biji yang dikenal sebagai tempurung atau cangkang yang sangat keras. Tempurung ini beratnya mencapai 65-75% dari berat biji seluruhnya, dan tebal tempurung 3-5 mm. Permukaan luarnya kasar dan berlekuk serta berwarna coklat kehitaman. Tempurung biji merupakan bagian buah yang paling keras sehingga untuk mendapatkan inti atau daging buah, maka tempurungnya harus dipecah (Sunanto. 1994).



**Gambar 1.1** Struktur Biji Kemiri

Bagian tempurung atau cangkang kemiri dapat digunakan sebagai arang untuk bahan bakar, dan asap cair dengan proses pirolisis. Sedangkan ampas sisa pembuatan minyak kemiri dapat dimanfaatkan sebagai pupuk dan pakan ternak (Paimin. 1997). Cangkang kemiri hasil kupasan sekarang dapat dimanfaatkan sebagai bahan dasar pembuatan briket selain untuk pembuatan asap cair.



**Gambar 1.2.** Tempurung Kemiri

Tempurung kemiri ketebalannya sekitar 3-5 mm, berwarna coklat atau kehitaman. Kulit biji inilah yang merupakan bagian buah paling keras. Biji kemiri memiliki bentuk membulat atau limas, agak gepeng dengan salah satu ujungnya meruncing. Diameter biji mencapai 1,5-2 cm. Di dalamnya terdapat daging biji berwarna putih yang kaku (merupakan bagian *endosperm* dengan *kotiledon* di dalamnya). Sehingga jika ditelusuri dari luar ke dalam, bagian buah kemiri berturut-turut adalah kulit luar, lapisan kayu, kulit biji, *endosperm*, dan *kotiledon* (Paimin, 1997).

## 2. Sifat Fisika dan Kimia Tempurung Kemiri

Sifat buah kemiri termasuk buah batu, berbentuk bulat telur dan ada bagian yang menonjol ke samping. Daging buahnya kaku dan mengandung 1-2 biji yang diselimuti oleh kulit biji yang keras. Dimana, menurut Mody Lempang (2011) kulit biji yang keras (cangkang kemiri) memiliki kandungan kimia sebagai berikut :

**Tabel 1.1** Kandungan Kimia Tempurung Kemiri

No	Komponen (Component)	Kadar (Content) %
1.	Hemiselulosa ( <i>Hemiselullose</i> )	49,22
2.	Pentosa (Pentosan)	14,55
3.	Lignin	54,46
4.	Abu ( <i>Ash</i> )	8,73

Sumber <http://repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/34583/4>

Dari tabel diatas, dapat kita perhatikan bahwa komposisi kimia yang terdapat pada tempurung kemiri cukup banyak mengandung kadar lignin, yang mana kandungan tersebutlah yang akan digunakan untuk menghasilkan asap cair yang mengandung kadar fenol dari komposisi senyawa lignin yang terdapat dalam cangkang sawit dan digunakan sebagai bahan koagulan getah karet.

Tempurung kemiri terdiri dari zat organik yaitu selulosa, hemiselulosa, lignin, pektin, ekstraktif dan juga zat organik yang berbeda-beda. Gabungan molekul selulosa dan hemiselulosa membentuk *mikrofibril* yang membentuk *lamella* dan seterusnya bersatu dengan lignin untuk membentuk dinding sel-sel kayu.



**Gambar 1.3** Tempurung Kemiri

### **3. Tempurung Kelapa**

Tempurung kelapa sering dianggap sebagai bahan sisa (limbah) yang dihasilkan dalam proses pengolahan buah kelapa. Sebagai limbah, tempurung kelapa banyak dihasilkan dari industri pengolahan buah kelapa, pasar tradisional, dan rumah tangga. Tempurung kelapa dapat diolah menjadi arang melalui proses pembakaran. Selain arang, dalam proses pembakaran juga dihasilkan asap hitam yang berbahaya bagi kesehatan dan mencemari lingkungan.

Tempurung kelapa terletak di bagian dalam kelapa setelah sabut, dan merupakan lapisan yang keras dengan ketebalan 3-5 mm, termasuk golongan kayu keras. Komposisi kimia tempurung kelapa berbasis pada usaha pembuatan arang tempurung, telah dikembangkan sebuah inovasi pemanfaatan asap menjadi produk cair (asap cair) yang berguna. Asap cair dapat dimanfaatkan sebagai bahan pengawet alami, diantaranya pengawet bahan pangan atau non pangan, penggumpal dan penghilang bau karet, sumber energi *biooil*, serta pewarna pada industri karet dan plastik. Komposisi kimia tempurung kelapa dapat dilihat pada Tabel 1.2.

**Tabel 1. 2** Komposisi kimia tempurung kelapa

Komponen	%
Hemiselulosa	27,7
Selulosa	26,5
Lignin	29,4
Abu	0,6
Komponen Ekstraktif	4,2
Uronat Anhidrat	3,5
Nitrogen	0,1
Air	8,0

Sumber : Suhardiyono, 1988 dalam Tahir 1992

Komposisi utama yang terdapat dalam tempurung kelapa adalah hemiselulosa, selulosa dan lignin. Hemiselulosa adalah jenis polisakarida dengan berat molekul kecil berantai pendek dibanding dengan selulosa dan banyak dijumpai pada kayu lunak. Hemiselulosa disusun oleh pentosan ( $C_5H_8O_4$ ) dan heksosan ( $C_6H_{10}O_5$ ). Pentosan banyak terdapat pada kayu keras, sedangkan heksosan terdapat pada kayu lunak (Maga. 1987). Pentosan yang mengalami pirolisis menghasilkan furfural, furan, dan turunannya serta asam karboksilat. Heksosan terdiri dari manan dan galakton dengan unit dasar manosa dan galaktosa, apabila mengalami pirolisis menghasilkan asam asetat dan homolognya (Girard. 1992).

Komposisi utama yang terdapat dalam tempurung kelapa adalah hemiselulosa, selulosa dan lignin. Hemiselulosa adalah jenis polisakarida dengan berat molekul kecil berantai pendek dibanding dengan selulosa dan banyak dijumpai pada kayu lunak. Hemiselulosa disusun oleh pentosan ( $C_5H_8O_4$ ) dan heksosan ( $C_6H_{10}O_5$ ). Pentosan banyak terdapat pada kayu keras, sedangkan heksosan terdapat pada kayu lunak (Maga. 1987). Pentosan yang mengalami pirolisis menghasilkan furfural, furan, dan turunannya serta asam karboksilat. Heksosan terdiri dari mannan dan galakton dengan unit dasar mannosa dan galaktosa, apabila mengalami pirolisis menghasilkan asam asetat dan homolognya (Girard.1992). Selain hemiselulosa tempurung kelapa juga mengandung selulosa dan lignin. Hasil pirolisis selulosa yang terpenting adalah asam asetat dan fenol dalam jumlah yang sedikit. Sedangkan pirolisis lignin menghasilkan aroma yang berperan dalam produk pengasapan. Senyawa aroma yang dimaksud adalah fenol dan eterfenolik seperti guaikol (2-metoksi fenol), syringol (1,6-dimetoksi fenol) dan derivatnya (Girard. 1992).

Proses pembuatan asap cair salah satunya menggunakan tempurung kelapa yang merupakan sisa limbah pembuatan minyak kelapa. Di dalam tempurung kelapa tersebut terdapat kandungan asap cair yang memiliki kandungan fenol berperan untuk mengawetkan makanan secara alami. Asap cair tempurung kelapa menggunakan tempurung sebagai bahan bakunya, tempurung kelapa merupakan bagian buah kelapa yang berfungsi sebagai pelindung inti buah. Tempurung kelapa terletak di bagian dalam kelapa setelah sabut, dan merupakan lapisan yang keras dengan ketebalan 3-5 mm, termasuk golongan kayu keras. Asap cair dibuat dari pirolisis kayu atau dibuat dari campuran senyawa murni (asap buatan). Komponen asap cair harus dilarutkan dalam air atau pelarut organik atau dibawa oleh pengikat seperti bumbu, gula, tepung, garam atau lemak (Gorbatov. 1971).

Distilat asap tempurung kelapa memiliki kemampuan mengawetkan bahan makanan karena adanya senyawa asam, fenolat dan karbonil. Asap cair tempurung mengandung lebih dari 400 komponen dan memiliki fungsi sebagai penghambat perkembangan bakteri yang cukup aman sebagai pengawet alami, antara lain asam, fenolat dan karbonil (Sugiyono dan Dadang, 2006).

Prinsip utama dalam pembuatan asap cair sebagai bahan pengawet adalah dengan mendestilasi asap yang dikeluarkan oleh bahan berkarbon dan diendapkan dengan destilasi multi tahap untuk mengendapkan komponen larut. Untuk menghasilkan asap yang baik, pada waktu pembakaran sebaiknya menggunakan jenis kayu keras seperti kayu bakau, rasa mala, serbuk dan serutan kayu jati serta tempurung kelapa, sehingga diperoleh ikan asap yang baik (Tranggono dkk. 1997). Hal tersebut dikarenakan asap yang dihasilkan dari pembakaran kayu keras akan berbeda komposisinya dengan asap yang dihasilkan dari pembakaran kayu lunak. Pada umumnya kayu keras akan menghasilkan aroma yang lebih unggul, lebih kaya kandungan aromatik dan lebih banyak mengandung senyawa asam dibandingkan kayu lunak (Girard. 1992).



**Gambar 1.4** Tempurung Kelapa

#### **4. Sekam Padi**

Padi merupakan pangan yang paling banyak dibudidayakan di Indonesia. Tanaman padi dibudidayakan sebagai penghasil beras dan dijadikan bahan pangan yang paling banyak dikonsumsi. Pengolahan padi menjadi beras ini menghasilkan limbah sisa berupa sekam yang diproduksi dari pada hasil pengolahan akan menjadi limbah dan menumpuk jika tidak dimanfaatkan.

Pemanfaatan sekam padi yang mungkin bisa diaplikasikan sebagai bahan baku alternative atau diolah menjadi berbagai produk turunan, salah satunya adalah briket arang sekam. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa dari 100 kg sekam apdi hampa, sekam ini lebih mudah terbakar dibandingkan briket lainnya, seperti briket arang kayu atau tempurung kelapa. Selain itu sekam padi dapat berfungsi untuk mengemburkan tanah. Dengan mencampurkan media tanam dengan kompos dan pupuk yang berasal dari abu sekam padi maka kondisi tanah tersebut akan menjadi lebih baik dan juga dapat menjadi lebih gembur, terutama untuk keperluan penyemaian biji. Selain itu, sekam padi merupakan salah satu sumber penghasil silika terbesar dan berpotensi sebagai bahan pembuatan silika gel. Hasil penelitian menunjukkan abu sekam padi mengandung silika sebanyak 87%-97% berat kering. Sintesis silika gel dari abu sekam padi dilakukan dengan mereaksikan abu sekam padi menggunakan larutan NaOH 1N pada suhu 800°C selama 1 jam dan dilanjutkan dengan penambahan larutan asam hingga pH 7. Gel yang dihasilkan selanjutnya didiamkan selama 18 jam, kemudian dikeringkan pada

suhu dikeringkan menggunakan oven pada suhu 800°C hingga beratnya konstan.

Limbah sekam padi dapat dimanfaatkan dalam proses pembuatan asap cair dengan dikeringkan dengan pirolisa. Asap cair yang dihasilkan dari proses pirolisa ini dapat digunakan sebagai insektisida organik. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui persentase asap cair yang dihasilkan setiap kilogram sekam padi, melakukan pengujian asap cair sebagai insektisida dan mengetahui pengaruh variasi lama waktu pirolisa terhadap volume asap cair yang dihasilkan. Variasi lama waktu pirolisa yang dilakukan yaitu 1, 1,5, dan 2 jam dengan massa sekam padi 2 kg pada setiap ulangan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa lama pirolisa yang optimum adalah 2 jam pada suhu berada dalam interval 380-430 °C, dimana rata-rata volume asap cair yang dihasilkan sebanyak 25,83 ml, rata-rata sekam padi setelah pirolisa 83,3 %, kinerja alat 1,24 gr/jam.m kondensor, dan komponen yang hilang sebesar 13,45%. Asap cair dapat membunuh serangga yang ada pada pohon kakao. Lama pirolisa berpengaruh terhadap asap cair yang dihasilkan. Semakin lama waktu pirolisa, maka semakin banyak asap cair yang didapatkan.

## **5. Bongkol Jagung**



**Gambar 1.5** Bongkol Jagung

Sumber :<https://www.pioneer.com/web/site/indonesia/Manfaat-Bonggol-Jagung>

Jagung adalah salah satu jenis bahan makanan yang sangat umum dan mudah ditemukan di sekitar kita. Pada umumnya ada berbagai jenis jagung yang biasanya dijadikan sumber bahan makanan seperti jagung manis dan jagung biji. Manfaat jagung sangat beragam termasuk untuk bagian batang, daun, kulit, biji jagung dan bonggol jagung. Batang dan daun banyak digunakan sebagai pakan ternak karena mengandung nutrisi yang baik untuk hewan. Sedangkan kulit jagung sering menjadi bahan untuk berbagai produk kerajinan. Biji jagung dimanfaatkan sebagai sumber bahan makanan untuk manusia dan pakan ternak. Bongkol jagung bisa menghasilkan manfaat yang sangat besar. berikut ini adalah manfaat bonggol jagung. Yaitu menjadi sumber pakan ternak pertamakali dikembangkan oleh Jepang dimana mengolah bonggol jagung sebagai bahan makanan organik untuk sapi, kambing dan unggas. Bonggol jagung yang didapatkan dari proses penggilingan bonggol jagung kering menjadi tepung kering yang disebut dengan nama *conco* ini mengandung berbagai jenis asam amino, karbohidrat kompleks, protein dan mineral seperti zat besi, mangan, kalsium dan jenis lain. Sumber nutrisi ini sangat penting untuk melancarkan penyerapan nutrisi dalam pencernaan hewan. Proses ini sekarang banyak dikembangkan oleh beberapa ahli dan masyarakat di Indonesia. Bonggol jagung dapat juga dimanfaatkan untuk sumber kuliner yaitu sumber kue atau kuliner. bonggol jagung yang masih segar dikeringkan dan digiling dengan mesin penggiling. Setelah itu hasil penggilingan akan direndam dengan air dingin. Setelah beberapa jam maka diperoleh pati khusus yang mengendap. Pati ini memiliki rasa manis dan menyegarkan. pati akan dimanfaatkan untuk membuat campuran kue, pudding atau es krim. Bahkan beberapa orang biasanya memakai pati untuk membuat bahan sup yang baik untuk diet.

Bonggol jagung bisa dimanfaatkan untuk berbagai macam kebutuhan termasuk sebagai benda kerajinan atau produk lain yang bermanfaat. Langkah ini membuat beberapa orang yang memang mengolah bonggol jagung mendapatkan manfaat ekonomi dan keuangan. Kerajinan bisa dijual hingga pasar skala ekspor. Sementara petani bisa meningkatkan penghasilan karena bonggol jagung tidak hanya menjadi sampah atau bahan bakar pengganti kayu saja.

Bonggol jagung adalah bahan khusus yang banyak mengandung senyawa kimia. Manfaat bonggol jagung masih harus dikembangkan untuk menemukan berbagai macam potensi lain. Hingga saat ini beberapa pakar ilmu pengetahuan memang memanfaatkan bonggol

jagung sebagai bahan pengganti sumber energi utama. Pemanfaatan bonggol jagung sebagai bahan plastik dapat dikembangkan karena bonggol jagung banyak mengandung bahan selulosa yang bermanfaat untuk membuat senyawa kimia pada bahan plastik. Dalam bonggol jagung banyak mengandung beberapa senyawa selulosa yang bisa mengikat kimia plastik dengan baik. Ide untuk menggantikan bahan selulosa plastik dengan bonggol jagung sangat baik karena bisa menjadi bahan plastik yang ramah terhadap lingkungan.

Pemanfaatan bonggol jagung sebagai bahan bakar dapat menurunkan kebutuhan energi lain seperti gas atau minyak tanah. Biasanya masyarakat yang memiliki hasil pertanian jagung akan menggunakan bonggol jagung sebagai pengganti kayu bakar. Bonggol jagung yang sudah dikeringkan bisa menghasilkan panas yang maksimal. Selain itu, sebagai pengganti bahan bakar pengganti gas. Bonggol jagung akan dikeringkan agar bisa menghasilkan zat panas dan uap. Setelah itu uap akan dilewatkan ke sebuah perangkat yang menyaring uap cair dari sisa pembakaran. Uap cair bisa menjadi bahan energi khusus yang sangat baik terhadap lingkungan dan tidak menimbulkan efek samping.

#### **1.4.2 Asap Cair dari Limbah Industri**

Limbah berdasarkan nilai ekonominya dirinci menjadi limbah yang mempunyai nilai ekonomis dan limbah non ekonomis. Limbah yang mempunyai nilai ekonomis yaitu limbah dengan proses lanjut akan memberikan nilai tambah. Misalnya. Ampas tebu dapat dijadikan bahan baku untuk pabrik kertas, sebab ampas tebu melalui proses sulfinasi dapat menghasilkan bubur pulp. Banyak lagi limbah pabrik tertentu yang dapat diolah untuk menghasilkan produk baru dan menciptakan nilai tambah.

Limbah non ekonomis adalah limbah yang diolah dalam proses bentuk apapun tidak akan memberikan nilai tambah, kecuali mempermudah sistem pembuangan. Limbah jenis ini yang sering menjadi persoalan pencemaran dan merusakkan lingkungan; Dilihat dari sumber limbah dapat merupakan hasil sampingan dan juga dapat merupakan semacam "katalisator". Karena sesuatu bahan membutuhkan air pada permulaan proses, sedangkan pada akhir proses air ini harus dibuang lagi yang ternyata telah mengandung sejumlah zat berbahaya dan beracun. Di samping itu, ada pula sejumlah air terkandung dalam bahan baku harus dikeluarkan bersama buangan lain. Ada limbah yang terkandung dalam bahan dan harus dibuang setelah proses produksi. Akan tetapi, ada pula

pabrik menghasilkan limbah karena penambahan bahan penolong. Sesuai dengan sifatnya, limbah digolongkan menjadi 3 bagian, yaitu: limbah cair, limbah gas/asap dan limbah padat. Pada beberapa industri tertentu limbah ini sering menjadi masalah baru sebab untuk proses pembuangannya membutuhkan satu pabrik pula. Limbah penduduk kota menjadikan kota menghadapi problema kebersihan. Kadang-kadang bukan hanya sistem pengolahannya menjadi persoalan tapi bermakna, dibuang setelah diolah. Menurut sifat dan bawaan limbah mempunyai karakteristik baik fisika, kimia maupun biologi. Limbah air memiliki ketiga karakteristik ini, sedangkan limbah gas yang sering dinilai berdasarkan satu karakteristik saja seperti halnya limbah padat. Berbeda dengan limbah padat yang menjadi penilaian adalah karakteristik fisiknya, sedangkan karakteristik kimia dan biologi mendapat penilaian dari sudut akibat. Limbah padat dilihat dari akibat kualitatif sedangkan limbah air dan limbah gas dilihat dari sudut kualitatif maupun kuantitatif.

### 1. Ampas Tebu

Ampas Tebu (*saccharum officinarum*) merupakan tanaman yang ditanam untuk bahan baku gula. Tanaman ini hanya dapat tumbuh di daerah beriklim tropis. Tanaman ini termasuk jenis rumput-rumputan. Umur tanaman sejak ditanam sampai bisa dipanen mencapai kurang lebih 1 tahun. Di Indonesia tebu banyak dibudidayakan di pulau Jawa dan Sumatra (Anonim. 2007). Ampas tebu atau lazimnya disebut *bagasse*, adalah hasil samping dari proses ekstraksi (pemerahan) cairan tebu. Dari satu pabrik dihasilkan ampas tebu sekitar 35 - 40% dari berat tebu yang digiling (Indriani dan Sumiarsih. 1992). Ampas merupakan hasil samping dari proses ekstraksi tebu, dengan komposisi : 46-52% air, 43-52% sabut dan 2-6% padatan terlarut. Departemen Pertanian melaporkan bahwa produksi tebu nasional saat ini adalah 33 juta ton/tahun (Dirjenbun. 2014).

Ampas tebu sebagian besar mengandung *ligno cellulose*. Panjang seratnya antara 1,7 sampai 2 mm dengan diameter sekitar 20 mikro, sehingga ampas tebu ini dapat memenuhi persyaratan untuk diolah menjadi papan-papan buatan. Bagase mengandung air 48 - 52%, gula rata-rata 3,3% dan serat rata-rata 47,7%. Serat *bagase* tidak dapat larut dalam air dan sebagian besar terdiri dari selulosa, pentosan dan lignin (Husin. 2007). Berdasarkan bahan kering, ampas tebu adalah terdiri dari unsur C (Karbon) 47%, H (Hidrogen) 6,5%, O

(Oksigen) 44% dan abu (Ash) 2,5%. Menurut rumus Pritzelitz (Hugot, 1986) tiap kilogram ampas dengan kandungan gula sekitar 2,5% akan memiliki kalor sebesar 1825 kkal/kg.

Saat ini berkembang isu mengenai pemanfaatan ampas tebu (*bagasse*) sebagai bahan alternatif industri pulp dan kertas. Berkaitan dengan isu tersebut Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan Badan Litbang Departemen Kehutanan melakukan kajian terhadap permasalahan yang dihadapi dalam pemanfaatan *bagasse* untuk bahan baku alternatif industri pulp dan kertas. Persentase kandungan unsur-unsur yang terdapat dalam biomassa secara fisik maupun kimiawi. Kandungan karbon dan oksigen menunjukkan jumlah yang cukup dominan, unsur-unsur ini menjadi komponen utama dalam reaksi pembentukan singas. Kandungan C dan H yang cukup tinggi mampu menghasilkan nilai kalor gas yang cukup potensial untuk dimanfaatkan. Kandungan *moisture* ampas tebu yang relatif rendah tidak membutuhkan energi yang terlalu besar untuk menghilangkannya. Kadar air yang 7 dikandung akan dikeluarkan dari biomassa dengan pemanasan. Bila kandungan *moisture* terlalu tinggi maka dibutuhkan energi aktivasi pengeringan yang tinggi. Kandungan *moisture* yang teruapkan mampu memperbesar produksi H<sub>2</sub> (*flammable component*), namun untuk menjaga proses produksi H<sub>2</sub> dibutuhkan energi yang cukup besar dari proses *eksoterm*, dimana dalam proses *eksoterm* menghasilkan CO yang bersifat tidak bisa terbakar. Energi hasil proses *eksoterm* yang terambil pada produksi H<sub>2</sub> dari *moisture* justru mengurangi energi yang diperlukan pada proses produksi H<sub>2</sub> dan CO yang *flammable* dari reaksi *endoterm*, sehingga hal itu cukup merugikan. Nilai kalor yang dimiliki ampas tebu yang cukup tinggi membuat proses gasifikasi mampu tercapai dengan mudah.

Ampas tebu ini biasanya tidak dipakai lagi, dibakar atau dibuang. Dan juga ampas tebu juga memiliki manfaat yang berguna dapat diolah kembali menjadi bahan pembuat kertas, pembangkit tenaga listrik, pupuk kompos dan pakan ternak bahkan asap cair. Melalui proses *bio-engineering* selulosa dalam ampas tahu, kertas dan karton *waterproof* dapat diproduksi. Pembuatan kertas pada umumnya menggunakan lapisan lilin atau plastik sehingga tidak bisa di daur ulang, namun pembuatan kertas dengan ampas tebu ini ramah lingkungan. Kertas dari ampas tahu dapat mengalami pembusukan dan hancur, juga dapat didaur ulang kembali.

## 2. Serbuk Gergaji



**Gambar 1.6** Serbuk gergaji pada industri kayu

Serbuk gergaji kayu mengandung komponen utama selulosa, lignin dan zat ekstraktif kayu. Serbuk kayu merupakan bahan berpori sehingga air mudah terserap dan mengisi pori-pori tersebut. Sifat serbuk gergaji yang higroskopik atau mudah menyerap air (Wardono. 2006). Pemanfaatan serbuk gergaji kayu jati sebagai media penyerap logam berat setelah selulosa teraktivasi telah dilakukan dengan beberapa metode aktivasi, yaitu esterifikasi, formaldehida dan piridin. Metode aktivasi ini dapat meningkatkan adsorpsi logam berat dalam penelitian ini. Pemanfaatan gergaji kayu jati sebagai asap cair atau *bio-oil* dari biomasa seperti kayu, kulit kayu dan biomasa lainnya dari limbah kehutanan dan industri hasil hutan melalui teknologi pirolisis saat ini telah dikembangkan. Asap cair atau *bio-oil* dapat digunakan di dalam industri sebagai bahan bakar untuk *boiler* atau bahan bakar langsung untuk tujuan pengeringan, seperti minyak bakar. Teknik pembuatan *bio-oil* dengan bahan baku serbuk gergaji sengon menggunakan proses pirolisis lambat (*slow pyrolysis*). Pada proses ini serbuk gergaji dipanaskan dengan udara terbatas pada suhu 350-500°C, selama 30-60 menit. Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah suhu dan lama pirolisis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan yang menghasilkan *bio-oil* yang optimum adalah suhu 500°C selama 30 menit, dengan karakteristik sebagai berikut; rendemen *liquid* 43,75%

dengan rendemen *bio-oil* sebesar 7,95%, kadar fenol 3,80, pH 2,84, bobot jenis 1,116 g/cm<sup>3</sup>, nilai kalor 22,42 MJ/kg dan daya nyala sedang. Bio-oil yang dihasilkan didominasi oleh asam asetat dan fenol, selain itu terdapat beberapa komponen yang termasuk bahan bakar mudah terbakar yaitu 2-propanon (CAS) aseton, benzena, 1,2,4 trimethylbenzena, dan 2-furanmetanol (furfuril alkohol).

### 3. Tandan Kosong Kelapa Sawit

Tandan kosong kelapa sawit yang ditransformasikan menjadi sumber bahan kimia seperti asam glutamat, aseton dan bioetanol xilitol dan protein tunggal dengan menggunakan enzim sebagai biokatalis. Studi biokonversi limbah padat kelapa sawit menjadi senyawa-senyawa tersebut diatas telah banyak dilakukan.

Tandan kosong kelapa sawit dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan pupuk Kalium, Aseton-Butanol-Etanol (ABE), jamur pangan, asam glutamat, xilitol, protein sel tunggal. Selain itu TKS dapat juga dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan pulp dan kertas, *hard board*, Serat kerapatan medium (*Medium Density Fiber, MDF*), arang aktif dan lain-lain. Adapun kandungan dan sifat kimia tandan kosong kelapa sawit dapat dilihat pada tabel berikut:

**Tabel 1.3** Kandungan Tandan Kosong Kelapa Sawit

No.	Komponen	Kandungan (%)
1	Lignin	22,60
2	Selulosa	45,80
3	Hemiselulosa	71,80
4	Pentosa	25,90
5	Kadar Abu	1,60

Sumber : Purwito dan Finnanti, 2005

TKS (Tandan Kosong Sawit) adalah salah satu limbah pabrik kelapa sawit yang jumlahnya sangat melimpah. Setiap pengolahan TBS (Tandan Buah Segar) akan dihasilkan TKS sebanyak 25%. TKS ini belum dimanfaatkan secara baik oleh sebagian besar pabrik kelapa sawit.

Tandan kosong kelapa sawit merupakan salah satu limbah yang jumlah produksi minyak sawit mentah terbesar. Tandan kosong kelapa sawit terdiri dari tiga komponen utama, yaitu lignin, selulosa dan hemiselulosa.



**Gambar 1.7.** Tandan kosong sawit

#### **4. Cangkang Sawit**

Diperkirakan saat ini limbah cangkang sawit di Indonesia mencapai 20 juta ton/hari dan sampai saat ini, pemanfaatan cangkang sawit masih relatif terbatas, yaitu digunakan langsung sebagai mulsa di perkebunan kelapa sawit atau dibakar dalam (*incinerator*) dan abunya dimanfaatkan sebagai substitusi pupuk kalium. Pemanfaatan cangkang sawit sebagai pupuk kalium atau mulsa masih dinilai tidak ekonomis, karena biaya transportasi dari pabrik kelapa sawit dan penyebarannya di kebun kelapa sawit memerlukan biaya yang relatif tinggi. Di samping itu pembakaran di *incinerator* menyebabkan terjadi polusi udara. Ditinjau dari sifat fisik, morfologi, dan komposisi kimia cangkang sawit, sebenarnya cangkang sawit dapat digunakan sebagai bahan baku potensial untuk pengisi atau penguat komposit polimer. Hal ini disebabkan pada cangkang sawit kandungan seratnya mencapai sekitar 70 % dan komposisi kimia cangkang sawit mengandung selulosa yang cukup banyak yaitu 37,76%. Seperti bahan kayu dan jaringan penunjang tumbuh-tumbuhan lainnya menurut Darnoko dkk (2001) dan Wirjosentono (1999) komposisi kimia cangkang sawit limbah kelapa sawit dapat dilihat pada tabel berikut ini : terdiri dari selulosa

(37,76%), lignin (22,23%), hemiselulosa (66,07%) dan bahan terestraksi (7,78%) .

**Tabel 1.4** Komposisi Kimia cangkang Sawit

No	Unsur	% Berat Kering
1.	Selulosa	37,76
2.	Hemiselulosa	18,80
3.	Lignin	34,99
4.	Air	9,87

Sumber : *Woodroof, 1970*

### 1.4.3 Asap Cair dari Limbah Sampah Organik

Sampah adalah Sisa akhir proses atau barang buangan yang sudah tak diinginkan karena tidak punya nilai dan harga. Sampah dapat juga dibagi berdasarkan tingkat pemakaiannya kembali. Definisi sampah diatas masih umum karena nantinya sampah dibagi menjadi sampah organik dan non organik.

Sampah organik adalah sisa buangan yang berasal dari makhluk hidup baik manusia, hewan maupun tumbuhan dan sifatnya yang mudah membusuk. Bakteri merupakan agen yang sangat penting keberadaannya karena perannya sebagai pengurai alami. Sifat sampah organik sangat ramah lingkungan karena berasal dari makhluk hidup. Jenis sampah organik dapat dikelompokkan secara mudah berdasarkan bentuknya yaitu sampah organik padat dan sampah organik cair. Sampah organik padat berbentuk padat dan mengandung bahan alami (organik) berasal dari makhluk hidup, baik manusia, hewan, maupun tumbuhan.

Sampah organik adalah sampah yang dihasilkan dari proses dekomposisi dan terurai dari hasil pelapukan bahan- bahan organik seperti daun-daunan, jerami, alang-alang, sampah, rumput, dan bahan lain yang sejenis yang proses pelapukannya dipercepat oleh bantuan manusia menjadi bahan yang lebih kecil dan tidak berbau (sering disebut dengan kompos). Contoh limbah padat organik adalah sampah pasar khusus seperti pasar sayur mayur, pasar buah, atau pasar ikan, dan sampah berasal dari jenisnya relatif seragam merupakan 95% adalah sampah organik sehingga lebih mudah ditangani. Selain itu sampah yang berasal dari pemukiman umumnya sangat beragam, tetapi secara umum minimal 75% terdiri dari sampah organik dan sisanya anorganik . Sampah organik sendiri dibagi menjadi sampah organik basah yaitun sampah mempunyai

kandungan air yang cukup tinggi. Contohnya kulit buah dan sisa sayuran. Sampah organik kering adalah bahan organik lain yang kandungan airnya kecil. Contoh sampah organik kering di antaranya kertas, kayu atau ranting pohon, dan dedaunan kering

Pengembangan pemanfaatan limbah sampah organik menjadi asap cair yang dapat diaplikasikan sebagai bahan pendukung untuk pupuk cair juga telah dikembangkan saat ini selain untuk bahan anti fungsi dan anti mikroba.

### 1.5 Jenis Asap Cair

Asap cair (*liquid smoke*) merupakan campuran larutan dari dispersi asap kayu dalam air yang dibuat dengan mengkondensasikan asap cair hasil pirolisis. Asap cair hasil pirolisis ini tergantung pada bahan dasar dan suhu pirolisis. Pirolisis tempurung kelapa menghasilkan asap cair dengan kandungan senyawa fenol sebesar 41,3 %, karbonil 11,3 % dan asam 10,2 % (Darmadji, dkk. 1996). Girard, (1992), menyatakan kandungan senyawa-senyawa penyusun asap cair sangat menentukan sifat *organoleptik* asap cair serta menentukan kualitas produk pengasapan. Komposisi dan sifat *organoleptik* asap cair sangat tergantung pada sifat kayu, temperatur pirolisis, jumlah oksigen, kelembaban kayu, ukuran partikel kayu serta alat pembuatan asap cair. Kualitas asap cair ditentukan oleh kondisi proses pembakaran, yaitu tekanan, suhu pembakaran dan lamanya waktu pembakaran, serta banyaknya kandungan asam, tar, dan fenol di dalamnya. Kualitas asap cair juga ditentukan oleh kemurnian dari senyawa-senyawa yang terkandung di dalamnya dan pemanfaatannya sebagai antimikroba, antioksidan, bioinsektisida perlu dilakukan proses pemurnian lebih lanjut sesuai dengan kebutuhan penggunaannya.

Jenis asap cair dibedakan atas penggunaannya terdiri atas 3 jenis asap cair, yaitu sebagai berikut:

#### 1.5.1 Asap Cair *Grade 3*

Asap cair *grade 3* adalah produk asap cair yang dihasilkan dari proses kondensasi dan pemrosesan dilakukan tanpa destilasi. Pemisahan tar dan asap cair dilakukan dengan proses sedimentasi. Hasil produk berwarna hitam dan fungsinya untuk pengawet kayu, karet dan penghilang bau. Asap cair *grade 3* tidak baik digunakan untuk pengawet makanan, karena masih banyak mengandung tar yang karsinogenik. Asap cair *grade 3* juga digunakan untuk pengolahan karet penghilang bau dan pengawet kayu sehingga tahan

terhadap rayap. Adapun mekanisme penggunaan asap cair *grade 3* untuk pengawet kayu agar tahan rayap dan karet tidak bau adalah 1 cc asap cair *grade 3* dilarutkan dalam 300 mL air, kemudian disemprotkan atau merendam kayu ke dalam larutan.

### **1.5.2 Asap Cair Grade 2**

Asap cair *grade 2* adalah asap cair yang dihasilkan dari proses destilasi untuk menghilangkan kadar karbon jenuh dalam asap yang telah terkondensasi atau pemisahan senyawa tar, hasilnya adalah berwarna merah. Fungsinya sebagai pengganti formalin dengan bahan alami / herbal. Asap cair *grade 2* dipakai untuk pengawet makanan sebagai pengganti formalin dengan *taste* asap (daging asap, ikan asap/bandeng asap) berwarna kecoklatan transparan, rasa asam sedang, aroma asap sedang. Cara penggunaan asap cair *grade 2* untuk pengawet ikan adalah celupkan ikan yang telah dibersihkan ke dalam 25 persen asap cair dan tambahkan garam. Biasanya ikan yang diawetkan dengan menggunakan asap cair *grade 2* bisa tahan selama tiga hari.

### **1.5.3 Asap Cair Grade 1**

Asap cair *grade 1* adalah produk asap cair dari proses destilasi berulang- sehingga menghilangkan kadar karbon dalam asap yang telah terkondensasi. Hasilnya lebih jernih berwarna bening.. Fungsinya sebagai pengawet makanan seperti : bakso, mie. Asap cair *grade 1* digunakan sebagai pengawet makanan siap saji seperti bakso, mie, tahu, bumbu-bumbu barbaque. Asap cair *grade 1* ini berwarna bening, rasa sedikit asam, aroma netral dan merupakan asap cair paling bagus kualitasnya serta tidak mengandung senyawa yang berbahaya untuk diaplikasikan ke produk makanan. Cara menggunakan asap cair *grade 1* untuk pengawet makanan siap saji adalah 15 cc asap cair dilarutkan dalam 1 liter air, kemudian campurkan larutan tersebut ke dalam 1 kg adonan bakso, mie atau tahu. Saat perebusan juga digunakan larutan asap.

∞

# BAB 2

## PROSES PIROLISIS

### 2.1 Prinsip Proses Pirolisis

Proses pirolisa biomassa secara umum mekanismenya mengikuti 3 tahapan reaksi yakni reaksi hidrolisa, reaksi primer dan reaksi sekunder. Dehidrasi, depolimerisasi dan fragmentasi merupakan reaksi yang saling bersaing saat terjadinya reaksi penguraian awal bahan biomassa tersebut. (Chen, *et. al*, 2015).

Distribusi produk pirolisis dan kualitasnya sangat bergantung pada parameter proses biomassa. Parameter proses pirolisis seperti jenis biomassa, suhu, waktu tinggal uap panas, pemisahan char, dan kandungan abu biomassa (Bridgwater. 2012).

Dalam proses pirolisis, biomassa terdekomposisi secara termal tanpa oksigen dan proses ini sangat kompleks, melibatkan begitu banyak reaksi biomolekul biomassa yang terdekomposisi menghasilkan asap cair.

### 2.2 Reaksi Dekomposisi pada Proses Pirolisis

Pirolisis pada dasarnya terdiri dari dua tahap yang dikenal sebagai pirolisis primer dan pirolisis sekunder. Golongan karboksil, karbonil dan hidroksil yang berbeda juga terbentuk pada tahap pertama proses pirolisis. Proses *devolatilisasi* melibatkan *dehidrasi*, *dekarboksilasi* dan *dehidrogenasi* biomassa. Selanjutnya terjadi proses pirolisis sekunder terjadi yang mengubah biomassa menjadi gas - gas. Bagian pertama di sisi produk mewakili hasil gas dengan berbagai gas yang dihasilkan selama proses berlangsung. Bagian kedua sisi produk menunjukkan campuran berbagai jenis produk cair dan yang terakhir adalah hasil padat. (Tripathi.M.*et.al*.2016).

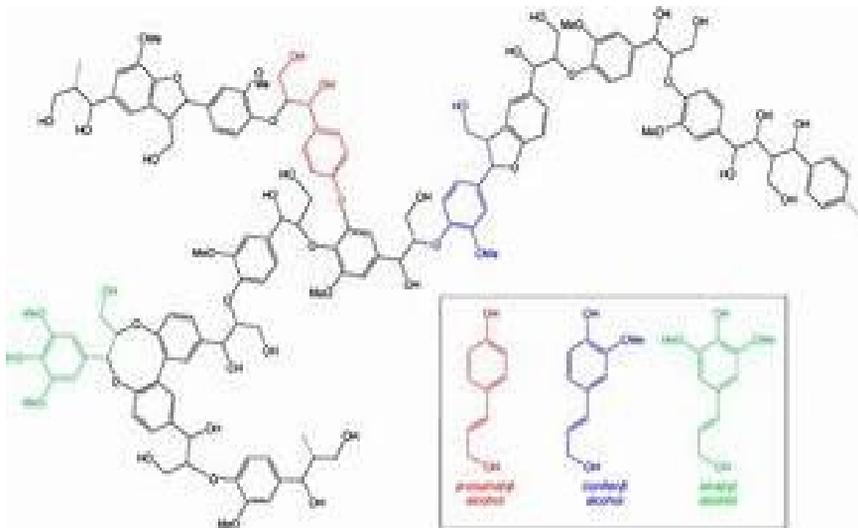
Jalur degradasi komponen biomassa utama telah diteliti secara terpisah. Dekomposisi hemiselulosa, yang secara genetis diwakili oleh xilan, terutama terjadi antara 250°C dan 350°C, diikuti oleh dekomposisi selulosa, yang terutama terjadi antara 325°C dan 400°C dengan *levo glucosan* sebagai produk pirolisa utama (Richards. *et.al* 1994) dan (Stanfanidis. *et.al* 2014). Lignin adalah komponen yang paling stabil yang terurai pada suhu yang lebih tinggi dari 300-550°C (Williams. *et.al*. 1996). Jalur reaksi disederhanakan dari pirolisis selulosa, yang merupakan mekanisme *Waterloo* yang diterima secara genetis. Dehidrogenasi, depolymerisation dan fragmentasi adalah

reaksi persaingan utama yang dominan pada rentang suhu yang berbeda (Kan T.*et.al.* 2015).

### 2.2.1 Dekomposisi Lignin

Lignin merupakan sebuah polimer kompleks yang mempunyai berat molekul tinggi dan tersusun atas unit-unit fenil propana. Senyawa-senyawa yang diperoleh dari pirolisis struktur dasar lignin berperan penting dalam memberikan aroma asap produk asapan. Senyawa ini adalah fenol, eter fenol seperti gualikol, siringol dan homolog serta derivatnya (Girard. 1992). Lignin mulai mengalami dekomposisi pada temperatur 300-350°C dan berakhir pada 400-450°C.

Sebagai sumber potensial untuk sumber energi dan bahan kimia. Lignin merupakan senyawa polimer aromatik alami yang paling melimpah, 3 (tiga) jenis lignin memiliki struktur fenolik tiga dimensi bercabang tinggi termasuk unit fenilpropan utama, yaitu p-coumaril, coniferil dan sinapil seperti terlihat pada gambar 2.1. Lignin kayu lunak mengandung unit sinapil yang relatif lebih sedikit dan terutama terdiri dari struktur guaiacil, sedangkan lignin kayu keras mengandung struktur guaiacil, siringil (Brebun dan Vasele.2009)



**Gambar 2.1** Struktur senyawa Lignin yang terdiri atas 3 (tiga) monomer coumaril, coniferil dan sinapsil

Sumber: Lignin dari Wikipedia

Lignin secara termal terurai pada rentang suhu yang tinggi, penguraian golongan fungsional dengan pengaturan temperatur tinggi menghasilkan 30–50 % arang menghasilkan produk berat molekul rendah dan pelepasan produk volatil (Brebu.M &Vasele.C.2009).

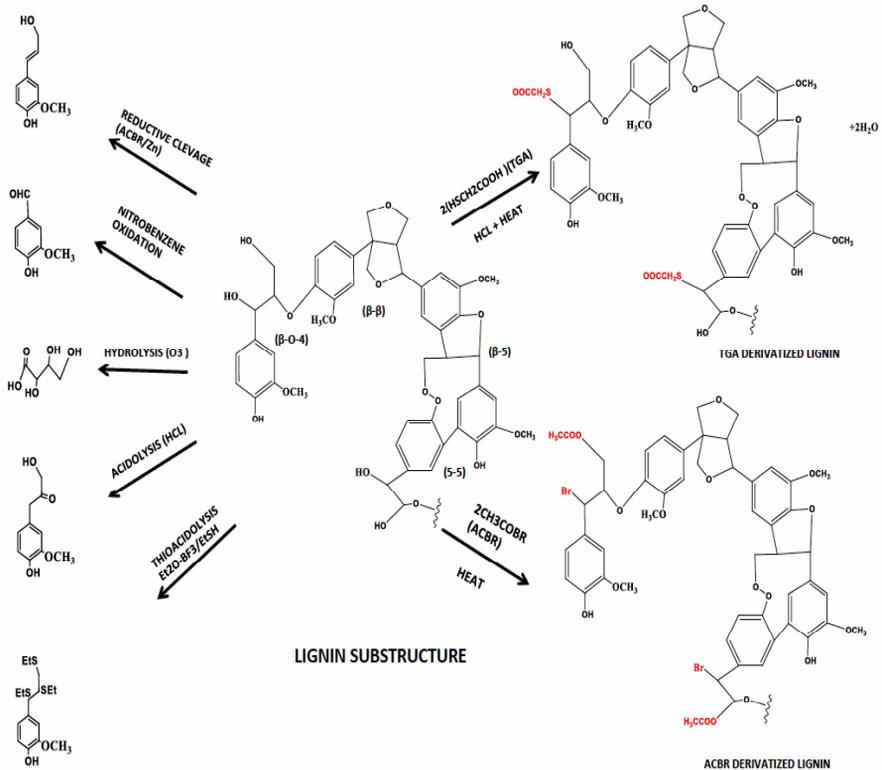
Pemecahan ikatan aril-eter menghasilkan pembentukan radikal bebas yang sangat reaktif dan tidak stabil yang dapat bereaksi melalui penyusunan kembali, susunan elektron atau interaksi radikal radikal, membentuk produk dengan stabilitas yang tinggi. Kondensasi sederhana pada zat antara menyebabkan peningkatan awal massa molekul produk reaksi. Beberapa fragmen yang berasal dari lignin dapat menghambat kondensasi sendiri, sehingga mempengaruhi distribusi massa molekul produk dalam keadaan kesetimbangan (Brebu.M &Vasele.C.2009).

Meurut Wittkowski *et al.* 2010, degradasi rantai sisi propanoid lignin terjadi pada kisaran suhu 230-260°C, dengan pembentukan metil, etil dan vinil- guaiakol dan vanilin. Hasil serupa dilaporkan untuk degradasi pada 240-260 °C dari rantai sisi propanoid dalam asam ferrulic, senyawa model lignin. Pada suhu rendah, dibawah 310°C ikatan  $\beta$ -eter memiliki mekanisme pemecahan produk pirolisis yang berbeda, tergantung pada struktur rantai samping lignin. metil, dimetil, etil dan vinil fenol terbentuk dari zat antara guaiakol yang sesuai dengan pembelahan rantai O-C (alkil) dan O-C ( aril), menunjukkan peningkatan hasil pada suhu tinggi. Demetilisasi dari kelompok dimetoksi menyebabkan konversi fenol menjadi *pyrocatechols* pada 350-450°C, ketika pirolisis hampir selesai.

Lignin lebih sulit mengalami dehidrasi dari pada selulosa atau hemiselulosa. Dehidrasi struktur lignin memberikan produk pirolisa dengan rantai samping tak jenuh. Produk asam asetat dan gas yang tidak dapat dikondensasi, terutama utamanya CO, CO<sub>2</sub> dan CH<sub>4</sub>, terbentuk selama pirolisis lignin. Reaksi sekunder di atas 600°C melibatkan dekomposisi bertahap zat antara lignin, gas char dan gas kondensasi. Waktu tinggal yang sangat singkat menghasilkan depolimerisasi lignin, karena pembelahan ikatan acak dan reaksi antar makromolekul lignin, menghasilkan produk cair yang kurang homogen. Lignin sendiri dapat menghambat polimerisasi termal *levo glucosan* dan meningkatkan pembentukan produk dengan berat molekul rendah dari selulosa dengan penurunan fraksi *char*. Dalam lignin *hydrocracking*, struktur makromolekul biasanya didepolimerisasi ke berbagai macam produk, yang umumnya dapat dikelompokkan menjadi padatan, cairan dan gas. Hasil dan distribusi

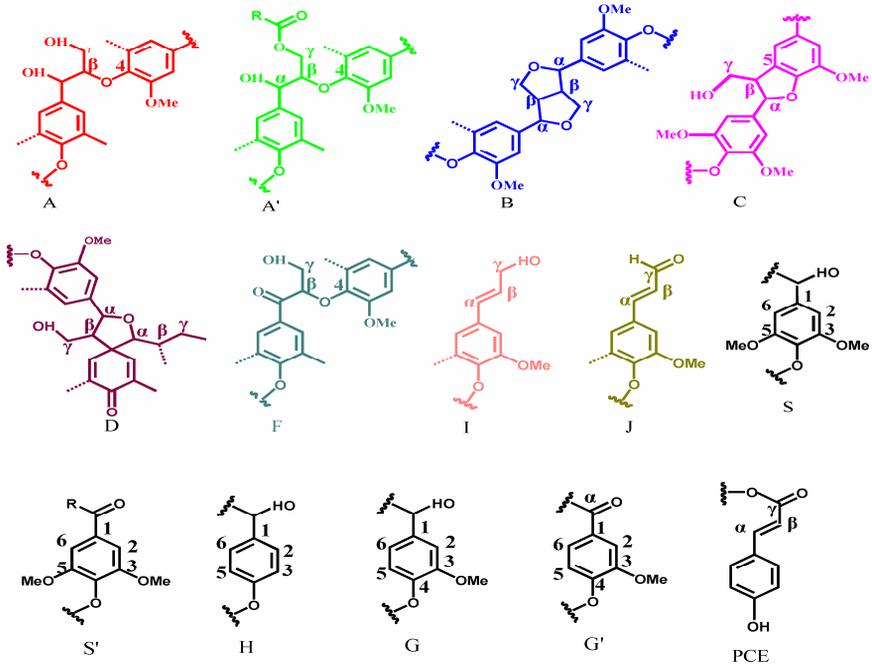
produk bergantung pada tingkat keparahan kondisi reaksi dan jenis katalis. Di bawah kondisi *hydrocracking*, aril eter  $\beta$ -O-4 dan ikatan C-C yang tidak stabil dari struktur lignin dibelah, *hydrodealkylation* selanjutnya menyebabkan pecahnya kelompok rantai samping alkil yang terkait dengan cincin aromatik (Breb. & Vasele.C.2009).

Adapun untuk lebih jelasnya dekomposisi selulosa dengan proses pirolisis dapat dilihat pada gambar 2. 3 berikut ini :



**Gambar 2.2** Substruktur Lignin dan metode analisa.

Sumber Welker. C.M. *et.al* (2015)



**Gambar 2.3** Substruktur utama (fruits, the milled wood lignin )

FMWL dan stalk of Chinese quince SMWL yang melibatkan berbagai hubungan rantai samping, dan unit aromatik yang diidentifikasi oleh hubungan 2D HSQC NMR: (A)  $\beta$ -O-4' aril eter dengan OH bebas pada  $\gamma$ -karbon; (A')  $\beta$ -O-4' aril-eter berhubungan dengan asetil dan / atau p-hidroksibenzoat-OH pada  $\gamma$ -karbon; (B) struktur resinol yang dibentuk oleh hubungan  $\beta$ - $\beta'$  /  $\alpha$ -O- $\gamma'$  /  $\gamma$ -O- $\alpha'$ ; (C) Struktur fenilcoumaran yang disebabkan oleh hubungan  $\beta$ -5' /  $\alpha$ -O-4'; (D) Unit cinnamate; (F) C-teroksidasi  $\beta$ -O-4' substruktur; (G) Unit guaiacyl; (G') Unit guaiacyl teroksidasi dengan  $\alpha$ -keton; (S) Syringyl; (S') Unit syringyl teroksidasi dengan gugus karbonil pada keton C $\alpha$ ; (H) Unit p-hidroksifenil; (I) Kelompok akhir cinnamyl alcohol; (J) Kelompok akhir cinnamaldehyde; (PCE) p-coumarate substructures.

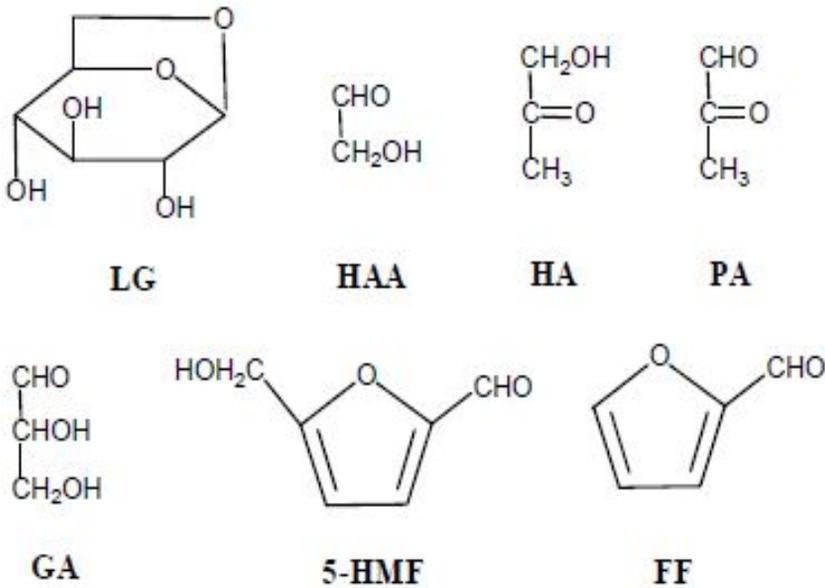
Sumber: Yin, *et.al* 2017

### **2.2.2 Dekomposisi Selulosa**

Selulosa adalah makromolekul yang dihasilkan dari kondensasi linear struktur heterosiklis molekul glukosa. Selulosa terdiri dari 100-1000 unit glukosa. Selulosa terdekomposisi pada temperatur 280°C dan berakhir pada 300-350°C Girard (1992), menyatakan bahwa pirolisis selulosa berlangsung dalam dua tahap, yaitu : Tahap pertama adalah reaksi hidrolisis menghasilkan glukosa dan tahap kedua merupakan reaksi yang menghasilkan asam asetat dan homolognya, bersama-sama air dan sejumlah kecil furan dan fenol.

Zat volatil baik yang terkondensasi atau yang tidak dapat dikondensasikan dari pirolisis selulosa pada suhu proses sedang atau tinggi sebagian besar telah diidentifikasi dengan menggunakan peralatan analisis seperti FTIR, GC-MS, HPLC, NMR dan sebagainya. Berbagai senyawa turunan piran dan furan (senyawa yang mengandung cincin C<sub>5-6</sub>), senyawa organik C<sub>2-4</sub> beroksigen alifatik dan spesies/gas ringan (hidrokarbon ringan, CO dan CO<sub>2</sub>) yang diperoleh, dipengaruhi oleh parameter proses. Bahan baku untuk produksi bahan bakar dan bahan kimia, beberapa produk yang diproduksi dengan hasil yang baik dengan seksama mengenai bahan kimia mekanisme pembentukan dan fraksinasi mereka (Shen DK.*et.al.* 2013).

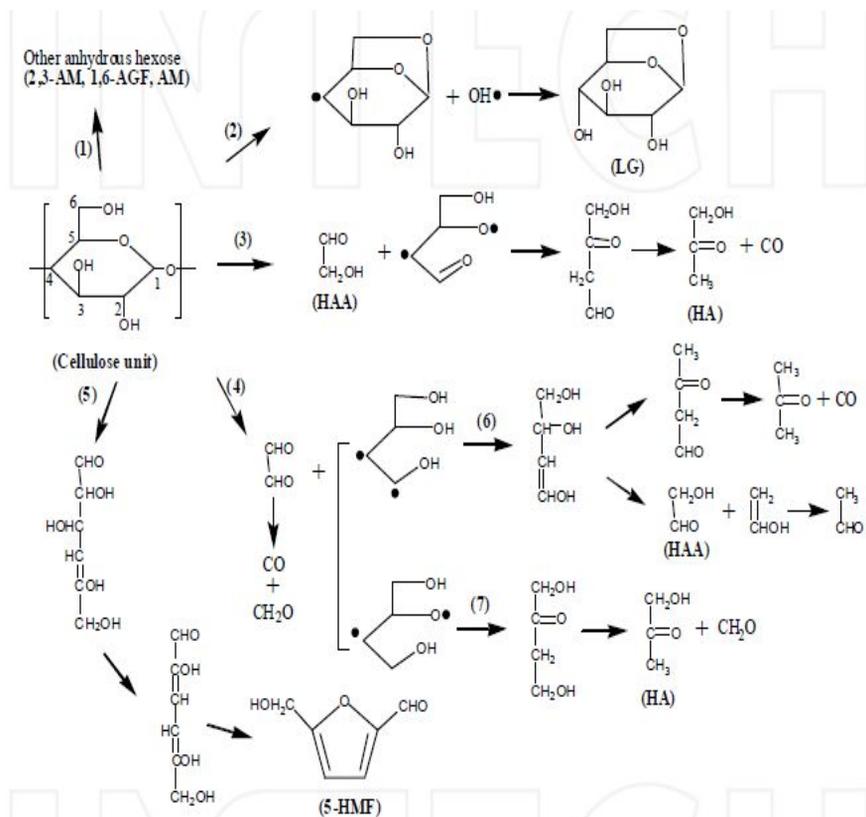
Berbagai senyawa turunan piran dan furan (senyawa yang mengandung cincin C<sub>5-6</sub>), senyawa organik C<sub>2-4</sub> beroksigen alifatik dan spesies/gas ringan (seperti hidrokarbon ringan, CO dan CO<sub>2</sub>) dapat diperoleh, dan daftar ekstensif bersama-sama dengan pola spektrometri/kromatografi dan hasil panen tersedia dalam literatur, dimana hasilnya sangat dipengaruhi oleh reaktor pirolitik, kondisi operasi, metode kondensasi dan sumber sampel. Karena potensi yang besar sebagai bahan baku untuk produksi bahan bakar dan bahan kimia, beberapa produk yang diproduksi dengan hasil yang baik (seperti *levo glucosan*, furfural, *hydroxyacetaldehyde*, acetol, CO, CO<sub>2</sub> dan sebagainya (Shen DK.*et.al.* 2013).



**Gambar 2.4** Struktur kimia dari jenis senyawa dalam asap cair dari dekomposisi selulosa: LG: levoglucosan, HAA: hydroxyacetaldehyde, HA: Hydroxyactone, PA: pyruvic aldehyde, GA: glyceraldehyde, 5-HMF: 5-hydroxymethyl-furfural and FF: furfural.

Sumber :

Senyawa yang mengandung cincin C5-6 dari pirolisis selulosa dapat dikondensasikan menjadi anhidrosugari dan turunan furan, diantaranya *levo glucosan* (1,6-anhidro- $\beta$ -D-glukopirosa). Pembentukan levoglucosan diprakarsai oleh gangguan rantai selulosa, terutama pada hubungan 1,4 glukosidin dalam makromolekul, diikuti oleh penataan ulang intramolekul dari unit monomer selulosa .



**Gambar 2.5** Jalur Dekomposisi Primer Monomer Selulosa

Sumber: Shen DK.*et.al.* 2013

*Levo glucosan* dapat diperoleh dalam hasil 20% sampai 60% berat dalam kajian pirolisis vakum dari berbagai sampel selulosa, sementara anhidrat lainnya (seperti 2,3 - anhidro-d-manosa, 1,4:3, 6-dianhidro- $\alpha$ -D-glucopyranose, 1,6-anhidro - $\beta$ -D-glukofuranosa dan 3,4-altrosan) sedikit diproduksi (kurang dari 1% berat). Pembentukan *levo glucosan* diprakarsai oleh gangguan rantai selulosa, terutama pada hubungan 1,4 glukosidin dalam makromolekul, diikuti oleh penataan ulang intramolekul dari unit monomer selulosa (Shen *et.al.* 2013).

Interaksi antara komponen kimia biomassa dalam proses pirolisis terjadi dalam proses pirolisis, (Hosoya.T *et.al* 2007) melaporkan bahwa interaksi selulosa-hemiselulosa dan selulosa-lignin selama pirolisis pada suhu gasifikasi 800°C selama 30 detik dalam reaktor tabung, sedangkan sampel selulosa yang dicampur

dengan hemiselulosa (2:1,wt/wt) disiapkan dengan menggiling selulosa-hemiselulosa campuran dalam adukan mortar dan selulosa yang dicampur dengan MWL (lignin kayu giling) (2: 1, wt / wt) dibuat dengan menambahkan selulosa ke larutan 1,4-dioksan (0,5 ml) MWL diikuti penguapan pelarut. Dalam pirolisis selulosa-hemiselulosa, hasil percobaan dan taksiran tidak berbeda begitu banyak. Hasilnya menunjukkan bahwa interaksi selulosa-hemiselulosa tidak signifikan pada hasil gas, tar dan char (Shen D.K.*et.al.* 2013).

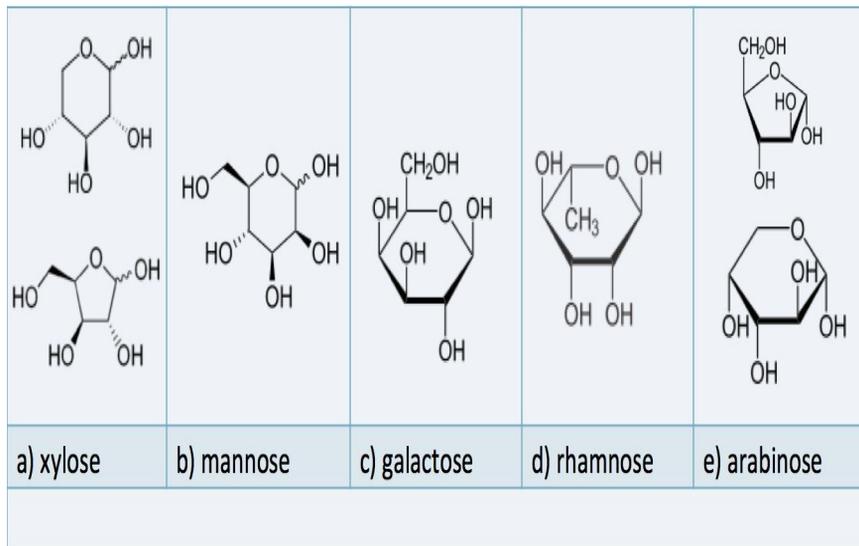
Selain itu, interaksi antara komponen untuk pembentuk karakter sekunder juga diselidiki, yang melibatkan reaktor setelah ekstraksi pirolisis dan tar (Hosoya. *et.al* 2007). Sampel polisakarida kayu membentuk arang sekunder di sisi atas reaktor sedangkan karbonisasi fase uap dari produk dari lignin mengarah pada pembentukan arang sekunder dari bawah ke sisi atas secara terus menerus. Pada pirolisis selulosa-hemiselulosa, perilaku pembentuk arang char ini dapat dijelaskan sebagai gabungan perilaku pirolisis selulosa dan hemiselulosa. Di sisi lain, pirolisis selulosa secara substansial mengurangi pembentukan sekunder basa uap .

### 2.2.3 Dekomposisi Hemiselulosa

Hemiselulosa merupakan polimer dari beberapa monosakarida seperti pentosan ( $C_5H_8O_4$ ) dan heksosan ( $C_6H_{10}O_5$ ). Pirolisis pentosan menghasilkan furfural, furan dan derivatnya beserta satu seri panjang asam-asam karboksilat. Pirolisis heksosan terutama menghasilkan asam asetat dan homolognya. Hemiselulosa akan terdekomposisi pada temperatur 200 - 250°C.

Hemiselulosa adalah kelompok polisakarida yang memiliki struktur acak dan *amorf* dengan sedikit kekuatan dibandingkan dengan selulosa yang bersifat kuat, kristalin serta merupakan *cross link* daripada selulosa dan lignin. Sebagai komponen utama biomassa, kandungan hemiselulosa adalah 10-15% pada kayu lunak, 18 - 23 % pada kayu keras dan 20-25% pada tanaman herbal. Kandungan sakarida yang terdapat didalam hemiselulosa adalah pentosa, heksosa, asam uranic, salah satu kelas senyawa yang berasal dari gula dengan mengoksidasi gugus CH -CH OH menjadi gugus asam (-COOH) dapat menghasilkan asam askorbat, asam, dan termasuk xilosa, galaktosa, glukosa, dan arabinosa. Untuk lebih jelasnya struktur struktur senyawa hemiselulosa dapat dilihat pada gambar 2.6. Dimana gula – gula yang lainnya seperti r amnosa dan fruktosa juga terdapat dalam jumlah kecil dan gugus hidroksil gula

dapat disubstitusi sebagian dengan golongan asetil (Guo. X.*et.al.*2011).



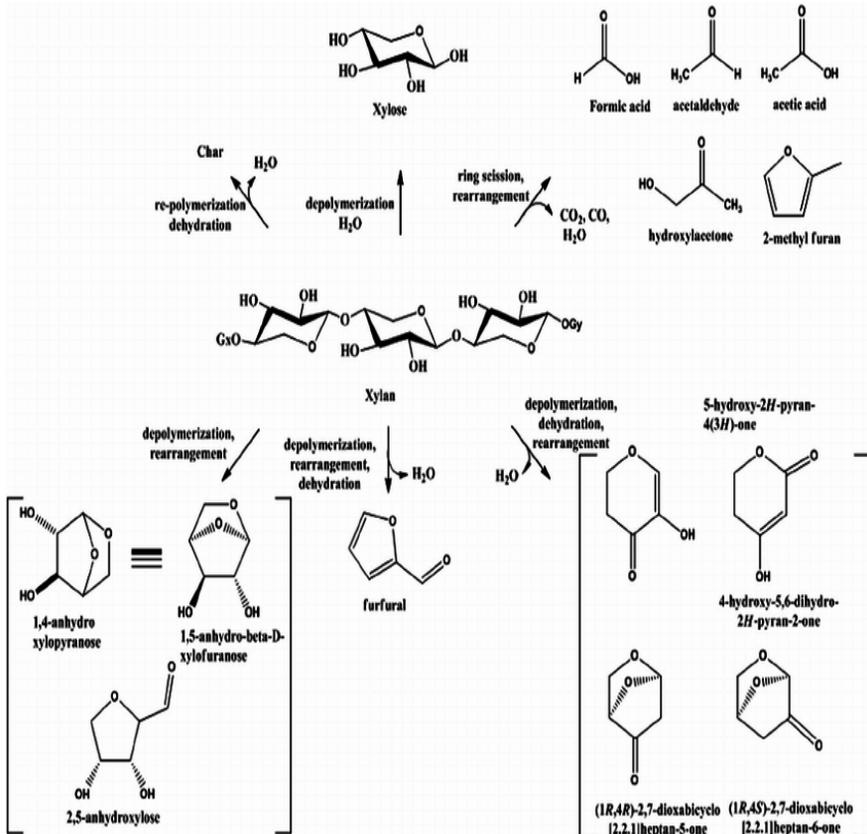
**Gambar 2.6.** Struktur monomer gula dalam Hemiselulosa

Sumber : <https://www.e-education.psu.edu/egee439/node/664>

Dekomposisi xilan terutama terjadi pada kisaran 220-315°C dengan laju penurunan berat yang cepat untuk menghasilkan lebih banyak CO<sub>2</sub>. Distribusi produk utama (*bio-oil*, gas dan char) yang dihasilkan oleh degradasi xilan diselidiki menghasilkan gas, tar, air dan char. Dari gasifikasi xilan pada suhu 800° C masing-masing 14,1% berat, 54,3% berat, 11,5% berat dan 20,1% berat, dan furan adalah senyawa yang paling melimpah pada tar. Sementara itu, hemiselulosa memiliki pengaruh yang signifikan terhadap perilaku pirolisis biomassa melalui interaksi antara selulosa dan lignin. Berbagai perlakuan digunakan untuk menghasilkan gula dari hidrolisis hemiselulosa seperti hidrolisis asam, perawatan hidrotermal, cairan ionik, cairan superkritis, dan lainnya. Namun, laporan tentang pirolisis katalisis hemiselulosa jarang terjadi. Untuk lebih jelasnya pirolisis hemiselulosa dapat dilihat pada gambar 2.8 dan 2.9

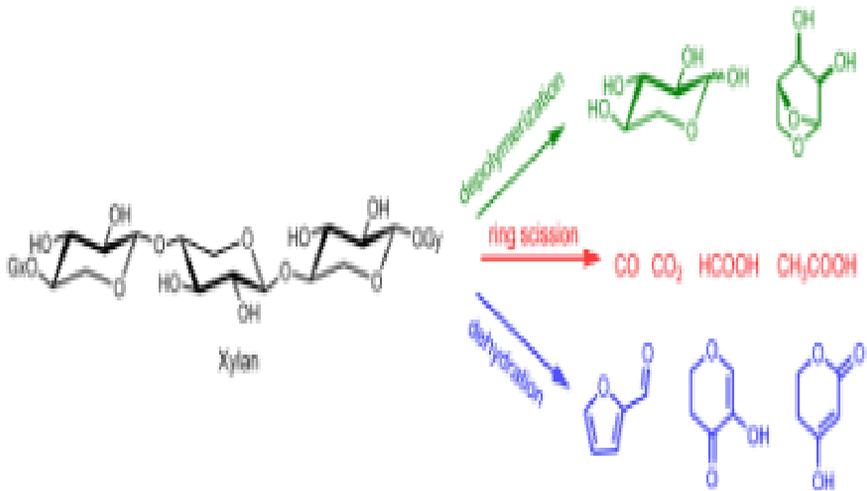
Berbeda dengan perilaku selulosa, pirolisis lignin memiliki penurunan massa berat kontinu dari awal sampai akhir, dan hasil residu akhir sekitar 40% berat. Selain itu, interaksi antara tiga komponen juga memiliki pengaruh yang jelas terhadap perilaku

pirolisa biomassa. Analisis kinetik menunjukkan bahwa dekomposisi termal *levo glucosan* diperpanjang pada rentang suhu yang lebih luas sesuai dengan interaksi hemiselulosa atau lignin pada pirolisis selulosa; pembentukan asam 2-furfural dan asetat diperkuat dengan adanya selulosa dan lignin pada kisaran 350-500°C, dan jumlah fenol 2,6 - dimetoksi ditingkatkan dengan pengaruh selulosa dan hemiselulosa yang terintegrasi (Guo. X.et.al.2011).



**Gambar 2.7** Skema Proses Reaksi dari Pirolisa Hemiselulosa

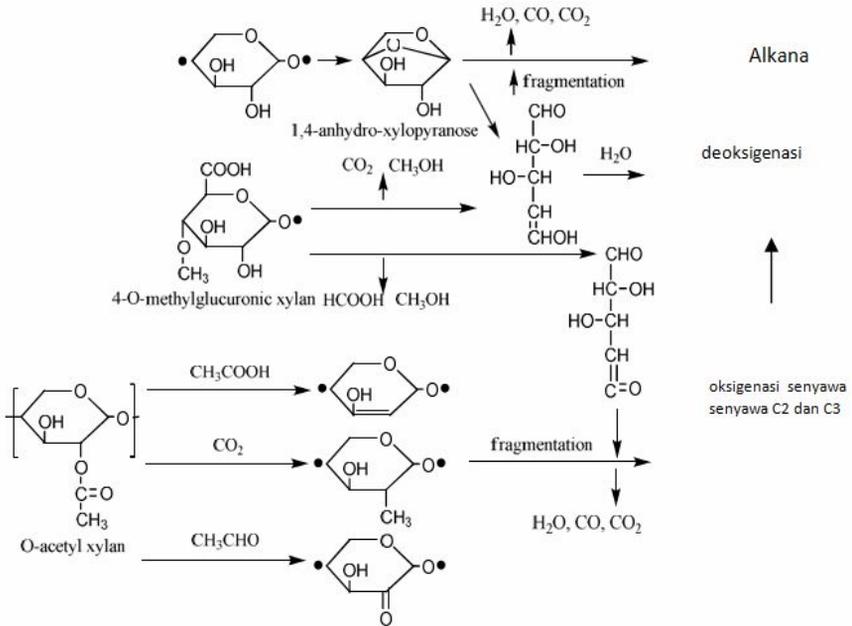
Sumber : Changjun Liu, et,al 2014



**Gambar 2.8** Skema Pirolisis Hemiselulosa

Sumber : Berry.C 2012

Dekomposisi termal unit xilan diusulkan dan dirangkum dalam gambar 2.9 Dimulai dengan depolimerisasi polimer terlebih dahulu. Pembentukan asam asetat terlibat dengan reaksi eliminasi primer dari gugus O-Ac aktif dalam rantai samping O-asetil xilan dan furfural diperoleh melalui pembelahan ikatan antara O-C<sub>5</sub> dan cincin yang membentuk antara Posisi C<sub>2</sub>-C<sub>5</sub> pada rantai utama xilan. Jalur lain untuk pembentukan furfural terkait dengan penguraian 4-O-methylglucuronic xilan bersamaan dengan pelepasan CO<sub>2</sub> dan metanol. Selain itu, alkana jelas diperoleh dari deoksigenasi kedalaman senyawa beroksigen C<sub>2</sub> atau C<sub>3</sub>, seperti asetaldehid, aseton, etanol, dan glikolaldehida dll. Hal ini diamati bahwa pembelahan ikatan kimia pada rantai samping lebih mudah daripada yang ada pada cincin gula. . Dengan adanya zeolit, pembentukan furfural terkendali dan reaksi fragmentasi menjadi kuat untuk menghasilkan lebih banyak air, CO<sub>2</sub>, CO dan alkana ( Guo.X, et.al, 2011).



**Gambar 2.9** Rute Dekomposisi Xilan Pada Proses Pirolisis Biomassa

Sumber : Guo,X, et.al, 2011

### 2.3. Parameter yang mempengaruhi proses pirolisis

Parameter pirolisis memberikan pengaruh pada jumlah dan sifat produk yang diperoleh dilaporkan oleh Chen. W. *et.al.* 2015 yaitu mencakup tipe biomass, cara penanganan awal atas sifat ( fisik, kimia dan biologi), reaksi yang terjadi dengan udara, temperatur, tingkat pemanasan dan lamanya uap yang tertinggal dalam sistem.

Sedangkan Kan.T.*et al.* 2016 melaporkan lebih lengkap beberapa parameter yang mempengaruhi proses pirolisis biomassa sehingga juga berpengaruh pada sifat- sifat dan aplikasi produk pirolisis. Parameter pirolisis itu meliputi seleksi jenis bahan baku (jenis biomassa yang digunakan, ukuran partikel, penanganan awal biomassa, kondisi reaksi (suhu pirolisis, tekanan, laju pemanasan partikel dan waktu kontak), konfigurasi reaktor yang digunakan, proses yang dilakukan dan berbagai variabel lainnya seperti penambahan katalis dan mekanisme pendinginan uap.

Kandungan selulosa yang ada dalam biomassa membantu pembentukan tar sementara kandungan lignin tinggi menguntungkan untuk produksi *char*. Kelembaban dalam biomassa tidak hanya meningkatkan energi yang dibutuhkan untuk mencapai suhu pirolisis tetapi juga menghambat pembentukan *char*. Analisis keseluruhan dari parafin ini menunjukkan bahwa untuk produksi asap cair, biomassa dengan kadar lignin tinggi dan kadar air rendah harus digunakan dalam proses pirolisis (Manoj.*et.al.* 2016) .

Beberapa parameter pirolisis yang digunakan berpengaruh pada sifat-sifat dan aplikasi produk pirolisis yang dihasilkan yaitu : (suhu pirolisa, tekanan, laju pemanasan partikeln waktu kontak), konfigurasi reaktor yang digunakan , proses yang dilakukan, variabel lainnya seperti penambahan katalis dan mekanisme pendinginan uap (Chen ,*et.al.*2015) dan (Kan..*et.al.*2015).

### **2.3.1 Jenis Bahan Baku**

Biomassa diklasifikasi dalam 5 (lima) kelompok yang berbeda tergantung pada sumber dari mana diperolehnya yaitu limbah kayu, pertanian, air, manusia dan hewan serta limbah industri. Pengklisifikasian ini dapat memberikan perkiraan beberapa unsur yang ada di dalamnya dan bukan klasifikasi berdasarkan komponen selulosa, hemiselulosa atau lignin. Sumber utama biomassa tanaman pertanian, batang, jerami, kulit tanaman, berbagai tanaman rumput, jenis mikroalga, tumbuhan, mikroba, ganggang biru, ganggang hijau, jamur dan berbagai jenis gulma air, makanan yang dimasak atau tidak dimasak, buah, kertas, plastik, pulp, limbah industri kertas, residu tebu dari pabrik gula, limbah industri pengolahan makanan dan lain-lain. Biomassa limbah hewan, manusia dan industri dikategorikan berbeda karena biomassa industri mengandung berbagai jenis bahan kimia beracun dan zat aditif berbahaya di dalamnya, sementara kotoran hewan dan manusia terbebas dari jenis senyawa kimia berbahaya. Selain itu, biomassa dapat diklasifikasikan berdasarkan kandungan selulosa dan lignin yang ada di dalamnya. Prediksi unsur dapat membantu dalam pemilihan pirolisis biomassa untuk membandingkan kandungan energi dalam biomassa. Klasifikasi berdasarkan lignin dan selulosa dapat mengubah distribusi produk. Oleh karena itu klasifikasi berdasarkan kandungan lignin dan selulosa sangat membantu bila jenis produk tertentu diinginkan setelah pirolisa (Tripathi. M. *et.al.* 2016 ).

Biomassa lingo selulosa terdiri dari (25 - 50 %) selulosa, (15 - 40 %) hemiselulosa, (0 - 15 %) bahan-bahan hasil ekstraksi, (10 - 40 %) lignin dan sejumlah kandungan mineral organik lainnya. Jenis biomassa mempengaruhi proses pirolisis dan produk dalam berbagai metode yang dilakukan. Hal ini disebabkan karena rasio masa relatif antara senyawa organik dan anorganik bervariasi pada tiap jenis biomassa, tempat tumbuhnya dan waktu panen. Kandungan lignin yang tinggi meninggikan beratmolekul rata-rata dan viskositas rata serta menurunkan kandungan air biomassa (Kan.*et al* 2016).

### 2.3.2 Pretreatment

Bahan baku umpan biomass biasanya memerlukan beberapa bentuk penanganan awal sebelum diproses bertujuan untuk merubah atau merusak struktur lignoselulosa sehingga lebih mudah terdekomposisi. Menurut Kan. *et.al.* 2014 ada 5 kategori pretreatment yaitu:

1. Secara fisik (penghalusan dan penghancuran)
2. Termal (*torefaction* letupan atau kontak dengan cairan panas secara mendalam (*irradiasi ultrasonic*).
3. Secara kimia (pemberian asam, basa dan cairan yang mengandung ion)
4. Secara biologis (adanya jamur, mikroba dan enzim)
5. Kombinasi keempat katagori diatas.

### 2.3.3 Kondisi Reaksi

#### 2.3.3.1 Suhu

Suhu pirolisis mempengaruhi distribusi dan sifat sifat produk. Secara umum perolehan hasil asap cair pada konsentrasi tertinggi dicapai pada suhu operasi 400 - 550°C dan kondisi akan menurun pada suhu diatasnya. Pada suhu lebih dari 600°C asap cair dan *char* akan berubah menjadi gas oleh karena banyak terjadi pembentukan reaksi sekunder. Suhu pirolisis berpengaruh terhadap distribusi bahan dari produk karena didominasi reaksi pemutusan kedua fraksi senyawa polar, alifatik dan aromatik. Pembentukan asap cair seiring dengan kenaikan temperatur dari 300-500°C ke suhu 600-800°C, biasanya suhu mencapai hingga 700°C menambah pembentukan senyawa poliaromatik hidrokarbon dalam asap cair seperti pirene and penantrene, juga reaksi pembentukan dekarboksilasi, dehidrasi, dan variasi perolehan komposisi gas (Kan..*et al* 2016).

### **2.3.3.2 Laju Pemanasan Partikel**

Laju pemanasan merupakan parameter dasar yang menentukan jenis pirolisis apakah sangat cepat, cepat dan lambat. Pirolisis cepat memberikan efek fragmentasi cepat menghasilkan lebih banyak gas dan sedikit arang. Produksi asap cair meningkat karena berkurangnya massa dan terbatasnya *transfer* panas serta singkatnya waktu hingga reaksi sekunder tidak sampai terjadi. Efek laju pemanasan dalam perolehan produk telah ditemukan dimana penambahan laju aliran panas dari 500 °C/min hingga 700 °C/min menambah perolehan asap cair dari *show dust* hingga 8 %. Bagaimanapun perubahan perolehan asap cair dideteksi saat penambahan panas dari 700 hingga 1000°C/min (Kan.T.*et al* 2016). Tingkat pemanasan yang tinggi cenderung meningkatkan depolimerisasi biomassa menjadi komponen volatil primer yang pada akhirnya menghambat hasil tangkapan. Pada tingkat pemanasan tinggi, pirolisis sekunder mendominasi dan reaksi sekunder ini membantu pembentukan komponen gas. Pengaruh laju pemanasan pada hasil biochar lebih nyata dan kuat pada suhu yang lebih rendah (Manoj, T. *et.al.* 2016).

### **2.3.4 Lamanya Uap Tertinggal**

Singkatnya waktu pemberian uap dalam sistem memberikan peluang terbentuknya asap cair karena berpindahnya uap organik dalam reaktor akan meminimalisir terjadinya reaksi sekunder. Pada pirolisis bahan baku jerami, gandum pada suhu 525°C. Scott *et al* (2011) melaporkan bahwa penambahan waktu tinggal uap dalam sistem dari 0,2 hingga 0,9 detik menyebabkan penurunan perolehan asap cair didalam sistem dari 75 % hingga 57 % dan juga terjadi penambahan perolehan arang dan gas. Dalam proses pirolisis *sweet gum* dan *hardwood* pada suhu 700 °C perolehan asap cair menurun dari 22 % berat menjadi 15 % berat dengan penambahan waktu tinggal uap dari 0,7 detik hingga 1,7 detik (Kan.*et al* 2016).

Interaksi antara waktu tinggal uap dan suhu pirolisis tidak hanya dalam perolehan produk tetapi juga pada kualitas produk (Kan.T.*et al* 2016). Suhu tinggi dan waktu tinggal yang lebih lama meningkatkan konversi biomassa menjadi gas, dan suhu sedang dan waktu tinggal uap pendek optimum untuk menghasilkan cairan 3 (tiga) produk selalu diproduksi, namun proporsinya dapat bervariasi dalam rentang yang luas dengan menyesuaikan parameter proses. Distribusi produk yang diperoleh dari berbagai proses pirolisa, hal

ini menunjukkan fleksibilitas yang cukup besar yang dapat dicapai dengan mengubah kondisi proses (Brigwater 2012 ).

### 2.3.5 Reaktor Pirolisis

Bentuk Reaktor moderen Pirolisa saat ini terdiri dari *fixed bed, fluidised bed, heated kiln, rotating cone, ablative, screw feeder/auger* dan *vacuum pyrolysers* . Tipe konfigurasi reaktor industri proses pirolisis menunjukkan bahwa produk asap cair dari pirolisis bahan baku biomassa dalam desain reaktor yang berbeda berpengaruh pada karakteristik dan produk yang dihasilkan (Chen. W. *et.al.*2015).

Pengembangan dan pengujian konfigurasi reaktor yang berbeda pada berbagai bahan baku biomassa menjadi perhatian saat ini, berfokus pada pengendalian dan pengembangan perbaikan kualitas produk dan peningkatan sistem pengumpulan produk asap cair dengan inovasi dalam jenis reaktor yang dieksplorasi seperti peningkatan aktivitas pada *fixedbed* reaktor dan sistem terkait yang tidak mungkin memberikan hasil yield tinggi tetapi cenderung memberikan pemisahan fasa cairan. Produk fase cairan berpisah mungkin diinginkan pada beberapa aplikasi di mana fraksinasi diperlukan, namun tampaknya lebih baik untuk mengendalikan pemisahan tersebut dari pada mengandalkan desain dan kontrol proses yang lemah (Brigwater, 2012 ).

### 2.3.6 Mekanisme Pendinginan Uap

Salah satu indikator keberhasilan dalam meningkatkan produk pirolisis adalah penggunaan jenis reaktor pirolisis yang didesain sedemikian rupa serta sistem mekanisme pendinginan yang dilakukan guna tercapainya peningkatan laju produk pirolisis sesuai dengan yang direncanakan. Sebagai salah satu parameter utama yang sangat menentukan terhadap kecepatan kondensasi pada proses pirolisis tersebut, adalah rancangan alat pirolisis sistem *Double Unit Condensor*. Secara umum, sistem atau alat pirolisis biomassa terdiri dari 2 (Dua) komponen utama, yaitu : (a) Reaktor Pirolisis dan (b) Kondensor.

Menurut Tao Kan *et. al.* (2016) beberapa parameter yang mempengaruhi pirolisa biomassa berpengaruh pada sifat - sifat dan aplikasi produk pirolisa yang dihasilkan. Parameter pirolisa yang dipertimbangkan mencakup seleksi tipe bahan baku (jenis biomassa, ukuran partikel, penanganan awal biomassa, kondisi reaksi (suhu pirolisa, tekanan, laju pemanasan partikel, dan waktu kontak, konfigurasi reaktor yang digunakan, proses yang dilakukan, dan

berbagai variabel lainnya seperti penambahan katalis dan mekanisme pendinginan uap).

Produk yang dihasilkan dari proses pirolisis yang dilakukan dengan mekanisme pendinginan Uap yang lebih baik menggunakan sistem kondensasi ganda pada proses pirolisis serta teknis pemurnian yang dilakukan akan menghasilkan produk pirolisis yang lebih baik dari aspek kualitas dan kuantitas sebagai bahan persevatif alami. Dengan mempertimbangkan faktor komersial dan aplikatif maka asap cair yang dihasilkan dapat memberikan pengaruh cukup besar bagi berbagai industri seperti industri pangan, industri pertanian, perkebunan, perikanan, karet, dan perkebunan melalui karakteristik dan sifat produk yang lebih baik terutama dari aspek warna, komposisi dan aplikasi produk.

∞

# **BAB 3**

## **JENIS DAN PRODUK PIROLISIS**

### **3.1 Jenis Pirolisis**

Berkaitan dengan kondisi operasi, pirolisa dapat dikategorikan menjadi 6 (enam) subkelas. Setiap kelas pirolisa memiliki kelebihan dan keterbatasan tersendiri. Pirolisa lambat memiliki sejarah panjang yang digunakan untuk produksi arang. Ini adalah jenis pirolisa konvensional yang ditandai dengan laju pemanasan yang lambat dan waktu tinggal yang lama. Pada pirolisa lambat, biomassa dipirolisis sampai suhu 400-500°C dengan laju pemanasan sekitar 0,1 sampai 1 °C/s untuk waktu yang berkisar antara 5 dan 30 menit. Pirolisis yang lambat mendukung pembentukan produk char namun cairan dan gas juga terbentuk dalam jumlah kecil. Selain itu laju pemanasan lebih rendah dan waktu tinggal uap yang lebih lama menghasilkan suasana yang sesuai dan waktu yang cukup untuk menyelesaikan reaksi sekunder. Selain itu, waktu tinggal uap yang lebih lama memungkinkan uap tersebut dilepaskan yang dihasilkan selama reaksi sekunder sehingga menghasilkan pembentukan arang karbonat padat.

#### **3.1.1 Pirolisis Cepat**

Pirolisis cepat, biomassa dipanaskan sampai suhu 850-1250°C dengan laju pemanasan 10-200°C untuk rentang waktu yang pendek antara 1 dan 10 detik. Pirolisis cepat menghasilkan 60-75% produk cair, 15-25% arang dan 10-20% produk gas yang tidak dapat dikondensasi.

Pada pirolisis primer cepat, reaksi keseluruhan menghasilkan uap air, arang, gas, dan 50% - 70% uap minyak pirolisis (PPO = *primary pyrolysis oil*) yang menyusun ratusan senyawa monomer, oligomer, monomer penyusun selulosa dan lignin.

#### **3.1.2 Pirolisis Vakum**

Pirolisis vakum adalah degenerasi termal biomassa di bawah tekanan rendah dan tanpa adanya oksigen. Kisaran tekanan selama pirolisis vakum biasanya 0,05-0,20 MPa dan suhu dijaga antara 450 dan 600°C. Tingkat pemanasan dalam pirolisis vakum sebanding dengan pirolisis lambat. Meskipun beberapa kondisi operasi dari pirolisis vakum mirip dengan pirolisis lambat, metode untuk

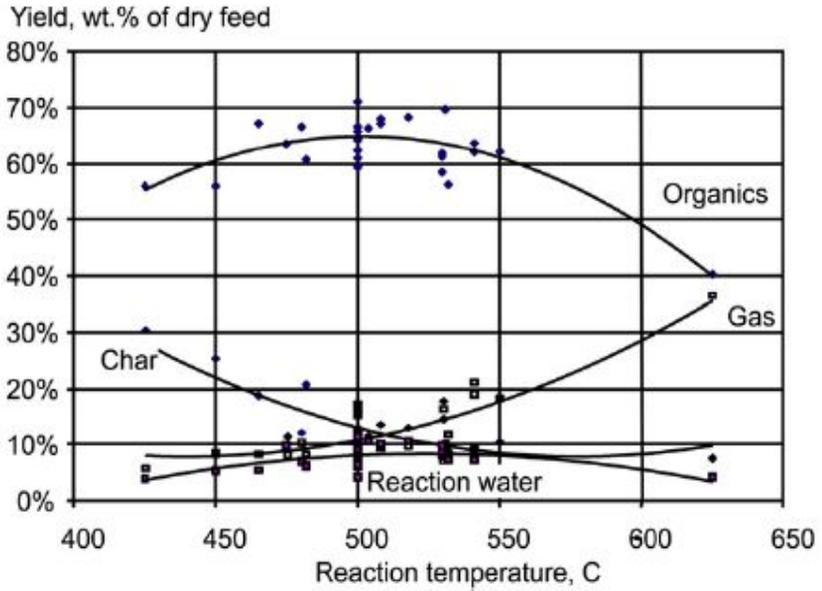
menghilangkan uap dari daerah reaksi memberi perbedaan besar antara keduanya. Dalam vakum pirolisis tekanan rendah / vakum digunakan untuk menghilangkan uap dan bukan gas pembersih yang digunakan pada sebagian besar teknik pirolisis. Selain itu, tekanan rendah cenderung bahan organik terdekomposisi dan didevolatisasi menjadi komponennya pada suhu yang relatif rendah. Penghilangan uap organik cepat yang terbentuk selama pirolisis primer juga mengurangi waktu ketahanan uap secara signifikan yang mengurangi reaksi sekunder dan memastikan hasil produk cair tinggi.

### **3.1.3 Pirolisis Lambat**

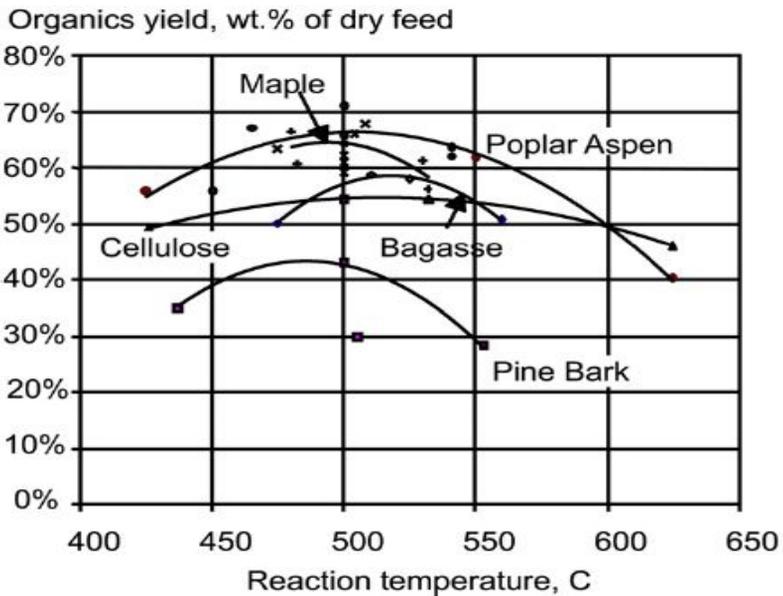
Pirolisis primer lambat akan terjadi pada kisaran suhu 150-300°C. Pirolisis primer lambat biasa digunakan untuk proses pembuatan arang. Pada pirolisis primer lambat, reaksi utama yang terjadi adalah proses dehidrasi. Sedangkan hasil reaksi keseluruhan proses adalah karbon, uap air, karbon monoksida, dan karbon dioksida. Semakin lambat proses, semakin banyak dan semakin baik mutu karbon yang dihasilkan. Oleh karena itu, untuk menghasilkan arang dalam jumlah besar dan baik mutunya diperlukan waktu berhari-hari bahkan berminggu-minggu.

### **3.2 Produk Pirolisis**

Produk pirolisis dihasilkan dari degradasi konstituen biomassa yaitu selulosa, hemiselulosa, dan lignin yang terjadi pada suhu tinggi menghasilkan produk berupa cairan, padat dan gas dengan jumlah dan sifat produk yang berbeda-beda tergantung dari kondisi proses pirolisa dan karakteristik sumber biomassa. Tipe yield senyawa organik yang dihasilkan dari bahan baku yang berbeda dengan variasi suhu ditunjukkan pada Gambar 3.1 dan 3.2 ketergantungan suhu dari empat produk utama dari berbagai bahan baku.



**Gambar 3.1** Variasi produk dari Aspen Polar Dengan Suhu



**Gambar 3.2** Yield Organik dari Bahan Baku yang berbeda

Sumber : Brightwater 2012

### 3.2.1 Asap cair

Asap cair merupakan larutan encer yang berasal dari. Cairan berwarna coklat tua berasal dari campuran hidrokarbon beroksigen yang sangat kompleks dengan proporsi air yang cukup banyak. Hasil yang sama diperoleh untuk sebagian besar bahan baku biomassa, walaupun hasil maksimumnya dapat terjadi antara 480 dan 520°C tergantung pada bahan baku.

Asap cair adalah campuran cairan hidrokarbon yang terdiri dari campuran kompleks senyawa beroksigen yang potensial untuk dimanfaatkan. Asap cair pirolisis berwarna coklat tua, aliran tergantung dari bahan baku yang komposisinya mengandung mikrokarbon dan komposisi senyawa kimia. Penyaringan uap panas memberi kesan merah-cokelat yang tembus pandang karena tidak adanya arang sedangkan adanya kandungan nitrogen yang tinggi bisa memberi warna hijau gelap pada cairan.

Kompleksitas pirolisis biomassa timbul dari perbedaan dekomposisi komponen biomassa dengan mekanisme reaksi yang bervariasi dan tingkat reaksi yang juga sebagian bergantung pada kondisi proses termal dan desain reaktor. Interaksi antara unsur utama biomassa misalnya hemiselulosa dan lignin sebagai penghasil fenol dapat menghambat pembentukan hidrokarbon. Lignin juga secara signifikan berinteraksi dengan selulosa selama pirolisis karena lignin menghalangi polimerisasi levoglukosan dari selulosa sehingga mengurangi formulasi arang, sedangkan interaksi selulosa-hemiselulosa memiliki efek yang lebih rendah terhadap pembentukan dan distribusi produk pirolisis (Hosoya T, *et.al*, 2007).

Ada banyak karakteristik asap cair yang dijadikan pertimbangan untuk aplikasi dan metode terhadap karakteristik produk asap cair seperti dijelaskan pada tabel 3.1 (Brightwater 2012).

**Tabel 3.1** Karakteristik Produk Asap Cair.

gbbxTSifat fisik	Nilai
Moisture content	25%
pH	2.5
Specific gravity	1.20
Elemental analysis	
C	56%
H	6%
O	38%
N	0e0.1%

HHV as produced	17 MJ/kg
Viscosity (40 C and 25% water)	40e100 mpa s
Solids (char)	0.1%
Residu destilasi vakum	Diatas 50%

Colard F.X.(2014), melaporkan bahwa selama pirolisis biomassa, sejumlah besar reaksi terjadi secara paralel dan seri, termasuk dehidrasi, depolimerisasi, isomerisasi, aromatisasi, dekarboksilasi, dan penggandaan (Kan. *et.al* 2015).

Dekomposisi biomassa umumnya terjadi selama dekomposisi primer membentuk char padat pada suhu 200-400°C, yang bertanggung jawab atas degradasi biomassa terbesar. Reaksi sekuensial berlangsung dalam matriks padat dengan kenaikan temperatur lebih lanjut (Fisher T, *et.al* 2002 ).



**Gambar 3.2** Asap Cair Hasil Pirolisis

### 3.2.2 Arang

Dari produk pirolisis yang dihasilkan arang adalah produk samping dari proses pirolisis yang dapat dimanfaatkan sebagai arang aktif. Menurut Kan *et.al* 2015, arang atau *biochar* juga disebut *charcoal* adalah produk padat yang mengandung padatan organik yang telah terkonversikan dan juga debu karbon yang dihasilkan dari

proses dekomposisi sejumlah komponen biomassa dari proses pirolisis pada suhu operasi berkisar 300–800°C. Seperti fraksi mineral, sifat fisik, kimia, dan sifat mekanis dari cairan tersebut tergantung dari jenis bahan baku yang diumpankan dalam kondisi operasi proses.

Arang adalah produk sampingan padat dari karbon stabil atau bahan organik lainnya (Kan. *et.al* 2015). Sebagai produk samping arang mengandung sekitar 25% dari bahan baku biomassa. Proses pirolisis itu sendiri membutuhkan sekitar 15% energi dalam dan produk sampingannya (Bridgwater A, 2012).

Arang dengan sifat sifat luas penampang 1690 m<sup>2</sup>/gr dan volume microporous 0,7 cm<sup>3</sup>/gram diperoleh dari pirolisis *olive shell* yang dialiri gas N<sub>2</sub> pada suhu 800 °C selama 1 jam dengan mengaktifkan arang char yang dihasilkan tersebut dengan KOH (Kan. *et.al* 2015). Berikut adalah arang dari produk samping proses pirolisa pada gambar 3.3.



**Gambar 3.3** Arang Hasil Pirolisa

### **3.2.3 Gas**

Gas adalah produk samping dari proses pirolisis biasanya mengandung 5% energi dalam bahan umpan masing-masing produk gas dari pirolisis terdiri dari aerosol, uap dan gas yang tidak dapat dikondensasi. Produk gas ini membutuhkan pendinginan yang cepat

untuk meminimalkan reaksi sekunder dan proses pengembunan uap (Bridgwater A 2012).

Aliran produk gas selama proses pirolisis tertinggi untuk seluruh bahan baku dicapai pada suhu 250- 350 °C, suhu puncak dalam aliran gas 500°C terdiri dari CO<sub>2</sub>, CO, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, etana, etilen,propana, Amonia, NO, SO<sub>2</sub> (Kan,T. *et.al* 2015).

### 3.2.4. Tar

Dari produk cairan asap cair, tar merupakan fraksi tak larut dalam air pada proses pirolisa biomassa lignoselulosa kental dan berat jenisnya lebih tinggi daripada asap cair. Tar bersifat sangat asam dan tajam tersusun dari turunan lignin, senyawa monomer seperti phenol, guaniacol dan catecols, atau senyawa dimetrik seperti, biphenyle, resinol dan diphenyleeter. Konsentrasi *phenolic eter* dalam gugusnya relatif tinggi dari sumber tar (87%) dan relatif rendah dari tar sumber buah palm putih (68%). Kandungan senyawa kimia dengan bobot molekul lebih dari 130 gr/ mol dalam tar cukup tinggi 50% bersumber dari PAH serta 70% berasal dari ResPal.



**Gambar 3.4** Tar Hasil Pirolisa

*This page is intentionally left blank*

# **BAB 4**

## **MANFAAT DAN KARAKTERISTIK PRODUK ASAP CAIR**

### **4.1 Manfaat Asap Cair**

Asap cair mempunyai berbagai sifat fungsional, seperti untuk mengawetkan ikan dan daging, sebagai obat penyembuh luka, campuran pakan ternak, antioksidan dan pestisida, untuk memberi aroma, rasa dan warna karena adanya senyawa fenol dan karbonil. Sebagai bahan pengawet alami karena mengandung senyawa fenol dan asam yang berperan sebagai antibakteri dan antioksidan, sebagai bahan koagulan lateks pengganti asam format. Produk asap cair adalah produk berbasis bahan alam hayati dan dapat memberikan solusi dapat menerapkan pola hidup sehat. Salah satunya adalah dengan menggunakan bahan baku biomassa yang diperoleh dari alam sebagai alternatif pengganti penggunaan pengawet dari bahan kimia. Selain aman dan menyehatkan, bahan pengawet alami ini tergolong murah harganya serta berbasis bahan baku biomassa sangat natural, familiar, tidak berbahaya dan aplikatif berasal dari bahan baku yang ramah lingkungan dan merupakan suatu upaya dalam memanfaatkan dan mengembangkan potensi sumber daya alam lokal yang berdaya guna dan dapat bermanfaat bagi masyarakat.

Asap cair yang mempunyai kegunaan yang sangat besar sebagai pemberi rasa dan aroma yang spesifik adalah asap cair dihasilkan dari proses pirolisis dan proses pemurnian yang dilakukan pada tekanan standar dengan kualitas yang lebih baik, kandungan fenol tinggi, bersifat antimikrobia dan antioksidan, bebas dari senyawa toksik, memiliki warna bening dan bau yang tidak menyengat serta tidak mengandung senyawa poliaromatik hidrokarbon yang berbahaya sehingga dapat digunakan sebagai bahan perseptif alami baik dalam dalam industri pangan, Industri farmasi dan industri perikanan.

Selain itu asap cair memiliki banyak manfaat dan telah digunakan dalam berbagai industri antara lain:

#### **a. Manfaat Asap Cair Pada Industri Pangan**

Saat ini tidaklah mudah mencari dan membeli makanan minuman olahan, baik dalam kemasan maupun bukan yang tidak

menggunakan bahan pengawet kimia. Apalagi bila makanan minuman itu terbuat dari bahan-bahan yang tidak bisa bertahan lama, sebab alasan penggunaan pengawet adalah untuk menghindari oksidasi makanan, mencegah adanya kontaminasi *mikroba*, menekan pertumbuhan *mikroorganisme*, dan memperpanjang daya tahan makanan serta menjaga nutrisi makanan. Bahan makanan olahan baik yang dihasilkan oleh produsen maupun rumah tangga terkadang dijual menggunakan bahan pengawet makanan, yang umumnya terbuat dari bahan kimia tentunya akan memberikan efek tidak baik bagi kesehatan tubuh, selain itu harganya pun sangatlah mahal. Meskipun sudah diizinkan oleh departemen kesehatan dan BPOM mengenai penggunaannya dengan kadar tertentu, namun bila dikonsumsi secara terus menerus setiap hari, maka bisa dipastikan akan menyebabkan tubuh menjadi rentan terhadap penyakit akibat bahan pengawet kimia semakin menumpuk dalam tubuh karena tak bisa terurai.

Asap cair ini mempunyai kegunaan yang sangat besar sebagai pemberi rasa dan aroma yang spesifik juga sebagai pengawet karena sifat antimikrobia dan antioksidannya. Dengan tersedianya asap cair maka proses pengasapan tradisional dengan menggunakan asap secara langsung yang mengandung banyak kelemahan seperti pencemaran lingkungan, proses tidak dapat dikendalikan, kualitas yang tidak konsisten. Fungsi komponen asap cair adalah untuk memberi flavour dan warna yang diinginkan pada produk asapan, dan berperan dalam pengawetan serta bertindak sebagai antibakteri dan antioksidan. Selain itu asap cair dalam industri pangan dapat digunakan dalam proses pengolahan makanan pada bakso, mi basah dan tahu.

Di Uni Eropa dan Amerika masyarakatnya terbiasa menyantap daging panggang yang ditendam asap cair dan selanjutnya dipanggang dalam oven dan hasilnya makanan panggang tersebut memiliki tekstur daging lebih empuk dan beraroma sedap dan tahan lama disimpan. Hal ini disebabkan kehadiran senyawa asam, fenol, dan karbonil. Fenol adalah senyawa paling berperan dalam asap cair.

### **b. Industri Pertanian**

Asap cair dalam industri pertanian dapat digunakan untuk meningkatkan kualitas tanah, menetralkan asam tanah, membunuh hama, dan mengontrol pertumbuhan tanaman. Hal ini telah dilakukan oleh Majik 2008 dimana campuran air dan asap cair 15 : 1 pada hama belalang dan ulat mampu merontokkan hama tersebut

dalam beberapa menit. Menurut Masyhudi 2009 penyemprotan asap cair pada tanaman padi dapat menghalau hama wereng dan area sawah yang terserang, memberikan produksi padi cukup bagus dan dapat mempercepat proses perbaikan lahan semakin cepat sehingga nutrisi tanah diserap lebih cepat dan berperan sebagai katalis yang mempercepat reaksi perbaikan lahan .

Dan menurut Hariyanti 2010, penyemprotan asap cair pada tanaman membuat tanaman menjadi lebih hijau. Selain itu penyemprotan hama kutu putih pada tanaman bunga dapat menekan perkembangan hama hingga 60 % dan aplikasi pada tanaman jeruk manis (keprok) yang terserang blendek menyebabkan pertumbuhan tanaman kearah yang lebih baik dengan perbaikan hormon atau zat tumbuh pada tanaman tersebut.

#### **c. Industri Perkebunan.**

Penggunaan asap cair dalam industri perkebunan dapat sebagai Penggumpal lateks atau getah karet dengan sifat fungsional asap cair seperti antijamur, antibakteri dan antioksidan tersebut dapat memperbaiki kualitas produk karet yang dihasilkan. Selain itu penggunaan asap cair untuk bahan koagulasi pada getah karet memiliki efek yang lebih baik dibandingkan menggunakan bahan koagulasi lainnya seperti asam semut. Hal ini disebabkan pada penggunaan dengan bahan baku asap cair sebagai bahan koagulasi pada lateks tidak berbau. Penggunaan dengan asam semut memicu pertumbuhan bakteri dengan adanya kandungan ammonia dan sulfida sebagai penyebab bau busuk yang timbul pada getah karet yang terkoagulasi dengan asam semut.

#### **d. Industri Kayu.**

Kayu yang diolesi dengan asap cair mempunyai ketahanan terhadap serangan rayap daripada kayu yang tanpa diolesi asap cair (Darmadji, 1999)

### **4.2 Karakteristik Asap cair**

Zaitsev (1969) mengemukakan bahwa asap mengandung beberapa zat antimikroba, antara lain:

- a. Asam dan turunannya: format, asetat, butirrat, propionat, metal ester.
- b. Alkohol : metal, etil, propil, alkil, dan isobutyl alcohol.
- c. Aldehyd : formaldehyd, asetaldehyd, furfural, dan metal furfural.
- d. Hidrokarbon : silene, kumene, dan simene.

- e. Keton : aseton, metal etil keton, metil propil keton, dan etil propil keton.
- f. Piridin dan metal piridin.

Adapun Komposisi asap cair yang diperoleh dari biomassa dapat dikelompokkan berdasarkan tipe kimianya yaitu :

#### a. Fenol

Fenol kegunaannya antara lain adalah sebagai antiseptik, (konsentrasi fenol dapat mematikan suatu macam bakteri), mempunyai sifat mengkoagulasi protein, sebagai bahan baku pembuatan obat (asam salisilat, asampikrat), zat warna, lem kayu (karena memiliki daya rekat yang kuat jika direduksi menjadi resin. Kandungan senyawa fenol dalam asap sangat tergantung pada suhu pirolisis kayu. Kuantitas fenol pada kayu sangat bervariasi yaitu antara 10-200 mg/kg. Beberapa jenis fenol yang biasanya terdapat dalam produk asapan adalah guaiakol, dan siringol. Fenol dikelompokkan dalam fenol beralkil dan ester fenol. terpenting dalam setiap group adalah asam karboksilat ringan dengan memiliki 5 (lima) atom karbon permolekul asam, pentanon linear dan siklik (aldehid dan keton),methanol dan guaiakol, cresol dan catechols.

*Cresol* dan *dimethyle phenol* merupakan produk *cracking* lignin dari reaksi kedua produk primer seperti guaiacol. Alkali fenol yang sangat penting dalam banyak eksperimen memberikan porsi fenol pada kisaran 50% - 70% berat ( Chen .*et.al* , 2015). Selanjutnya senyawa fenolik pada asap cair terjadi dari substitusi satuan fenil propan, terikat dengan gugus hidroksil dan metoksi. Proporsi monomer terpenting (guarasil, sirisil, dan para hidroksi fenil ) mengubah secara luas perbedaan diantara tipe asap cair. Pirolisa lignin melibatkan rekasi reaksi depolimerisasi, homolisis dan *cracking* membentuk senyawa utamanya fenol dan sisanya metanol, asam asetat dan hidrokarbonasi. Salah satu karakteristik penting asap cair adalah konsentrasi senyawa fenol antara 8%-22 % berat ( Chen.W. *et.l.*2015).

#### b. Karbonil

Senyawa - senyawa karbonil merupakan senyawa yang berperan pada pembentukan warna dan citarasa produk asapan. Golongan senyawa ini mempunyai aroma caramel. Jenis komponen karbonil yang paling berperan adalah aldehid, glikosal dan metal

glikosal sedangkan formaldehid dan hidroksi asetol memberikan peranan yang rendah.

**c. Senyawa Asam**

Senyawa-senyawa asam berperan sebagai antibakteri dan membentuk cita rasa produk asapan. Senyawa asam ini antara lain adalah asam asetat, propionat, butirrat dan valerat.

**d. Senyawa Hidrokarbon Poliaromatik**

Senyawa hidrokarbon poliatomik merupakan salah satu senyawa yang dapat terbentuk pada proses pirolisis kayu. Senyawa guaiacol dan homolog beralkilasi biasanya merupakan eter fenol paling penting terdapat dalam asap cair secara termal berpengaruh perubahan bentuk karena terjadi reaksi sekunder (Chen *et.al.*2015).

∞

*This page is intentionally left blank*

# **BAB 5**

## **IDENTIFIKASI DAN KOMPOSISI PRODUK ASAP CAIR**

### **5.1 Identifikasi Produk Asap Cair**

Untuk mengidentifikasi komponen kimia yang terkandung dalam asap cair hasil pirolisis digunakan peralatan gas *chromatography mass spectroscopy* (GCMS). Adapun prosedur identifikasi komponen dengan GCMS, yaitu identifikasi komponen kimia asap cair menggunakan GCMS-QP 2010S Shimadzu yang dioptimalkan pada suhu kolom 60°C selama 5 menit, kemudian ditingkatkan 10°C / menit hingga mencapai 215°C dan dipertahankan selama 30 menit, suhu injektor diatur pada 215°C. Gas helium dengan kemurnian 99,99% digunakan sebagai gas pembawa dengan tekanan gas 12,0 kPa. Sampel di injeksikan dalam kromatografi gas sebanyak 1µl. Data MS diatur pada berat molekul komponen antara 33,00 sampai 600,00 dalam waktu 5,00 sampai 50,00 menit

### **5.2 Analisis Gas *Chromatography Mass Spectroscopy* (GCMS)**

GCMS merupakan metode pemisahan senyawa organik yang menggunakan dua metode analisis senyawa yaitu, kromatografi gas (GC) untuk menganalisis jumlah senyawa secara kuantitatif dan spektrometri massa (MS) untuk menganalisis struktur molekul senyawa analit.

Gas kromatografi merupakan salah satu teknik spektroskopi yang menggunakan prinsip pemisahan campuran berdasarkan perbedaan kecepatan migrasi komponen-komponen penyusunnya. Gas kromatografi biasa digunakan untuk mengidentifikasi suatu senyawa yang terdapat pada campuran gas dan juga menentukan konsentrasi suatu senyawa dalam fase gas.

Spektroskopi massa adalah suatu metode untuk mendapatkan berat molekul dengan cara mencari perbandingan massa terhadap muatan dari ion yang muatannya diketahui dengan mengukur jari-jari orbit melingkarinya dalam medan magnetik seragam. Penggunaan kromatografi gas dapat dipadukan dengan spektroskopi massa. Paduan keduanya dapat menghasilkan data yang lebih akurat dalam pengidentifikasian senyawa yang dilengkapinya dengan struktur molekulnya.

Kromatografi gas ini juga mirip dengan distilasi fraksional, karena kedua proses memisahkan komponen dari campuran terutama berdasarkan pada perbedaan titik didih (atau tekanan uap). Namun, distilasi fraksional biasanya digunakan untuk memisahkan komponen-komponen dari campuran pada skala besar, sedangkan GC dapat digunakan pada skala yang lebih kecil (yaitu mikro).

### **5.2.1 Instrumentasi *Chromatography Mass Spectroscopy* (GCMS)**

Rangkaian instrumentasi untuk gas kromatografi dan spektroskopi massa bergabung menjadi satu kesatuan rangkaian yang sering disebut dengan GCMS. Berikut adalah penjelasan mengenai masing-masing instrument pada rangkaian GCMS.

#### **1. Instrumentasi Gas Kromatografi**

##### *a. Carrier Gas Supply*

Gas pembawa (*carrier gas*) pada kromatografi gas sangatlah penting. Gas yang dapat digunakan pada dasarnya haruslah *inert*, kering, dan bebas oksigen. Kondisi seperti ini dibutuhkan karena gas pembawa ini dapat saja bereaksi dan dapat mempengaruhi gas yang akan dipelajari atau diidentifikasi.

##### *b. Injeksi Sampel*

Sejumlah kecil sampel yang akan dianalisis diinjeksikan pada mesin menggunakan semprit kecil. Jarum semprit menembus lempengan karet tebal (lempengan karet ini disebut septum) yang mana akan mengubah bentuknya kembali secara otomatis ketika semprit ditarik keluar dari lempengan karet tersebut.

##### *c. Kolom*

Ada dua tipe utama kolom dalam kromatografi gas-cair. Tipe pertama adalah tube panjang dan tipis berisi material padatan. Tipe kedua, lebih tipis dan memiliki fase diam yang berikatan dengan pada bagian terdalam permukaannya. Ada tiga hal yang dapat berlangsung pada molekul tertentu dalam campuran yang diinjeksikan pada kolom:

- Molekul dapat berkondensasi pada fase diam.
- Molekul dapat larut dalam cairan pada permukaan fase diam
- Molekul dapat tetap pada fase gas

#### **2. Instrumentasi Spektroskopi massa**

##### *a. Sumber Ion*

Setelah melewati rangkaian gas kromatografi, sampel gas yang akan diuji dilanjutkan melalui rangkaian spektroskopi massa. Molekul-molekul yang melewati sumber ion ini diserang oleh elektron, dan dipecah menjadi ion-ion positifnya. Tahap ini sangatlah penting karena untuk melewati filter, partikel-partikel sampel haruslah bermuatan.

b. Filter

Selama ion melintasi rangkaian spektroskopi massa, ion-ion ini melalui rangkaian elektromagnetik yang menyaring ion berdasarkan perbedaan massa. Para ilmuwan memisahkan komponen-komponen massa untuk kemudian dipilih yang mana yang boleh melanjutkan yang mana yang tidak (prinsip penyaringan). Filter ini terus menyaring ion-ion yang berasal dari sumber ion untuk kemudian diteruskan ke detektor.

c. Detektor

Ada beberapa tipe detektor yang biasa digunakan. Detektor ionisasi nyala dijelaskan pada bagian bawah penjelasan ini, merupakan detektor yang umum dan lebih mudah untuk dijelaskan daripada detektor alternatif lainnya. Dalam mekanisme reaksi, pembakaran senyawa organik merupakan hal yang sangat kompleks. Selama proses, sejumlah ion-ion dan elektron-elektron dihasilkan dalam nyala. Kehadiran ion dan elektron dapat dideteksi, dimana seluruh detektor ditutup dalam oven yang lebih panas dibanding dengan temperatur kolom. Hal itu menghentikan kondensasi dalam detektor.

Hasil detektor akan direkam sebagai urutan puncak-puncak, setiap puncak mewakili satu senyawa dalam campuran yang melalui detektor. Sepanjang anda mengontrol secara hati-hati kondisi dalam kolom, anda dapat menggunakan waktu retensi untuk membantu mengidentifikasi senyawa yang tampak, tentu saja anda atau seseorang lain telah menganalisa senyawa murni dari berbagai senyawa pada kondisi yang sama.

## **5.2.2 Prinsip Kerja Chromatography Mass Spectroscopy (GCMS)**

### **1. Kromatografi Gas (*Gas Chromatography*)**

Kromatografi gas (GC) merupakan jenis kromatografi yang digunakan dalam kimia organik untuk pemisahan dan analisis. GC dapat digunakan untuk menguji kemurnian dari bahan tertentu, atau memisahkan berbagai komponen dari campuran. Dalam beberapa

situasi, GC dapat membantu dalam mengidentifikasi sebuah senyawa kompleks.

Dalam kromatografi gas, fase yang bergerak (atau "*mobile phase*") adalah sebuah operator gas, yang biasanya gas murni seperti helium atau yang tidak reaktif seperti gas nitrogen. *Stationary* atau fasa diam merupakan tahap mikroskopis lapisan cair atau polimer yang mendukung gas murni, di dalam bagian dari sistem pipa-pipa kaca atau logam yang disebut kolom. Instrumen yang digunakan untuk melakukan kromatografi gas disebut gas *chromatography* (atau gas pemisah).

## **2. Spektroskopi Massa (*Mass Spectroscopy*)**

Umumnya spektrum massa diperoleh dengan mengubah senyawa suatu sample menjadi ion-ion yang bergerak cepat yang dipisahkan berdasarkan perbandingan massa terhadap muatan.

Spektroskopi massa mampu menghasilkan berkas ion dari suatu zat uji, memilah ion tersebut menjadi spektum yang sesuai dengan perbandingan massa terhadap muatan dan merekam kelimpahan relatif tiap jenis ion yang ada. Umumnya hanya ion positif yang dipelajari karena ion negatif yang dihasilkan dari sumber tumbukan umumnya sedikit.

## **3. Kombinasi GCMS**

Saat GC dikombinasikan dengan MS, akan didapatkan sebuah metode analisis yang sangat bagus. Peneliti dapat menganalisis larutan organik, memasukkannya ke dalam instrumen, memisahkannya menjadi komponen tinggal dan langsung mengidentifikasi larutan tersebut. Selanjutnya, peneliti dapat menghitung analisa kuantitatif dari masing-masing komponen. Pada Gambar 4, sumbu z menyatakan kelimpahan senyawa, sumbu x menyatakan spektrum kromatografi, dan sumbu y menyatakan spektrum spektroskopi massa. Untuk menghitung masing-masing metode dapat divisualisasikan ke dalam grafik dua dimensi.

## **4. Metode Analisis Chromatography Mass Spectroscopy (GCMS)**

Pada metode analisis GCMS (*Gas Chromatography Mass Spectroscopy*) adalah dengan membaca spektra yang terdapat pada kedua metode yang digabung tersebut. Pada spektra GC jika terdapat bahwa dari sampel mengandung banyak senyawa, yaitu terlihat dari banyaknya puncak (*peak*) dalam spektra GC tersebut. Berdasarkan

data waktu retensi yang sudah diketahui dari literatur, bisa diketahui senyawa apa saja yang ada dalam sampel.

Selanjutnya adalah dengan memasukkan senyawa yang diduga tersebut ke dalam instrumen spektroskopi massa. Hal ini dapat dilakukan karena salah satu kegunaan dari kromatografi gas adalah untuk memisahkan senyawa-senyawa dari suatu sampel. Setelah itu, didapat hasil dari spektra spektroskopi massa pada grafik yang berbeda.

Informasi yang diperoleh dari kedua teknik ini yang digabung dalam instrumen GC/MS adalah tak lain hasil dari masing-masing spektra. Untuk spektra GC, informasi terpenting yang didapat adalah waktu retensi untuk tiap-tiap senyawa dalam sampel. Sedangkan untuk spektra MS, bisa diperoleh informasi mengenai massa molekul relatif dari senyawa sampel tersebut.

Tahap-tahap suatu rancangan penelitian GC/MS:

1. *Sample Preparation*
2. *Derivatisation*
3. Injeksi  
Menginjeksikan campuran larutan ke kolom GC lewat *heated injection port*. GC/MS kurang cocok untuk analisa senyawa labil pada suhu tinggi karena akan terdekomposisi pada awal pemisahan.
4. GC Separation  
Campuran dibawa gas pembawa (biasanya Helium) dengan laju alir tertentu melewati kolom GC yang dipanaskan dalam pemanas. Kolom GC memiliki cairan pelapis (fasa diam) yang *inert*.
5. *MS Detector*  
Aspek kualitatif : lebih dari 275.000 spektra massa dari senyawa yang tidak diketahui dapat teridentifikasi dengan referensi komputerisasi.  
Aspek kuantitatif : dengan membandingkan kurva standar dari senyawa yang diketahui dapat diketahui kuantitas dari senyawa yang tidak diketahui.
6. Scanning  
Spektra massa dicatat secara reguler dalam interval 0,5-1 detik selama pemisahan GC dan disimpan dalam sistem instrumen data untuk digunakan dalam analisis. Spektra massa berupa *fingerprint* ini dapat dibandingkan dengan acuan. Analisis

spektra massa berupa *fingerprint* ini dapat dibandingkan dengan acuan.



**Gambar 5.1** Alat GCMS

Sumber : [https://www.researchgate.net/figure/Picture-of-the-GC-MS-used-in-the-study-Agilent-Technologies-6890N-network-GC-system\\_fig2\\_46179081](https://www.researchgate.net/figure/Picture-of-the-GC-MS-used-in-the-study-Agilent-Technologies-6890N-network-GC-system_fig2_46179081)

### 5.2.3 Analisa FTIR

Spektrofotometer Infra merah dapat digunakan untuk mengidentifikasi senyawa asap cair yang dihasilkan dari suatu proses pirolisis. Spektrofotometer infra merah adalah alat yang digunakan untuk menentukan suatu gugus fungsi dalam suatu senyawa. Adapun yang menjadi parameter kualitatif pada spektrofotometer IR adalah bilangan gelombang dimana muncul akibat adanya serapan oleh gugus fungsi yang khas dari suatu senyawa. Analisis kualitatif senyawa organik secara spektrofotometer infra merah diperlukan oleh berbagai bidang terutama di industri farmasi. Untuk mengetahui kemurnian bahan baku dalam pembuatan obat. Oleh karena itu siswa-siswi dilatih agar dapat mengoperasikan dan mengolah data dengan spektrofotometer infra merah.

Spektrofotometer adalah alat untuk mengukur transmittan atau absorbansi suatu sampel sebagai fungsi panjang gelombang. Sedangkan pengukuran menggunakan spektrofotometer ini, metoda yang digunakan sering disebut dengan spektrofotometri (Basset,1994). Spektrofotometri dapat dianggap sebagai perluasan suatu pemeriksaan visual dengan studi yang lebih mendalam dari absorpsi energi. Absorpsi radiasi oleh suatu sampel diukur pada berbagai panjang gelombang dan dialirkan oleh suatu perkam untuk menghasilkan spektrum tertentu yang khas untuk komponen yang berbeda (Khopkar, 2003). Salah satu jenis spektroskopi adalah spektroskopi infra merah (IR) atau yang biasa disebut dengan *fourier transform infra red spectrophotometer* (disingkat dengan FTIR), Spektroskopi ini didasarkan pada vibrasi suatu molekul. Spektroskopi inframerah merupakan suatu metode yang mengamati interaksi molekul dengan radiasi elektromagnetik yang berada pada daerah panjang gelombang 2,5 – 50  $\mu\text{m}$  atau pada bilangan gelombang 4.000 – 200  $\text{cm}^{-1}$ . Satuan yang sering digunakan dalam spektrofotometri infra merah adalah bilangan gelombang. Dasar spektrofotometri infra merah dikemukakan oleh Hooke dan didasarkan atas senyawa yang terdiri atas dua atom atau diatom yang digambarkan dengan dua buah bola yang saling terikat oleh pegas. Jika pegas direntangkan atau ditekan pada jarak keseimbangan tersebut maka energi potensial dari sistem tersebut akan naik. Dengan kata lain, bila ikatan bergetar maka energi vibrasi secara terus menerus dan secara periodik berubah dari energi kinetik ke energi potensial dan sebaliknya.

Jumlah energi total adalah sebanding dengan frekuensi vibrasi dan tetapan gaya ( $k$ ) dari pegas dan massa ( $m_1$  dan  $m_2$ ) dari dua atom yang terikat. Energi yang dimiliki oleh sinar infra merah hanya cukup kuat untuk mengadakan perubahan vibrasi. Seperti yang telah diketahui, atom-atom di dalam suatu molekul tidak diam melainkan bervibrasi (bergetar). Energi dari kebanyakan vibrasi molekul berhubungan dengan daerah infra merah. Vibrasi molekul dapat dideteksi dan diukur pada spektrum infra merah. Bila radiasi infra merah dilewatkan melalui suatu cuplikan, maka molekul-molekulnya dapat menyerap (mengabsorpsi) energi dan terjadilah transisi diantara tingkat vibrasi dasar (*ground state*) dan tingkat vibrasi tereksitasi (*excited state*). Pengabsorpsian energi pada berbagai frekuensi dapat dideteksi oleh spektrometer infra merah, yang memplot jumlah radiasi infra merah yang diteruskan melalui cuplikan sebagai fungsi frekuensi (atau panjang gelombang) radiasi.

Plot itu disebut spektrum infra merah yang akan memberikan informasi penting tentang gugus fungsional suatu molekul. Pada umumnya identifikasi suatu senyawa didasarkan oleh vibrasi bengkakan, khususnya goyangan (*rocking*), yaitu yang berada di daerah bilangan gelombang 400 – 2000  $\text{cm}^{-1}$ . Karena di daerah antara 400 – 2000  $\text{cm}^{-1}$  merupakan daerah yang khusus yang berguna untuk identifikasi gugus fungsional.



**Gambar 5.2** Alat FTIR

Sumber: (<https://tomod4chi.wordpress.com/2008/06/08/spektrofotometer-infra-merah/>)

∞

## **BAB 6**

### **MEMBANGUN INSTALASI ASAP CAIR**

Inovasi teknologi proses produksi asap cair dengan dengan proses pirolisa dilakukan menggunakan suatu alat pirolisa yang dibuat dengan plat 3 mm yang dimodifikasi dengan memaksimalkan daya kondensasi terhadap kondensat yang dihasilkan pada proses pirolisis, sehingga menghasilkan produk pirolisis yang juga maksimal. Dan pada akhirnya dapat meningkatkan kecepatan produk pirolisis, tanpa harus memperbesar parameter yang berpengaruh pada proses pirolisis lainnya. Atau dengan kata lain unit kondensor yang diinvensikan ini secara tidak langsung adalah merupakan upaya dalam peningkatan produk asap cair yang dihasilkan dan penghematan energi proses produksi. Konsep *invensi single unit condensor* ini adalah melakukan kondensasi terhadap distribusi laju produk kondensat pada alat kondensor yang dipasang dari alat pirolisis. Suatu metode kondensasi terhadap kondensat hasil pirolisis dengan laju kondensasi pada daerah/bagian kondensor alat pirolisis tersebut, adalah melakukan kondensasi terhadap kecepatan aliran gas yang melintasi pipa dan alat kondensor tersebut, yakni dengan menambahkan satu unit alat kondensor yang berbentuk seperti “*spiral*” pada bagian/daerah pipa aliran gas dari sistem pirolisis yang bertujuan untuk melakukan perubahan fase gas yang melintasi pada daerah/bagian tersebut ke fase cair.

#### **6.1 Instalasi Alat Pirolisa Biomassa Sistem *Single Unit Condensor* (SUC)**

Alat pirolisis yang dirancang berhubungan dengan suatu alat pirolisa biomassa menggunakan sistem *single unit condensor* (SUC) yang dipasang untuk melakukan kondensasi pada pada alat pirolisa biomassa sehingga produk asap cair yang dihasilkan lebih meningkat, khususnya kondensor-kondensor tersebut dibuat menyatu dengan pipa alir kondensat pada alat pirolisis dengan kemiringan pipa pada sudut tertentu dan terdiri dari satu aliran yang terhubung dengan kondensor. Salah satu indikator keberhasilan dalam meningkatkan produk pirolisis adalah penggunaan jenis reaktor pirolisis yang didesain sedemikian rupa serta sistem mekanisme pendinginan yang dilakukan guna tercapainya peningkatan laju produk pirolisis sesuai dengan yang direncanakan.

Sebagai salah satu parameter utama yang sangat menentukan terhadap kecepatan kondensasi pada proses pirolisis tersebut, adalah rancangan alat pirolisis sistem *single unit condensor*. Secara umum, sistem atau alat pirolisis biomassa terdiri dari 2 (dua) komponen utama, yaitu : (a) Reaktor Pirolisis, (b) Kondensor.

Menurut Tao Kan (2016) beberapa parameter yang memengaruhi pirolisa biomassa berpengaruh pada sifat - sifat dan aplikasi produk pirolisa yang dihasilkan. Parameter pirolisa yang dipertimbangkan mencakup seleksi tipe bahan baku (jenis biomassa, ukuran partikel, penanganan awal biomassa, kondisi reaksi (suhu pirolisa, tekanan, laju pemanasan partikel, dan waktu kontak, konfigurasi reaktor yang digunakan, proses yang dilakukan, dan berbagai variabel lainnya seperti penambahan katalis dan mekanisme pendinginan uap .

1. Prinsip Kerja dari Alat Pirolisis adalah sebagai berikut;

Reaktor utama pirolisis ini adalah sebagai sumber utama menghasilkan kondensat yang merupakan produk dekomposisi termal biomassa yang dikonversi pada suhu tinggi menjadi energi dan berbagai produk kimia lainnya yang terdiri dari atas cairan minyak organik, debu organik dan gas hasil pirolisis. Proses ini tergantung pada tingkat panas yang diberikan dan lamanya pemanasan serta jenis reaktor yang digunakan.

Reaktor pirolisis menghasilkan uap panas atau kondensat memberikan outputnya ke kondensor melalui pipa kondensor yang terhubung dari reaktor pirolisa dan sistem kondensor yang terpasang berganda. Besarnya jumlah kondensat yang dihasilkan serta yang terkondensasi oleh kondensor tergantung pada besarnya daya kondensasi sistem kondensor yang terpasang tersebut. Salah satu cara kondensasi sering digunakan untuk proses kondensasi dengan penggunaan 1 (satu) unit kondensor untuk mengkondensasikan uap hasil pirolisis.

Kondensasi adalah perubahan wujud benda ke wujud yang lebih padat, seperti gas (atau uap) menjadi cairan. Kondensasi terjadi ketika uap didinginkan menjadi cairan, tetapi dapat juga terjadi bila sebuah uap dikompresi yaitu tekanan ditingkatkan menjadi cairan, atau mengalami kombinasi dari pendinginan dan kompresi. Cairan yang telah terkondensasi dari uap disebut kondensat. Sebuah alat yang digunakan untuk mengkondensasi uap menjadi cairan disebut kondenser.

Sampai dengan saat ini, khalayak luas masih melakukan peningkatan produk pirolisis melalui sifat-sifat dan aplikasi produk pirolisa yang dihasilkan dengan mempertimbangkan aspek parameter yang mempengaruhi pirolisa biomassa dengan mempertimbangkan aspek tipe bahan baku (jenis biomassa, ukuran partikel, penanganan awal biomassa), kondisi reaksi dan penambahan katalis. Sehingga bilamana diinginkan adanya peningkatan kecepatan kondensasi, maka diperlukan adanya perhatian pada mekanisme pendinginan uap dan konfigurasi reaktor yang digunakan dengan desain penggunaan sistem kondensasi melalui penggunaan *double* unit kondensor pada alat pirolisis biomassa. Penambahan *double* unit kondensor tersebut, membawa pada kebutuhan kenaikan jumlah daya kondensasi pada kondensat hasil pirolisis. Selanjutnya, kebutuhan terhadap meningkatnya daya kondensasi pada akhirnya memberikan konsekuensi meningkatnya produk pencairan gas hasil pirolisis. Hal ini tentunya akan menguntungkan pada nilai ekonomis.

Invensi sebelumnya yang dikemukakan oleh Chang Min Chun, Frank Hershkowitz 2013 dengan nomor paten US 8512663 B2 dengan judul "*Pyrolysis reactor materials and methods*" menjelaskan dalam patennya tentang Penemuan berkenaan dengan bahan, metode, dan peralatan digunakan yaitu reaktor pirolisis regeneratif untuk penemuan ini mencakup bahan tahan api untuk reaktor pirolisis untuk pirolisis bahan umpan hidrokarbon, bahan tahan api yang terdiri dari *zirkonia* stabilisasi bahan tahan api yang terdiri dari paling sedikit 21 %wt berdasarkan berat total bahan tahan api. Dalam aspek lain, penemuan ini mencakup suatu metode untuk mengurangi korosi karbida pada suhu tinggi dengan menggunakan sistem reaktor pirolisa yang terdiri dari langkah-langkah: (a) menyediakan sistem reaktor pirolisa yang terdiri dari *zirkonia* stabil di daerah reaktor yang dipanaskan, *zirkonia* stabil termasuk setidaknya 21% wt; (b) memanaskan daerah yang dipanaskan sampai suhu paling sedikit 1500°C dan (c) mentoletisasi bahan baku hidrokarbon di dalam wilayah yang dipanaskan.

Robertus Hendrikus Venderbosch, et al tahun 2013 dengan nomor paten US 8585868 B2 dengan judul *Pyrolysis Reactor* dengan invensinya alat pirolisa biomassa terdiri dari ruang reaktor umpan pertama untuk bahan biomassa yang terhubung ke zona atasnya. Umpan kedua untuk bahan pembawa panas yang terhubung ke sisi atas ruang reaktor. Debit pertama untuk gas pirolisa yang terhubung ke zona atas ruang reaktor pada jarak dari umpan

pertama. Dan pelepasan kedua untuk bahan padat, misalnya bahan pembawa karbon dan panas, yang terhubung ke bagian bawah ruang reaktor. Pemisahan substansial antara arus pelepasan gas pirolisa dan bahan padat terjadi terutama di bawah pengaruh gaya gravitasi, tanpa interposing siklon. Ruang reaktor dimodelkan sedemikian rupa sehingga aliran langsung dari umpan pertama dan umpan kedua ke debit pertama diblokir. Sebuah mixer mekanis hadir di ruang reaktor untuk tujuan mencampur aliran bahan biomassa dengan aliran bahan pembawa panas yang telah dipanaskan sebelumnya. Tahun 1995 Arthur C.Wu , et. al dengan nomor paten US 5411714 A berjudul "*thermal conversion pyrolysis reactor system*" menguraikan tentang Sistem reaktor pirolisa konversi termal digunakan untuk memberikan reaksi pirolisis tipe aliran kontinu untuk konversi bahan masukan yang dapat dikodifikasi ("MW"). Sistem reaktor menggunakan bahan difusi ("MD") yang dipanaskan dan dicampur dengan MD untuk memudahkan pirolisa dan untuk mengkatalisis sebagian reaksi. Subsistem disediakan untuk menerima output fase gas, cair dan padat. Sistem reaktor mencakup subsistem komponen lebih lanjut untuk input bahan limbah MW, masukan MD, ruang reaktor, dan pemanasan. MD dipanaskan terlebih dahulu dengan dibawa melalui ruang reaktor sebelum digabungkan dengan MW dan selanjutnya oleh gas buang dari ruang tungku yang diarahkan melalui alat penukar panas. Sistem menyediakan untuk daur ulang MD dan secara substansial dapat digunakan sendiri sebagai hasil dari penggunaan gas hidrokarbon yang mudah terbakar yang dihasilkan oleh reaksi pirolisa sebagai bahan bakar untuk pembakar turbulen. Bahan masukan dievakuasi dari oksigen dan tekanan internal positif dipertahankan di ruang reaktor untuk memaksimalkan pirolisis bebas oksigen secara maksimal. Sistem sangat disesuaikan untuk digunakan dengan chip ban, limbah medis dan bahan masukan limbah plastik industri. Bahan logam dan paduan logam hitam dan pelletized lebih disukai MD. Juga dalam paten nomor EP 2827980 A oleh Paul F. Keusenkothen tahun 2015 dengan judul "Komponen insulasi termal untuk reaktor pirolisa". Diungkapkan tentang komponen isolasi dan penggunaannya misalnya pada reaktor regeneratif. Secara khusus, proses dan peralatan untuk mengelola suhu dari reaksi oksidasi dan reaksi pirolisa dalam reaktor, misalnya reaktor termal regenerasi, seperti reaktor alir balik regeneratif dijelaskan sehubungan dengan berbagai komponen reaktor. Reaktor terdiri dari komponen aliran proses dan komponen insulasi yang

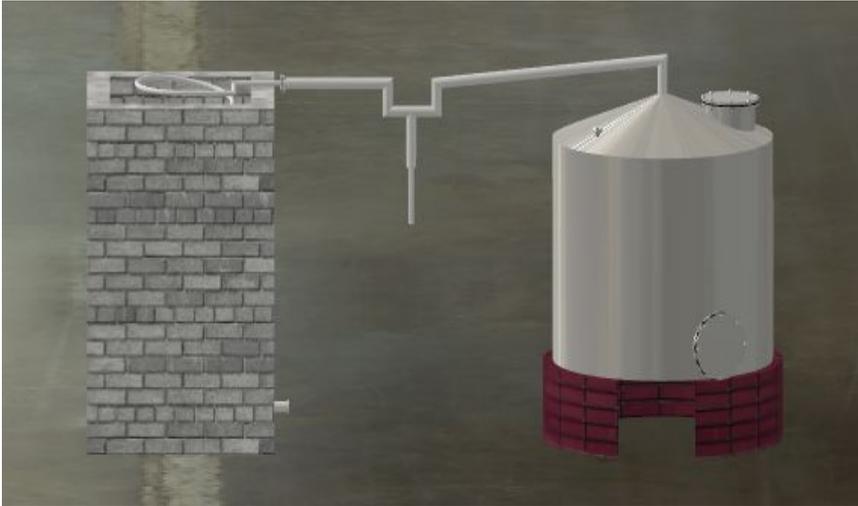
berdekatan dengan komponen aliran proses. Komponen insulasi terdiri dari oksida, oksida yang memiliki:

- a. Konduktivitas termal bulk dalam fasa padat 5 W / mK pada suhu di kisaran 800°C sampai 1600°C
- b. Porositas 30 vol % berdasarkan volume komponen insulasi;
- c. Titik leleh tidak kurang dari 2060°C

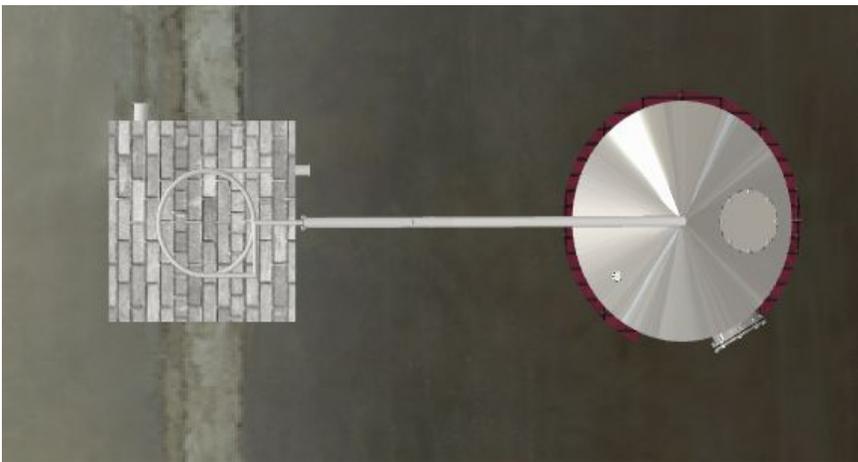
iv) yang tetap berbentuk oksida bila: a) terkena gas pertama pada suhu pertama, gas pertama yang memiliki i) tekanan parsial oksigen  $1 \times 10^{-15}$  bar (absolut), dan ii) tekanan parsial karbon lebih besar dari Di mana zirkonium oksida mengubah fasa menjadi zirkonium karbida pada suhu pertama; dimana suhu pertama kurang dari titik tiga zirkonium pada tekanan parsial oksigen; dan / atau b) terkena gas kedua yang memiliki tekanan parsial oksigen pada Suhu kedua, suhu kedua lebih besar dari atau sama dengan titik tiga zirkonium pada tekanan parsial oksigen. Reaktornya bisa berupa reaktor pirolisa termal, seperti reaktor regenerasi alir balik, yang mempresentasikan komponen pada kondisi pirolisa termal. Tahun 2016 Maopei Cui, Huiyan LV, Linjun ZHU dengan nomor paten US 20160068757 A1 dengan judul "*vertical pyrolysis reactor with precise control*". Penemuan berhubungan dengan reaktor pirolisa vertikal, termasuk shell reaktor, alat makan, outlet gas biomassa di bagian atas reaktor, perangkat pengaburan abu di bagian bawah reaktor, dan parut di dalam reaktor. Perangkat makan terletak di bagian bawah reaktor, dan saluran keluar dari perangkat makan terletak di daerah tengah bagian bawah reaktor untuk mendapatkan distribusi bahan yang seragam. Perangkat pemecah terak terpasang pada reaktor pirolisa, membentuk kombinasi organik dengan parit yang berputar. Outputnya bisa diatur melalui kecepatan operasi parut. Pengendalian yang tepat terhadap reaksi pirolisa dilakukan dengan cara mengendalikan kecepatan makan, kecepatan pemakaian, ketebalan lapisan, volume udara masuk, distribusi udara masuk, suhu reaksi, dll. Biomassa yang memiliki ukuran sampai sekitar 10 cm dapat diolah secara efektif dan terus menerus. Keposisi desain perangkat makan bersamaan dengan penggunaan perangkat pemecah terak.

### **Uraian Singkat Gambar**

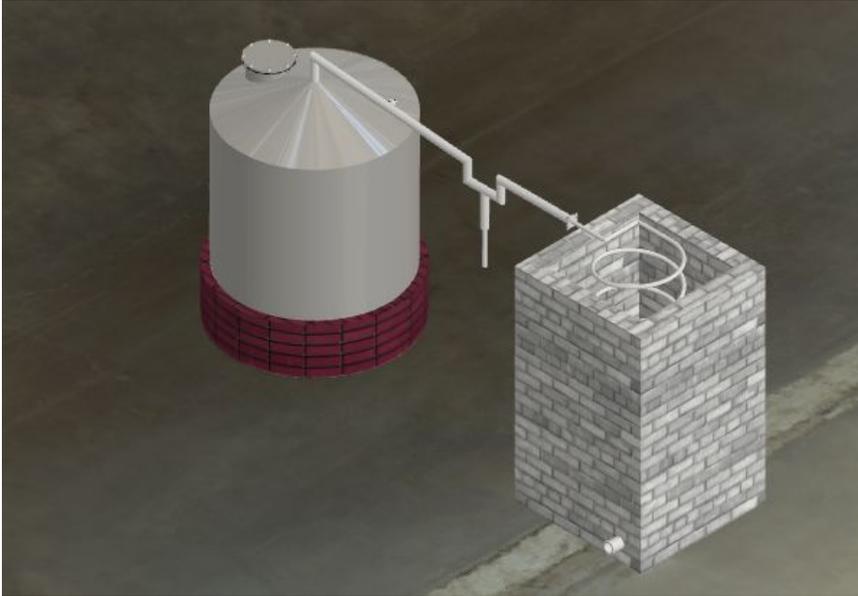
Untuk memudahkan pemahaman mengenai inti inovasi ini, selanjutnya akan diuraikan perwujudan inovasi melalui gambar-gambar terlampir



**Gambar 6.1** adalah tampak samping dari alat pirolisis dengan sistem single unit kondensor



**Gambar 6. 2** adalah tampak atas dari alat pirolisis dengan sistem single unit kondensor



**Gambar 6.3** adalah tampak samping atas dari alat pirolisis dengan sistem single unit kondensor

Sedangkan spesifikasi alatnya adalah:

1. Bak Kondensor
2. Coil Pipa Aliran Gas 1
3. Tutup Reaktor Pirolisa
4. Reaktor Pirolisa
5. Tungku Bakar
6. Nozle Feed
7. Nozel Out
8. Thermocouple
9. Oulet Produk
10. Outlet Air Pendingin
11. Output Side produk Cair (Tar)
12. Output side produk padat ( Char )

Sebagaimana telah dikemukakan pada latar belakang invensi bahwa pirolisis adalah suatu teknologi termokimia untuk mengkonversi bahan biomass menjadi energi dan berbagai produk kimia lainnya yang terdiri atas cairan minyak organik, debu organik dan gas hasil pirolisis (Kan T *et al.*,2015). Beberapa parameter pirolisis yang digunakan berpengaruh pada sifat-sifat dan aplikasi produk pirolisis yang dihasilkan meliputi seleksi jenis bahan baku

(jenis biomassa, ukuran partikel, penanganan awal biomassa, kondisi reaksi (suhu pirolisa, tekanan, laju pemanasan partikel dan waktu kontak), konfigurasi reaktor yang digunakan, proses yang dilakukan, dan berbagai variabel lainnya seperti penambahan katalis dan mekanisme pendinginan uap serta waktu tinggal uap panas (Brigwater, 2012; Chen *et al.*, 2015 ; Kan T *et al.*, 2015; ).

Kondensasi adalah perubahan wujud benda ke wujud yang lebih padat, seperti gas (atau uap) menjadi cairan. Kondensasi asap cair terjadi ketika uap didinginkan menjadi cairan, tetapi dapat juga terjadi bila sebuah uap dikompresi (yaitu, tekanan ditingkatkan) menjadi cairan, atau mengalami kombinasi dari pendinginan dan kompresi. Cairan yang telah terkondensasi dari uap disebut kondensat adalah merupakan produk/hasil dari kondensator saat beroperasi pada kondisi tertentu. produk pirolisis tersebut pada umumnya dapat diperoleh dengan proses kondensasi dengan air pendingin kondensator melalui laju alir air kondensator, yang memiliki suhu 25°C. Cara ini tentunya mempunyai keuntungan karena proses kondensasi berjalan dengan kondisi proses pada suhu kondensasi normal.

Mengacu pada Gambar 1, yang memperlihatkan suatu alat pirolisa kondensator single unit tampak samping sesuai dengan invensi ini. Alat pirolisa dengan aliran kondensator yang diusulkan adalah seperti invensi yang diusulkan adalah mengkondisikan alat pirolisa untuk menghasilkan gas pirolisa dan kondensator untuk meningkatkan daya kondensasi yang dihasilkan dari kondensator saat bekerja pada suhu kamar. Pengkondisian kondensator single unit yang dimaksudkan adalah berbentuk seperti "SPIRAL" dengan pada bagian/daerah ujung pipa pirolisa aliran gas dari keseluruhan pipa terhubung reactor pirolisis dan kondensator. Pemasangan kondensator berbentuk seperti "SPIRAL" ini bertujuan untuk mengarahkan aliran uap pirolisis yang melintasi bagian/daerah ujung pipa pirolisa tersebut, agar lebih seragam (*uniform*) dan memiliki percepatan (*akselerasi*) daya kondensasi dengan kondisi tersebut, sehingga daya kondensasi aliran uap panas untuk kondensator single unit seperti "SPIRAL" menjadi lebih maksimal. Distribusi tekanan yang terjadi pada bagian/daerah pipa kondensator menyebabkan laju asap tertinggal dalam kondensator rendah sehingga memaksimalkan terjadinya proses kondensasi. Penurunan laju aliran uap panas hasil pirolisis Biomassa dalam alat kondensasi yang inilah menyebabkan daya kondensasi berjalan maksimal sehingga produk kondensasi lebih meningkat.

Invensi ini memiliki perbedaan yang sangat mencolok dibandingkan dengan alat pirolisis yang ada di pasaran atau yang dikenal oleh masyarakat luas. Yaitu pada 'keberadaan' sistem proses dan alat reaktor serta dilengkapi kondensor yang berbentuk 'spiral' yang terletak pada bagian/daerah punggung di ujung pipa gas yang keluar dari alat pirolisis.

Sebagaimana pula diungkapkan pada Gambar 2, yang menunjukkan satu bagian kondensor (2) sesuai dengan invensi ini. Kondensor single unit untuk proses kondensasi ini adalah meliputi bentuk reaktor (1), jumlah kondensor (2) bentuk spiral (3) dan posisi/kedudukan kondensor (4) pada ujung alat pipa pirolisis (5), dengan deskripsi sebagai berikut :

- a. Reaktor Pirolisa  
Jumlah reaktor pirolisa adalah 1 (satu) unit yang berbentuk silinder berfungsi sebagai tempat dekomposisi termal biomassa pada suhu tinggi dengan spesifikasi alat dapat dilihat pada gambar 3.
- b. Jumlah Kondensor  
Jumlah kondensor pada pipa pyrolysis adalah 1 (satu) unit, yang dipasang pada bagian ujung pipa pirolisa , yang disebut dengan kondensor.
- c. Bentuk Kondensor  
Pada dasarnya bentuk satu unit kondensor yang digunakan pada ujung alat pirolisis sesuai dengan invensi ini adalah seperti .
- d. Posisi atau Kedudukan kondensor  
Posisi kondensor pada pipa pirolisis dapat dibedakan dalam 2 (dua) sudut pandang, yaitu : Posisi kondensor terhadap jari-jari kondensor (dinotasikan dengan huruf, R), dan posisi kondensor terhadap sisi vertikal dalam bak kondensor.

Penempatan posisi kondensor seperti bilah 'SPIRAL tersebut adalah berada dalam rentang panjang 12 m. Jari-jari kondensor, adalah jarak dari titik pusat hingga bagian ujung kondensor. Diameter tube kondensor adalah  $\frac{1}{4}$  inci.

## 6.2 Instalasi Alat Pirolisa Biomassa Double Unit Condensor (DUC)

Alat pyrolisa Biomassa menggunakan sistem *Double unit Condensor* yang dipasang untuk menambah Daya kondensasi pada pada alat pyrolisa biomassa sehingga produk asap cair yang dihasilkan lebih meningkat, khususnya kondensor-kondensor tersebut dibuat menyatu dengan pipa alir kondensat pada alat pyrolysis dengan kemiringan pipa pada sudut tertentu dan terbagi menjadi dua bagian aliran yang terhubung dengan masing – masing kondensor

Salah satu indikator keberhasilan dalam meningkatkan produk pyrolysis adalah adalah penggunaan jenis reaktor pyrolysis yang didesain sedemikian rupa serta sistem mekanisme pendinginan yang dilakukan guna tercapainya peningkatan laju produk pyrolysis sesuai dengan yang direncanakan. Sebagai salah satu parameter utama yang sangat menentukan terhadap kecepatan kondensasi pada proses pyrolysis tersebut, adalah rancangan alat pyrolysis sistem Double unit Condensor. Secara umum, Sistem atau Alat Pyrolysis Biomassa terdiri dari 2 (Dua) komponen utama, yaitu : (a) Reaktor Pyrolisis; (b) Kondensor

Menurut Tao Kan et al (2016) beberapa parameter yang memengaruhi Pyrolisa Biomass berpengaruh pada Sifat - sifat dan aplikasi produk pyrolisa yang dihasilkan.. Parameter pyrolisa yang dipertimbangkan mencakup seleksi type bahan baku (Jenis biomassa, ukuran partikel, penanganan awal biomassa, kondisi reaksi (Suhu pyrolisa, Tekanan, laju pemanasan prtikel, dan waktu kontak, konfigurasi reaktor yang digunakan, proses yang dilakukan, dan berbagai variabel lainnya seperti penambahan katalis dan mekanisme pendinginan uap .

Prinsip kerja dari Alat Pyrolysis adalah sebagai berikut; *Reaktor Utama pyrolysis ini adalah* sebagai sumber utama menghasilkan produk Condensate yang merupakan produk dekomposisi thermal biomassa yang dikonversi pada suhu tinggi menjadi energy dan berbagai produk kimia lainnya yang terdiri dari atas cairan minyak organik, debu organik dan gas hasil pirolisis. Proses ini tergantung pada tingkat panas yang diberikan dan lamanya pemanasan serta jenis reaktor yang digunakan.

Reaktor pyrolysis menghasilkan uap panas /condensate memberikan OUTPUT-nya ke kondensor melalui pipa kondensor yang terhubung dari Reaktor pyrolisa dan sistem Kondensor yang terpasang berganda. Besarnya jumlah condensate yang dihasilkan

serta yang terkondensasi oleh kondensor tergantung pada besarnya daya kondensasi sistem kondensor yang terpasang tersebut. Salah satu cara kondensasi sering digunakan untuk proses kondensasi dengan penggunaan 1 (satu) unit kondensor untuk mengkondensasikan uap hasil pyrolysis.

Kondensasi adalah perubahan wujud benda ke wujud yang lebih padat, seperti gas (atau uap) menjadi cairan. Kondensasi terjadi ketika uap didinginkan menjadi cairan, tetapi dapat juga terjadi bila sebuah uap dikompresi (yaitu, tekanan ditingkatkan) menjadi cairan, atau mengalami kombinasi dari pendinginan dan kompresi. Cairan yang telah terkondensasi dari uap disebut kondensat. Sebuah alat yang digunakan untuk mengkondensasi uap menjadi cairan disebut kondenser.

Sampai dengan saat ini, khalayak luas masih melakukan peningkatan produk pyrolysis melalui Sifat-sifat dan aplikasi produk pyrolysis yang dihasilkandengan mempertimbangkan aspek parameter yang mempengaruhi Pyrolysis Biomass dengan memperpertimbangkan aspek type bahan baku (Jenis biomass, ukuran partikel, penanganan awal biomass), kondisi reaksi dan penambahan katalis. Sehingga bilamana diinginkan adanya peningkatan kecepatan kondensasi, maka diperlukan adanya perhatian pada mekanisme pendinginan uap dan konfigurasi reaktor yang digunakan dengan desain penggunaan sistem kondensasi melalui penggunaan Double unit kondensor pada alat pyrolysis biomassa. Dan Penambahan double unit kondensor tersebut, membawa pada kebutuhan kenaikan jumlah daya kondensasi pada kondensate hasil pyrolysis. Selanjutnya, kebutuhan terhadap meningkatnya daya kondensasi pada akhirnya memberikan konsekuensi meningkatnya produk pencairan gas hasil pyrolysis. Hal ini tentunya akan menguntungkan pada nilai ekonomis.

Invensi sebelumnya yang yang dikemukakan oleh ChangMin Chun, Frank Hershkowitz 2013 dengan nomor paten US 8512663 B2 dengan judul " Pyrolysisreactor materials and methods" menjelaskan dalam patennya tentang Penemuan berkenaan dengan bahan, metode, dan peralatan digunakan yaitu reaktor pirolisis regeneratif untuk penemuan ini mencakup bahan tahan api untuk reaktor pirolisis untuk pirolisis bahan umpan hidrokarbon, bahan tahan api yang terdiri dari zirkonia stabilisasi bahan tahan api yang terdiri dari paling sedikit 21 wt. % berdasarkan berat total bahan tahan api. Dalam aspek lain, penemuan ini mencakup suatu metode untuk mengurangi korosi karbida pada suhu tinggi dengan menggunakan

sistem reaktor pirolisa yang terdiri dari langkah-langkah: (a) menyediakan sistem reaktor pirolisa yang terdiri dari zirkonia stabil di daerah reaktor yang dipanaskan, Zirkonia stabil termasuk setidaknya 21% wt; (b) memanaskan daerah yang dipanaskan sampai suhu paling sedikit 1500 ° C; Dan (c) mentoletisasi bahan baku hidrokarbon di dalam wilayah yang dipanaskan.

Juga Robertus Hendrikus Venderbosch, et al tahun 2013 dengan nomor paten US 8585868 B2 dengan judul *Pyrolysis reactor* dengan invensinya Alat pirolisa Biomassa terdiri dari: ruang reaktor; Umpan pertama untuk bahan biomassa yang terhubung ke zona atasnya; Umpan kedua untuk bahan pembawa panas panas yang terhubung ke sisi atas ruang reaktor; Debit pertama untuk gas pirolisa yang terhubung ke zona atas ruang reaktor pada jarak dari umpan pertama; Dan pelepasan kedua untuk bahan padat, misalnya bahan pembawa karbon dan panas, yang terhubung ke bagian bawah ruang reaktor. Pemisahan substansial antara arus pelepasan gas pirolisa dan bahan padat terjadi terutama di bawah pengaruh gaya gravitasi, tanpa interposing siklon. Ruang reaktor dimodelkan sedemikian rupa sehingga aliran langsung dari umpan pertama dan umpan kedua ke debit pertama diblokir. Sebuah mixer mekanis hadir di ruang reaktor untuk tujuan mencampur aliran bahan biomassa dengan aliran bahan pembawa panas yang telah dipanaskan sebelumnya. Tahun 1995 Arthur C.Wu , et. al dengan nomor paten US 5411714 A berjudul "*Thermal conversion pyrolysis reactor system*" menguraikan tentang Sistem reaktor pirolisa konversi termal digunakan untuk memberikan reaksi pirolisis tipe aliran kontinu untuk konversi bahan masukan yang dapat dikodifikasi ("MW"). Sistem reaktor menggunakan bahan difusi ("MD") yang dipanaskan dan dicampur dengan MD untuk memudahkan pirolisa dan untuk mengkatalisis sebagian reaksi. Subsistem disediakan untuk menerima output fase gas, cair dan padat. Sistem reaktor mencakup subsistem komponen lebih lanjut untuk input bahan limbah MW, masukan MD, ruang reaktor, dan pemanasan. MD dipanaskan terlebih dahulu dengan dibawa melalui ruang reaktor sebelum digabungkan dengan MW dan selanjutnya oleh gas buang dari ruang tungku yang diarahkan melalui alat penukar panas. Sistem menyediakan untuk daur ulang MD dan secara substansial dapat digunakan sendiri sebagai hasil dari penggunaan gas hidrokarbon yang mudah terbakar yang dihasilkan oleh reaksi pirolisa sebagai bahan bakar untuk pembakar turbulen. Bahan masukan dievakuasi dari oksigen dan tekanan internal positif

dipertahankan di ruang reaktor untuk memaksimalkan pirolisis bebas oksigen secara maksimal. Sistem sangat disesuaikan untuk digunakan dengan chip ban, limbah medis dan bahan masukan limbah plastik industri. Bahan logam dan paduan logam hitam dan pelletized lebih disukai MD. Juga dalam paten nomor EP 2827980 A oleh Paul F. Keusenkothen tahun 2015 dengan judul "Komponen insulasi termal untuk reaktor pirolisa Diungkapkan tentang komponen isolasi dan penggunaannya misalnya pada reaktor regeneratif. Secara khusus, proses dan peralatan untuk mengelola suhu dari reaksi oksidasi dan reaksi pirolisa dalam reaktor, misalnya reaktor termal regenerasi, seperti reaktor alir balik regeneratif dijelaskan sehubungan dengan berbagai komponen reaktor. Reaktor terdiri dari komponen aliran proses dan komponen insulasi yang berdekatan dengan komponen aliran proses. Komponen insulasi terdiri dari oksida, oksida yang memiliki: i) konduktivitas termal bulk dalam fasa padat  $< 5 \text{ W / mK}$  pada suhu di kisaran  $800 \text{ }^\circ \text{C}$  sampai  $1600 \text{ }^\circ \text{C}$ ; ii) porositas  $> 30 \text{ vol\%}$  berdasarkan volume komponen insulasi; iii) titik leleh tidak kurang dari  $2060 \text{ }^\circ \text{C}$ ; Dan iv) yang tetap berbentuk oksida bila: a) terkena gas pertama pada suhu pertama, gas pertama yang memiliki i) tekanan parsial oksigen  $\leq 10^{-15} \text{ bar}$  (absolut), dan ii) tekanan parsial karbon lebih besar dari Di mana zirkonium oksida mengubah fasa menjadi zirkonium karbida pada suhu pertama; dimana suhu pertama kurang dari titik tiga zirkonium pada tekanan parsial oksigen; dan / atau b) terkena gas kedua yang memiliki tekanan parsial oksigen pada Suhu kedua, suhu kedua lebih besar dari atau sama dengan titik tiga zirkonium pada tekanan parsial oksigen. Reaktornya bisa berupa reaktor pirolisa termal, seperti reaktor regenerasi alir balik, yang mempresentasikan komponen pada kondisi pirolisa termal. Tahun 2016 Maopei Cui, Huiyan LV, Linjun ZHU dengan nomor paten US 20160068757 A1 dengan judul "*Vertical pyrolysis reactor with precise control*". Penemuan berhubungan dengan reaktor pirolisa vertikal, termasuk shell reaktor, alat makan, outlet gas biomassa di bagian atas reaktor, perangkat pengaburan abu di bagian bawah reaktor, dan parut di dalam reaktor. Perangkat makan terletak di bagian bawah reaktor, dan saluran keluar dari perangkat makan terletak di daerah tengah bagian bawah reaktor untuk mendapatkan distribusi bahan yang seragam. Perangkat pemecah terak terpasang pada reaktor pirolisa, membentuk kombinasi organik dengan parit yang berputar. Outputnya bisa diatur melalui kecepatan operasi parut. Pengendalian yang tepat terhadap reaksi pirolisa dilakukan dengan cara

mengendalikan kecepatan makan, kecepatan pemakaian, ketebalan lapisan, volume udara masuk, distribusi udara masuk, suhu reaksi, dll. Biomassa yang memiliki ukuran sampai sekitar 10 cm dapat diolah secara efektif dan terus menerus. Keposisi desain perangkat makan bersamaan dengan penggunaan perangkat pemecah terak.

Inovasi ini pada prinsipnya adalah suatu alat pyrolisa yang dibuat dengan plat 3 mm yang dimodifikasi dengan memaksimalkan daya kondensasi terhadap kondensate yang dihasilkan pada proses pyrolysis, sehingga menghasilkan produk pyrolysis yang juga maksimal. Dan pada akhirnya dapat meningkatkan kecepatan prouk pyrolysis, tanpa harus memperbesar parameter yang berpengaruh pada proses pyrolysis lainnya. Atau dengan kata lain, Unit kondensor yang diinvensikan ini secara tidak langsung adalah merupakan upaya dalam peningkatan produk asap cair yang dihasilkan dan penghematan energi proses produksi.

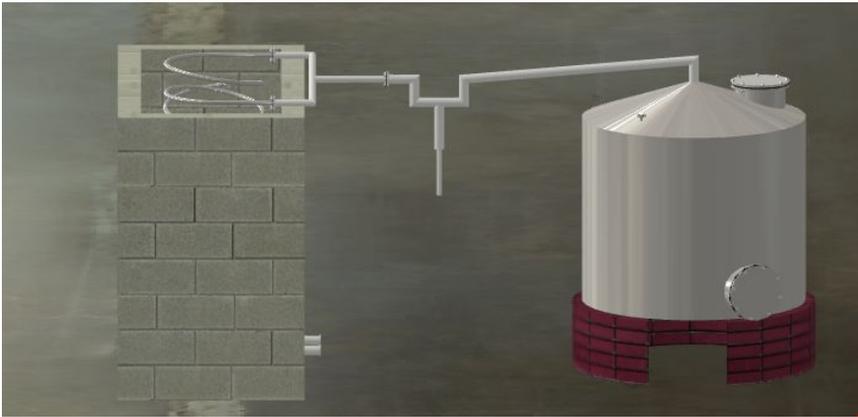
Konsep inovasi kondensor double unit ini adalah menaikkan besarnya distribusi dan kondensasi laju produk condensate pada alat kondensor yang dipasang paralel dari alat pyrolysis.

Suatu metode menaikkan distribusi asap yang dihasilkan dan laju kondensasi pada daerah/bagian kondensor alat pyrolysis tersebut, adalah dengan menaikkan kecepatan aliran gas) yang melintasi pipa dan alat kondensor tersebut, yakni dengan menambahkan sepasang alat kondensor yang berbentuk seperti "spiral" pada bagian/daerah pipa aliran gas dari system pyrolysis yang bertujuan untuk meningkatkan akselerasi aliran gas / kondensate yang melintasi pada daerah/bagian tersebut.

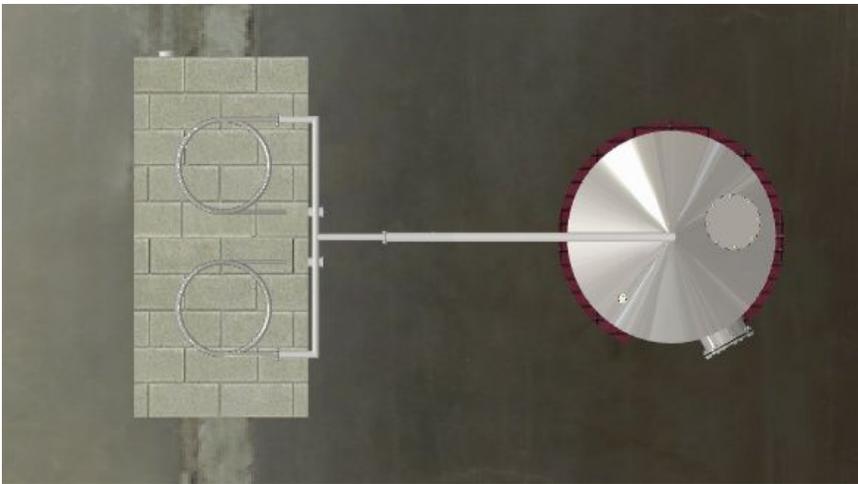
### **Uraian Singkat Gambar**

Untuk memudahkan pemahaman mengenai inti inovasi ini, selanjutnya akan diuraikan perwujudan inovasi melalui gambar-gambar terlampir.

**Gambar 6.4** adalah tampak samping dari alat pyrolysis



**Gambar 6.5** adalah tampak atas dari alat pyrolysis Sistem Double Unit Kondensor



Sedangkan spesifikasi alat detailnya dapat dilihat pada gambar 3., .

1. Bak Kondensor
2. Coil pipa aliran gas 1
3. Coil pipa aliran gas 2
4. Tutup Reaktor Pyrolisa
5. Reaktor Pyrolisa
6. Tungku Bakar

7. Nozle Feed
8. Nozel Out
9. Thermocouple
10. Oulet Produk
11. Outlet Air Pendingin
12. Output Side produk Cair (Tar)
13. Output side produk padat ( Char )

### **Uraian Lengkap Inovasi**

Sebagaimana telah dikemukakan pada latar belakang invensi bahwa Kondensasi adalah perubahan wujud benda ke wujud yang lebih padat, seperti gas (atau uap) menjadi cairan. Kondensasi asap cair terjadi ketika uap didinginkan menjadi cairan, tetapi dapat juga terjadi bila sebuah uap dikompresi (yaitu, tekanan ditingkatkan) menjadi cairan, atau mengalami kombinasi dari pendinginan dan kompresi. Cairan yang telah terkondensasi dari uap disebut kondensat adalah merupakan produk/hasil dari kondensor saat beroperasi pada kondisi tertentu. Peningkatan Hasil produk kondensasi tersebut pada umumnya dapat diperoleh dengan cara penurunan suhu air pendingin kondensor melalui laju alir air kondensor, yang memiliki suhu 25C. Cara ini tentunya mempunyai konsekuensi teknis yang diperoleh, yaitu menjadi mahal karena kebutuhan air dan energy listrik dan tidak menguntungkan bagi para pemakai.

Mengacu pada Gambar 1, yang memperlihatkan suatu alat pyrolisa kondensor double unit tampak samping sesuai dengan invensi ini. Alat pyrolisa kondensor double unit yang diusulkan adalah seperti invensiyang diusulkan adalah mengkondisikan Alat pyrolisa (1) untuk menghasilkan gas pyrolisa dan kondensor (2,3) untuk meningkatkan daya kondensasi yang dihasilkan dari kondensor saat bekerja pada suhu kamar. Pengkondisian kondensor double unit (2,3) yang dimaksudkan adalah dengan memasang satu unit kondensor tambahan (3) berbentuk seperti "SPIRAL" secara berpasangan pada bagian/daerah ujungpipa pyrolisa aliran gas (1) dari keseluruhan Pipa terhubung reactor pyrolysis dan kondensor(1,2,3).

Penambahan sebuah kondensor (2,3) berbentuk seperti "SPIRAL" ini bertujuan untuk mengarahkan aliran uap pyrolysis yang melintasi bagian/daerah ujung pipa pyrolisa (1) tersebut, agar lebih seragam (*Uniform*) dan memiliki percepatan (*Akselerasi*) daya kondensasi yang lebih besar. Dengan kondisi tersebut, maka Daya

kondensasi *aliran uap panas* untuk kondensor (2,3) double unit seperti “SPIRAL” menjadi lebih baik atau lebih tinggi, apabila dibandingkan dengan penggunaan satu unit kondensor. Sehingga, distribusi tekanan yang terjadi pada bagian/daerah kedua kondensor tersebut adalah sama. Distribusi uap hasil proses pyrolisi yang terjadi pada daerah/bagian ujung kondensor double unit seperti “SPIRAL” menjadi lebih rendah, apabila dibandingkan dengan distribusi tekanan yang terjadi pada bagian/daerah kondensor single unit yang biasa dilakukan. Di lain pihak, distribusi tekanan yang terjadi pada bagian/daerah pipa kondensor menyebabkan laju asap tertinggal dalam kondensor rendah sehingga memaksimalkan terjadinya proses kondensasi.

Penurunan laju aliran uap panas hasil pyrolysis Biomass dalam alat kondensasi yang terpasang secara parallel ini inilah menyebabkan daya kondensasi berjalan maksimal sehingga produk kondensasi lebih maksimum.

Invensi ini memiliki perbedaan yang sangat mencolok dibandingkan dengan alat pyrolisis yang ada di pasaran atau yang dikenal oleh masyarakat luas. Yaitu pada ‘keberadaan’ sepasang kondensor yang berbentuk ‘spiral’ yang terletak pada bagian/daerah punggung (2) di ujung pipa gas yang keluar dari alat pyrolysis.

Sebagaimana pula diungkapkan pada Gambar 2, yang menunjukkan satu bagian kondensor (2,3) sesuai dengan inovasi ini. Kondensor double unit untuk menambah Daya kondensasi ini adalah meliputi jumlah kondensor (2, 3), bentuk spiral (2,3) dan posisi/kedudukan kondensor (2, 3) pada ujung alat pipa pyrolysis (1), dengan deskripsi sebagai berikut ;

(a) Reaktor pyrolids

Jumlah reactor pyrolisa (1) adalah 1 (satu) unit yang berbentuk silinder berfungsi sebagai tempat dekomposisi thermal Biomassa pada suhu tinggi dengan spesifikasi alat dapat dilihat pada gambar 3.

(b) Jumlah kondensor

Jumlah kondensor pada pipa pyrolysis (1) adalah 2 (dua) unit, yang dipasang pada bagian ujung pipa pyrolisa (1) secara bersusun, yang disebut dengan kondensor kiri (2) dan kondensor kanan(3).

(c) Bentuk kondensor

Pada dasarnya bentuk sepasang kondensor yang digunakan pada ujung alat pyrolysis sesuai dengan inovasi ini adalah

seperti 'SPIRAL, dimana pada sisi kanan (2) adalah sama dengan sisi kiri.(3).

Panjang sisi keseluruhan kondensor kanan (2) adalah sama panjang dengan Panjang kondensor sisi kanan (3).Tinggi maksimum kondensor (2, 3) adalah 50 (lima puluh) persen dari panjang keseluruhan panjang kondensor.

(d) Posisi atau Kedudukan kondensor

Posisi kondensor (2, 3) pada masing-masing pipa pyrolysis (1) dapat dibedakan dalam 2 (dua) sudut pandang, yaitu : Posisi kondensor terhadap Jari-jari kondensor (dinotasikan dengan huruf, R), dan Posisi kondensor terhadap sisi vertical dalam bak kondensor.

Penempatan Posisi sepasang kondensor (2, 3) seperti bilah 'SPIRAL tersebut adalah berada dalam rentang panjang 12 m. Jari-jari kondensor, adalah jarak dari titik pusat hingga bagian ujung kondensor.Diameter tube kondensor adalah  $\frac{1}{4}$  inci.Kedudukan kondensor kiri (2) dan kondensor (4) ditentukan oleh besarnya rasio (a/b) Sisi Kanan (2) dan Sisi Kiri (3), yaitu berada dalam rentang 1 : 2

∞

# BAB 7

## PIROLISIS TEMPURUNG KEMIRI UNTUK PEMBUATAN ASAP CAIR

### 7.1 Kemiri (*Aleurites moluccana*)

Indonesia memiliki potensi sumber daya alam yang cukup besar. Aneka ragam tumbuh-tumbuhan banyak ditemukan di negeri ini. Kemiri merupakan salah satu tanaman perkebunan rakyat yang tersebar hampir di seluruh wilayah Indonesia. Kemiri (*Aleurites moluccana*), adalah tumbuhan yang bijinya dimanfaatkan sebagai sumber minyak dan rempah-rempah. Tumbuhan ini masih sekerabat dengan singkong dan termasuk dalam suku *Euphorbiaceae*, Divisi *Magnoliophyta*, Ordo *Malpighiales* Famili: *Euphorbiaceae* Genus *Aleurites*, Spesies: *A. moluccana*. Dalam perdagangan antarnegara dikenal sebagai *candleberry*, *indian walnut*, serta *candlenut*. Pohonnya disebut sebagai *varnish tree* atau *kukui nut tree*.



**Gambar 7.1.** Pohon Kemiri

Sumber:[http://id.wikipedia.org/wiki/Berkas:Aleur\\_moluc\\_080716\\_105\\_0\\_Fr\\_ayot.JPG](http://id.wikipedia.org/wiki/Berkas:Aleur_moluc_080716_105_0_Fr_ayot.JPG)

## **7.2 Tempurung Kemiri**

Dari biji kemiri selain dapat diperoleh isi bijinya juga didapatkan hasil sampingan berupa cangkang. Sejauh ini pemanfaatan tempurung kemiri masih sangat terbatas. Kemiri biasanya yang digunakan sebagai rempah pangan adalah bagian bijinya saja sedangkan kulitnya dibuang begitu saja sehingga pemanfaatan limbah kulit kemiri sangat bermanfaat. Baik sebagai solusi untuk rehabilitasi lahan kritis dan digunakan sebagai bahan bakar alternatif. Potensi terbesar dari kemiri terdapat pada buah yang terdiri dari biji dan cangkang, pada biji terdapat inti dan kulit. Inti itulah yang dapat diproses menjadi minyak untuk sumber energi alternatif pengganti solar atau biodiesel. Akan tetapi ada akibat yang ditanggung oleh pengerjaan ini yaitu adanya limbah berupa tempurung kemiri yang tidak termanfaatkan. Limbah inilah yang dalam kegiatan ini akan digunakan sebagai bahan dasar pembuatan asap cair.

Diameter biji kemiri mencapai 1,5-2 cm yang di dalamnya terdapat daging biji berwarna putih yang kaku (merupakan bagian *endosperm* yang digunakan sebagai bumbu masak). Biji kemiri mempunyai kulit biji yang dikenal sebagai tempurung atau cangkang yang sangat keras dengan beratnya mencapai 65-75% dari berat biji seluruhnya, dan tebal tempurung 3-5 mm. Permukaan luarnya kasar dan berlekuk serta berwarna coklat kehitaman dan merupakan bagian yang paling keras.

Bagian tempurung atau cangkang kemiri dapat digunakan sebagai arang untuk bahan bakar, dan asap cair dengan proses pirolisis, sedangkan ampas sisa pembuatan minyak kemiri dapat dimanfaatkan sebagai pupuk dan pakan ternak (Paimin, 1997). Cangkang kemiri hasil kupasan sekarang dapat dimanfaatkan sebagai bahan dasar pembuatan briket selain untuk pembuatan asap cair.



**Gambar 7.3** Tempurung Kemiri

Tempurung kemiri ketebalannya sekitar 3-5 mm, berwarna coklat atau kehitaman. Kulit biji inilah yang merupakan bagian buah paling keras. Biji kemiri memiliki bentuk membulat atau limas, agak gepeng dengan salah satu ujungnya meruncing. Diameter biji mencapai 1,5-2 cm. Di dalamnya terdapat daging biji berwarna putih yang kaku (merupakan bagian *endosperm* dengan *kotiledon* di dalamnya). Sehingga jika ditelusuri dari luar ke dalam, bagian buah kemiri berturut-turut adalah kulit luar, lapisan kayu, kulit biji, *endosperm*, dan *kotiledon* (Paimin, 1997).

### 7.3 Sifat Fisika dan Kimia Tempurung Kemiri

Buah kemiri termasuk buah batu, berbentuk bulat telur dan ada bagian yang menonjol ke samping. Daging buahnya kaku dan mengandung 1-2 biji yang diselimuti oleh kulit biji yang keras. Dimana, menurut Mody Lempang (2011) kulit biji yang keras (cangkang kemiri) memiliki kandungan kimia sebagai berikut :

**Tabel 7.1** Kandungan Kimia Cangkang Kemiri

No	Komponen (Component)	Kadar (Content) %
1.	Hemiselulosa ( <i>Hemiselulose</i> )	49,22
2.	Pentosa (Pentosan)	14,55
3.	Lignin	54,46
4.	Abu ( <i>Ash</i> )	8,73

Sumber <http://repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/34583/4>



#### **7.4 Proses Pirolisa Tempurung Kemiri**

Pirolisa Tempurung kemiri untuk pembuatan asap cair dimana tujuannya adalah mengetahui sejauh mana kondisi proses pirolisa (suhu dan waktu ) berpengaruh terhadap peningkatan produksi asap cair berbasis cangkang kemiri dengan kapasitas alat yang digunakan pada proses produksi tersebut dan aplikasi produk dalam kehidupan masyarakat sesuai tujuan produksi untuk dimanfaatkan sebagai pengawet alami.

Tentu manfaat penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan produk asap cair yang berkualitas dan bebas dari senyawa toksik dan karsinogenik yang merupakan syarat mutlak jika digunakan sebagai pengawet alami dalam industri pangan. Sehingga dalam penelitian tahap kedua ini fokus penelitian selain menitik beratkan pada peningkatan produksi pada proses pirolisis dengan menambah variasi variabel suhu dengan penambahan sistem kontrol suhu pada tahap kedua ini juga mengetahui waktu pirolisis terbaik menghasilkan asap cair maksimum pada kondisi proses produksi dari alat yang telah dirancang berkapasitas 300 kg. Selain itu juga melakukan metode pemurnian yang dilakukan sebagai upaya penghilangan senyawa toksik dengan melihat komponen senyawa yang terkandung sebelum dan sesudah dilakukan pemurnian baik pemurnian satu tahap maupun pemurnian dua tahap. Manfaat lainnya adalah akan menambah pendapatan keluarga atau masyarakat petani kemiri itu sendiri didaerah tersebut karena limbah cangkang kemiri yang biasanya terbuang begitu saja sudah dapat dimanfaatkan secara optimal dan memiliki nilai jual untuk digunakan sebagai bahan baku pembuatan asap cair yang dapat diaplikasikan dalam berbagai industri dalam kehidupan masyarakat.

#### **7.5 Alat dan Bahan yang digunakan**

Adapun alat utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah tabung pirolisis, kondensor, seperangkat alat distilasi, dan bahan baku asap cair yang berasal dari cangkang kemiri yang diambil dari perkebunan kemiri di Kabupaten Bireuen. Alat - alat kimia yang digunakan dalam penelitian ini meliputi alat *pirolisis*, alat kondensasi, alat sedimentasi, alat distilasi, serta alat yang digunakan untuk menganalisa produk meliputi : gelas ukur, *erlenmeyer*, *termometer*, *corong pemisah*, kertas penyaring, timbangan analitik, PH meter digital, seperangkat alat distilasi, seperangkat Alat GC dan MS.

## **7.6 Tahapan Proses Pelaksanaan**

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahap yaitu tahap persiapan bahan baku, tahap desain alat reaktor pirolisis, tahap pirolisis, tahap kondensasi, tahap sedimentasi, tahap filtrasi dan tahap analisa produk.

### **7.6.1 Tahap Pretreatment**

Pada tahap *pretreatment* yaitu tahap persiapan bahan baku berupa tempurung kemiri diambil dari kebun kemiri di Kabupaten Aceh Utara. Bahan baku dikeringkan hingga kadar air 10 % - 15 %.

### **7.6.2 Tahap Pirolisis**

Pada tahap ini, tempurung kemiri yang telah dikeringkan ditimbang seberat 200 kg dan dimasukkan ke dalam reaktor pirolisis yang terbuat dari plat dengan ketebalan 3 mm dan ukuran diameter reaktor 1,14 m dan tinggi reaktor 1,65 m. Pada tahap ini kadar air dari tempurung kemiri dijaga antara 10-12,5 % dan tidak dilakukan penghancuran karena ukuran yang sudah memadai. Suhu proses yang digunakan yaitu 350°C, 450°C, dan 550°C. Waktu pirolisis yang dijalankan yaitu 0,5, 1, 1,5, 2, 2,5, 3, 3,5, 4, 4,5, 5,5 dan 6 jam.

### **7.6.3 Tahap Kondensasi**

Kondensasi atau pengembunan adalah perubahan wujud benda ke wujud yang lebih padat, seperti gas (atau uap) menjadi cairan. Kondensasi terjadi ketika uap didinginkan menjadi cairan, tetapi dapat juga terjadi bila sebuah uap dikompresi yaitu tekanan ditingkatkan menjadi cairan, atau mengalami kombinasi dari pendinginan dan kompresi. Cairan yang telah terkondensasi dari uap disebut kondensat. Sebuah alat yang digunakan untuk mengkondensasi uap menjadi cairan disebut kondensor. Kondensor umumnya adalah sebuah pendingin atau penukar panas yang digunakan untuk berbagai tujuan, memiliki rancangan yang bervariasi, dan banyak ukurannya dari yang dapat digenggam sampai yang sangat besar. Kondensasi uap menjadi cairan adalah lawan dari penguapan (evaporasi) dan merupakan proses *eksothermis* (melepas panas). Air yang terlihat di luar gelas air yang dingin di hari yang panas adalah kondensasi di udara yang terkondensasi secara alami pada permukaan yang dingin dinamakan embun. Uap air hanya akan terkondensasi pada suatu permukaan ketika permukaan tersebut lebih dingin dari titik embunnya atau uap air telah mencapai

kesetimbangan di udara, seperti kelembaban jenuh. Titik embun udara adalah temperatur yang harus dicapai agar mulai terjadi kondensasi di udara. Kondensasi yang terjadi pada proses pembuatan asap cair adalah pengembunan asap hasil pirolisa menjadi cairan bersenyawa kompleks.

Kondensor terdapat dalam rangkaian pada alat pirolisis melakukan kondensasi terhadap gas atau kondensat yang dihasilkan dari proses pirolisis keluar dari pipa reaktor yang terhubung menuju alat kondensor berfungsi untuk merubah fasa gas produk gas *pirolisis* menjadi fasa cair. Alat kondensor yang digunakan dilengkapi dengan 2 unit alat kondensor yang diparalelkan untuk meningkatkan daya kondensasi produk hasil *pirolisis* semaksimal mungkin. Selanjutnya, produk hasil kondensasi ditampung dalam wadah penampungan. Suhu kondensasi dijaga tetap pada suhu 25°C hingga 30°C dengan mengatur laju aliran air kondensor yang masuk dan keluar.

#### **7.6.4 Sedimentasi**

Sedimentasi merupakan proses pemisahan solid - liquid menggunakan pengendapan secara gravitasi untuk menyisahkan *suspended solid*. Pada sedimentasi asap cair, kandungan yang hitam pekat akan turun dan mengendap di bagian bawah.

#### **7.6.5 Tahap Filtrasi**

Filtrasi merupakan pembersihan partikel padat dari suatu fluida dengan melewatkannya pada medium penyaringan, atau septum, yang di atasnya padatan akan terendapkan. Pada asap cair dilakukan penyaringan dengan menggunakan kertas saring untuk menyaring semua tar padat yang terkandung dalam asap cair.

#### **7.6.6 Tahap Analisa Produk**

Pada tahap analisa dilakukan dengan pengukuran rendemen (SNI 06-3735=1998), derajat keasaman (AOAC,1995) dimana dengan PH meter yang terlebih dahulu di kalibrasikan atau dicelupkan kedalam larutan aquades. Setelah dikalibrasi PH meter dapat digunakan pada larutan yang ingin diukur dan dicatat hasilnya. Selanjutnya pengukuran berat jenis (SNI 06-2388-1998) dengan melakukan penimbangan sampel dalam piknometer dan selanjutnya dihitung massa zat dengan volume zat sampel. Penentuan kadar fenol dilakukan dengan GCMS (*gas chromatography and mass spectroscopy*). Kalibrasi area kromatografi dilakukan dengan faktor respon atas setiap gugus kimia yang muncul, yang awalnya ditentukan dengan

menggunakan campuran standar dan senyawa *reference* (untuk cairan *tetraline* pada gas metana) dengan konsentrasi bervariasi. Puncak-puncak kromatografi yang tidak teridentifikasi, memiliki area yang ditampilkan kurang 5% dari area keseluruhan, ditunjukkan dengan respon faktor rata-rata. Karakteristik produk cairan dilengkapi dengan analisis mikro elemental menggunakan alat Carlo Elba EA1108. Alat ini digunakan untuk melakukan analisa komponen yang terkandung dalam asap cair baik setelah pirolisis.

Analisis komponen asap cair dilakukan dengan menggunakan GC-MS dengan kondisi sebagai berikut : Injektor mode split 1:60, suhu 290°C. Kolom yang digunakan adalah : Rastek RXi-5MS, panjang 30 m, diameter 0,25 mm; suhu kolom : 50-290 °C, dengan kenaikan suhu 10 °C/5 menit. Gas pembawa helium, suhu detektor 280 °C, dengan jenis pengionan *electron impact* (EI). Masing-masing puncak dari hasil kromatografi dibuat spektra massanya dan dibandingkan dengan spektra bank data NIST dan WILEY

**Gambar 7.5** Proses Proses Produksi Asap Cair dari Pirolisa Tempurung Kemiri



*Pemasok Bahan Baku*



**Gambar 7.6** Bahan Baku Biomassa Tempurung Kemiri



**Gambar 7.7** Pengeringan Bahan Baku



**Gambar 7.8** Bahan Baku siap di Bakar

Reaktor



**Gambar 7.9** Bahan Baku dalam Reaktor Pirolisa



**Gambar 7.9** Persiapan Pembakaran Bahan Baku





**Gambar 7.10** Penampungan Produk Asap Hasil proses pyrolisa



**Gambar 7.11** Produk Asap Cair Grade 3 Hasil proses pyrolisa yang perlu pemurnian lebih lanjut



**Gambar 7.12** Dari Proses Pyrolisa



**Gambar 7.13** Asap Cair Grade 3 Yang telah dikemas



**Gambar 7.14** Proses pengemasan Produk

## DAFTAR PUSTAKA

- Achmady, S.S., Mubarik, N.R., Nursyamsyi and Septiajin. 2013. Characterization of redistilled liquid Smoke of oil-palm .shell and its aplication as fish preservatives. *Journal of Applied Science* .13: 401-408.
- Acma, H.A., Yaman, S. and Kucukbayrak, S. 2013. Effects of fragmentation and particle size on the fuel properties of hazelnut shells. *Journal home page. www.elsevier.com/locate/Fuel*. 112: 326-330.
- Bansal, R. and Goyal, M. 2005. Activated Carbon Adsorption. Published by CRC Press Taylor and Francis Group 6000 Broken Sound Parkway NW. Suite 3.
- Bertero, M., Gorostegui, H.A., Camilo, J., Orrabalis, C., Guzman, C., Calandri, E. and Sedran, U. 2014. Characterization of the liquid products in the pyrolysis of residual chañar and palm fruit biomasses. *Fuel*. 116: 409-414.
- Brebu.M. and Vasile, C. 2010. Thermal degradation of lignin a review. *Cellulose Chem. Technol.* 144: 353-363.
- Bridgwater, A. 2012. Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading, biomass. *Bioenergy* . 38: 68-94
- Budaraga, I.K. 2015. Antioxidant Properties Of Liquid Smoke Cinnamon Production Of Variation Of Purification And Different Concentration. *International Journal of Scientific & Technology Research*. 5 : 2277-8616.
- Budaraga, I.K., Usman, A. 2016. Toxicity of Liquid Smoke Cinnamon (*Cinnamomum Burmanni*) Production of Ways for Purification and Different Concentration. *International Journal of Scientific and Research Publications*. 6:2250-3153.
- Chen, W. H. And Jhih Lin, B., 2015. Characteristics of products from the pyrolysis of oil palm fiber and its pellets in nitrogen and carbon dioxide atmospheres. *Energy*. 94 : 569-578.
- Chen, G. L., Chen, G.B., Li, Y.H. and Wu,W.T. 2014. A study of thermal pyrolysis for castor meal using the taguchi method. 71 : 62-70.
- Chen, Y., Haiping, Wang, X., Zhang, S. and Chen, H. 2012 . Biomass-based pyrolytic polygeneration system on cotton stalk pirolisis:

- Influence of temperature. *Bioresource technology*. 107: 411-418.
- Collard, F.X. and Lin, J.A. 2014. review on pyrolysis of biomass constituents: Mechanisms and composition of the products obtained from the conversion of cellulose, hemicelluloses and lignin. *Renewable Sustainable Energy*. 38 : 594–608.
- Czemik, S. and Bridgwater. 2004 .A Overview of application of biomass fast pyrolysis oil. *Energy Fuel*. 18: 590-598.
- Darmadji, P. 2012. Optimation of liquid smoke purification by encapsulation of coconut shell liquid smoke in chitosan – maltodekstrin based nanoparticle. 11: 173-179.
- Darmawan, S., Wistara, Pari, G., Maddu, A. and Syafii, W. 2016. Characterization of Lignocellulosic Biomass as Raw Material for the Production of Porous Carbon-based Material. *Bioresources.com*. 11 : 3561-3674.
- Chen, D., Chen, X., Sun, J., Zheng, Z. and Fu, K. 2016. Pyrolysis polygeneration of pine nut shell. Quality of pyrolysis products and study on the preparation of activated carbon from biochar. xx : 629-636
- Duarte, S. J., Lin, J., Alviso, D. And Rolon, J. 2016. Effect of temperature and particle size on the yield of bio-oil, produced from conventional coconut core pyrolysis. *International journal of chemical engineering and applications*. 7: 102-108
- Ammar, E.T., Ismail, M. and Metwally, R.E. 2013. Effect of adding smoke liquid or powder to pickling whey on some properties of domiati chesse made from goats milk capathian. *Journal of food science and technology*. .
- Erbay, Z. and Koca, N. 2013. Kinetics of Total Phenolic content and Total Coulor Diference During Liquid Smoking of Kashar Cheese. *International Journal of Food Properties*. 6 : 852–866.
- Fahlepy dan Suwardin, D. 2015. Characterization of iron metal corrosion in liquid smoke coagulant. *International Symposium on Aplied Chemistry (ISAC 2015)*. *Procedia Chemistry*. 16: 420-426
- Fisher, T., Hajaligol, M., Waymack, B. and Kellogg, D. 2002. Pyrolysis behavior and kinetics of biomass derived materials. *Journal Analitic Applied Pyrolysis*. 62 pp. 331–49.

- Gan, C.Y. and Latiff, A.A. 2011. Optimisation of the solvent extraction of bioactive compounds from *Parkia speciosa* pod using response surface methodology. *Journal Food Chemistry*. 124 : 1277 - 1283.
- Gani, Z.A., Mas'ud, Lay, B.W., Sutjahyo, S.H. and Puri,G.2007. Characterization of liquid smoke pyrolyzed from solid organic waste. *Journal teknik industri Pert*, . 26: 111-118.
- Guo, X., Wang, S., Zhou, Y. and Luo, Z. 2011. Catalytic pyrolysis of xylan-based hemicellulose over zeolites. *International Journal of Energy and environment*. 5 : 524-531.
- Hosoya, T., Kawamoto, H. and Saka, S. 2007. Cellulos-hemicellulose and cellulose-lignin interactions in wood pyrolysis at gasification temperature. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. . 80: 118-125.
- Yin, H.S., Liu, H.M. and Liu, Y.L. 2017. Structural Characterization of Lignin in Fruits and Stalks of Chinese Quince. *Molecules*. 22: 890 doi:[10.3390/molecules22060890](https://doi.org/10.3390/molecules22060890).
- Islam, M. N., Hossain, M.N., Joardder, S.M., Hoque, N. And Uddin, M. A. 2013. Comparative study on pyrolysis for liquid oil from different biomass solid wastes, 5 BSME',*International conference on thermal engineering. Proceda engineering*. 56 : 643-649.
- Kan, T., Strezov, V. And Evans, T.J. 2015. Lignocellulosic biomass pyrolysis: A review and effects of pyrolysis parameters', *Renewable and sustainable reviews*, 57: 1126-1140.
- Kim, S.P., Kang, M., Park, J.C., Nam, S.H. and Friedman, M. Rice hull smoke extrax inactivaties *Salmonella Thypimurium* in laboratory media and protecs infected mice againts mortality. *journal of foord science*. 71:80-85
- Kim, Y.M., Kim, S., Han, T.U., Park, Y.K. and Watanabe, C. 2014. Pyrolysis reaction characteristics of nut (*Pinus koraiensis*) shell,' *journal of analytical and applied pyrolysis*.110 : 435-441.
- Rai, K.M., De Bolt, S. and Mendu, V. 2015. Engineering Plant Biomass Lignin Content and Composition for Biofuels and Bioproducts. *energies*. 8: 7654-7676, doi:[10.3390/en8087654](https://doi.org/10.3390/en8087654).
- Li, X., Ouyang, J., Xu, Y., Chen, M., Song, X., Yong, Q. and Yu, S. 2009. Optimization of culture conditions for production of yeast

- biomass using bamboo waste water by response surface methodology. *Journal Bioresource Technology*, 100: 3613 - 3617.
- Lingbeck, J.M., Cordero, P., O'Bryan, C.A., Johnson, M.G., Ricke, S.C. and Crandall, P.G. 2014 .Fuctionally of Liquid Smoke as an all-natural antimicrobial in food preservation. *Meat Science* . 97: 197-199.
- Lombok, J.Z. 2015. Pirolisis of Mesua ferrea and pongomia glabra seed over : Characterization of bio-oil and its sub fractions. *Bioresource technology*. 178: 83-8.9
- Lombok, J.Z. 2014. Effect of pyrolysis temperatur and destilation on character of coconut shell liquid smoke asian. *Journal of science and technology*. 5: 320-325.
- Mabrouki, J., Abbassi, M.A., Guedri, K., Omri, A., and Jeguirim, M. 2015. Simulation of biofuel production via fast pyrolysis of palm oil residues. *Fuel*. 159 : 819–827
- Mubarak, N.M., Alicia, R.F., Abdullah, E.C., Sahu, J.N., Haslijaa, B.A. and Tan, J. 2013. Statistical optimization and kinetic studies on removal of Zn using functionalized carbon nanotubes and magnetic biochar. *Journal Environmental Chemical Engineering* . 1: 486–95.
- Mubarak, N.M., Kundua, Sahu, J.N., Abdullah, E.C. and Jaya kumar, N.S. 2014. Synthesis of palm oil empty fruit bunch magnetic pyrolytic char impregnating with FeCl<sub>3</sub> by microwave heating technique. *BiomassBioenergy*. 61: 265–75.
- Oramahi, H. and Faradiba. 2013 .Maximizing The production of Liquid Smoke from Bark of Durio by Studying Its Potential Coumpounds. *Procedia Enviromental Science*. 17 : 60-69.
- Richards, G.N. 1994. Chemistry of pyrolysis of polysaccharides and lignocellulosics.In: Bridgwater AV, editor. *Advances in thermochemical biomass conversion'*, London: Blackie Academic & Professional, 727–745.
- Ricke, S.C., Lingbeck, J.M., Cordero, P., O'Bryan, C.A, Johnson, M. and Crandall, P.G. Functionality of liquid smoke as an all-natural antimicrobial in food preservation

- Saloko, S., Darmadji, P., Setiadji, B. dan Pranoto, Y. 2012 . Stuctural analisys of spray-dried, coconut shell Liquid smoke powder. *Journal Teknologi and industry* .23.
- Saloko, S., Darmadji, P., Setiadji, B., Pranoto, Y. 2014. Antioxidative and antimicrobial activies of liquid smoke nanocapsule using chitosan and maltodextrin and its application on tuna fish preservation. *Food Bio science*. 7 : 71-79.
- Shadangi, K.P. and Mohanty, K. 2015. Co-pyrolysis of karanja and niger seeds with waste polystyrene to produce liquid fuel. *Fuel*. 153 : 492 – 488.
- Shen, D.K. and Gu, S. 2009. The mechanism for thermal decomposition of cellulose and its main products. *Bioresource Technology*. 100 : 6496-6504.
- Shen, D., Gu, X.S. and Zhang, H. 2013. The Overview of thermal decomposition of cellulose in lignocellulosic biomass. *World's argest Science,Technology & Medicine Open Access book publisher*; published by intech open and open minds.
- Shen, J., Igathinathane,C., Yu, M. and Pothula, A.K. 2015. Biomass pyrolysis and combustion integral and differential reaction heats with temperatures using thermogravimetric analysis/differential scanning calorimetry -89-98.
- Sjöström, E. 1993. Kimia kayu . Dasar-dasar penggunaan. Gajah Mada, University Press , Jokjakarta
- Soazo, M., Perez, L.M., Piccirilli, G.N., Delorenzi, N.J. and Verdini, R.A. 2016. Antimicrobial and physico chemical characterization of whey protein concentrae edible films incoporated with liquid smoke, *LWT- Food science and technology*. 285-291
- Stefanidis, S.D., Kalogiannis, K.G., Iliopoulou, E.F., Michailof, C.M., Pilavachi, P.A. and Lappas, A.A. 2014. A study of lignocellulosic biomass pyrolysis via the pyrolysis of cellulose, hemicellulose and lignin. *Journal Analitic Applied Pyrolysis*. 105: 143-150.
- Swastawati, F. 2008. Quality and safety of smoked catfish (*Aries talassinus*) using paddy chaff and coconut shell liquid smoke. *Journal of coastal development*. ISSN: 1410-5217. 12 : 47- 55.
- Tripathi, M., Sahu, J.N., Ganesan, P., Monash, P., and Dey, T.K. 2015. Effect of microwave frequency on dielectric properties of oil palm shell (OPS) and OPS char *synthesized by microwave*

- pyrolysis of OPS. Journal Analytic Applied Pyrolysis.* 112: 306–312.
- TripathiM, SahuJN&GanesanP2016, 'Effect of process parameters on production of biochar from biomass waste through pyrolysis': *A review Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 55 pp. 467–481
- Uçar, S. and Karagöz, S. 2014. Co-pyrolysis of pine nut shells with scrap tires. *Fuel.* 137: 85-93.
- Van de Velden, M., Baeyens, J., Brems, A., Janssens, B. and Dewil, R. 2010. Fundamentals, kinetics and endothermicity of the biomass pyrolysis reaction. *RenewableEnergy.*35: 232–42.
- Welker, C.M., Balasubramanian, V.K., Petti, C., Rai, K.M., DeBolt, S. and Mendu, V. 2015. Engineering Plant Biomass Lignin Content and Composition for Biofuels and Bioproducts. *Energies.* 8: 7654-7676, doi:[10.3390/en8087654](https://doi.org/10.3390/en8087654).
- Williams, P.T. and Besler, S. 1996. The influence of temperature and heating rate on the slow pyrolysis of biomass. *Journal Renew Energy.* 7: 233–250.
- Xiao, R., Chen, X., Wang, F. and Yu, G. 2010. Pyrolysis pretreatment of biomass for entrained-flow gasification. *Journal Appl Energy.* 87: 149–155.
- Xiao, R. 2013. Influence of temperature on organic structure of biomass pyrolysis products. *Journal Renewale energy.* 50 : 136-141.
- Yu, H., Zhang, Z., Li, Z. and Chen, D. 2014. Characteristics of tar formation during cellulose, hemicellulose and lignin gasification, *Fuel.* 118:250-256.
- Zuraida, I., Sukarno and Budijanto, S. 2011. Antibacterial activity of coconut shell liquid smoke (CS-LS) and its application on fish hall preservation. *International food Research Journal .* 18: 405 – 210,
- Sun, R.C. 2019. Cereal Straw as a Resource for Sustainable Biomaterials and Biofuels Chemistry, Extractives, Lignins, Hemicelluloses and Cellulose. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53234-3.00002-X> Institute of Biomass Chemistry and Technology, Beijing Forestry University, Beijing, China. 9–47.

## RIWAYAT PENULIS



**Sulhatun**, salah satu Intelektual muda dari kalangan Perempuan Aceh, Lahir di Kota Lhokseumawe, 13 Februari 1972 adalah salah satu dari lulusan terbaik dari SMA Negeri 1 Lhokseumawe tahun 1990. Alumni Sarjana Teknik jurusan Teknik Kimia Universitas Malikussaleh Tahun 1997 ini kemudian melanjutkan Studi S2 pada program Pasca Sarjana Fakultas Teknik Jurusan Teknik Kimia pada Universitas Sumatera Utara tahun 2002-2005. Dan Saat ini Penulis sedang menyelesaikan Disertasi S3 di Program Doktor pada Fakultas Teknik Jurusan Teknik Kimia

Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara bidang Bioenergy. Penulis pernah bekerja sebagai Staf pada Kantor Pengolahan Data Elektronik Pemerintah Daerah Kabupaten Aceh Utara sejak tahun 1992 sampai dengan 2002. Dan pernah diperbantukan oleh pemerintah Kabupaten Aceh Utara sebagai pengolah data pada Tim Pencari Fakta Kabupaten Aceh Utara tahun 1998-1999. Dan Diperbantukan sebagai Tim Teknis, Tim Task Force dan Tim Pelaksana pada Satuan Pelaksana Penanggulangan Bencana Kabupaten Aceh Utara 1999-2000. Dan Wakil Sekretaris pada Tim Pelaksana Proyek Pembangunan Islamic Center Kabupaten Aceh Utara sejak Tahun 2000-2005. Tahun 2006 - 2008 pernah menduduki posisi wakil Ketua PSP-LPPM Universitas Malikussaleh. Dan Saat ini sebagai Komisaris Utama pada PT. Forganic Bioenergi Global.

Pengalaman ilmiah pernah melakukan penelitian dibidang hibah bersaing Ristekdikti sebagai Ketua dari Tahun 2014-2016 dengan judul "Penelitian Asap Cair berbasis cangkang kemiri dengan proses pyrolisa di Bireuen berbasis ekonomi Rakyat" . Sebagai ketua Tim pada penelitian program CPPBT 2017 dari program Ristekdikti . Mengikuti seminar nasional dengan judul dan penulisan karya ilmiah dengan judul "Pemanfaatan Cangkang Kemiri untuk Pembuatan Asap Cair secara pirolisis sebagai bahan koagulasi pada getah karet".2014. Mengikuti seminar Nasional sebagai pemateri pada Seminar Nasional dengan judul Pemanfaatan Limbah padat industri perkebunan kemiri

untuk pembuatan asap cair aplikasi sebagai bahan pengawet alami. Mengikuti seminar nasional sebagai pemateri dengan judul "Efektifitas suhu dan Waktu Destilasi terhadap peningkatan mutu asap cair berbasis tempurung kemiri. Tahun , 2016. Mengikuti seminar Internatsional sebagai pemateri pada karya ilmiah dengan judul "Improving production of Liquid smoke From candle nut shell by pyrolisis process " 2017. Mengikuti seminar Internatsional sebagai pemateri pada karya ilmiah dengan judul "Effect of Palm Oil Bunches Microfiller on LDPE-recycled Composite Tensile Strength through Melt Blending process tahun 2017

Memperoleh memperoleh piagam, Tanda Jasa dan Kehormatan Republik Indonesia yaitu penghargaan Satya Lencana dari Presiden Republik Indonesia Tahun 2015

Memperoleh penghargaan pada program Riset Terapan dari Kemristekdikti 2014-2016

Memperoleh penghargaan pada Program CPPBT sebagai Inovator inovasi Indonesia Expo dengan produk Asap Cair Tempurung Kemiri dari Kemristekdikti Tahun 2017.

Memperoleh penghargaan pada Program CPPBT sebagai Inovator inovasi Indonesia Expo dengan produk Alat pyrolisa Asap Cair dan Alat Pemurnian Asap Cair dari Kemristekdikti Tahun 2019.

Inovator pada pada Program PPBT dengan produk forganic 2019.

Memperoleh uber HKI tahun 2018 dengan judul :

1. Alat Destilasi Untuk Pemurnian Asap Cair
2. Alat Pyrolisa Biomassa Double Unit Kondensor
3. Metode Proses pemurnian asap cair

Pelatihan Profesional yang pernah penulis ikuti adalah Pelatihan work shop berorientasi paten di Jakarta 2007,

Penataran & Lokakarya Metodologi program pengabdian Masyarakat Oleh Dikti di Banda Aceh 2007 dan Pelatihan TOT HKI 2016 di Batam.

ISBN 978-602-464-073-6



**PYROTECHNOLOGY 4 IN 1:**  
**PRINSIP DASAR TEKNOLOGI**  
**PIROLISA BIOMASSA**

**UNIMAL PRESS**

Sulhatun, ST., MT